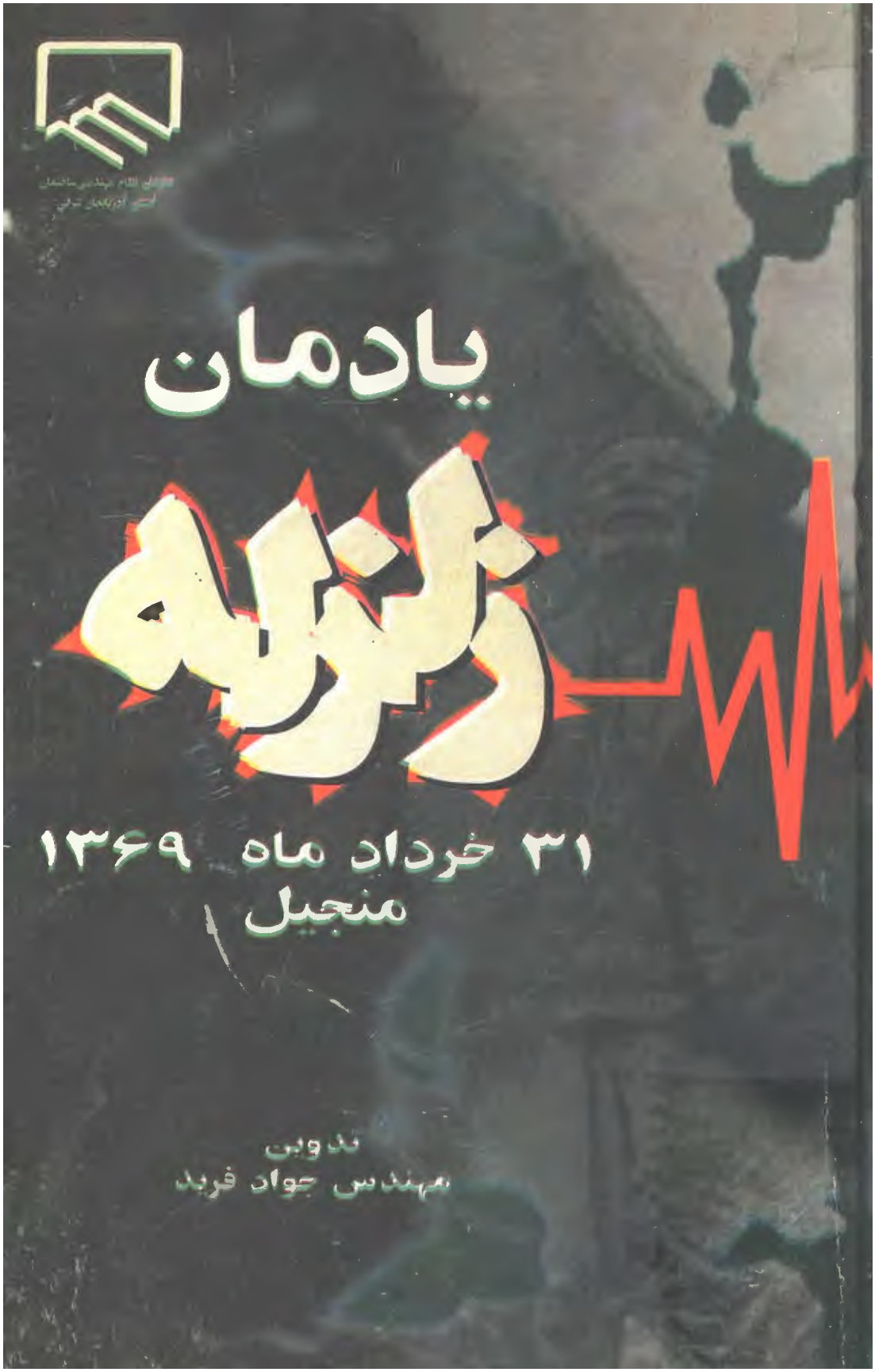
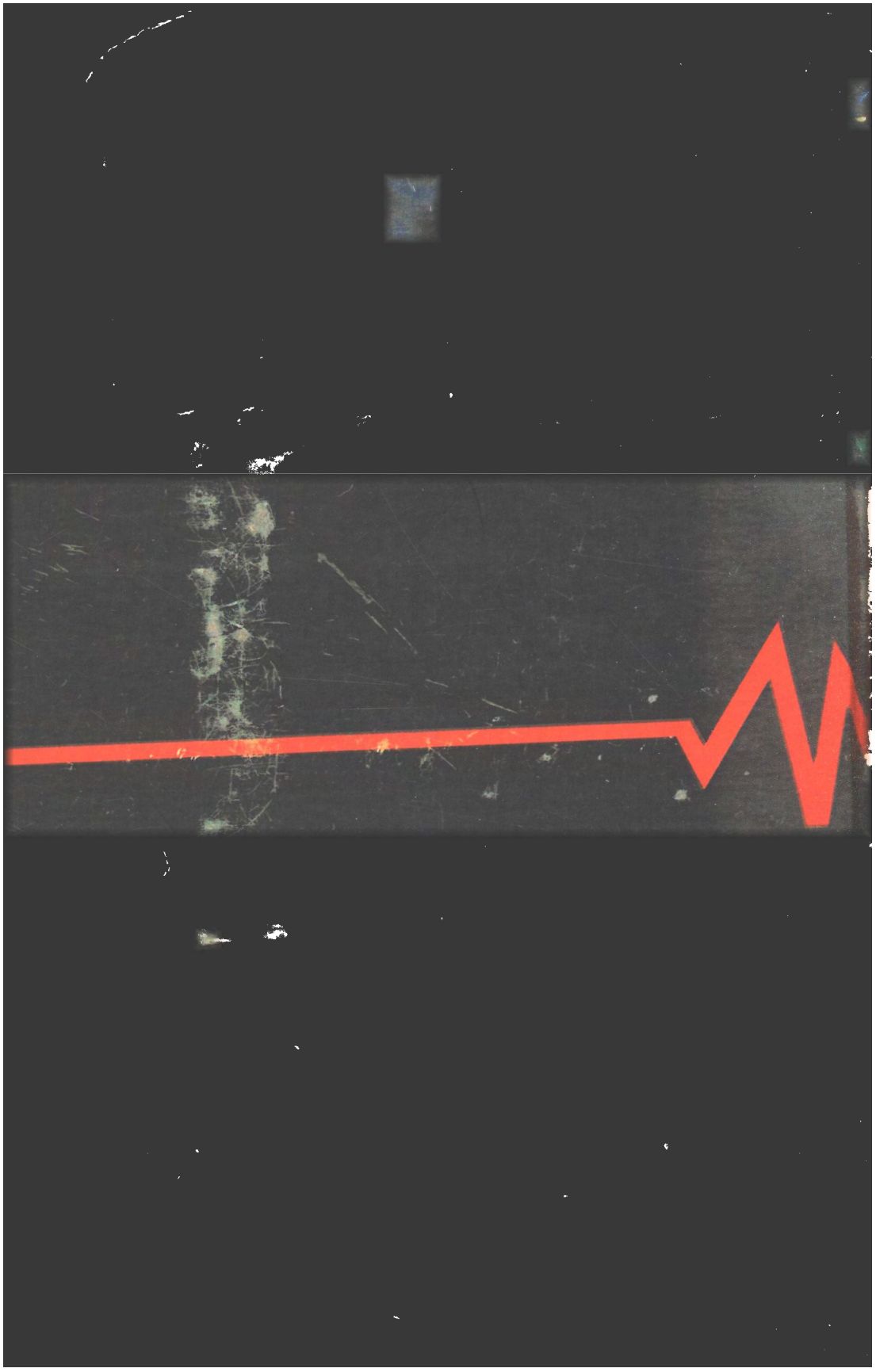
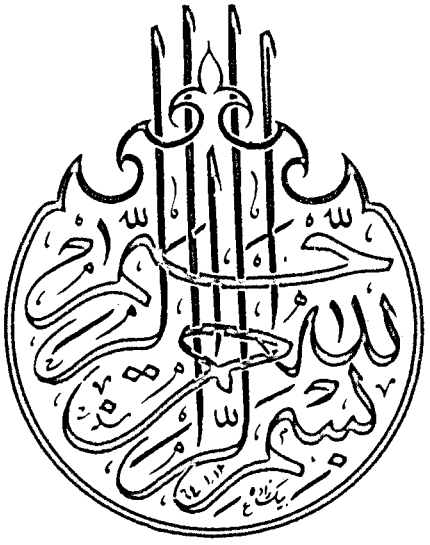

یادمان
زلزله
۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹
منجیل
تدوین
مهندس جواد فرید



یادمان زلزله منجیل

جو

۰۱۰	۱
۴۵	۱۰



سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان آذربایجان‌شرقی

یادمان زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل

گردآوری ، ترجمه و تدوین

جواد فرید

مهندس راه و ساختمان

عضو سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان‌شرقی

فروردین ۱۳۷۹

فرید، جواد، ۱۳۳۰ - ، گردآورنده و مترجم.
یادمان زلزله ۳۱ [سی و یک] خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل / گردآوری، ترجمه و تدوین جواد فرید. — تبریز: نعمتی، ۱۳۷۹.
۹، ۷۰۶ ص.: مصور، نقشه، جدول، عکس، نمودار.
ISBN 964-91347-2-7
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
کتابنامه.
۱. منجیل -- زلزله، ۱۳۶۹ -- مقاله‌ها و خطابه‌ها. ۲. زلزله -- ایران -- منجیل -- مقاله‌ها و خطابه‌ها. ۳. زنجان (استان) -- زلزله، ۱۳۶۹ -- مقاله‌ها و خطابه‌ها. ۴. زلزله - ایران -- شعر. ۵. زلزله -- مهندسی -- مقاله‌ها و خطابه‌ها. الف. سازمان نظام مهندسی ساختمان آذربایجان‌شرقی. ب. عنوان.
۴ ف ۱۹ الف ۲/QE۵۳۷ ۲۲۰۹۵۵۲۳۳۷ / ۵۵۱
کتابخانه ملی ایران ۱۰۸۳ - ۷۹ م

شابک ۷-۲-۹۱۳۴۷-۹۶۴ / ISBN 964-91347-2-7

* نام کتاب : یادمان زلزله منجیل
* مؤلف : مهندس جواد فرید
* نوبت چاپ : چاپ اول - تابستان ۱۳۷۹
* حروفچینی : حروفچینی کامپیوتری نعمتی
* طرح روی جلد (شمیز) : شهریار سرمست
* فیلم و زینک : نیکنام
* چاپ : سهند
* صحافی : آرزو
* تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
* تعداد صفحه و قطع : ۷۲۰ - قطع وزیری
* ناشر : انتشارات نعمتی
* قیمت : ۳۵۰۰۰ ریال

تبریز - خیابان آزادی - چهار راه آبرسانی - ساختمان ۱۱۰ - طبقه دوم - واحد ۹ تلفن ۳۳۶۰۲۵۰

فهرست

پیشگفتار
سپاسگزاری

○ کلیاتی در باره زلزله و چالش‌های مهندسی زلزله

کلیاتی در باره زلزله ۳
مهندس جواد فرید

چالش‌های مهندسی زلزله ۴۷
مهندس جواد فرید

○ پیامدهای اجتماعی زلزله و مدیریت بحران

پیامدهای اجتماعی زلزله ۷۹
پروفسور نیکلاس آمبرسیز و دکتر چارلز ملویل
ترجمه مهندس ابوالحسن رده

زلزله روانی هنوز مردم مصیبت‌زده ما را می‌لرزاند ۸۵
دکتر مرتضی کتبی

تحرکات اجتماعی در تسکین بلایای طبیعی ۹۵
دکتر ژاله شادی‌طلب
ترجمه مهندس فریدون رزمند

عوامل اجتماعی و فرهنگی در برخورد با زلزله ۱۱۱
دکتر کارول آر. اندروود
ترجمه مهندس جواد فرید

مدیریت بحران: عوامل موثر بر مشارکت آسیب‌دیدگان ۱۲۵
دکتر ژاله شادی‌طلب

مقوله‌های بنیادی بازسازی پس از فاجعه ۱۳۹
دکتر اکبر زرگر

○ زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ به روایت شعر

مسعود محمودی: **و جنگل در عزا تعطیل شد جشن بهارینش** ۱۶۳
مهنوش شادنظری: **سرزمین خاکستر** ۱۶۵

مفتون امینی : ۷/۳ ..... ۱۶۷
فتحا... شکیبایی : **شروه‌های غربت** ۱۶۹
سید محمد هاشمی : **افسانه دیار** ۱۷۰
عبدا... فرخی : **غروب ستاره‌ها** ۱۷۱
احمد قربان‌زاده : **غزلواره** ۱۷۳
محمدحسین اورسجی : **مسلخ زیتون** ۱۷۵
بهمن صالحی : **هزار آینه خونین** ۱۷۷
علیرضا قزوه : **آیات زیتون** ۱۷۹
تیمور ترنج : **مروارید شکسته** ۱۸۰
هوشنگ جعفری : **باکلر سنه نه گلدی** ۱۸۳
هوشنگ جعفری / برگردان به فارسی جواد فرید : **باکلرا چه بر سرت آمد؟** . ۱۸۷
نادر فرید فتحی : **غملی فاجعه** ۱۹۱
نادر فرید فتحی / برگردان به فارسی جواد فرید : **فاجعه غمبار** ۱۹۳
سید محمد خالقی : **هجرون** ۱۹۶
سید محمد خالقی / برگردان به فارسی سید محمد هاشمی : **هجران** ۱۹۸
محمد رضا شفیعی کدکنی : **سوگنامه** ۲۰۰

○ زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ به روایت تصویر **۲۰۱**

○ به یاد یار و دیار

اسپروی غمگین ۲۶۱
سید محمد هاشمی

○ زلزله‌های ایران به روایت پیشینیان

حکیم ناصر خسرو قبادیانی: زلزله ۴۳۴ هـ. ق تبریز ۲۷۳
ابومنصور قطران تبریزی: زلزله ۴۳۴ هـ. ق تبریز ۲۷۴
سید ظهیرالدین مرعشی : زلزله ۸۹۰ هـ. ق مازندران و گیلان ۲۷۷
عبدالرحیم خان کلانتر ضرابی : زلزله ۱۱۹۲ هـ. ق کاشان ۲۷۹
صباحی بیدگلی: زلزله ۱۱۹۲ هـ. ق کاشان ۲۸۰
عبدالرزاق بیگ دنبلی : زلزله ۱۱۹۴ هـ. ق تبریز ۲۸۱
ابومحمد نادر میرزا: زلزله ۱۱۹۴ هـ. ق تبریز ۲۸۳
ابومحمد نادر میرزا: زلزله ۱۲۰۱ هـ. ق تبریز ۲۸۴

محمد تقی ملک‌الشعرا بهار: زلزله ۱۳۰۲ ه‍ ش تربت حیدریه ۲۸۶
روزنامه کوشش : زلزله ۱۳۱۵ ه‍. ش تبریز..... ۲۹۰
جلال آل‌احمد : زلزله ۱۳۴۱ ه‍. ش بویین‌زهرا..... ۲۹۳

○ آموختن از زلزله منجیل

گزارش کلی زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل ۲۹۷
مهندس علی اکبر معین‌فر
درس‌هایی از زلزله منجیل..... ۳۱۱
دکتر مهدی قالیبافیان
رفتار سازه‌های آجری در زلزله منجیل ۳۳۹
دکتر حسن مقدم
رفتار ساختمان‌ها در زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل ۳۵۵
مهندس امیر پیمان زندی
بررسی عملکرد تاسیسات و شریان‌های حیاتی
در زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل ۳۸۵
دکتر ساسان عشقی
مروری بر بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی و زلزله‌شناسی مهندسی برروی
پهنه زلزله‌زده سال ۱۳۶۹ منجیل ۴۱۱
دکتر مهدی زارع
جنبه‌های ژئوتکنیکی زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل ۴۵۳
دکتر کنجی ایشی‌هارا ، دکتر سید محسن حائری ، مهندس علی‌اکبر معین‌فر ...
ترجمه مهندس جواد فرید
اثرات موضعی ساختگاه در شهر رشت در زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل
ایران ۴۸۹
دکتر سید محسن حائری، مهندس مهدی خلفائی
ترجمه مهندس بهنام جعفری

○ آموختن از دیگر زلزله‌ها

آموخته‌هایی از زلزله‌های اخیر از منظر بازنگری برخی مقررات آئین‌نامه‌ای ۵۰۵
جی ام . آیزنبرگ
ترجمه مهندس جواد فرید

رفتار سازه‌های فولادی، بتنی و آجری در زلزله‌های اخیر ارمنستان و ایران ۵۱۷
دکتر زاره گریگوریان، مهندس گارن گریگوریان
ترجمه مهندس جواد فرید
مقایسه استهلاک جنبش زمین در زلزله‌های ۱۹۹۰ منجیل ایران
و ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا آمریکا ۵۲۹
دکتر منصور نیازی ، دکتر یوسف بزرگ‌نیا
ترجمه مهندس جواد فرید
بررسی‌های سازه‌ای سرمحل پس از زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان ۵۴۱
ادموند بوث
ترجمه مهندس جواد فرید
دستاوردهای گروه انگلیسی بررسی کننده زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان ۵۵۷
مارتین اس . ویلیامز
ترجمه مهندس جواد فرید
رفتار سیکلی خاک‌های چسبنده، روانگرایی، تقویت خاک و مطالعه موردی
تأثیر عوامل ژئوتکنیکی در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان ۵۷۵
دکتر آتیلا انسال
ترجمه مهندس جواد فرید
اثرات پاسخ ساختگاهی مشهود در زمین‌لرزه‌های ۱۹۸۹ لوماپری‌یتای کالیفرنیا
و ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه ۵۹۳
مهندس محمد چلبی
ترجمه مهندس بهنام جعفری
زلزله نورث‌ریج و تأثیر آن بر روی سازه‌های فولادی ۶۱۹
مهندس فرزین فعلی
ترجمه مهندس جواد فرید
آسیب‌های وارد بر قاب‌های فولادی لنگرگیر شکل‌پذیر در زلزله
نورث‌ریج کالیفرنیا ۶۳۵
مهندس سعید امیر عزیزی
ترجمه مهندس جواد فرید
زلزله هیوگو - کن نانبو (کوبه، ژاپن) ۶۵۱
مهندس علی‌اکبر معین‌فر
درس‌هایی از زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه ژاپن ۶۷۳
مهندس احمد نادرزاده

پیشگفتار

واپسین روز خرداد ماه ۱۳۷۹، مصادف با دهمین سالگشت وقوع زلزله منجیل است. عواقب فیزیکی این زمین‌لرزه هنوز در پهنه آسیب‌دیده شمال ایران قابل ملاحظه است، همچنانکه اثرات اجتماعی، فرهنگی و روانی آن بطور کامل از اذهان عمومی و خاطره‌های جمعی و فردی زدوده نشده است. این زلزله از نظر میزان خسارت‌های مالی و تلفات جانی، یکی از مهمترین زلزله‌های ایران در قرن میلادی گذشته است و بر خلاف زلزله‌های پیشین که عموماً در مناطق روستایی نسبتاً کم جمعیت اتفاق می‌افتاد، این بار زمین‌لرزه در منطقه‌ای آباد و پرجمعیت روی داد و آسیب‌های آن گسترهٔ دو استان گیلان و زنجان را که از مهمترین قطب‌های کشاورزی و صنعتی کشور به شمار می‌روند، در نوردید. این نخستین زمین‌لرزه بزرگ در ایران بود که طی آن علاوه بر ساختمان‌ها، سازه‌های مهم دیگری نظیر کارخانه‌های صنعتی، سیلوها، نیروگاه‌ها، سدها، برج‌ها و منابع آب، تونل‌ها و پل‌ها و شبکه‌های تولید، توزیع و انتقال انرژی تحت آزمون قرار گرفتند و پدیده‌های مهم ژئوتکنیکی مانند روانگرایی نهشته‌های ماسه‌ای و زمین‌لغزش‌های بزرگ، تجربه گردیدند. این زلزله، همچنین ابعاد گوناگون پیامدهای اجتماعی ناشی از سوانح طبیعی و پیچیدگی‌های امر مدیریت بحران را مشخص نمود و ارتباط متقابل توسعه و مقوله مقابله با حوادث طبیعی را روشن‌تر ساخت و نشان داد که در ا مر بازسازی و احیاء مناطق آسیب‌دیده، عملیات فیزیکی باید با شناخت کامل مسایل اجتماعی، عاطفی و فرهنگی جامعه انجام گیرد و در نهایت ضروری است چنین عملیاتی در چارچوب یک برنامه توسعه ملی پیش‌بینی شود.

یادمان حاضر به انگیزه دهمین سالگرد وقوع زلزله منجیل و به یاد جان باختگان آن و به پاسداشت هم میهنان و سازمان‌های مختلفی که با کمک‌های بی‌دریغ خود، امر بازسازی و بازیابی پهنه زلزله‌زده را به پیش بردند، تهیه و تدارک دیده شده است و تنظیم و نگارش آن وظیفه مطبوعی است که نگارنده به عنوان یک شهروند ایرانی و به تبع فعالیت‌های حرفه‌ای خود، در این ده سال گذشته بر ذمّه خویش احساس کرده است. بنیان این یادمان بر هرچه بیشتر آموختن استوار شده است، چرا که دانش‌های وابسته به پدیده زلزله را نمی‌توان به تنهایی از لابلای کتاب‌های تخصصی آموخت و یکی از منابع تجربه اندوزی برای دست اندرکاران طراحی و اجرای سازه‌های پایدار در برابر زلزله، مطالعه گزارش زمین‌لرزه‌های مختلف و بررسی نحوه و علل آسیب پذیری سازه‌های گوناگون در برابر زمین‌لرزه است. در

تهیه این یادمان، چنین اولویتی مدنظر بوده و اکثر مقاله‌های فنی و تخصصی مجموعه با این نگرش برگزیده شده‌اند. همراه با مقالات فنی و تخصصی، بخشی از یادمان به مقوله‌های اجتماعی و فرهنگی منبعث از زلزله و بخشی دیگر به آثار ادیبان، شاعران و هنرمندانِ ملهم و متأثر از زمین‌لرزه منجیل اختصاص یافته است. بدین‌سان نگارنده کوشیده است ضمن ارج نهادن به هنرمندانی که اندیشه، هنر و ذوق خود را در شرح و توصیف آلام و محنت‌های حادث از زلزله به کار گرفته‌اند، یادمان را برای طیف گسترده‌تری از خوانندگان، قابل استفاده سازد.

زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل، زنگ خطری بود که ضمن یادآوری لزوم مقابله جدی با زمین‌لرزه‌ها در پهنه وسیع و لرزه‌خیز میهنمان، مبدأ بسیاری از تصمیم‌ها و اقدام‌های اساسی در راستای بهبود ساخت و سازها در کشور گردید. تشکیل سازمان‌های نظام مهندسی ساختمان و کوشش در تنظیم و تنسیق فعالیت‌های اجرایی و روابط حاکم بر ساخت و سازهای شهری، تاکید برکاربرد اصولی و صحیح آیین‌نامه‌های ساختمانی بویژه آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله، تسریع در چاپ و نشر مجلدهای مختلف مقررات ملی ساختمانی، تشکیل انجمن‌ها و کمیته‌های فنی و حرفه‌ای، تاسیس پژوهشکده‌ها و مراکز تحقیقاتی دانشگاهی در زمینه مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی، نمونه‌هایی ارزنده از اقدامات اساسی است که آغاز آنها به زمانی اندک پس از وقوع زلزله منجیل بر می‌گردد. اما باید گفت که اقدام‌های مزبور متاسفانهٔ با تمام تأثیرات و فوایدی که داشته‌اند، به تنهایی کافی و بسنده نبوده‌اند. شایسته است به یاد بیاوریم که هنوز نزدیک به نیمی از هموطنان ما در روستاهای کشور در ساختمان‌های خشتی و گلی و فاقد مقاومت لازم در برابر زلزله‌های متوسط و یا حتی خفیف زندگی می‌کنند. همچنین بسیاری از ساختمان‌های مسکونی و بناهای عمومی و خدماتی نظیر بیمارستان‌ها و مؤسسات درمانی، مدارس، مراکز اداری و انتظامی و ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ... در شهرهای کشورمان، مقاومت و پایداری لازم را در برابر زمین‌لرزه حتی در حدی که آیین‌نامه‌ها و استانداردهای متداول کشور می‌طلبد، ندارند و برای ارتقاء لرزه‌ای نیازمند بهسازی و تقویت سازه‌ای هستند. از سوی دیگر، هنوز کنترل و نظارت جدی و مستمری بر تولید مصالح ساختمانی از جانب ارگان‌های دولتی یا ملی اعمال نمی‌شود و طراحی و اجرای ساختمان‌های بخش خصوصی آنگونه که باید قانونمند نیست و در نتیجه حجم زیادی از سرمایه‌های ملی توسط افراد غیرمتخصص به هدر می‌رود و در مقیاسی کلان، برنامه‌های جامع امداد و مدیریت بحران و تشکیل نهادهای سامان‌دهی شده برای پیشگیری از توسعه اثرات حوادث غیرمترقبه در شهرها و روستاهای کشور، هنوز بطور کامل تهیه و تدوین نشده است.

یادآوری موارد پیش گفته از آن‌رو ضروری می‌نماید که روشن می‌سازد برای تأمین ایمنی کافی سازه‌ها و حفاظت جان و اموال مردم در برابر زلزله‌های شدید، هنوز راه درازی پیش‌رو داریم. امیدوارم مجموعه مطالبی که در این یادمان آورده شده است از ورای مباحث فنی و اجتماعی، این مورد را نیز به خوبی روشن سازد که احداث ساختمان‌های پایدار در برابر زلزله و تأمین ایمنی افراد و دارایی‌های ملی، به همان میزان مقوله‌ای فنی است که موضوعی اجتماعی ـ اقتصادی و سیاسی ـ فرهنگی و برای حفاظت سازه‌ها و تأمین سلامتی جامعه در برابر زمین‌لرزه و یا سایر سوانح طبیعی ضروری است عزمی ملی برانگیخته شود و هماهنگی کاملی بین سازمان‌های ذیربط دولتی و خصوصی و آحاد مردم برقرار گردد. با تحقق چنین برنامه‌هایی است که ما نیز در زاد و بوم لرزه‌خیز خود، همانند کشورهای توسعه یافته در رویارویی با زلزله‌های شدید، شاهد میزان خسارات مالی و تلفات جانی کمتری خواهیم بود.

با چنین آرزویی و با یاد هم‌میهنانی که در زلزله منجیل و دیگر زلزله‌های کشورمان جان باختند و زندگی ارزشمند خود را از دست دادند، این یادمان را به زنان و مردانی تقدیم می‌کنم که در راستای شناخت بیشتر پدیدهٔ زلزله و کاهش اثرات آن بر روی جوامع انسانی، در جای‌جای این جهان پهناور به هر نحو مقتضی و ممکن تلاش می‌کنند.

جواد فرید
فروردین ۱۳۷۹

سپاسگزاری

در تدوین و تنظیم این **یادمان** و به سامان رساندن آن از یاری بسیار کسان بهره‌مند شده‌ام. نخست باید از هیات مدیره سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان‌شرقی نام ببرم که از پیشنهاد تهیه و تدوین چنین مجموعه‌ای استقبال کرد و هزینه‌های چاپ و نشر آن را پذیرفت. هیأت رئیسه سازمان متشکل از آقایان مهندس سعید پورشریفی، مهندس احمد تجلیل، مهند احمد فخاری و مهندس ارشد محدودی، مساعدت‌های بسیاری را از نظر مالی و پشتیبانی به عمل آوردند. همکارانم در کمیسیون انتشارات سازمان، آقایان مهندس بهنام جعفری، مهندس محمدرضا رسول‌زاده، مهندس علی‌اصغر زرین‌تن، مهندس فرطوس موسوی و مهندس عبدا... مولوی در جریان تدوین یادمان از ارایه کمک‌های فکری دریغ نورزیدند.

یادمان بخش اعظم موجودیت خود را مدیون مقاله‌های فنی و علمی، اجتماعی و فرهنگی گردآوری شده و ترجمه شده است. اکثر این مقالات خصوصا" مقاله‌های بخش ***آموختن از زلزله منجیل*** با اجازه نگارندگان گرامی مقاله‌ها، برگزیده شده‌اند. امیدوارم متخصصان ایرانی مقیم خارج از کشور، کارشناسان عالی‌رتبه خارجی، شاعران، محققان ادبی و فرهنگی و اجتماعی که آثار قلمی ایشان به علت عدم دسترسی، بدون اجازه پیشاپیش در بخش‌های دیگری از یادمان آورده شده است، پوزش صمیمانه مرا بپذیرند. آرزومندم رعایت امانتی که در ذکر مراجع و مآخذ مربوط به مطالب یادمان شده است از بار این کوتاهی بکاهد.

دوستانم مهندس فریدون رزمند و مهندس بهنام جعفری به خواهش من مقالاتی را برای یادمان ترجمه کردند. دوست ادیبم آقای قاسم ترکان برگردان به فارسی اشعار ترکی یادمان را خواند و نظرات اصلاحی مفیدی ابراز کرد. آقای دکتر واهاک سیمونیان مجموعه مقالات سمینار استان فارس ـ **زلزله، کاهش آسیب‌پذیری و الگوهای بازسازی** ـ را در اختیارم نهاد و آقای دکتر عطا ا... حاجتی مدارائی به خواهش من، مجموعه مقالات کنفرانس‌هایی را که در سالگشت زلزله منجیل تحت عنوان ***بررسی تحلیلی و تجربی رفتار سازه‌ها تحت اثر بارزلزله و بارهای دینامیکی*** به همت دانشگاه گیلان برگزار می‌شود، به کتابخانه سازمان اهدا نمود و محدوده دسترسی مرا به مقالات نوشته شده در باره زلزله منجیل گسترده‌تر گردانید.

ارتباط با هنرمندان عکاس با لطف آقایان خانعلی صیامی و بابک کسمایی و خانم ماهرخ بدخشان وخصوصاً مساعدت‌های آقای سیف‌ا... صمدیان مدیر مسئول *ماهنامه تصویر* میسر گردید. آقای مسعود امیرلوئی مدیر مسئول و سردبیر *ماهنامه عکس*، ویژه‌نامه آن نشریه را در باره زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ با مهربانی در اختیارم نهاد و اجازه استفاده از عکس‌های مندرج در آن را برایم داد. آقایان مسعود زنده روح‌کرمانی و جاسم غضبانپور عکس‌های مورد علاقه‌ام را با محبت در اختیارم گذاشتند و آقای افشین شاهرودی از سر لطف اجازه استفاده از تصاویر مندرج در مجموعه ***پنجاه و پنج عکس*** را داد. دسترسی به آرشیو غنی عکس‌های خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران در محدوده زمانی پس از وقوع زلزله منجیل، با مساعدت و هماهنگی آقایان مجید کریمیان، احمد جعفری ثانی و احمد افضلی فراهم شد.

خانم سعیده علی‌پور تایپ کامپیوتری و آقای منصور نعمتی صفحه‌آرایی، خدمات چاپ و نشر یادمان را بر عهده داشتند و با وسواس‌ها و سخت‌گیری‌های من در باره نحوه ارایه مطالب و اصلاح مکرر برخی از صفحات با مهربانی کنار آمدند.

آخر سر باید از سه تن دیگر یاد کنم که حق نهانی زیادی بر این مجموعه دارند. دوست و همکار گرامی‌ام مهندس فریدون کیایی که همواره مدارک و کتب فنی دست اول خود را با میل و رغبت به امانت در اختیارم نهاده است و برادران عزیزم مهندس فرهاد فرید و دکتر مهرداد فرید که در این زمانه برابری نامتوازن دلار و ریال به دلیل اقامت در خارج از کشور، زحمت تهیه و ارسال کتب و مدارک فنی درخواستی‌ام را با گشاده‌رویی متقبل شده‌اند.

از همه این عزیزان و سروران به خاطر لطف و محبت‌شان در به سامان رساندن یادمان، صمیمانه سپاسگزارم و به جَد می‌گویم اگر این مجموعه را لطفی است از برکت همکاری و یاری ایشان است و اگر عیب و نقصی، زاده ناتوانی من و اگر نام‌کسان دیگری به علت فراموشی و کوتاهی حافظه در این مقال از قلم افتاده باشد بر من منت نهاده و مرا ببخشایند.

جواد فرید
فروردین ۱۳۷۹

کلیاتی درباره زلزله و
چالش‌های مهندسی زلزله

کلیاتی درباره زلزله

مهندس جواد فرید

چکیده

هدف این مقاله، ارایه آگاهی‌های نخستین درباره زلزله و مبانی زلزله‌شناسی است. نخست مواردی همچون منشا زلزله، کانون و مرکز زلزله، پیش‌لرزه و پس‌لرزه و امواج زلزله تشریح می‌شوند و سپس توزیع جغرافیایی زمین‌لرزه‌ها، تکتونیک صفحه‌ای، گسل‌ها و حرکات زلزله در سطح زمین مورد بحث قرار می‌گیرند و آخر سر به تفصیل به مقیاس‌های سنجش زلزله پرداخته می‌شود. آشنایی با این مفاهیم برای علاقه‌مندانی که مایلند کلیاتی درباره زمین‌لرزه و اثرات آن بدانند، سودمند به نظر می‌رسد.

۱ـ مقدمه

مراد از زلزله در این مقاله و نیز در سرتاسر این یادمان، زلزله‌های طبیعی است که دست بشر در ایجاد آنها نقشی ندارد. فراتر از زمین‌لرزه‌های طبیعی، برخی زلزله‌ها در اثر فعالیت‌های گوناگون جوامع بشری تولید می‌شوند که به زلزله‌های مصنوعی یا زلزله‌های القایی[1] موسومند. این گونه زلزله‌های نادر در اثر بارگذاری فوق‌العاده زیاد بخش هایی از زمین نظیر

1 - Induced earthquake

آبگیر پشت سدهای بزرگ و یا انفجارهای اتمی تولید می‌شوند. زلزله‌های مصنوعی از **نظر** وقوع و شیوه تظاهر در سطح زمین تفاوتی با زلزله‌های طبیعی ندارند و برخی از آنها بزرگی تا ۶ درجه ریشتر داشته و عملکردی نظیر زلزله‌های مخرب طبیعی داشته‌اند.

صرفنظر از شرایط استثنایی که زلزله‌ای با پدیده‌هایی همچون چونامی[1]، زمین لغزش[2]های وسیع، سنگ‌ریزش[3] و روانگرایی[4] خاک همراهی می‌شود، خطرات زلزله بطور عمده در آسیب‌های وارد بر سازه‌های مصنوع انسان و در میزان تلفات جانی و مالی ناشی از آن نهفته است. نخستین گام در پیشگیری خطرات زلزله، ساختن ابنیه‌های ایمن در برابر آن است و برای حصول چنین امری شناخت پدیده زلزله از جنبه‌های گوناگون ضروری است. علم زمین‌شناسی مهندسی[5] و بخش تخصصی آن لرزه‌زمین‌ساخت[6] پابه پای زلزله‌شناسی مهندسی[7] در شناخت زلزله و پدیده‌های وابسته به آن و نیز ثبت ارتعاشات حاصل از زمین‌لرزه‌ها و تعبیر و تفسیر آنها نقش موثری ایفا نموده است. مهندسی زلزله[8] که هدف خود را بر تحلیل، طراحی و ساخت ابنیه‌های فنی مقاوم در برابر زلزله بنیان نهاده‌است هرگز بی‌نیاز از هماهنگی و ارتباط با دانش‌های وابسته نبوده است. در آنچه که در پی می‌آید، آگاهی‌های عمومی دربارهٔ زمین‌لرزه و مبانی زلزله‌شناسی ارایه می‌شود. آشنایی با این مفاهیم نه تنها برای مهندسین بلکه برای سایر علاقه‌مندانی که مایلند کلیاتی درباره زمین‌لرزه و اثرات آن بدانند، سودمند به نظر می‌رسد.

۲ـ مبانی و تعاریف

۲ـ۱ـ منشا زلزله

زلزله وقوع حرکات شدید و ناگهانی رفت و برگشتی متناوب در سطح زمین است. در صورت انتقال این جنبش‌ها به ساختمان‌ها و مستحدثات روی زمین، بسته به شدت و ضعف

---

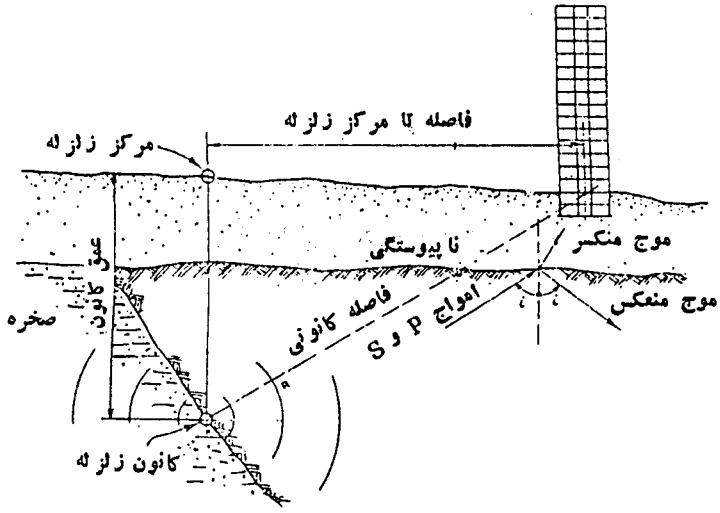
1 - Tsunami
2 - Landslide
3 - Rockfall
4 - Liquefaction
5 - Engineering Geology
6 - Seismotectonic
7 - Engineering Seismology
8 - Earthquake Engineering

ارتعاش، امکان بروز خرابی و ایجاد صدمات وجود دارد. عوامل متعددی موجب وقوع زلزله می‌گردند؛ فعالیت‌های آتشفشانی، فروریختن سقف غارهای زیرزمینی از آن جمله‌اند، لیکن مهمترین عامل ایجاد زلزله حرکات زمین‌ساختی یا تکتونیک است. بیش از ۹۰٪ کل زلزله‌هایی که در جهان حادث می‌شوند از نوع زمین‌ساختی هستند. زلزله‌های تکتونیک نتیجهٔ تغییرشکل‌های آرام پوسته زمین هستند که در جریان آنها، مقادیر قابل ملاحظه‌ای انرژی به صورت انرژی تغییر شکل در قسمت‌های مختلف پوسته زمین انباشته می‌شود. در صورتی که قسمتی از پوسته فاقد مقاومت لازم باشد و یا بیش از حالت تعادل حدی تنیده شود، گسیختگی در پوسته حادث می‌شود و به سرعت به نواحی مجاور گسترده می‌شود. در فرضیه‌ای مقبول، این گسیختگی‌های متعادل کننده در راستای خطوط گسل (گسل‌های فعال) که بطور ذاتی و طبیعی از نقاط ضعیف پوسته به شمار می‌روند، روی می‌دهند و موجب جابجایی‌های مهم در راستای قائم یا افقی گسل‌ها می‌شوند. شایان ذکر است که رابطه زلزله با گسل، رابطه‌ای دو سویه و متقابل است. بدین معنی که وجود گسل‌های بی‌شمار در یک منطقه محتملاً سبب بروز زلزله می‌گردد و این زمین‌لرزه نیز به نوبه خود مسبب ایجاد گسل جدیدی می‌شود، در نتیجه تعداد گسیختگی‌ها و شکستگی‌های سطح زمین زیادتر شده و بر قابلیت لرزه‌خیزی منطقه افزوده می‌شود. زلزله‌ها که در واقع تخلیه ناگهانی انرژی پتانسیل انباشته در پوسته زمین هستند، در اثر حرکت توده‌های سنگ و برخورد آنها، ارتعاشاتی ایجاد می‌کنند که به شکل موج‌های زلزله تا مناطق دوردست گسترده می‌شوند.

۲ـ۲ـ کانون زلزله و مرکز زلزله

محلی را در داخل زمین که زلزله از آنجا ایجاد می‌شود کانون[1] یا مرکزدرونی[2] و نقطه واقع در سطح‌زمین و در امتداد قائم‌کانون را مرکز[3] یا مرکزسطحی[3] و یا رومرکز[3] می‌نامند (شکل ۱). در شکل ۱، عمق یا ژرفای کانونی[4] نیز مشخص شده‌است. با بررسی زلزله‌هایی که در گذشته روی داده‌اند، ملاحظه شده‌است که حدود ۹۰٪ زمین لرزه‌ها، دارای ژرفای کانونی

1 - Focus
2 - Hypocenter
3 - Epicenter
4 - Focal depth



شکل ۱ـ کانون و مرکز زلزله

حدود صفر تا ۷۰ کیلومتر بوده‌اند. این زمین‌لرزه‌ها به زلزله‌های *عادی* یا *کم‌عمق* موسومند و حدود ۷۵٪ انرژی کل لرزه‌ای انباشته شده در پوسته زمین را رها می‌سازند و معمولاً اثرات تخریبی زیادی در سطح زمین باقی می‌گذارند. علاوه بر زلزله‌های عادی، زلزله‌هایی که ژرفای کانونی آنها بین ۷۰ تا ۳۵۰ کیلومتر متغیر است به زلزله‌های *متوسط* و زمین لرزه‌های نادری که عمق کانونی آنها بین ۳۵۰ تا ۷۰۰ کیلومتر متغیر است به زلزله‌های *عمیق* مشهورند. با فرض انرژی آزاد شده یکسان، شدت زلزله‌های متوسط و عمیق در سطح زمین بسیار کمتر از زلزله‌های عادی است. برخی زلزله‌های قوی با ژرفای کانونی عمیق را جز به کمک لرزه‌نگار[1]های حساس نمی‌توان احساس کرد.

باتوجه به موقعیت مرکز زلزله در شکل ۱، انتظار آن است که شدیدترین خرابی ناشی از

1 - Seismograph

زلزله در اطراف رومرکز به وقوع بپیوندد و هر قدر از مرکز دور شویم، صدمات وارد بر سازه‌ها کمتر شود. گرچه عمدتاً چنین توزیعی در شدت خرابی‌ها موجود است ولی از آنجا که محاسبه و تعیین مرکز زلزله با دقت خیلی زیادی نمی‌تواند صورت بگیرد و از طرفی عوامل دیگری نظیر جنس زمین، کیفیت ساخت و سازها و خصوصاً پریودهای طبیعی نوسان ساختمان‌ها در ایجاد خرابی موثرند، چه بسا در محلی که به عنوان مرکز زلزله محاسبه و معرفی شده‌است، خرابی کمتر از نقاط دیگر باشد.

در تعاریفی که از کانون و مرکز زلزله به عمل آمد، یک نکته مهم را نباید از نظر دور داشت و آن توجه به این مسئله است که رها شدن انرژی لرزه‌ای یک پدیدهٔ نقطه‌ای و لحظه‌ای نیست، بلکه پدیده‌ای است که توده‌های خاک را متاثر می‌کند که در داخل آنها، گسیختگی‌های منتهی به تعادل همزمان نیستند و از این روست که گسیختگی می‌تواند کیلومترهای طولانی از گسلی را متاثر بکند. نخستین گسیختگی در داخل زمین نیز الزاماً بیشترین انرژی را رها نمی‌سازد، بلکه شکست‌های بعدی و در مواردی انباشت گسیختگی‌هاست که منتج به آزادسازی نهایی انرژی می‌شود و هم از این روست که در مواردی دستگاه‌های اندازه‌گیری نمی‌توانند مبدا زلزله را به دقت تعیین بکنند.

۲-۳- پیش لرزه و پس لرزه

گاهی اوقات پیش از وقوع زلزله اصلی، یک سری زلزله‌های کوچک از مدت‌ها قبل در منطقه روی می‌دهد که آنها را پیش‌لرزه[1] می‌نامند. معمولاً فراوانی پیش‌لرزه‌ها با نزدیک شدن به زمان وقوع لرزش اصلی، افزایش می‌یابد. پیش‌لرزه‌ها تا حدودی انرژی‌های ذخیره شده را رها می‌سازند و از میزان انرژی که به وسیله زلزله اصلی آزاد می‌شود، می‌کاهند. تشخیص این مطلب که این‌گونه زمین‌لرزه‌ها پیش درآمد زلزله بزرگی هستند یا مستقل از آن، قبل از وقوع زلزله بزرگ میسر نیست؛ بنابراین وقوع این قبیل زلزله‌ها فقط نشانگر فعال بودن منطقه می‌باشد.

---

1 - Foreshock

از آنچه گفته شد نباید نتیجه گرفت که وقوع زلزله بزرگ حتماً با یک یا چند پیش‌لرزه همراه است، چه بسا زلزله‌ای بسیار شدید در منطقه‌ای حادث شود بدون آنکه قبلاً اثری از وقوع زلزله در آن ناحیه موجود باشد. مثال بارز این موضوع، زلزله ۲۵ شهریورماه ۱۳۵۷ طبس است که فاقد پیش‌لرزهٔ ثبت شده یا محسوس بود.

زلزله‌های خفیفی که غالباً پس از لرزش اصلی از حوالی کانون زلزله منشا می‌گیرند به پس‌لرزه[1] موسومند که فراوانی آنها همچنانکه قدرت و بزرگی آنها با گذشت زمان کاهش می‌یابد. پس‌لرزه‌ها می‌توانند حتی تا سال‌های بعد از وقوع زلزله اصلی ادامه داشته‌باشند. گاه اتفاق می‌افتد که در بین پس‌لرزه‌ها نیز زلزله‌ای بالنسبه قوی موجود باشد که مجدداً موجب ویرانی شود. نمونهٔ تاسف بار این نوع پس‌لرزه، زمین‌لرزه‌ای است که در روز دهم شهریور ۱۳۴۷ به فاصله زمانی کمتر از بیست ساعت و نیم پس از وقوع زلزله مخرب کاخک و دشت بیاض روی داد و در اثر آن شهر آسیب دیده فردوس بکلی ویران شد.

۳ـ امواج زلزله

امواج زلزله از محل کانون منتشر شده و به تبع ناهمگونی خاک، جابجایی‌های پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی در سطح زمین ایجاد می‌کنند. امواج زلزله به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۳ـ۱ـ امواج حجمی[2] یا درونی[2]

این امواج پس از ایجاد در کانون زلزله، در تمام جهات منتشر می‌شوند، از این رو به امواج آزاد[3] نیز موسومند. امواج حجمی خود به دو نوع موج تفکیک می‌شوند:

۱ـ **موج P[4] یا موج طولی**[5]: این موج با سرعت ۷ تا ۸ کیلومتر در ثانیه همراه با تغییر حجم (انقباض و انبساط متناوب) انتشار می‌یابد. موج P از تمامی محیط‌ها (جامد، مایع

---

1 - Aftershock
2 - Body wave
3 - Free wave
4 - P wave
5 - Longitudinal wave

و گاز) عبور می‌کند و اولین موجی است که توسط گیرنده‌های زلزله ثبت می‌شود، از این رو به موج اولیه[1] نیز موسوم است. عملکرد این موج در هنگام زلزله، ایجاد صدا، تکان دادن درب‌ها و پنجره‌هاست.

۲ـ موج S[2] یا موج عرضی[3]: این موج با سرعت ۴ تا ۵ کیلومتر در ثانیه همراه با پیچشی در صفحهٔ عمود بر جهت انتشار خود حرکت کرده و ایجاد برش بدون تغییر حجم در ذرات خاک می‌کند. موج عرضی برخلاف موج طولی نمی‌تواند در محیط‌های مایع یا گازی منتشر شود، چراکه محیط‌های مزبور قابلیت انتقال تلاش‌های برشی را ندارند. موج عرضی دومین موجی است که توسط گیرنده‌های زلزله ثبت می‌شود، از این‌رو به موج ثانویه[4] نیز موسوم است. عملکرد این موج در هنگام زلزله، تکان دادن و لرزاندن بناها و سازه‌ها است.

۳ـ۲ـ امواج سطحی[5] یا بلند[6]:

این امواج در اثر برخورد امواج حجمی با سطح زمین یا با سطوح انفصال موجود در اعماق زمین ایجاد می‌شوند و سپس در سطح زمین یا در عمق بسیار کمی از آن و یا در سطوح ناپیوستگی زیرزمین و یا حتی سطح آب منتشر می‌شوند. سرعت انتشار امواج سطحی معادل ۱٫۵ تا ۵ کیلومتر در ثانیه برای زمین‌های سنگی و متراکم و ۰٫۵ تا ۱٫۵ کیلومتر در ثانیه برای زمین‌های نرم و سست می‌باشد. امواج سطحی عمده عبارتند از:

۱ـ موج Q[7] یا موج لاو[8]: در حین انتشار این نوع موج، نقاط مشخصی از خاک در صفحه‌ای مماس بر سطح و عمود بر جهت انتشار جابجا می‌شوند. موج لاو، فاقد مولفه قائم است، از این رو به صورت لرزه نگاشت[9]های افقی ثبت می‌گردد. موج لاو فقط تنش برشی ایجاد می‌کند و تنها از محیط‌های جامد می‌گذرد، لذا نقش مهمی در تخریب بناها و مستحدثات روی زمین دارد. سرعت موج لاو حدوداً با سرعت موج S برابر است ولی

---

1 - Primary wave
2 - S wave
3 - Transverse wave
4 - Secondary wave
5 - Surface wave
6 - Long wave
7 - Q wave
8 - Love wave
9 - Seismogram

به دلیل نوع حرکت دیرتر از موج S به ایستگاه لرزه‌نگاری می‌رسد.

۲ـ موج R[1] یا موج ریله[2]: در هنگام انتشار این موج، نقاط مشخصی از خاک، بیضی‌هایی را در صفحه عمود بر جهت انتشار موج رسم می‌کنند. این حرکت شبیه حرکت چین‌و شکن‌های سطح آب بوده و ایجاد فشار یا کشش و نیز برش در خاک می‌کند. موج ریله دارای دو مولفه افقی و قائم است و به صورت دو نوع لرزه‌نگاشت افقی و قائم ثبت می‌گردد. خروج ریشه درختان از خاک را می‌توان از مظاهر عملکرد این موج دانست. موج ریله دارای طول موج بلندی است و سرعتش کمتر از ۹۲ر۰ برابر سرعت موج S می‌باشد و چهارمین موجی است که توسط لرزه‌نگارها ثبت می‌شود.

شکل ۲، نحوه انتشار چهار نوع موج پیش گفته و شکل ۳ ثبت امواج را به صورت لرزه‌نگاشت نشان می‌دهند.

سرعت امواج P و S بستگی به جرم مخصوص (تراکم) و خواص ارتجاعی صخره‌ها و خاک‌های محل گذر موج‌ها دارد. در صورتی که خاک محیطی همگن و ارتجاعی فرض شود به کمک تئوری ارتجاعی، سرعت امواج P و S به شکل روابط زیر قابل محاسبه‌اند:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \qquad (۱)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad (۲)$$

در این روابط E ضریب ارتجاعی طولی، ν ضریب پواسون و ρ جرم حجمی خاک است. λ و G به ثابت‌های لامه موسوم و برابرند با:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)\ (1+\nu)} \qquad (۳)$$

$$G = \frac{E}{2\ (1+\nu)} \qquad (۴)$$

---

1 - R wave

2 - Rayleigh wave

نسبت سرعت امواج P و S باتوجه به روابط ۳ و ۴ برابر است با:

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2\ (1-\nu)}{1-2\nu}} \qquad (۵)$$

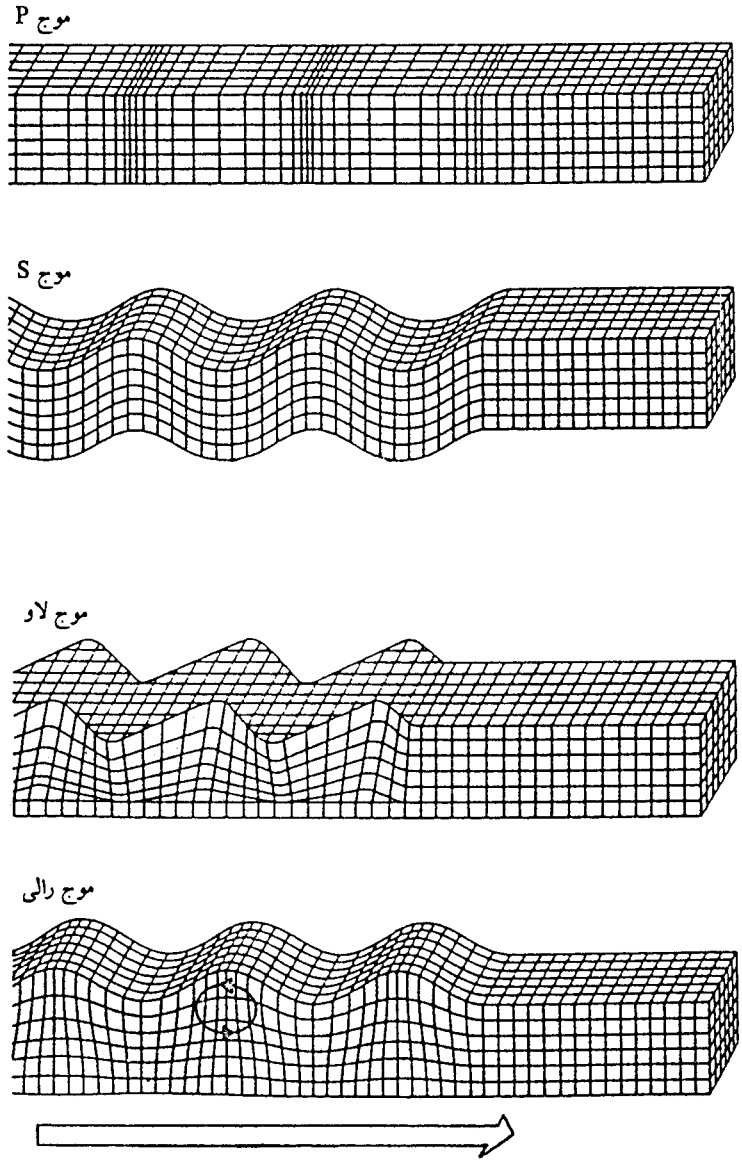
ملاحظه می‌شود که نسبت سرعت امواج P و S به مقدار ضریب پواسون خاک بستگی دارد. با فرض ۰ = ν و ۰٫۲۵ = ν این نسبت در محدودهٔ ۱٫۴۱ تا ۱٫۷۳ متغیر است.

بااستفاده از اختلاف انتشار امواج مختلف می‌توان محل مرکز زلزله را مشخص نمود. باتوجه به شکل ۳، در صورتی که زمان رسیدن موج P به ایستگاه لرزه‌نگاری t_p و زمان رسیدن موج S به همان ایستگاه t_s باشد، فاصله مرکز زلزله تا ایستگاه لرزه‌نگاری برابر است با:

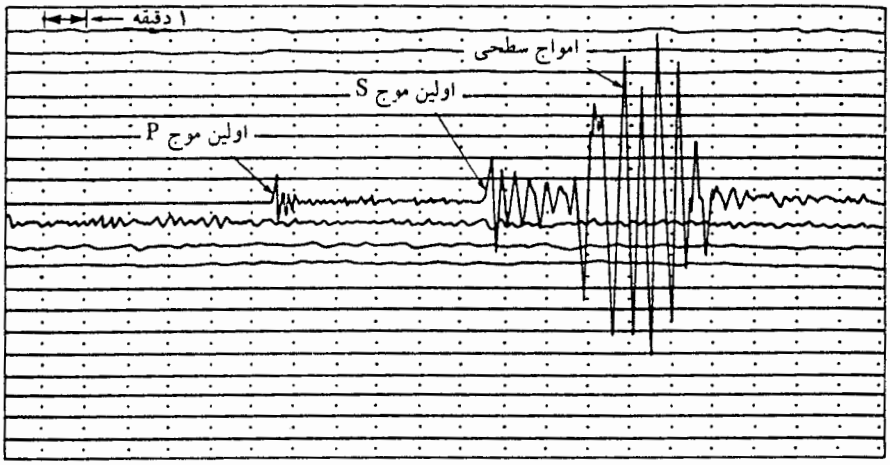
$$d = \frac{t_s - t_p}{(1/V_s) - (1/V_p)} = \frac{\Delta t_{sp}}{(1/V_s) - (1/V_p)} \qquad (۶)$$

چنین محاسبه‌ای از یک ایستگاه به تنهایی نمی‌تواند مرکز زلزله را دقیقاً مشخص بکند، لیکن با استفاده از ثبت همزمان لرزه به توسط حداقل ۳ ایستگاه لرزه‌نگاری می‌توان موقعیت مرکز زلزله را به دست آورد. در هر حال تعیین دقیق مرکز زلزله بستگی به دقتی دارد که با آن سرعت‌های Vp و Vs مشخص می‌شوند، به عبارت دیگر وابسته به سرشت و مشخصات محیط‌هایی است که امواج زلزله درنوردیده‌اند. موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری نیز روی دقت تعیین مرکز زلزله موثرند. در صورتی که ایستگاه‌ها بسیار نزدیک هم باشند و یا حدوداً در یک راستای مستقیم قرار داشته‌باشند، نتایج حاصل از محاسبات مرکز زلزله چندان دقیق نخواهند بود.

نکته آخری که در مورد امواج زلزله باید به خاطر سپرد این است که هنگام برخورد یک جبهه از امواج حجمی با محل جدایی دو قشر خاک با مشخصات متفاوت، یک موج در محل برخورد منعکس شده و به عقب و به محیط اول برمی‌گردد و موج دیگر منکسر شده و در محیط دوم پخش می‌گردد (شکل ۱). طبیعت امواج P یا S می‌تواند پس از انعکاس یا انکسار



شکل ۲ـ نحوه انتشار امواج زلزله

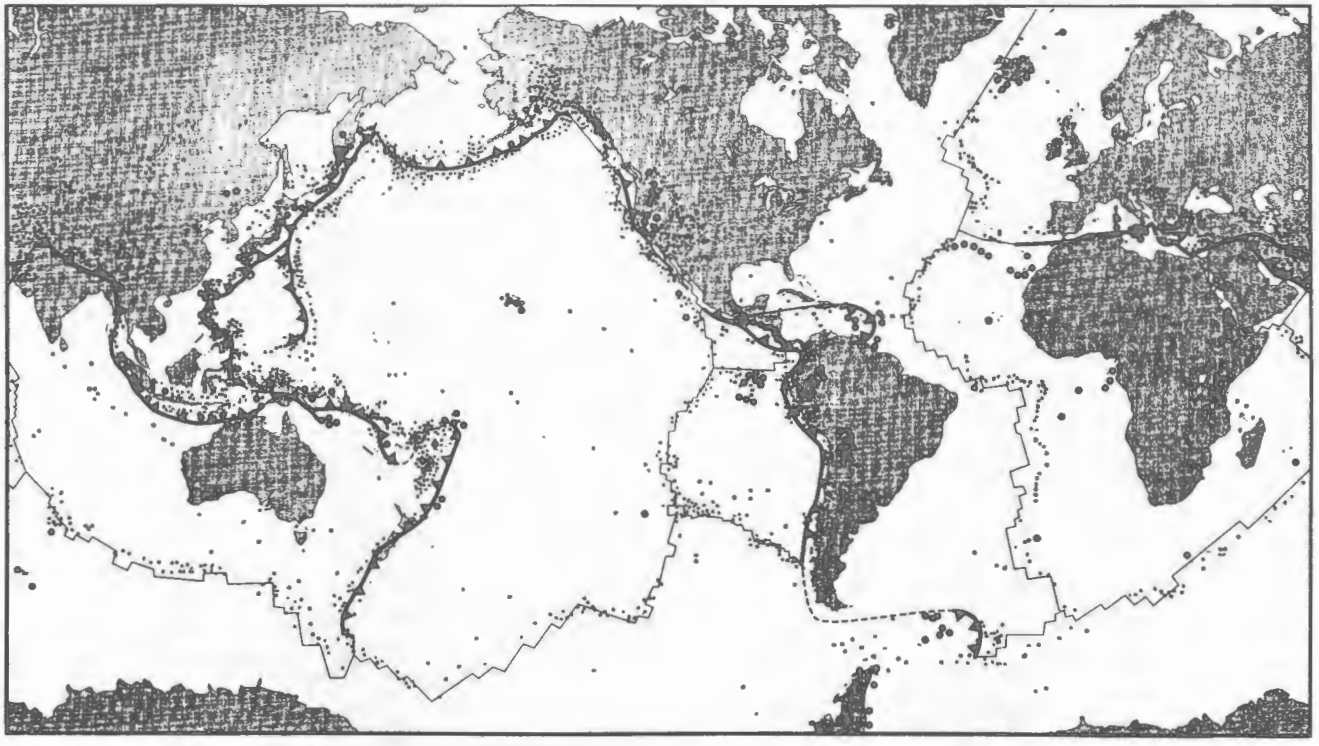


شکل ۳ـ نگاشت زلزله

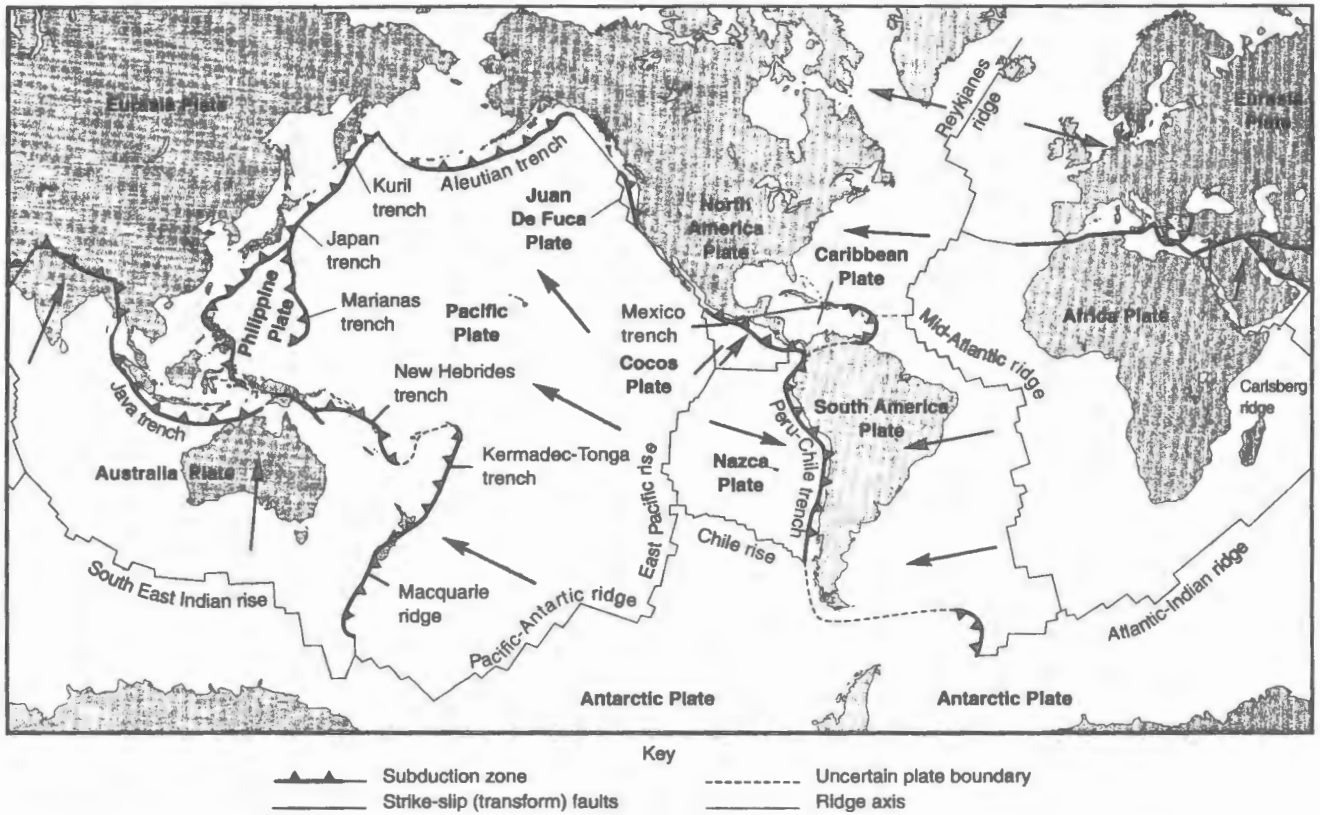
تغییر یابد؛ برای مثال یک موج P می‌تواند موجب زایش دو موج انعکاسی و یا دو موج انکساری از نوع P و S شود. هنگام پخش موج زلزله، در سطح جدایی دو محیط متفاوت، همواره پدیده انکسار و گذر از یک نوع موج به نوع دیگری از موج موجود است و لذا نشانه یا سیگنالی که در سطح زمین از زلزله دریافت می‌شود حالت اتفاقی دارد.

۴ـ توزیع جغرافیایی زمین‌لرزه‌ها و نظریه تکتونیک صفحه‌ای

شکل ۴ توزیع جغرافیایی مراکز سطحی زلزله‌های دنیا را نشان می‌دهد. در چنین ترسیمه‌هایی زلزله‌هایی با بزرگی مشخص که در مدت زمان معینی حادث شده‌اند، منعکس می‌شوند. با دقت در این نقشه، ملاحظه می‌شود اکثر زلزله‌ها در امتداد سه منطقه یا کمربند اصلی رخ می‌دهند که ویژگی دیگر آنها وجود آتشفشان‌های فعال است. این کمربندها



شکل ۴ـ فعالیت لرزه‌ای در جهان . نقطه‌ها معرف مراکز زلزله‌های مهم می‌باشند. موقعیت بسیاری از زلزله‌ها با مرز بین صفحات منطبق است.



شکل ۵ـ صفحات تکتونیک اصلی، پشته‌های میانی اقیانوسی، خندق‌ها و گسل‌های انتقالی. بردارها جهت حرکت صفحات را نشان می‌دهند.

عبارتند از:

۱ـ کمربند حاشیه *اقیانوس آرام*[1] : این همان حلقه آتش[2] است که در یک کمربند زلزله‌خیز چهل هزار کیلومتری فعالیت داشته و سواحل غربی امریکای شمالی و جنوبی را به آتش می‌کشد و از آنجا به آلاسکا، مجمع‌الجزایر آلوشن، ژاپن و چین و سپس به سوی فیلیپین، اندونزی، استرالیا و زلاندنو سرازیر می‌شود. زلزله‌هایی که در این کمربند به وقوع می‌پیوندند، ۸۰٪ مقدار کل انرژی آزاد شده به وسیله زمین‌لرزه‌های سراسر دنیا را به خود اختصاص می‌دهند.

۲ـ کمربند *آلپ ـ هیمالیا*[3] **یا *آلپاید***[4] : این کمربند از شرق آسیا شروع شده و پس از عبور از اندونزی، میانمار (برمه سابق)، شمال هند، پاکستان، افغانستان، ایران و ترکیه تا دریای مدیترانه و جنوب غرب اروپا ادامه دارد. ۱۵٪ دیگر از کل انرژی آزاد شده توسط زمین‌لرزه‌ها دراین کمربند اتفاق می‌افتد.

۳ـ کمربند پشته *میانی اقیانوس اطلس*[5] : ۵٪ باقیمانده از کل انرژی آزاد شده به نواحی پشته‌های اقیانوسی و مناطقی که هر از چند گاهی به صورت پراکنده دچار زلزله‌های کم‌عمق می‌شوند، اختصاص می‌یابد.

در شکل ۵، صفحات تکتونیکی و جهت حرکت آنها نشان داده شده‌است. مقایسه این شکل با نقشه لرزه‌خیزی جهان (شکل ۴)، نظریه حرکت صفحات زمین‌ساختی[6] را تقویت می‌کند. مطابق این نظریه، خارجی‌ترین لایه کرهٔ زمین لیتوسفر[7] یا سنگ کره[7] که سخت و شکننده بوده و حدوداً ۸۰ کیلومتر ضخامت دارد برروی لایه‌ای نرم و مذاب موسوم به استنوسفر[8] یا مذاب‌کره[8] قرار گرفته است. لیتوسفر از تعدادی صفحات بزرگ و کوچک جدا از هم تشکیل شده که به آرامی در حرکتند و با یکدیگر درگیر هستند. مرزهای برخورد این صفحات محل تشکیل فرآیندهای درونی زمین نظیر آتشفشان، زمین‌لرزه و کوهزایی است. **رخداد زلزله در**

---

1 - Circum-pacific belt
2 - Fire belt
3 - Alpine-Hymalayan belt
4 - Alpide belt
5 - Mid-Atlantic ridge
6 - Plate tectonics
7 - Lithosphere
8 - Asthenosphere

مرزهای این صفحات پدیده‌ای کاملاً شناخته شده‌است، اگرچه نواحی‌لرزه‌خیز و فعال بسیاری نیز در داخل صفحات و دور از مرزهای اصلی وجوددارند.

برحسب نوع حرکت نسبی موجود بین صفحات، چهار نوع مرز تشخیص داده شده‌است:

۱ـ ***مرزهای واگرا*** [1] ***یا دورشونده*** [1]: در این مرزها دو صفحه از هم دورشده و بین آنها پوسته جدیدی ایجاد می‌شود.

۲ـ ***مرزهای همگرا*** [2] ***یا نزدیک شونده*** [2] ***و یا فرورانشی*** [3]: در این نوع مرز، یکی از صفحات به زیر دیگری رانده می‌شود.

۳ـ ***مرزهای برخورد*** [4]: دراین مرزها، صفحات به‌دلیل ضخامت زیاد یا سبکی نمی‌توانند به زیر هم رانده شوند از این رو به همدیگر فشرده‌شده و موجب کوهزایی می‌شوند.

۴ـ ***مرزهای حفظ شونده*** [5] ***یا ماندگار*** [5]: در این نوع مرز صفحات نسبت به یکدیگر می‌لغزند و طی این فرآیند معمولاً نه پوسته جدیدی ایجاد و نه پوسته‌ای منهدم می‌شود. در صورتی که امتداد این نوع حرکت گسلی مستقیم باشد همان‌طور که گفته شد حرکت بدون تخریب یا سازندگی صورت خواهد پذیرفت و در صورتی که امتداد گسل دارای انحنا باشد در طول آن با مناطق فشاری و کششی و به عبارتی با حوضه‌های کششی ـ جدایشی [6] مواجه خواهیم شد.

۵ـ گسل‌ها و حرکات گسلی

نظریه تکتونیک صفحه‌ای بطور عام تصویر مناسبی از توزیع کانون‌های زلزله به دست می‌دهد، لیکن لرزه‌خیزی یک ساختگاه در جزئیات آن بطور تنگاتنگ با تکتونیک محلی مربوط است. ملاحظه شده‌است که اکثر زلزله‌های کم عمق یا متوسط در ارتباط با وجود و حضور گسلی فعال در منطقه به وقوع پیوسته‌اند که گاهی حتی تظاهرات مختلف گسل در سطح زمین قابل مشاهده است. برای نمونه لرزه‌خیزی کالیفرنیا به لغزش نسبی صفحه آرام و

---

1 - Divergent zone
2 - Convergent zone
3 - Subduction zone
4 - Collision zone
5 - Conservative zone
6 - Pull-apart basin

صفحه امریکای شمالی وابسته است. لغزش این صفحات تظاهرات خود را در راستای یک سیستم گسلی نشان می‌دهد که مهمترین بخش آن گسل سان آندریاس[1] است (شکل ۶).

شکل ۶ـ گسیختگی‌های اصلی گسل سن‌آندریاس

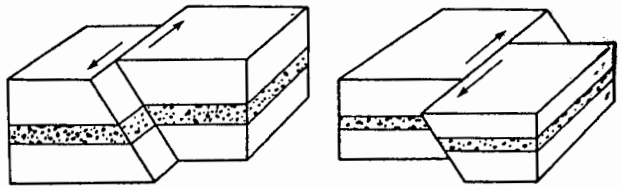
گسل‌ها را از نظر شکل لغزش و جابجایی کلاً به صورت زیر تقسیم بندی کرده‌اند (شکل ۷):

۱ـ *گسل امتداد لغز*[2] *یا راستالغز*[2]: حرکت در طول یک صفحه گسیختگی تقریباً قائم به صورت لغزش جانبی صورت می‌گیرد. حرکت این نوع گسل‌ها می‌تواند به طرف راست یا سمت چپ باشد که در این حالات به ترتیب عناوین راست‌لغز[3] و یا چپ‌لغز[4] به آنها افزوده می‌شود.

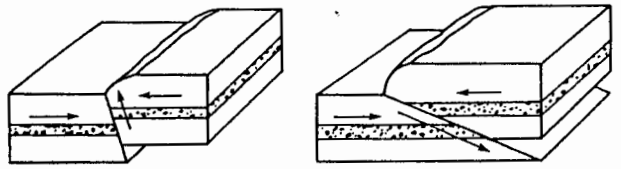
---

1 - San Andreas Fault
2 - Strike - slip fault
3 - Right lateral fault
4 - Left lateral fault

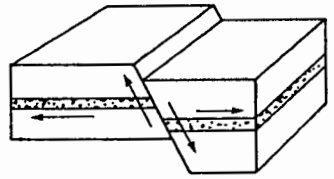
۲ـ گسل عادی[1] یا بهنجار[1]: در این نوع گسل، صخره‌های دو طرف خط گسیختگی تمایل به جداشدن از یکدیگر داشته و ایجاد کشش در گسل می‌کنند. از این رو این نوع گسل را گسل کششی[2] نیز می‌نامند. وقتی که کشش برای ایجاد گسیختگی کافی باشد، یک قطعه نسبت به قطعه دیگر به طرف پایین حرکت می‌کند.



الف) گسل راستا لغز



ب) گسل معکوس



ج) گسل عادی (بهنجار)

شکل ۷ـ انواع گسل‌ها

1 - Normal fault
2 - Extensional fault

۳ـ گسل فشاری[1] یا معکوس[2]: در این نوع گسل، صخره‌های دو طرف خط شکستگی تمایل به فشردن یکدیگر دارند و در گسل ایجاد فشار می‌کنند. هنگامی که فشار برای ایجاد گسیختگی کافی باشد، یک قطعه نسبت به قطعه دیگر به طرف بالا حرکت می‌کند. گسل معکوس باتوجه به میزان‌لغزش و زاویه لغزش می‌تواند زیرراننده[3] یا رورانده[4] باشد.

در عمل، گسل‌ها مجموعه‌ای از حرکت‌های فوق الذکر را انجام می‌دهند، برای نمونه گسلی می‌تواند از نوع عادی راستالغز یا معکوس امتدادلغز باشد. ضروری است در مورد گسل‌ها و نحوه فعالیت آنها چند نکته زیر مدنظر باشد:

۱ـ گسل‌ها بر دو نوعند: *فعال یا غیرفعال*. گسل‌ها به وفور در پوسته زمین پراکنده‌اند. اکثر آنها نتیجهٔ فعالیت‌های زمین ساختی دیرین هستند و یا در آستانه دوران جدید زمین‌شناسی ایجاد شده‌اند. به رغم آنکه سازندهای دیرین زمین‌شناسی می‌توانند مجدداً فعال شوند، لیکن چنین گسل هایی را عملاً مرده[5] تلقی می‌کنند. در هر حال ضروری است فعال بودن گسل از نقطه نظر ژئومورفولوژی یا لرزه خیزی محقق گردد. تکتونیک دیرین را نمی‌توان به عنوان سرنخ یا سررشته فعالیت‌های جدید زمین‌شناسی به کار برد.

۲ـ *یک گسل می‌تواند بدون ایجاد زلزله، فعال باشد*. گسل‌ها می‌توانند حرکت بکنند ولی در صورتی که تنش ناشی از حرکت و تغییر مکان آنها کم باشد، حرکت آنها بیشتر شکل خزش[6] یا وارفتگی[6] را خواهد داشت. این امر را می‌توان به عمق کم یا سطحی بودن گسل نسبت داد. دلیل احتمالی دیگر وجود مواد نرم در سازند تکتونیکی محل است که تغییر شکل گسل را به حالت خمیری درمی‌آورد. نبود اصطکاک یا ناهمواری در محل گسلش نیز این امکان را فراهم می‌سازد که رهاسازی انرژی حالتی پایدار[7] داشته باشد. از این رو در صحبت از گسل‌های فعال باید لرزه زا یا غیرلرزه‌زا بودن آنها مشخص

---

1 - Thrust fault
2 - Reverse fault
3 - Under-thrust fault
4 - Over-thrust fault
5 - Dead fault
6 - Creep
7 - Steady energy release

شود. در ادبیات فنی انگلیسی، گسل فعال لرزه زا را گسل توانمند[1] یا گسل مستعد[1] نیز می‌نامند.

۳ـ *برای آنکه گسل‌های فعال از انرژی تنجشی لازم برای ایجاد زلزله‌ای قوی که سازه‌های مهندسی را تحت تاثیر قرار بدهد برخوردار شوند، ضرورتاً باید تا اعماق بستر سنگی گسترده شوند.* ژرفای کانونی ۷ تا ۲۰ کیلومتر که مشخصه غالب ریزلرزه‌ها[2] است ($M \leq ۳٫۵$)، می‌تواند منشا زلزله‌های بزرگ نیز ($M \geq ۶$) باشد. ریزلرزه‌های با ژرفای کانونی ۱ تا ۳ کیلومتر قادر نیستند زلزله‌ای با شدت $M = ۶$ ایجاد کنند. شدت $M = ۶$ را **معمولاً** به عنوان آستانه‌ای که زلزله‌ای با گذر از آن می‌تواند به سازه‌های مهندسی آسیب برساند، انتخاب می‌کنند.

۴ـ *تعداد و مشخصات گسل‌های موجود برای ایجاد زلزله‌های گوناگون کافی است.* به عبارتی دیگر انتظار تولید و ظهور گسل کاملاً جدید در طی هر زلزله امری تضمین نشده‌است.

۵ـ *گسیختگی‌های زمین در حین زلزله در سطوحی عمیق اتفاق می‌افتند و شکست اصلی معمولاً در سطح زمین قابل رؤیت نیست.* چنین رفتاری از گسل‌ها تقریباً عمومیت دارد؛ اغلب زلزله‌های بخش شرقی و مرکزی ایالات متحده امریکا و نیز زلزله‌های مهم در کناره‌های صفحات تکتونیکی چنین مشخصه‌ای دارند.

۶ـ *لرزه‌زایی یک گسل فعال را باید باتوجه به سابقهٔ حرکات آن ارزیابی و قضاوت کرد.* زمین‌ریخت‌شناسی[3] و ژرفای گسل و سوابق زلزله‌های قبلی جزو نشانه‌هایی هستند که لرزه‌زایی یک گسل را مشخص می‌کنند. اگر گسلی در دوران جدید زمین‌شناسی حرکت کرده‌باشد، پتانسیل جنبش مجدد را داراست؛ در صورتی که حرکت گسل در زمان‌های دیرین زمین‌شناسی اتفاق افتاده باشد و در دوران اخیر فعالیتی نداشته باشد، چنین گسلی را می‌توان جزو گسل‌های مرده محسوب کرد.

۷ـ *نشانه‌های زمین ریخت شناسانهٔ حرکت گسل همواره مشخص نیست.* معمولاً گسلی را که بستر آبرفتی یا توده‌های شنی سطحی را قطع بکند، گسل فعال به حساب می‌آورند.

---

1 - Capable fault
2 - Microearthquake
3 - Geomorphology

در صورتی که لرزه‌خیزی منطقه به دوران جدید زمین‌شناسی مربوط باشد، گسل **فعال** در منطقه را می‌توان از نوع لرزه‌زا ارزیابی کرد و اگر لرزه‌خیزی منطقه مشخص نباشد، گسل فعال موجود در منطقه را نمی‌توان تنها عامل موجد زلزله به شمار آورد.

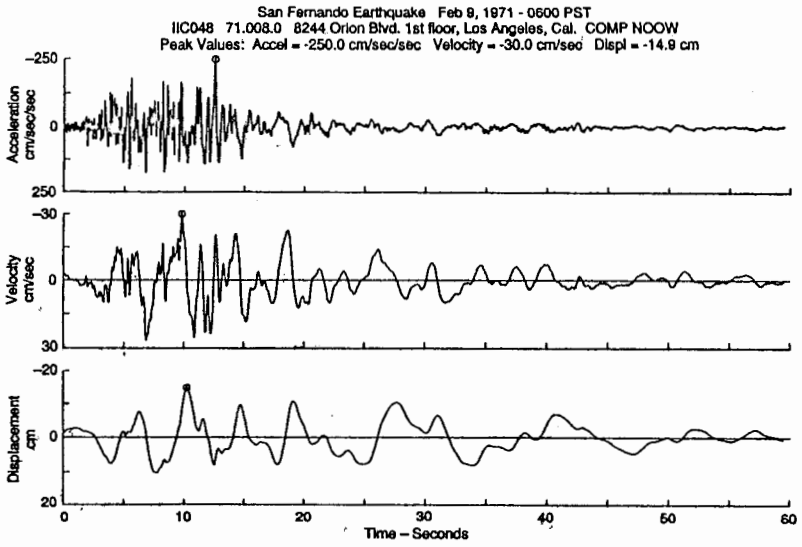
۸ـ بزرگی و پتانسیل زلزله‌ای که یک گسل توانمند موجد آن است مرتبط با اندازه گسل می‌باشد. به عبارت دیگر، گسل‌های کوچک زلزله‌های خفیف تولید می‌کنند و گسل‌های بزرگ زلزله‌های شدید. برای مثال نباید وقوع زلزله‌ای مشابه زمین لرزهٔ سال ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو را در منطقه‌ای نظیر آلاباما انتظار داشت، چراکه گسل سان آندریاس در آن منطقه وجود ندارد.

۹ـ گسل‌های توانمند بزرگ زلزله‌ای متناسب با اندازهٔ خود را تولید می‌کنند. گسل‌ها دارای ناهمواری و زبری‌های بسیاری هستند و برای آنکه امکان حرکت آنها فراهم آید می‌باید تحت اثر برخی درگیری و کنش‌های اصطکاکی قرار گیرند تا به سطح خاصی از تنش‌ها برسند. از این رو، هر گسلی تمایل به آن دارد که زلزله‌ای را ایجاد کند که مشخصه آن گسل است. بیشینه پتانسیل هرگسل را می‌توان از گسیختگی‌ها پیشین آن ارزیابی کرد.

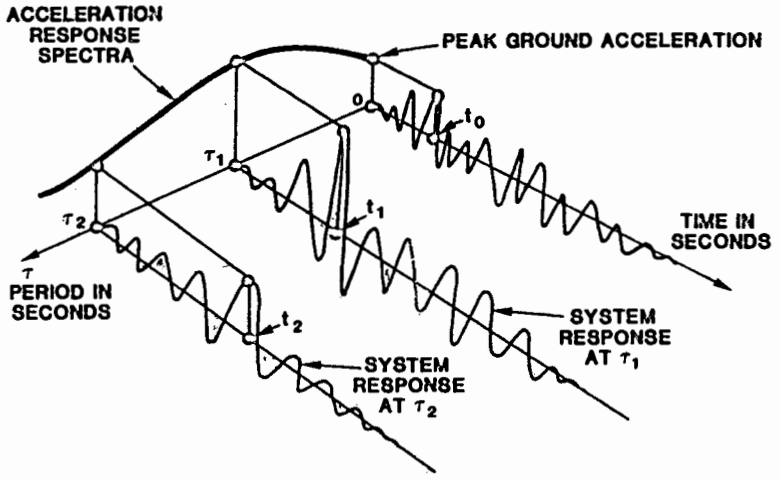
۱۰ـ یک گسل طویل نظیر گسل سان‌آندریاس در کالیفرنیا، در یک زمان مشخص در راستای تمامی طول خود حرکت نمی‌کند. حرکت گسل معمولاً توسط چندین قطعه مختلف گسل انجام می‌گیرد. هر پاره گسل در یک زمان خاص، متفاوت از دیگری به جنبش درمی‌آید. یک پاره گسل ساکن، در صورتی که سایر پاره گسل‌ها جنبیده باشند همواره در معرض حرکت است. طول چنین پاره گسلی را می‌توان باتوجه به نشانه‌های زمین‌ریخت‌شناسی چنبش‌های قبلی مشخص نمود.

۱۱ـ گسل‌های کوتاه و ناپیوسته و اغلب ان ـ اشلان[1] احتمالاً در عمق زمین پیوسته هستند ولی ظاهر آنها در سطح به خاطر پوشش با نهشته‌های رویی، تغییر یافته‌است. طول ارزیابی شده مجموعه گسل هایی از این دست غالباً کمتر از طول واقعی آنهاست. چنین گسل‌هایی نیز در قطعات مختلف حرکت می‌کنند. هر پاره گسل نیز مجموعه‌ای از گسل‌های کوچکتر است. تشخیص طول گسله‌ها باتوجه به پیوستگی نشانه‌های

1 - En-echelon



شکل ۸ـ شتاب نگاشت اصلاح شده زلزله ۹ فوریه ۱۹۷۱ سان فرناندو، کالیفرنیا



شکل ۹ـ طیف بازتاب شتاب

زمین‌ریخت‌شناسی امکان‌پذیر است.

۱۲ـ *حتی در بهترین شرایط نیز نمی‌توان فرض کرد که تمامی گسل‌های موجود در یک منطقه مشخص شده‌اند.* ارزیابی لرزه‌خیزی یک منطقه بایستی به گونه‌ای انجام گیرد که فعالیت احتمالی گسل‌های ناشناخته، موجب شگفتی نشود. وقوع زمین لرزه‌هایی که تحت عنوان زلزله‌های شناور[1] مشهورند و قابل انتساب به فعالیت‌های شناخته شده زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیستند، گواه خوبی براین مدعاست.

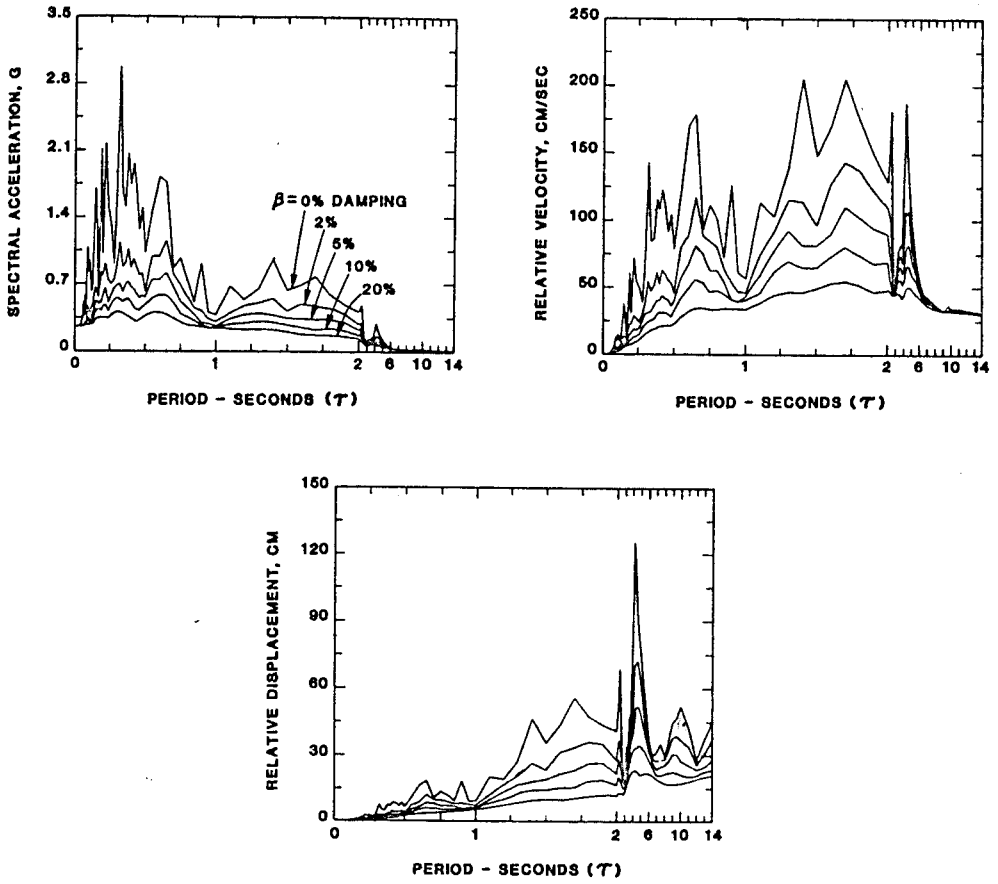
۶ـ حرکت زلزله در سطح زمین

شناخت طبیعت لرزه‌های ناشی از زمین‌لرزه و قوانین انتشار امواج، گام نخست در تعیین خطرات زلزله به شمار می‌رود. مسئله اصلی تعیین و تشخیص حرکات ناشی از زلزله در سطح زمین است. حرکات ثبت شده در حین زلزله، شتابنگاشتی[2] است که تغییرات شتاب زمین را برحسب زمان در جهتی مشخص، نشان می‌دهد. شتابنگاشت‌ها توسط دستگاه‌هایی موسوم به شتابنگار[3] ثبت می‌شوند. دستگاه شتابنگار دو مولفه جنبش افقی و یک مولفه تکان قائم را ثبت می‌کند. دستگاه‌ها ممکن است در فضای آزاد و یا روی المانی از یک سازه نصب گردند. از روی شتابنگاشت‌ها، مقدار شتاب اوج زمین[4] که پارامتر بسیار مهمی برای تعریف خطرات زلزله است، قرائت می‌شود.

شتابنگاشت‌ها معمولاً برروی کاغذ یا فیلم عکاسی ثبت می‌شوند. نگاشت‌ها برای کاربردهای مهندسی، رقمی[5] می‌شوند و طی این فرآیند، خطاهای وابسته به دستگاه (بازی جانبی فیلم یا کاغذ ثبات، پیچیدگی کاغذ، کشیدگی و تطویل نمودارها و غیره) و همچنین خطاهای وابسته به خود رقمی کردن حذف می‌شوند. بعلاوه، محور نامعلوم شتاب صفر تعیین و خطاهای کوچک در تعیین محور مبنا نیز حذف می‌شوند. شکل ۸، یک شتابنگاشت اصلاح شده و تاریخچه‌های زمانی سرعت و جابجایی را برای یکی از مولفه‌های زمین لرزه ۹ فوریه ۱۹۷۱ سان فرناندو ـ کالیفرنیا نشان می‌دهد.

---

1 - Floating earthquake
2 - Accelerogram
3 - Accelerograph
4 - Peak Ground Acceleration - PGA
5 - Digitize , Digitization



RESPONSE SPECTRA IIICO48 COMP NOOW
SAN FERNANDO EARTHQUAKE FEB 9, 1971 - 0600 PST
8244 ORION BLVD. 1ST FLOOR, LOS ANGELES, CAL.
DAMPING VALUES ARE 0, 2, 5, 10 AND 20 PERCENT OF CRITICAL

شکل ۱۰ـ طیف‌های بازتاب شتاب، سرعت و جابجایی زلزله ۹ فوریه ۱۹۷۱ سان‌فرناندو، کالیفرنیا

شتابنگاشت‌ها اساس تهیه طیف پاسخ[1] یا طیف بازتاب[1] به شمار می‌روند. ترسیمه‌ای که بیشینه پاسخ یک نوسانگر ساده[2] یا یک سیستم با یک درجه آزادی[3] را به تحریک یک زلزله به صورت تابعی از زمان تناوب یا فرکانس نشان دهد، طیف پاسخ نامیده می‌شود (شکل ۹). طیف‌های پاسخ شتاب، سرعت نسبی و جابجایی نسبی برای میرایی[4]های مختلف برای زلزله ۹ فوریه ۱۹۷۱ سان فرناندو در شکل ۱۰ آورده شده‌اند.

بررسی شتابنگاشت‌ها و تهیه طیف‌های مختلف و کاربرد آنها در مهندسی زلزله، یکی از مباحث بنیادین مهندسی زلزله به شمار می‌رود که پرداختن به آنها از حوصله این مقاله خارج است. خواننده علاقه‌مند بررسی تفصیلی این مباحث را در کتاب‌های زلزله‌شناسی مهندسی و مهندسی زلزله پیدا خواهدکرد.

۷ـ سنجش زلزله

دو نوع مقیاس برای سنجش زلزله به کار می‌رود که هر دو از پارامترهای اساسی و مهم به شمار می‌روند. شدت[5] زلزله مقیاسی کاملاً تجربی است و براساس ملاحظات و مشاهدات و تشریح کیفی اثرات زلزله برروی ساخت و سازها و محسوسات مردم و میزان خسارات ناشی از زمین لرزه‌ها بنیان نهاده شده‌است. در حالی که بزرگی[6] زلزله مقیاسی است دستگاهی و قابل اندازه‌گیری و ارتباطی با قضاوت افراد ندارد. در آنچه که درپی می‌آید، دربارهٔ ماهیت هریک از این مقیاس‌ها به تفصیل بحث خواهدشد.

۷ـ۱ـ شدت زمین‌لرزه و مقیاس‌های آن

قدیمی‌ترین معیار سودمند قدرت یک زمین‌لرزه شدت آن است. شدت معیاری از آسیب به ساخته‌های بشر، به سطح زمین و واکنش انسان به لرزش می‌باشد. ارزیابی‌های شدت زمین‌لرزه دستگاهی نیست، بلکه متکی بر مشاهدات عینی آثار آن در منطقهٔ شدید لرزه

---

1 - Response spectra
2 - Simple oscillator
3 - Single Degree Of Freedom - SDOF
4 - Damping
5 - Intensity
6 - Magnitude

می‌باشند، از این رو حتی به زمین‌لرزه‌های تاریخی نیز می‌توان شدت‌هایی منسوب کرد.

اولین مقیاس شدت توسط روسی[1] ایتالیایی و *فورل*[2] سوئیسی، در دهۀ ۱۸۸۰ تدوین شد. از این مقیاس با مقادیر از I تا X، در گزارش‌های زمین‌لرزه ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو استفاده شد. مقیاسی بسیار دقیق‌تر به سال ۱۹۰۲ توسط *مرکالی*[3]، آتشفشان ـ لرزه‌شناس ایتالیایی با یک حوزه ۱۲ درجه‌ای از I تا XII ابداع گردید. روایت اصلاح شده‌ای از آن تسوط *ه. اُ .وود*[4] و *فرانک نویمان*[5] برای تطبیق با شرایط کالیفرنیای ایالات متحده ارائه شده‌است.

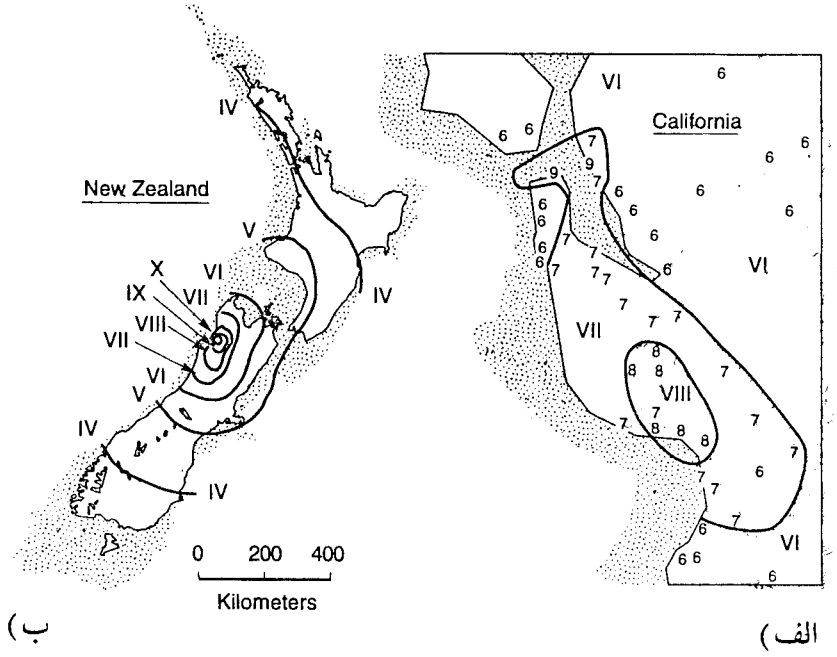
در نیمۀ اول قرن حاضر، مقیاس‌های گوناگون شدت توسط زلزله شناسان مورد بحث قرار گرفت که نهایتاً منجر به توافق بر روی مقیاسی موسوم به مقیاس بین‌المللی شدت *تکان قوی*[6] گردید که عملاً مشابه با مقیاس‌هایی است که تحت عناوین مقیاس *مرکالی اصلاح شده*[7] و یا مقیاس *مرکالی ـ کانکانی ـ سیبرک*[8] شناخته می‌شوند. مقیاس اخیر هنوز هم توسط قریب به اتفاق زلزله‌شناسان به کار می‌رود.

بااین حال مقیاس فوق‌الذکر جوابگوی تمامی نیازها نبود. زیرا از دقت لازم برخوردار نبوده و اثر رفتار سازه‌های ساخته شده دست بشر در آن ملحوظ نشده‌بود. از این رو تکمیل مقیاس مزبور ضروری تشخیص داده شد. یکی از اقدامات در این راستا، ارائۀ مقیاس MSK 1964 توسط *مدودف، اسپونور و کارنیک*[9] است که استفاده از آن با اعمال چند اصلاح به صور تجربی و به موازات مقیاس بین‌المللی شدت، توسط *اجلاس بین‌الدول* یونسکو دربارۀ زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در آوریل ۱۹۶۴ پذیرفته شد.

---

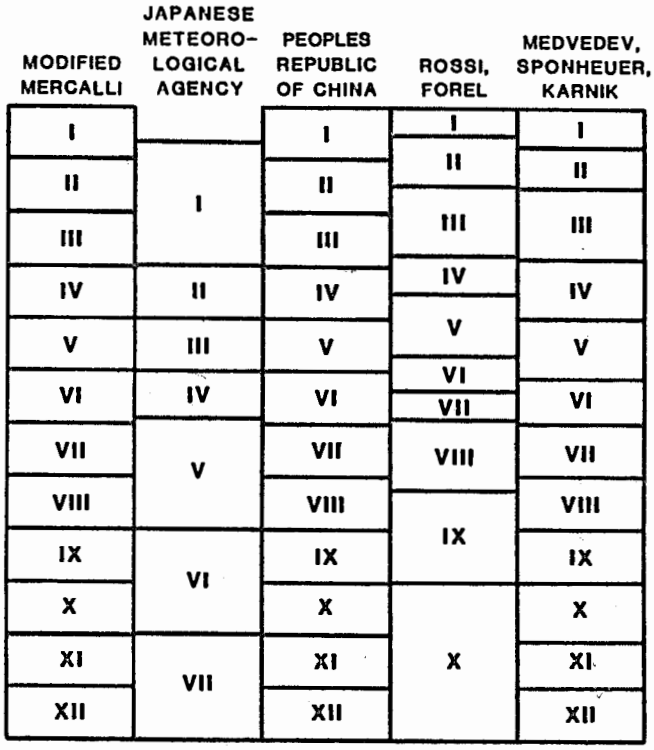
1 - Rossi
2 - Forel
3 - Mercalli
4 - H.O. Wood
5 - Frank Neumann
6 - Echelle Macrosismique International d 'Intensite'.
7 - Modified Mercalli
8 - Mercalli-Cancani-Sierberg
9 - Medvedev - Sponheur - Karnik

درجه‌بندی شدت، برآورد عددی آسیب‌های وارده بر مکان‌هایی راکه تحت تاثیر زمین‌لرزه قرار گرفته‌اند ممکن می‌سازد. این برآوردهای تشریحی ـ مکانی شدت را معمولاً می‌توان به وسیلهٔ خطوط یک نقشه هملرزه تفکیک کرد (شکل ۱۱). این چنین نقشه‌های شدت، اطلاعات خام ولی با ارزشی در باب توزیع تکان قوی زمین، تاثیر خاک رویه و لایه‌های زمین‌شناسی زیرین، وسعت چشمه زمین‌لرزه و مطالب دیگری وابسته به مسائل بیمه و مهندسی را فراهم می‌کنند.



شکل ۱۱ـ نقشه‌های هملرز الف) زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا، کالیفرنیا ب) زلزله ۱۹۶۸ اینانگوا، زلاندنو

از آنجا که مقیاس‌های شدت حسی هستند و به شرایط اجتماعی و نوع ساخت و ساز یک کشور بستگی دارند، لازم است هرچندگاه مورد تجدیدنظر قرار گیرند و اثرات منطقه‌ای در آن ملحوظ شوند. مقایسهٔ مقیاس ۸ درجه‌ای ژاپن با مقیاس‌های مذکور در فوق از این جهت جالب است. شکل ۱۲ چندین مقیاس شدت زلزله را باهم مقایسه می‌کند.



شکل ۱۲ـ مقایسه مقیاس‌های شدت زلزله

۷ـ۱ـ۱ـ *مقیاس بین‌المللی شدت تکان قوی*

درجه ۱ـ لرزهٔ غیرمحسوس توسط فرد ولی قابل ثبت توسط لرزه‌نگارها

درجه ۲ـ لرزهٔ محسوس توسط تعداد بسیار قلیلی از افراد، خصوصاً افراد ساکن در طبقات فوقانی ساختمان‌ها.

درجه ۳ـ لرزهٔ محسوس توسط تعداد کمی از افراد، مشابه ارتعاش حاصل از حرکت اتومبیل با سرعت زیاد بوده و جهت و مدت دوام آن در برخی موارد قابل تخمین است.

درجه ۴ـ لرزهٔ محسوس توسط تعداد کمی از افراد در فضای آزاد و توسط تعداد زیادی از افراد در خانه‌ها، ارتعاش ظروف، صدای شکستن یا شکافتن کف و سقف.

درجه ۵ـ لرزهٔ محسوس توسط همهٔ افراد، بیداری افراد خوابیده، به حرکت درآمدن میزها، صندلی‌ها و تخت‌ها.

درجه ۶ـ افراد هراسناک از خانه‌ها خارج می‌شوند؛ به صدا درآمدن زنگ‌ها، توقف پاندول‌ها، شکافته شدن اندودها، شکسته شدن ظروف، به لرزه درآمدن ناقوس‌ها و افتادن اندودهای گچ.

درجه ۷ـ خسارت جزئی ساختمان‌ها، ترک خوردگی دیوارها، فروریختن دودکش‌های منفرد و سقوط منارهٔ مساجد و کلیساها که اجرای نامناسبی دارند.

درجه ۸ـ خسارات جدی، شکاف با پهنای زیاد در دیوارها، سقوط اکثر دودکش‌ها، سقوط ناقوس کلیساها، واژگونی یا دوران مجسمه‌ها یا بناهای یادبود، ترک خوردگی در شیب‌های تند و یا در زمین‌های مرطوب، سنگ ریزش در کوهستان.

درجه ۹ـ خانه‌های مستحکم اروپایی آسیب می‌بینند. تعداد زیادی از آنها به صورت نامسکون درآمده و برخی دیگر کم و بیش فرو می‌ریزند.

درجه ۱۰ـ غالب خانه‌های سنگی یا اسکلتی همراه با پی خود منهدم می‌شوند، شکاف در دیوارهای آجری، ریل‌های راه‌آهن به صورت جزئی خمیده می‌شوند، پل‌ها خسارت می‌بینند، لوله‌ها شکسته شده و یا در یکدیگر فرو می‌روند، ایجاد شکاف و موج در خیابان‌ها، بیرون ریختن آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها.

درجه ۱۱ـ انهدام کامل ساختمان‌های سنگی، پل‌ها و دیوارهای حایل، گسلش‌های وسیع در سطح زمین، لغزش‌های بزرگ خاک.

درجه ۱۲ـ انهدام کامل ساخته‌های دست بشر، تغییر در توپوگرافی، تشکیل گسل‌های بزرگ، انفکاک افقی و برشی خاک، تغییر مسیر رودخانه‌ها.

۷ـ۱ـ۲ـ مقیاس شدت MSK - 1964

الف ـ اصطلاحات و طبقه‌بندی عبارات به کار برده شده در مقیاس

۱ـ دسته بندی ساختمان‌ها (*ساختمان‌های نامقاوم در برابر زلزله*)

تیپ A: خانه‌های رسی، گلی، خشتی، خانه‌های روستایی، ساختمان از سنگ تورنان

تیپ B: ساختمان از آجر معمولی یا بلوک بتنی، ساختمان‌های مختلط آجری و چوبی،

ساختمان با سنگ باربر
تیپ C : ساختمان‌های مسلح، ساختمان‌های چوبی با کیفیت مناسب

II ـ *تعریف عبارات مربوط به کمیت*

چند، تعدادی، اندکی، قلیلی	حدود ۵ درصد
زیاد، بیشتر	حدود ۵۰ درصد
غالب، اکثر	حدود ۷۵ درصد

III ـ *درجه تخریب ساختمان‌ها*

o *درجه اول*

خسارات سبک: ترک خوردگی اندودها، سقوط قطعات کوچکی از اندود

o *درجه دوم*

خسارات متوسط: ترک خوردگی دیوارها، سقوط قطعات بزرگی از اندودهای گچ، سقوط سفال‌ها، ترک خوردگی دودکش‌ها و یا سقوط قسمتی از آنها

o *درجه سوم*

خسارات جدی: درزهای پهن و عمیق در دیوارها، سقوط کامل دودکش ها

o *درجه چهارم*

تخریب: شکاف در دیوارها، ریزش جزئی احتمالی آنها، از بین رفتن انسجام بین قسمت‌های مختلف ساختمان، خرابی پرکننده‌ها یا تیغه‌های داخلی

o *درجه پنجم*

انهدام عمومی: تخریب کامل ساختمان

IV ـ *اثرات پیش بینی شده در مقیاس*

a) اثر روی افراد و پیرامون آنها
b) اثر روی ساختمان‌های مختلف
c) اثر روی محیط طبیعی

ب ـ درجات مقیاس شدت

درجهٔ ۱: لرزهٔ غیرمحسوس

a) شدت ارتعاش زیر حساسیت انسانی قرار دارد. لرزه فقط توسط لرزه‌نگارها قابل تشخیص و ثبت است.

درجهٔ ۲: لرزه‌ای که به دشواری محسوس است

a) لرزه توسط تعداد کمی از افراد در حال استراحت در منازل خصوصاً در طبقات فوقانی ساختمان‌ها محسوس است.

درجهٔ ۳: لرزهٔ خفیف که به صورت موضعی محسوس است

a) لرزه توسط افراد قلیلی در داخل ساختمان‌ها محسوس است ولی در خارج از ساختمان‌ها لرزه جز در وضعیت‌های مناسب قابل تشخیص نیست. ارتعاش مشابه لرزشی است که از عبور یک کامیون سبک حادث می‌شود. شاهدان دقیق، لرزش خفیف اشیاء آویزان را حس می‌کنند. این لرزش در طبقات فوقانی ساختمان‌ها زیادتر است.

درجهٔ ۴: لرزهٔ محسوس توسط عامّه

a) زلزله در داخل ساختمان‌ها توسط بسیاری از افراد و خارج از ساختمان‌ها توسط تعداد کمی از افراد محسوس است. تعدادی از افراد خوابیده بیدار می‌شوند ولی کسی وحشت‌زده نمی‌شود. ارتعاش مشابه لرزشی است که از عبور کامیونی سنگین حاصل شود. پنجره‌ها، درها و بشقاب‌ها می‌لرزند. صدای شکافتن کف‌ها و دیوارها به گوش می‌رسد. مبل‌ها شروع به جابجا شدن می‌کنند. مایعات داخل ظرف‌های روباز به آرامی تکان می‌خورند. اشیاء آویزان به صورت خفیفی حرکت می‌کنند.

درجه ۵: بیداری افراد خوابیده

a) زلزله در داخل ساختمان‌ها توسط تمامی افراد و در خارج ساختمان‌ها توسط بسیاری از افراد محسوس است. بسیاری از افراد خوابیده بیدار می‌شوند و تعدادی از آنها به

حالت دو از منزل خارج می‌شوند. حیوانات عصبی می‌شوند. ساختمان‌ها تحت اثر لرزش عمومی قرار می‌گیرند. اشیاء آویزان حرکت زیادی می‌کنند. تابلوها به دیوارها برمی‌خورند و یا از محل خود به خارج پرتاب می‌شوند. در مواردی پاندول‌ها متوقف می‌شوند. اشیاء با پایداری کم می‌توانند واژگون یا جابجا شوند. درها و پنجره‌های باز به شدت به هم می‌خورند. مایعاتی که ظرف‌ها را کاملاً پرکرده‌اند به طور جزئی پراکنده می‌شوند. ارتعاش مثل سقوط جسم سنگینی در داخل ساختمان احساس می‌شود.

b) خسارات جزئی درجه اول برای ساختمان‌های تیپ A محتمل است.

c) تغییر احتمالی در دبی جریان‌ها

درجه ۶: هراس

a) زلزله توسط غالب افراد در داخل و خارج ساختمان‌ها محسوس است. بسیاری از افراد ترسیده و به بیرون از ساختمان هجوم می‌آورند. برخی از افراد تعادل خود را از دست می‌دهند. حیوانات اهلی از محل خود فرار می‌کنند. در مواردی ممکن است بشقاب‌ها و لیوان‌ها بشکنند و کتاب‌ها به زمین بیفتند. مبلمان‌های سنگین می‌توانند جابجا شوند و ناقوس‌های کوچک به صدا دربیایند.

b) خسارت درجه اول برای برخی از ساختمان‌های تیپ B و برای غالب ساختمان‌های تیپ A، خسارت درجه دوم برای برخی از ساختمان‌های تیپ A.

c) در مواردی درزهایی به پهنای تا یک سانتیمتر در زمین‌های مرطوب می‌توانند ایجاد شوند. احتمال زمین لغزش در کوهستان، تغییراتی در دبی چشمه‌ها و یا سطح چاه‌ها قابل‌ملاحظه است.

درجه ۷: خسارت به ساختمان‌ها

a) غالب افراد ترسیده و به بیرون هجوم می‌برند. تعداد زیادی از آنها نمی‌توانند سرپا بایستند. ارتعاش توسط رانندگان ماشین‌ها نیز حس می‌شود. ناقوس‌های بزرگ به صدا درمی‌آیند.

b) خسارت درجه اول در تعداد زیادی از ساختمان‌های تیپ C، خسارت درجه دوم در بسیاری از ساختمان‌های تیپ B، تعداد زیادی از ساختمان‌های تیپ A تا درجه سوم و تعداد کمی از آنها تا درجهٔ چهارم آسیب می‌بینند و در مواردی لغزش جاده‌ها در راستای شیب‌های تند اتفاق می‌افتد، ترک خوردگی در جاده‌ها، شبکه‌های آبرسانی در محل اتصالات صدمه می‌بینند، ترک خوردگی در دیوارهای سنگی.

c) ایجاد موج در روی آب‌ها و گل‌آلود شدن آنها، تغییر سطح آب در چاه‌ها و تغییر دبی چشمه‌ها. در مواردی چشمه‌های خشک شده جریان پیدا کرده و چشمه‌های موجود خشک می‌شوند. شیروانی‌های ماسه‌ای یا سنگریزه‌ای به صورت جزئی فرو می‌ریزند.

درجه ۸: خرابی ساختمان‌ها

a) هراس و ترس، حتی راننده‌ها نیز می‌ترسند، در مواردی شاخه درختان می‌شکند، مبلمان‌های از نوع سنگین نیز جابجا یا واژگون می‌شوند، چراغ‌های آویزان صدمه می‌بینند.

b) تعداد زیادی از ساختمان‌های تیپ C خسارت درجه دوم و قلیلی از آنها خسارت درجه سوم می‌بینند، تعداد زیادی از ساختمان‌های تیپ B خسارت درجه سوم و تعداد کمی از آنها خسارت درجهٔ چهارم و اندکی از آنها خسارت درجه پنجم می‌بینند. گسیختگی احتمالی اتصالات مربوط به شبکه‌های آبرسانی، بناهای یادبود و مجسمه‌ها جابجا شده و یا دور خود می‌چرخند. لوحه‌های یادبود در گورستان‌ها واژگون می‌شوند. دیوارهای آجری فرو می‌ریزند.

c) لغزش جزئی زمین در مسیل‌ها و راه‌های واقع بر روی شیب‌های تند، پهنای شکاف‌های ایجاد شده در زمین به چندین سانتیمتر می‌رسد. آب دریاچه‌ها گل‌آلود و آشفته می‌شود. تشکیل مخازن جدید آب در دره‌ها، چاه‌های خشکیده از آب پر و چاه‌های موجود خشک می‌شوند. در اکثر موارد تغییر در دبی و سطح آب‌ها حاصل می‌شود.

درجه ۹: *خسارات تعمیم یافته به ساختمان‌ها*

a) هراس عمومی، صدمات اساسی به مبلمان منازل، حیوانات هراسیده و در تمامی جهات می‌دوند.

b) بسیاری از ساختمان‌های تیپ C خسارت درجه سوم، تعدادی از آنها خسارت درجهٔ چهارم می‌بینند. بسیاری از ساختمان‌های تیپ B خسارت درجه چهارم و تعدادی از آنها خسارت درجه پنجم می‌بینند. اکثر ساختمان‌های تیپ A تا درجه پنجم آسیب می‌بینند. بناهای یادبود و ستون‌ها می‌افتند. خسارات عمده بر مخازن زیرزمینی وارد می‌شود. گسیختگی موضعی شبکه‌های آبرسانی زیرزمینی، در مواردی ریل‌های راه‌آهن خمیده و جاده‌ها آسیب می‌بینند.

c) ریزش آب، ماسه و گل برروی ساحل‌ها قابل ملاحظه است. شکاف‌های روی زمین تا پهنای ۱۰ سانتیمتر می‌رسند. پهنای آنها در شیب‌ها و کنارهٔ رودخانه‌ها از ۱۰ سانتیمتر هم تجاوز می‌کند، ضمناً تعدادی شکاف‌های ریز دیگری نیز در سطح زمین قابل رؤیت است. سنگ‌ریزش، لغزش‌های بزرگ زمین، احتمال اینکه برخی از چاه‌های خشک شده بتوانند دبی خود را بازیافته و چاه‌های موجود خشک شوند وجود دارد.

درجهٔ ۱۰: *خرابی محسوس ساختمان‌ها*

b) بسیاری از ساختمان‌های تیپ C خسارت درجه چهارم و تعدادی از آنها خسارت درجه پنجم می‌بینند. بسیاری از ساختمان‌های تیپ B خسارت درجه پنجم و اکثر ساختمان‌های

تیپ A خرابی از درجه پنجم می‌بینند. خرابی خطرناک سدها و دیوارهای حایل، خرابی جدی پل‌ها، خطوط راه‌آهن به صورت جزئی خمیده می‌شوند. شبکه‌های آبرسانی زیرزمینی خمیده یا قطع می‌شوند. سنگفرش کوچه‌ها و آسفالت خیابان‌ها موج برمی‌دارند.

c) شکاف‌های روی زمین به پهنای چندین سانتیمتر و تا یک متر نیز می‌رسند. شکاف‌های پهنی به موازات جریان‌های آب تشکیل می‌شوند. زمین‌های سست در راستای شیب‌های تند فرو می‌ریزند. لغزش‌های قابل ملاحظه زمین در کنارهٔ رودخانه‌ها خصوصاً کناره‌های با شیب تند اتفاق می‌افتد. جابجایی ماسه و گل در مناطق ساحلی، تغییر سطح آب چاه‌ها، ریزش آب کانال‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها برروی زمین، تشکیل دریاچه‌های جدید.

درجه ۱۱: فاجعه

b) خسارات عمده به ساختمان‌های با اجرای مناسب، به پل‌ها و سدها و خطوط راه‌آهن نیز تسری پیدا می‌کند. شبکه‌های آبرسانی زیرزمینی کاملاً خراب می‌شوند.

c) زمین در اثر حرکت افقی و قائم و نیز در اثر گسلش با پهنای زیاد تغییر شکل می‌دهد. زمین‌لغزش و سنگ‌ریزش‌های متعدد. تعیین شدت لرزه نیاز به بررسی‌های ویژه دارد.

درجه ۱۲: تغییر منظر

b) عملاً تمام سازه‌های روی زمین و یا زیرزمین شدیداً آسیب دیده و یا تخریب می‌شوند.

c) توپوگرافی محل تغییر می‌کند. گسلش‌های مهم به همراه جابجایی‌های افقی و قائم بزرگ مشاهده می‌شود. ریزش سنگ‌ها و نشست ساحل رودخانه‌ها در منطقهٔ وسیعی قابل رؤیت است. دره‌ها مسدود شده و تبدیل به دریاچه می‌شوند. آبشارهای جدید ظاهر شده و رودخانه‌ها تغییر مسیر می‌دهند. تعیین شدت زلزله نیاز به بررسی‌های ویژه دارد.

۷-۱-۳- مقیاس شدت زمین‌لرزهٔ ژاپن

O *احساس نشدنی*: ضعیف‌تر از حد احساس انسان است. فقط به وسیلهٔ دستگاه‌های حساس اندازه‌گیری ثبت می‌شود.

I *ناچیز*: به طور مبهمی به وسیلهٔ افرادی در حالت استراحت یا اشخاص حساس به زلزله حس می‌شود.

II *ضعیف*: به وسیلهٔ بیشتر اشخاص حس می‌شود. باعث تکان کم پنجره‌ها و درهای کشویی شبکه‌ای ژاپنی (شوجی) می‌گردد.

III *تقریباً قوی*: موجب تکان خانه‌ها و بناها، سر و صدای شدید پنجره‌ها و درهای کشویی شبکه‌ای ژاپنی، و نوسان اشیاء آویزان می‌شود. بعضی اوقات باعث ایستادن ساعت‌های پاندولی و حرکت مایعات در ظروف می‌گردد. بعضی اشخاص به اندازه‌ای می‌ترسند که به خارج از خانه فرار می‌کنند.

IV *قوی*: منجر به تکان قوی خانه‌ها و بناها، واژگونی اشیاء ناپایدار، بیرون ریختن آب از ظروف می‌شود.

V *بسیار قوی*: موجب ترک خوردگی دیوارهای آجری و گچی، واژگونی فانوس‌ها و سنگ‌های قبور و غیره و آسیب دودکش‌ها و انبارهای خشت و گلی می‌شود. زمین‌لغزه در کوه‌های کم شیب مشاهده می‌شود.

VI *فاجعه‌آمیز*: موجب تخریب بیش از ۱٪ از خانه‌های چوبی ژاپنی، زمین لغزه، ترک خوردگی کف زمین صاف و گاهی اوقات همراه با جوشیدن آب و گل در زمین‌های پست می‌شود.

VII *ویرانگر*: موجب ویرانی تقریباً همهٔ خانه‌ها می‌شود؛ ترک‌های بزرگ و گسل‌ها قابل مشاهده هستند.

۷-۲- بزرگی زمین لرزه

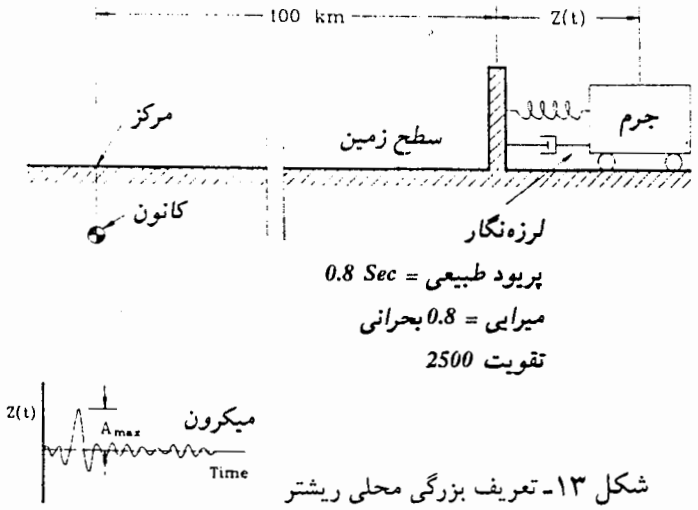
اگر قرار بر مقایسه زمین لرزه‌ها در سطح جهانی باشد، به معیاری نیاز است که بر خلاف شدت، به تراکم جمعیت و نوع ساخت و ساز وابسته نباشد. یک مقیاس کاملاً کمّی که بر زمین‌لرزه‌های مناطق مسکونی و غیرمسکونی به یکسان قابل اعمال است، ابتدا به سال

۱۹۳۱ توسط *واداتی*[1] در ژاپن ارائه و سپس به سال ۱۹۴۳ در کالیفرنیا توسط *چارلز ریشتر*[2] توسعه داده شد.

۷ـ۲ـ۱ـ مقیاس بزرگی ریشتر

ریشتر بزرگی یک زمین لرزه محلی را، لگاریتم مبنای ده ماکزیمم دامنهٔ موج زلزله برحسب میکرن (10^{-4}cm) که روی یک شتابنگار وود ـ*اندرسون*[3] که در فاصلهٔ یکصد کیلومتری مرکز زمین لرزه ثبت شده‌است تعریف کرد (شکل ۱۳).

با این تعریف، به ازای هر افزایش واحد در بزرگی، دامنه موج‌های زلزله ۱۰ مرتبه بزرگتر می‌شود. چون پریود اصلی شتابنگار وود ـ*اندرسون* برابر ۰٫۸ ثانیه است، دستگاه بطور انتخابی موج‌های زلزله‌ای را که پریود آنها تقریباً بین ۰٫۱ تا ۲ ثانیه است، تقویت می‌کند. چون پریود طبیعی بسیاری از سازه‌ها درون این حوزه قرار می‌گیرد، بزرگی ریشتر از نظر مهندسی دارای ارزش ویژه‌ای است.



شکل ۱۳ـ تعریف بزرگی محلی ریشتر

---

1 - Wadati
2 - Charles Richter
3 - Wood-Anderson

از تعریف بزرگی نتیجه می‌شود که این مقیاس از لحاظ نظری دارای کران‌های تحتانی و فوقانی نمی‌باشد. مع‌هذا، دست بالای اندازهٔ زمین‌لرزه‌ها به مقاومت پوسته زمین محدود می‌شود. از سال ۱۹۳۵، شتابنگارها فقط تعداد معدودی زمین‌لرزه با بزرگی بیشتر از ۸ ثبت کرده‌اند. در مرز مقابل، شتابنگارهای بسیار حساس توانایی ثبت زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی کمتر از ۲ را دارا هستند، فرکانس متوسط زمین لرزه‌های جهان برحسب بزرگی‌های مختلف در جدول ۱ آمده‌است. بطور کلی بزرگی زمین‌لرزه‌های سطحی (کم عمق) باید در مقیاس ریشتر از ۵٫۵ تجاوز کند تا موجب آسیب جدی در نزدیکی چشمهٔ امواج شود.

جدول ۱ـ فرکانس سالانه رخداد زمین‌لرزه در جهان

بزرگی Ms	تعداد متوسط Ms<
۸	۱
۷	۱۵
۶	۱۰۰
۵	۳۰۰۰
۴	۱۵۰۰۰
۳	بیشتر از ۱۰۰۰۰۰

۷ـ۲ـ۲ـ سایر مقیاس‌های بزرگی

در آغاز، مفهوم مقیاس بزرگی محلی[1] ریشتر (M_L)، اندیشه‌ای ناجامع بود که برای کالیفرنیای جنوبی، زمین‌لرزه‌های کم عمق و فاصله از مرکزهای کمتر از ۶۰۰کیلومتر تعریف شده‌بود. امروزه، روش مزبور برای آنکه به انواع متعدد شتابنگارهای سراسر دنیا قابل اعمال باشد، توسعه یافته است. در نتیجه، گونه‌های متعدد مقیاس بزرگی بر اساس فرمول‌بندی‌های متفاوت برای فاصله از مرکز و شیوه‌های انتخاب یک دامنه موج مناسب، ابداع شده‌اند:

1 - Local Magnitude

۱ـ بزرگی موج سطحی[1] **(Ms)**

معمولاً در ثبت‌های زمین‌لرزه‌های دوردست (متجاوز از ۲۰۰۰ کیلومتر، فاصله از مرکز) زلزله‌نگاشت‌ها، موج‌های سطحی با پریودی پیرامون ۲۰ ثانیه غالب هستند. برای کمّی کردن این زمین‌لرزه‌ها، گوتنبرگ[2] مقیاس بزرگی (Ms) را که مبتنی بر اندازه‌گیری دامنهٔ موج‌های سطحی با پریود ۲۰ ثانیه می‌باشد، تعریف کرده‌است.

۲ـ بزرگی موج جسمی[3] **(m_b)**

زمین‌لرزه‌های ژرف (باکانون عمیق)، فقط دارای ردیف موج‌های سطحی کوچک یا بی‌اهمیت می‌باشند. از این رو در لرزه‌شناسی اندازه‌گیری دامنهٔ موج P، که تحت تاثیر عمق کانونی چشمه قرار نمی‌گیرد متداول و به وسیلهٔ آن بزرگی موج P، (m_b) تعیین می‌شود.

۳ـ بزرگی مدت[4] **(M_D)**

از این مقیاس بزرگی برای اندازه‌گیری سریع زمین‌لرزه‌های کوچک ($M \leq 3$) استفادهٔ فراوان می‌شود. در این مقیاس براساس مدت کل زمین‌لرزه به ثانیه، یک بزرگی به آن منسوب می‌شود. در رخدادهای کوچک، معمولاً بین بزرگی مدت و بزرگی اندازه‌گیری شده با مقیاس ریشتر ($M_L \leq 3$) همبستگی وجود دارد. اما آزمون‌های میزان کننده همیشه فراهم نیستند. چون M_D عمدتاً برای اندازه‌گیری زمین‌لرزه‌های کوچک وضع شده‌است، بجز برای مطالعات ریسک زمین‌لرزه، بیشتر برای لرزه‌شناس‌ها اهمیت دارد تا مهندسین.

۴ـ بزرگی گشتاوری[5] **(M_W)**

مقیاس بزرگی گشتاوری به علت نقص‌های مهم M_L، m_b و تا اندازه‌ای M_s در تشخیص زمین‌لرزه‌های بزرگ، ابداع گردید. این مقیاس، برحسب گشتاور زلزله M_o، که با انرژی

---

1 - Surface-Wave Magnitude
2 - Gutenberg
3 - Body-Wave Magnitude
4 - Duration Magnitude
5 - Moment Magnitude

رهاشده طی زمین لرزه تناسب مستقیم دارد، یک بزرگی به زمین‌لرزه منسوب می‌کند:

$$M_w = \left(logM_o/1.5\right) - 10.7 \qquad (۷)$$

که M_0 گشتاور زلزله برحسب دین ـ سانتیمتر (dyn - cm) است.

۵ـ گشتاور زلزله[1] (M_o)

گشتاور زلزله بزرگی زمین لرزه را به صورت تابعی مستقیم از انرژی رها شده و به شکل رابطهٔ زیر تعریف می‌کند:

$$M_o = GAD \qquad (۸)$$

که در آن G مدول برشی محیط (معمولاً برابر با $(3\times10^{11} \quad dyn/cm^2)$، A سطح حرکت گسلی و D میانگین لغزش گسل می‌باشد.

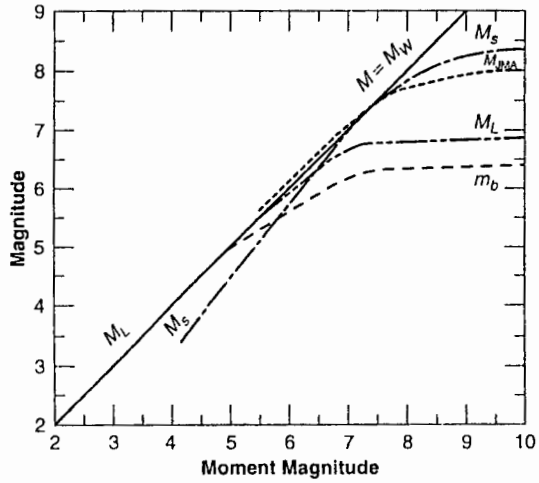
مقایسه بین مقیاس‌های بزرگی مختلف در جدول ۲ و همچنین شکل ۱۴ آورده شده‌است.

جدول ۲ـ مقایسه بین مقیاس‌های M، m_b، M_L، M_o و M_s

M Richter	m_b Body Wave	M_L Local	M_o (dyne-cm) Seismic Moment	M_w Moment	M_S Surface Wave
5.4	5.0	5.4	6.3×10^{23}	5.4	5.0
5.9	5.5	5.9	6.3×10^{24}	6.0	5.8
6.7	6.0	6.4	7.7×10^{25}	6.7	6.7
7.5	6.5	6.9	1.0×10^{27}	7.5	7.5
8.3	7.0	7.5	2.3×10^{28}	8.4	8.3

1 - Seismic Moment

باتوجه به شکل ۱۴، کاهش شیب منحنی‌های مربوط به مقادیر بالنسبه بالای بزرگی زلزله قابل ملاحظه است؛ این پدیده را اشباع بزرگی[1] نامیده‌اند. مقیاس بزرگی گشتاوری (M_W) تنها مقیاس بزرگی است که دچار مسئله اشباع فوق‌الذکر برای زمین‌لرزه‌های بزرگ نمی‌باشد، زیرامستقیماً مبتنی بر نیروهایی است که درگسیختن گسل و ایجاد زمین‌لرزه عمل می‌کنند و نه بر دامنه ثبت شده انواع خاصی از امواج زلزله.

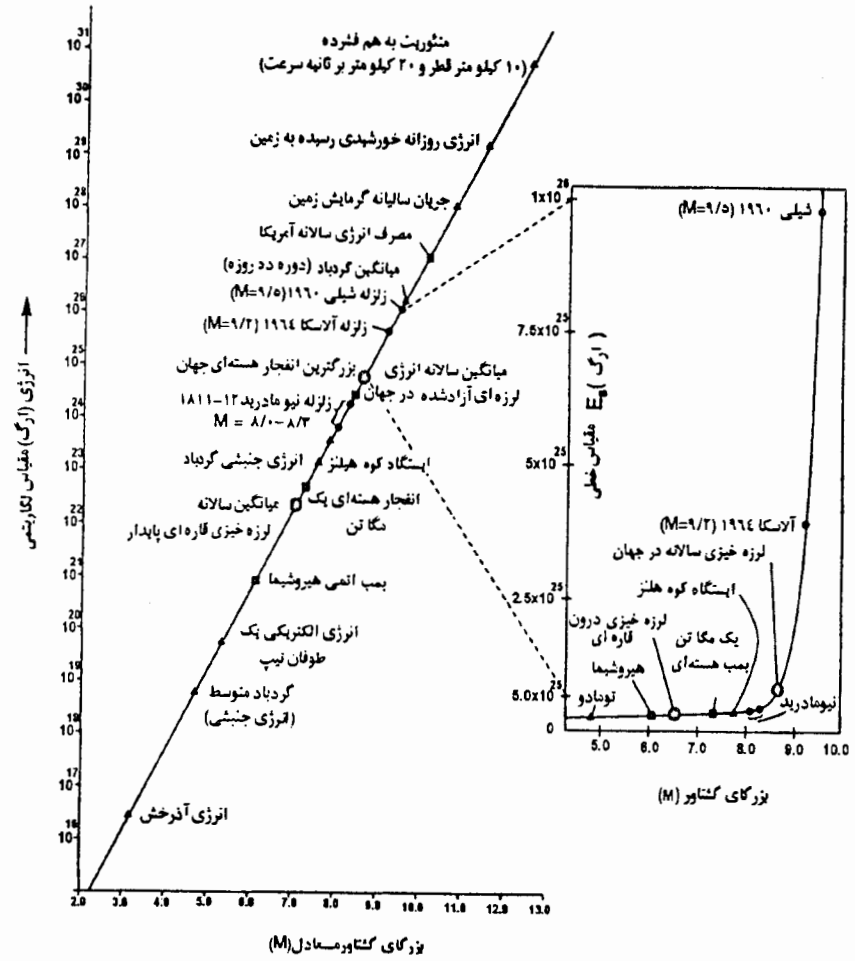


شکل ۱۴ـ مقایسه مقیاس‌های مختلف بزرگی و اشباع بزرگی

در پرتو بحث‌های انجام شده، مقیاس‌های مناسب برای اندازه‌گیری بزرگی زمین لرزه‌های کم عمق به شرح زیر توصیه شده‌اند:

M_L یا M_D	برای بزرگی‌های کمتر از ۳
m_b یا M_L	برای بزرگی‌های بین ۳ و ۷
M_s	برای بزرگی‌های بین ۵ و ۷٫۵
M_w	برای بزرگی‌های متجاوز از ۷٫۵

1 - Magnitude saturation



شکل ۱۵ـ انرژی نسبی پدیده‌های مختلف مصنوعی و طبیعی

۷ـ۳ـ انرژی زلزله

انرژی کل آزاد شده حین یک زلزله اغلب از رابطه‌ای منتسب به گوتنبرگ ـ ریشتر تعیین می‌گردد:

$$\log E = 11.8 + 1.5 M_s \qquad (۹)$$

که در این رابطه E برحسب ارگ می‌باشد. *کانامورى*[1] نشان داده است که رابطه فوق‌الذکر را می‌توان برای بزرگی گشتاوری (M_w) نیز به کاربرد. باتوجه به این رابطه معلوم می‌شود که افزایش بزرگی به اندازه یک واحد متناظر با $10^{1.5}$ یا ۳۲ برابر افزایش انرژی زلزله است. بنابراین میزان انرژی که یک زلزله با بزرگی ۵ آزاد می‌سازد حدود یک‌هزارم انرژی است که زمین لرزه‌ای با بزرگی ۷ رها می‌کند؛ این امر نشان دهندهٔ تاثیر اندک زلزله‌های کوچک در آزادسازی انرژی تنجشی ذخیره شده می‌باشد. از ترکیب روابط ۷ و ۹ ملاحظه خواهدشد که مقدار انرژی رها شده در خلال یک زلزله متناسب با گشتاور زلزله نیز می‌باشد.

اغلب تصور و درک عظمت مقدار انرژی آزادشده در یک زلزله مشکل می‌باشد. گرچه ارگ واحد کوچکی است (یک‌ارگ = 10^{-8} × ۵ر۷ فوت پوند = 10^{-8}×۱۰۳ر۷ کیلوگرم سانتیمتر) ولی باید توجه داشت که به عنوان نمونه انرژی آزاد شده توسط یک بمب اتمی مشابه آنچه که در فاجعه هیروشیما استفاده شد (معادل ۲۰۰۰۰ تن TNT) متناظر با یک زلزله به بزرگی ۶ است. براین اساس زلزله سال ۱۹۶۰ شیلی (Mw = ۹ر۵) انرژی معادل ۱۷۸۰۰۰ برابر چنین بمب اتمی آزاد کرده‌است (شکل ۱۵).

1 - Kanamori

مراجع

1. Despeyroux J.(1981), Fondation des machines, Seismes, Ch. 20 La pratique des sols et fondations, edite' par Filliat G., Edition Moniteur, Paris.
2. Despeyroux J.(1985), le projet de construction parasismique, in Genie parasismique, edite' par Davidovici V., Edition Presses de ENPC, Paris.
3. Krinitzsky E.L., Gould J.P., Edinger P.H. (1993), Fundamentals of earthquake - resistant construction, John Wiley & sons, New York.
4. Dowrick D.J.(1987), Earthquake resistant design, John Wiley & sons, New York.
5. Fintel M., Ghosh S.K.(1983), Earthquake-resistant structures, Ch.15 Handbook of Structural Concrete, Edited by Kong F.K., Evans R.H., Cohen E.,Roll F., Pitmans Books Limited, London.

۶- معین فر ع.ا. (۱۳۶۵)، مروری بر دانش لرزه‌نگاری و مهندسی زلزله، مجموعه سخنرانی‌های سمینار آموزشی اثرات زلزله در ساختمان‌های متعارف، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

۷- کیایی ف. (۱۳۷۲)، زلزله‌شناسی مهندسی، جلد اول، مهندسین مشاور جواب، تهران.

۸- پورکرمانی م.، آرین م. (۱۳۷۶)، سایزموتکتونیک (لرزه‌زمین ساخت)، مهندسین مشاور دزآب، اهواز.

۹- عادلی ح. (۱۳۵۹)، مهندسی زلزله، جلد اول، ناشر مولف، تهران.

۱۰- مقدم ح. (۱۳۷۵)، مهندسی زلزله، جلد اول، مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری، تهران.

۱۱- واکاباياشی م. (۱۳۷۲)، ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، ترجمه محمد مهدی سعادت‌پور، مرکز انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۲- کرامر اس. ال . (۱۳۷۸)، مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای، ترجمه سید مجدالدین میرحسینی و بابک عارف پور، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

۱۳- کاپرا آ.، داویدویسی و. (۱۳۶۵)، محاسبه دینامیکی سازه‌ها در مناطق زلزله خیز، ترجمه جواد فرید، انتشارات امیرکبیر، تهران.

چالش‌های مهندسی زلزله

مهندس جواد فرید

چکیده

در طراحی ساختمان‌ها در مناطق زلزله‌خیز، بارهای ناشی از زمین‌لرزه جزو مهمترین عواملی هستند که تاثیر قابل ملاحظه‌ای را در طراحی سازه و نتایج حاصل از آن اعمال می‌کنند و مهندس محاسب سازه را اجباراً با چالش‌های مختلف و متنوعی رودررو می‌سازند.

در این مقاله به اجمال به بخش مهمی از این چالش‌ها از جمله تاثیر ساختگاه و شرایط ژئوتکنیکی محل پروژه، نوع و شیوه بارگذاری لرزه‌ای، انتخاب سیستم و فرم سازه‌ای پرداخته شده‌است. ضرورت تأمین پاسخ شکل‌پذیر سازه‌ها، توجه به تحلیل معقول و ارایه جزئیات اجرایی مناسب بحث شده و آخرسر شرح مختصری از فن‌آوری‌های جدید برای بهبود و افزایش مقاومت لرزه‌ای سازه‌ها آورده شده‌است.

۱ـ مقدمه

زلزله‌ها بزرگترین چالش‌ها را فراروی مهندسان طراح سازه و ساختمان قرار می‌دهند، پتانسیل جنبش‌های نیرومند زمین که در عرض چند دقیقه روی می‌دهند و تخریب‌ها و آسیب‌های زیادی را به‌بار می‌آورند، در زلزله‌های مختلف به منصه ظهور رسیده‌است.

خاطرهٔ خرابی‌های حاصل در اثر زلزله‌های ۱۹۸۹ ارمنستان، ۱۹۹۰ شمال ایران، ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و نیز زلزله‌هایی که در محدوده خلیج سانفرانسیسکو روی داده‌اند هنوز در اذهان عمومی باقی است. نتایج زیانبار فروریزش ساختمان‌ها و گسیختگی سازه‌های مختلف و بحران‌های اقتصادی و اجتماعی منبعث از زلزله شدید ۱۷ ماه اوت ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه، همچون تأثیرات انهدام ۱۲۰ ساختمان بتن‌آرمه و اسکلت فولادی در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی به مدتی طولانی تمامی فعالیت‌های منطقه آسیب دیده را تحت‌الشعاع خود قرار خواهند داد. جدول ۱ نشان می‌دهد که در اثر زلزله‌ها، فقط سازه‌ها و ساختمان‌ها آسیب نمی‌بینند،بلکه تلفات جانی و صدمات مالی فوق‌العاده‌ای آنها را همراهی می‌کند.

درس‌های آموخته شده از زلزله‌های ویرانگر را در یک کلام چنین می‌توان خلاصه کرد: در صورتی که سازه‌ها به گونه‌ای مناسب طراحی نشده و به درستی اجرا نشوند، هیچ گونه تضمینی در برابر گسیختگی و خرابی آنها در زلزله‌ها وجود ندارد. نادیده گرفتن اصول مهندسی در طراحی و اجرای ساختمان‌ها معادل با پذیرفتن آسیب‌های مختلف و متنوع خصوصاً در زمان زلزله است. عکس موضوع نیز صحیح است. عملکرد درست و پایداری مناسب تعداد زیادی ساختمان‌های بلند مرتبه در زلزله‌های سانفرانسیسکو و مکزیکوسیتی موئد این مطلب است که کاربرد منطقی اصول مهندسی موجب تأمین ایمنی ساختمان‌ها و سلامتی ساکنان آنها، حتی در صورت بروز برخی آسیب‌های سازه‌ای در زلزله‌های بسیار شدید می‌شوند.

زلزله‌ها بدون اخطار و اعلام قبلی روی می‌دهند، لیکن مناطق زلزله‌خیز دنیا و توزیع جغرافیایی زمین‌لرزه‌ها به خوبی شناخته شده است؛ همچنانکه علل بروز آسیب‌های مختلف در سازه‌ها و شیوه‌های گوناگون ارزیابی خسارات و نیز فن‌آوری‌های ضروری برای پایدارسازی ساختمان‌ها و سازه‌های مختلف در برابر زلزله از شروع مرحله طراحی تا آخرین مرحله اجرا به درستی مشخص شده‌اند. کتاب‌های عمومی مهندسی زلزله نظیر مراجع ۲،۱ و ۳ مباحث زیادی را در این موارد در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌دهند.

جدول ۱- برخی زلزله‌های مهم قرن بیستم

منطقه	کشور	سال	بزرگی (ریشتر)	محل وقوع زلزله	تلفات جانی (نفر)	ملاحظات
آسیا	چین	۱۹۲۰	۸٫۵	کانسو	۱۰۰۰۰۰	
		۱۹۲۵	۷٫۱	یونان	۶۵۰۰	
		۱۹۷۶	۷٫۸	تانگشان	۲۴۳۰۰۰	
	ژاپن	۱۹۲۳	۸٫۳	کانتو	۹۹۳۰۰	تلفات ناشی از آتش‌سوزی
		۱۹۳۳	۸٫۹	سانریکو	۳۰۰۰	چونامی
		۱۹۴۱	۸٫۱	نان‌کایدو	۱۴۳۲	
		۱۹۶۴	۷٫۵	نی‌یی‌گاتا	۲۶	روانگرایی
		۱۹۶۸	۸٫۶	هاشینوهه	۴۸	چونامی
		۱۹۷۸	۷٫۴	میاجی‌کن اوکی	۲۷	
		۱۹۹۵	۷٫۲	هیوگوکن‌نابنو	۵۴۵۲	گسلش و روانگرایی
	فیلیپین	۱۹۷۶	۸٫۰	مین دانائو	۶۵۰۰	چونامی
		۱۹۹۰	۷٫۸	لوزون مرکزی	۱۶۰۰	روانگرایی وگسلش
	هند	۱۹۰۵	۸٫۶	پنجاب ـ کشمیر	۱۹۰۰۰	گسلش
		۱۹۳۴	۸٫۴	بیهار	۱۰۷۰۰	
		۱۹۵۰	۸٫۶	مرزهندوچین	۵۷۴	
خاورمیانه	ایران	۱۹۰۹	۷٫۴	سیلاخور	۸۰۰۰	
		۱۹۳۰	۷٫۲	سلماس	۲۵۱۴	
		۱۹۵۷	۷٫۱	فارسینج	۱۱۳۰	
		۱۹۶۰	۶٫۱	لار	۱۵۰۰۰	
		۱۹۶۲	۷٫۲	بوئین زهرا	۱۲۰۰۰	
		۱۹۶۸	۷٫۳	دشت بیاض	۱۰۵۰۰	
		۱۹۷۲	۷٫۰	قیروکارزین	۴۰۰۰	
		۱۹۷۵	۶٫۰	بندرعباس سرخو	۶۰۰۰	

جدول ۱- برخی زلزله‌های مهم قرن بیستم (ادامه)

منطقه	کشور	سال	بزرگی (ریشتر)	محل وقوع زلزله	تلفات جانی (نفر)	ملاحظات
		۱۹۷۸	۷٫۷	طبس	۱۹۶۰۰	گسلش
		۱۹۸۱	۶٫۷	گلباف	۱۰۲۸	
		۱۹۸۱	۷٫۳	سیرج	۱۳۰۰	
		۱۹۹۰	۷٫۷	منجیل	۳۵۰۰۰	گسلش،زمین‌لغزش و روانگرایی
		۱۹۹۷	۶٫۱	سرعین	۹۶۵	
		۱۹۹۷	۷٫۱	زیرکوه‌قائنات	۱۵۶۸	
		۱۹۹۸	۶٫۹	گلباف	۵۰	
		۱۹۹۹	۶٫۲	کره‌بس	۲۲	
	ترکیه	۱۹۳۹	۸٫۰	ارزنجان	۳۳۰۰۰	
		۱۹۷۶	۷٫۳	مرزشمال‌غربی‌ایران	۵۰۰۰	
		۱۹۹۲	۶٫۷	ارزنجان	۱۰۰۰	
		۱۹۹۹	۷٫۶	ایزمیت	۱۸۰۰۰	
امریکای	مکزیک	۱۹۵۷	۷٫۹	گه‌ره‌رو	۶۸	تخریب مکزیکوسیتی
شمالی		۱۹۸۵	۸٫۹	می‌چوآگان	۱۰۰۰۰	تخریب مکزیکوسیتی
	ایالات	۱۹۰۶	۸٫۳	سانفرانسیسکو،کالیفرنیا	۷۰۰	آتش‌سوزی
	متحده	۱۹۴۰	۷٫۱	ال‌سنترو،کالیفرنیا	۸	گسلش
	امریکا	۱۹۵۲	۷٫۷	کرن‌کانتی،کالیفرنیا	۱۲	
		۱۹۵۹	۷٫۱	هیگن‌لیک،مونتانا	۲۸	چونامی
		۱۹۶۴	۸٫۴	پرنس‌ویلیام‌ساوند	۱۳۱	چونامی،زمین‌لغزش،روانگرایی
		۱۹۷۱	۶٫۶	سن‌فرناندو،کالیفرنیا	۵۸	
		۱۹۸۹	۷٫۱	لوماپریتا،کالیفرنیا	۶۳	روانگرایی و تقویت خاک
		۱۹۹۴	۶٫۸	نورث‌ریج،کالیفرنیا	۶۱	

جدول ۱- برخی زلزله‌های مهم قرن بیستم (ادامه)

منطقه	کشور	سال	بزرگی (ریشتر)	محل وقوع زلزله	تلفات جانی (نفر)	ملاحظات
امریکای	گواتمالا	۱۹۷۶	۷ر۵		۲۳۰۰۰	
مرکزی	نیکاراگوآ	۱۹۷۲	۶ر۲	ماناگوآ	۵۰۰۰	
امریکای	شیلی	۱۹۶۰	۸ر۳	بخش مرکزی	۱۷۴۲	چونامی
جنوبی		۱۹۸۵	۷ر۴	بخش مرکزی	۱۷۶	
	پرو	۱۹۷۰	۷ر۸	بخش شمالی	۶۷۰۰۰	زمین لغزش
	ونزوئلا	۱۹۶۵	۶ر۵	کاراکاس	۲۶۶	
جنوب	زلاندنو	۱۹۳۱	۷ر۹	خلیج هاوک	۲۲۵	آتش‌سوزی در ناپیر
اقیانوس آرام	استرالیا	۱۹۸۹	۵ر۶	نیوکاسل	۱۲	
افریقای	الجزایر	۱۹۵۴	۶ر۸	ال‌الاصنام	۱۲۴۰	
شمالی		۱۹۸۰	۷ر۳	ال‌الاصنام	۵۰۰۰	گسلش
	مراکش	۱۹۶۰	۵ر۷	آغادیر	۱۲۰۰۰	
اروپای	رومانی	۱۹۷۷	۷ر۳	ورانسیا	۲۰۰۰	
مرکزی	ارمنستان	۱۹۸۸	۶ر۷	اسپیتاک	۲۵۰۰۰	
اروپای	ایتالیا	۱۹۰۸	۷ر۵	مسینا	۱۲۰۰۰۰	
جنوبی		۱۹۱۵	۷ر۵	اوزانو	۳۵۰۰۰	
		۱۹۷۶	۶ر۵	فرولی	۹۷۰	
		۱۹۸۰	۷ر۰	بخش جنوبی	۳۱۰۰	
	یوگسلاوی	۱۹۶۳	۶ر۰	اسکوپیه	۱۲۰۰	
		۱۹۷۹	۷ر۰	مونته‌نگرو	۱۵۶	
	یونان	۱۹۵۳	۷ر۱		۴۴۰	
		۱۹۸۶	۶ر۲۰	کالاماتا	۲۰	

۲ـ آسیب‌های همراه زلزله

بخش اعظم اثرات زلزله، ناشی از حرکات شدید زمین است. این جنبش‌ها به خودی خود خطر آفرین و زندگی برانداز نیستند، بلکه گسیختگی و انهدام سازه‌هاست که عامل اصلی مرگ ومیر و زخمی و مصدوم شدن انسان‌ها و خسارات مالی است. پدیده‌های آسیب رسان همراه زلزله عبارتنداز:

۱ـ **چونامی** [1] یا **دریالرزه**[2]، که در مناطق ساحلی اتفاق می‌افتد و علت آن تغییر ناگهانی بستر دریاست. امواج حادث در اثر چونامی گاهی به ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ متر رسیده‌اند.

۲ـ **تولید موج**[3]، در دریاچه‌ها ناشی از همگامی سطح آب دریاچه با حرکات زمین لرزه.

۳ـ **روانگرایی**[4] یا **آبگونگی** که عبارت است از دست رفتن مقاومت خاک دانه‌ای اشباع در اثرانباشت فشار منفذی منبعث از بارگذاری سیکلی.

۴ـ **زمین لغزش**[5]، **ریزش بهمن**[6] و **جریان گل**[7] که معمولاً همراه روانگرایی اتفاق می‌افتند.

۵ـ **حرکات گسلی**[8]، که موجب صدمه دیدن سازه‌هایی می‌شوند که مستقیماً روی گسل‌ها واقعند. البته باید توجه داشت که تعداد چنین سازه‌هایی اندک است و خرابی آنها در مقایسه با کل سازه‌های آسیب دیدهٔ واقع در منطقهٔ زلزله‌زده قابل ملاحظه نیست. وجود گسل‌ها و حرکات آنها مسئله عمده‌ای برای شریان‌های حیاتی نظیر کانال‌ها، سدها و لوله‌های مختلف به شمار می‌رود.

نتیجه اصلی وقوع زلزله همانند سایر سوانح طبیعی، آسیب دیدن مصنوعات دست بشری است. آسیب‌های حین زلزله را بطور مجمل به صورت زیر می‌توان رده‌بندی کرد:

۱ـ گسیختگی و انهدام ساختمان‌ها که منشاء اصلی تلفات جانی و خسارات مالی است.

۲ـ فروریختن اشیاء نظیر وسایل تزیینی، قفسه‌ها، نرده‌ها و نماسازی‌ها.

---

1 - Tsunami
2 - Sea wave
3 - Seiches
4 - Liquefaction
5 - landslide
6 - Avalanche
7 - Mud flow
8 - Fault movements

۳ـ سیل ناشی از انهدام سدها
۴ـ آتش‌سوزی ناشی از قطع خطوط برق، شکستن لوله‌های گاز، فروافتادن اجاق‌های روشن و... معمولاً در صورت رخداد آتش‌سوزی متعاقب یک زمین‌لرزه قوی، گسترهٔ خرابی‌های آن وسیع بوده است. غالباً نبود آب آتش نشانی به دلیل قطع لوله‌های آب، مزید بر علت شده است.
۵ـ انفجار مخازن گاز، نفت یا مواد شیمیایی خطرآفرین.
۶ـ نشت مواد رادیوآکتیو از نیروگاه‌های اتمی؛ خوشبختانه دربارهٔ چنین آسیبی در جریان زمین لرزه‌ها تا این تاریخ (زمستان ۱۳۷۸) گزارشی منتشر نشده‌است.

جدول ۲ فرکانس وقوع زلزله‌ها را در سطح جهانی نشان می‌دهد. مطابق اطلاعات ارایه شده در جدول می‌توان ملاحظه کرد که وقوع زلزله‌های متوسط و خفیف پدیده‌ای معمول و متداول است.

۳ـ تاثیر ساختگاه برروی خرابی‌های ناشی از زلزله

اغلب ملاحظه شده‌است که تکان‌های زمین در ساختگاه[1] واقع برروی خاک نرم بطور قابل ملاحظه‌ای برای پریودهای طولانی، بزرگتر از تکان‌های زمین در ساختگاه هایی است که در

جدول ۲ـ فرکانس وقوع زلزله‌ها

بزرگی	شرح	تعدادمیانگین سالانه	زمان دوام تکان قوی زمین (ثانیه)	شعاع منطقه تاثیر تکان قوی زمین (کیلومتر)
۸ر۹	بسیارشدید	۱	۹۰ـ۳۰	۱۶۰ـ۸۰
۷ر۹ـ۷	شدید	۱۵	۵۰ـ۲۰	۱۲۰ـ۵۰
۶ر۹ـ۶	قوی (ویرانگراز نظر تخریب)	۱۴۰	۳۰ـ۱۰	۸۰ـ۲۰
۵ر۹ـ۵	متوسط(خرابی متوسط)	۹۰۰	۱۵ـ۲	۳۰ـ۵
۴ر۹ـ۴	خفیف (خرابی اندک)	۸۰۰۰	۱۵ـ۰	۱۵ـ۰

1 - Site

مجاورت ساختگاه اول ولی برروی بستر سنگی قرار گرفته‌اند. این گونه ملاحظات باتوجه به خسارات حاصل در دو نوع ساختگاه و نیز براساس اندازه‌گیری‌های مستقیم توسط دستگاه‌های نگاشت[1] به دست آمده‌اند. زلزله سال ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی نمونهٔ تاسف آور این پدیده بود. در این شهر نهشته‌های ۳۰ متری رس نرم موجد تقویت تکان زمین در پریودهای طولانی شدند و مسبب آسیب دیدن ساختمان‌های بلندمرتبه گردیدند. شکل ۱ این مطلب را با ارایهٔ طیف پاسخ حرکت روی لایه‌های رسی و در مجاورت ساختگاهی متشکل از خاک سخت، نشان می‌دهد. در این شکل، افزایش شتاب در حول و حوش پریود ۲ ثانیه کاملاً چشمگیر است. (طیف پاسخ[2] یا طیف بازتاب ترسیمه‌ای است که بیشینه پاسخ یک نوسانگر ساده با یک درجه آزادی را به تحریک یک زلزله به صورت تابعی از زمان تناوب یا فرکانس نشان می‌دهد). در همین شکل مشاهده می‌شود که پیش‌بینی نظری تقویت حرکات براساس مشخصات خاک و با استفاده از یک مدل کامپیوتری، با موارد اندازه‌گیری شده در محل تطابق خوبی دارد. تاثیرات ساختگاه در اغلب موارد با اطمینان مناسبی تعیین می‌شود و مشخصات لایه‌های خاک واقع بر روی بستر سنگی را منعکس می‌نماید.

قابلیت روانگرایی ساختگاه نیز جزو موارد فنی است که نیاز به بررسی جدی دارد. روانگرایی پدیده‌ای است که طی آن، خاک سست اشباع شده مقاومت خود را در اثر زلزله از دست داده و نظیر یک مایع رفتار می‌نماید. روانگرایی یک مسئله بالقوه است و در مناطق زلزله خیزی که سطح آب زیرزمینی در آنها بالا بوده و یا در مجاورت آب‌های ساحلی واقع شده و جنس خاک را قشرهای لای یا لای ماسه‌دار تشکیل داده باشد، به وفور به وقوع می‌پیوندد. در حین روانگرایی، دانه‌های ماسه تلاش می‌کنند که تراکم بیشتری به دست آورند و در صورتی که در این فرآیند آب منفذی نتواند تخلیه شود، افزایش فشار منفذی تا حد فشارروباره[3] موجب می‌شود که دانه‌ها به حالت غوطه‌ور در آب درآیند و هیچ گونه مقاومت برشی بین دانه‌ها وجود نداشته باشد. این پدیده در بسیاری از زمین‌لرزه‌ها نظیر زلزله‌های ژاپن و فیلیپین ملاحظه شده و به انهدام و گسیختگی جدی ساختمان‌ها منجر شده

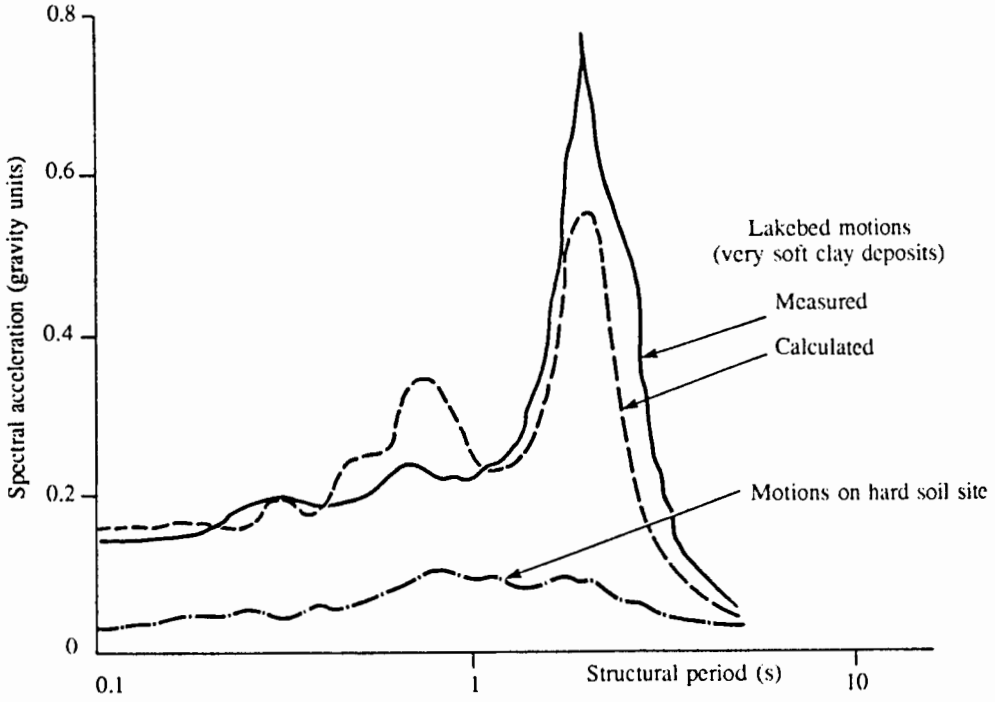
1 - Recording instruments
2 - Response spectrum
3 - Overburden pressure

است. امروزه پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در مورد نحوه ارزیابی استعداد یا پتانسیل روانگرایی ساختگاه انجام شده و معیارهایی در این‌باره عرضه شده‌است [۴،۵،۶،۷و۱۹].

۴ـ اثرات زلزله بر روی سازه‌ها

برخی از پارامترهای کلیدی که اثرات زلزله را از تأثیر سایر عوامل متمایز می‌کنند، در زیر آورده‌می‌شود:

۱ـ بارهای زلزله در اثر شتاب زمین حاصل می‌شوند و در سازه و المان‌های آن نیروهای اینرسی ایجاد می‌کنند، به عبارتی دیگر بارهای زلزله سرشتی دینامیکی دارند و از این رو مشخصات دینامیکی سازه، شدت یا ضعف پاسخ را تعیین می‌کند.

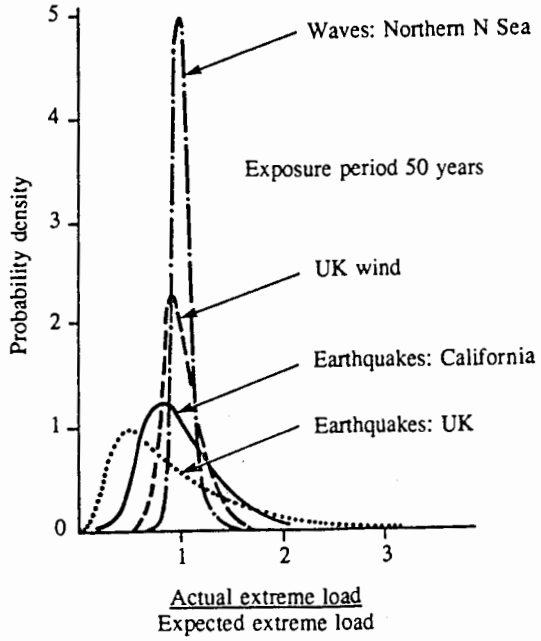


شکل ۱ـ تاثیر نوع خاک بر روی رفتار سازه در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی

۲ـ بارگذاری زلزله طبیعتاً به صورتی سیکلی یا چرخه‌ای است و تـاثیرات مـخرب یک چنین بارگذاری باید بر روی سازه، شالوده و خاک بسترسازه در نظر گرفته شود.

۳ـ عدم قطعیت‌های فراوانی در مورد دامنه، زمان دوام، محتوای فرکانسی جـنبش‌های زمین وجود دارد. مشخص کردن پاسخ سازه‌ها به چنین حـرکات پـیچیده‌ای، حـتی در صورتی که جنبش‌ها به خوبی و با قطعیت شناخته شده باشند غالباً به صورت قطعی و متعین دشوار است.

۴ـ جنبش‌های زمین‌لرزه با دورهٔ بازگشت طولانی‌مدت (احتمال وقوع سالیانه بسیار کم) در مقایسه با حرکات با پریود بازگشت کوتاه مدت، زیاد هستند. شکل ۲ تابع چگـالی احتمال[1] را برای بار نهایی قابل انتظار در یک دوره ۵۰ ساله و برای انواع بارگذاری‌هـا



شکل ۲ـ تابع چگالی احتمال برای بارهای باد، موج و زلزله

1 - Probability density function

نشان می‌دهد. (تابع چگالی احتمال نوعی هیستوگرام[1] یا نمودار ستونی است که در آن احتمال وقوع بین دو مقدار، متناسب با سطح زیر تابع است).

در این نمودار، منحنی‌های مربوط به باد و زلزله اختلاف اساسی را با یکدیگر به نمایش می‌گذارند. برای بارهای ناشی از موج یا باد، توزیع در حول و حوش مقدار مورد انتظار، لاغر و اوج‌دار است. این بدان معناست که بخت تجربه کردن باری که به مقدار قابل توجهی از مقدار مورد انتظار متفاوت باشد، اندک است. حال آنکه در مورد زلزله، احتمال تحمل باری که بزرگتر از بار مورد انتظار باشد در مناطق با لرزه‌خیزی کم، بالا و به وارون در مناطق با لرزه‌خیزی شدید، پایین است.

مقایسه بارگذاری زلزله و باد از نظرهای دیگری نیز قابل ملاحظه است. گرچه در هر دو مورد، پیش‌بینی سیستم لرزه‌بر جانبی در ساختمان الزامی است، لیکن تفاوت‌های اساسی بین تأثیرات آن دو موجود است که اهم آنها در جدول ۳، خلاصه شده‌است. شایان ذکر است که در مورد بارهای زلزله، کفایت مقاومت به تنهایی پایداری سازه‌ها را در برابر زلزله‌های شدید تأمین نمی‌کند؛ برای مثال در مناطق با لرزه‌خیزی شدید، به رغم آنکه نیروهای حاصل از فشار باد ممکن است از نیروهای زلزله بزرگتر باشند، لیکن پیش‌بینی تمهیدات اضافی خاصی برای پایداری مناسب سازه در برابر زلزله ضروری است. به این موارد در بندهای بعدی مقاله بیشتر پرداخته خواهد شد.

۵ـ هدف‌های طراحی ساختمان‌های پایدار در برابر زلزله

با توجه به عدم قطعیت موجود در انتخاب جنبش‌های زلزله، طراحی سازه برای مقابله با شدیدترین زلزله محتمل در طول عمر آن، نامعقول و غیراقتصادی است. از این رو در طراحی ساختمان‌های پایدار در برابر زلزله دو هدف اصلی زیر باید مدنظر قرار گیرد:

۱ـ پیش‌گیری از انهدام سازه طی شدیدترین زلزله محتمل با پذیرفتن رخداد برخی

---

1 - Histogram

صدمات سازه‌ای.

۲ـ پیش‌گیری از آسیب‌های سازه‌ای و محدود کردن صدمات ناسازه‌ای در زلزله‌هایی که وقوع آنها یک یا دو بار در طول عمر بهره‌برداری ساختمان محتمل است.

جدول ۳ـ اختلاف‌های اساسی بین بارهای باد و زلزله

	باد	زلزله
منشا بار	نیروهای خارجی ناشی از فشار باد می‌باشد	حرکات اعمال شده به ساختمان منبعث از ارتعاشات زمین است.
نوع و زمان دوام بار	وزش در طی چند ساعت. میزان بار دارای تغییراتی است ولی جهت غالب دریک راستاست.	بارهای گذرای‌سیکلی‌بازمان دوام چند دقیقه. بارها متناوباً جهت خودرا تغییر می‌دهند
پیش بینی بارها	معمولاً خوب و رضایتبخش باتوجه به برون‌یابی انجام شده از رکوردها، آنالیزساختگاه و تحلیل شکل بادها	ضعیف،داده‌های‌آماری معمولاً مربوط به‌بزرگی ارتعاش و تاثیرات آن است
تاثیر مشخصات خاک محل روی پاسخ سازه	بدون تاثیر اساسی	بسیار مهم و اساسی
عوامل اساسی موثربر روی پاسخ سازه	شکل خارجی و ابعادساختمان. مشخصات دینامیکی ساختمان فقط برای ساختمان‌های لاغر مهم است	شدیداً متاثر از مشخصات دینامیکی سازه‌است.پریوداصلی،میرایی و جرم، نظم درپلان ونظم در ارتفاع جزو عوامل‌بسیار مهم هستند.
مبانی‌طراحی‌متداول‌برای بزرگترین سانحه محتمل	پاسخ ارتجاعی ضروری است	پاسخ غیرارتجاعی به شرط تامین شرایط شکل‌پذیری مجاز است.
طراحی اجزای ناسازه	بارهابه نمای خارجی‌وارد می‌شوند.	تمامی‌اجزاومحتویات ساختمان‌تحت ارتعاش قرار می‌گیرند.طراحی‌و تثبیت اجزای ناسازه دربرابر زلزله لازم‌است.

موارد پیش‌گفته در برخی از آیین‌نامه‌های زلزله از جمله آیین‌نامه زلاندنو و ژاپن به صورت زلزله‌های سطح بهره‌برداری[1] و سطح نهایی[2] مطرح می‌شوند. اکثر آیین‌نامه‌های معتبر دیگر نظیر UBC و EC-8 فقط یک سطح از بارگذاری لرزه‌ای را در نظر می‌گیرند و در مقابل، شرایط و تمهیداتی که برای مقاومت و شکل پذیری ارایه می‌دهند در جهت پیشگیری از انهدام ساختمان در شدیدترین زلزله محتمل بوده و موارد آیین‌نامه‌ای مربوط به محدودیت تغییرشکل‌ها برای جلوگیری از بروز خسارات ناسازه‌ای در زلزله‌های متداول محتمل می‌باشند.

برای طراحی یک ساختمان پایدار در برابر زلزله، توجه به چهار عامل عمده زیر ضروری است:

۱ـ محور بندی مناسب و تهیه پلان‌های سازه‌ای معقول

۲ـ مدل‌سازی سازگار با واقعیت فیزیکی ساختمان و انجام آنالیزهای متناسب با آن.

۳ـ ارایه جزئیات مناسب برای اجزای سازه‌ای و ناسازه‌ای ساختمان.

۴ـ کنترل کیفیت در هر دو مرحله طراحی و اجرا. این مورد در غالب آیین نامه‌ها به عنوان یکی از گام‌های اساسی در طراحی و اجرای ساختمان‌های مقاوم به زلزله مطرح می‌شوند. باید توجه کرد در صورتی که پیشرفته‌ترین آیین نامه بین المللی به درستی به کار برده نشود و یا استفادهٔ ناقصی از آن، چه در طراحی و چه در اجرا به عمل آید، نقش چندان موثری در پایداری ساختمان در برابر زلزله ایفا نخواهدکرد.

موارد چهارگانه فوق الذکر به اجمال در بندهای بعدی مقاله مورد بحث قرار می‌گیرند.

۶ـ ملاحظات مربوط به طراحی

۶ـ۱ـ تاثیر شرایط ساختگاه

پیش از شروع هر پروژه ساختمانی، لازم است از شرایط و مشخصات زمین محل و سطح

---

1 - Serviceability level

2 - Extreme level

آب زیرزمینی اطلاعاتی کسب گردد. یکی از مشخصه‌های موردنظر، پریود زمین محل پروژه یا ساختگاه است تا طراح سازه از همگام نبودن پریود ساختمان در دست طراحی با پریود ساختگاه اطمینان حاصل نماید. موارد بعدی، بررسی استعداد روانگرایی زمین و پایداری شیب‌ها در محل پروژه است. معمولاً برای چنین بررسی‌هایی، آزمایش‌های متداول مکانیک خاک جوابگوست. در جدول ۴، روش‌های متداول برای شناسایی ساختگاه آورده شده‌اند.

پریود ساختگاه، پریود اصلی ارتعاش خاک‌های روی بستر سنگی تحت اثر تحریکات زلزله است. در صورتی که این پریود با پریود سازه یکسان باشد موجب تشدید ارتعاش و منجر به تقویت پاسخ سازه خواهدشد. با شناخت پریود ساختگاه و تغییر سختی سازه، می‌توان مشکل همگامی سازه و زمین را حل کرد. یک معیار اولیه از میزان پریود لایه‌های یکنواخت خاک از تقسیم کردن ۴ برابر سرعت موج برشی خاک به عمق لایه خاک به دست می‌آید. باتوجه به این مطلب، نهشته‌های عمیق و نرم برای ساختمان‌های بلندمرتبه و رسوبات سخت کم عمق برای ساختمان‌های کوتاه، آسیب رسان هستند.

قابلیت روانگرایی خاک و ناپایداری شیب‌ها در یک منطقه، طراح سازه را نهایتاً به یکی از راه‌حل‌های زیر راهبر می‌شود: رهاکردن ساختگاه یا تقبل هزینه‌های نسبتاً سنگین بهسازی خاک.

۶-۲- سیستم‌های سازه‌ای

انتخاب سیستم سازه‌ای متناسب با طرح، یکی از چالش‌های اساسی مهندس طراح سازه می‌باشد. تنوعی که در انتخاب نوع مصالح مصرفی، سیستم سازه‌ای برای بارهای ثقلی و سیستم لرزه‌بر، پوشش‌ها و دیافراگم‌ها و نیز مسایل اجرایی و مبانی اقتصادی وجود دارد، گستره وسیعی را در برابر مهندس طراح می‌گشاید و تصمیم‌گیری‌ها را به چالشی اساسی بدل می‌کند. با ذکر مثالی کوتاه این بند را به پایان می‌بریم و تفصیل و توضیح بیشتر را به کتاب‌های تخصصی واگذار می‌کنیم [۲، ۳، ۸، ۹، ۱۰ و ۲۰].

جدول ۴ـ آزمایش‌های ضروری خاک برای تعیین پتانسیل روانگرایی و آنالیز پاسخ ساختگاه

		آزمایش موردنیاز	
	مشخصه موردنظر	آزمایشگاهی	سرمحل
روانگرایی	تراکم نسبی	ـ	SPT و CPT
	سطح آب زیرزمینی	ـ	گمانه‌زنی معمولی
	دانه‌بندی	دانه‌بندی	ـ
	فشار منفذی	سه‌محوری سیکلی*	ـ
بازتاب‌ساختگاه	مدول برشی	ستون تشدید[1] وسه‌محوری سیکلی*	۱ـ SPT وتشریح‌بصری خاک ۲ـ امواج نزولی[2] و / یا امواج عبوری[3]
	میرایی	۱ـ شاخص خمیری ۲ـ ستون تشدیدو / یا سه محوری سیکلی*	SPT و تشریح بصری خاک
	تراکم خاک	اندازه‌گیری تراکم	گمانه‌زنی هسته‌ای[4]
	ژرفای بسترسنگی	ـ	داده‌های مربوط به گمانه‌ها

* آزمایش‌های تخصصی معمولاً موقعی موردنیاز است که نتایج آزمایش‌های SPT و یا تشریح چشمی خاک برای‌تعیین مشخصات دینامیکی خاک ناکافی باشد.

قاب‌های لنگرگیر مهاربندی نشده، انعطاف‌پذیر هستند و تمایل دارند که پریود طبیعی طولانی داشته باشند، این امر غالباً آنها را از همگامی با حرکات زمین باز می‌دارد. از طرف دیگر، چنین قاب‌هایی تغییرمکان‌های بالنسبه بالایی را در زلزله‌ها متحمل می‌شوند که به اجزای ناسازه و المان‌های نما آسیب می‌رسانند. چنین ملاحظاتی در تصمیم‌گیری بین ساختمان‌های دارای دیوار برشی یا متشکل از قاب‌های لنگرگیر به عنوان سیستم لرزه بر، مهم و تعیین کننده می‌باشند.

1 - Resonant column test
2 - Down-hole test
3 - Cross-hole test
4 - Nuclear probing

۶ـ۳ـ فرم‌ها و پلان‌های سازه‌ای

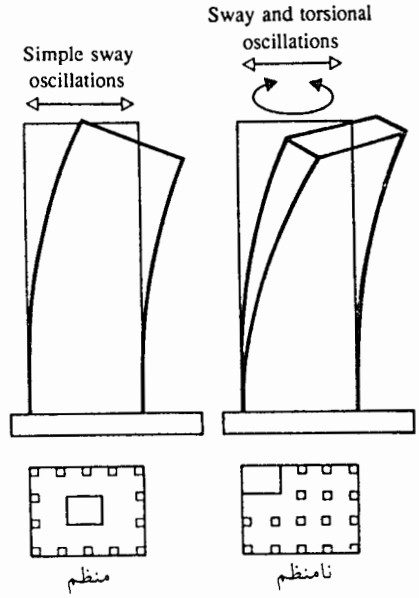
تجربه زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد ساختمان‌هایی که به خوبی تعریف شده و اجزای باربر آنها به درستی به هم متصل شده‌باشند و مسیر گذر نیروها به صورتی پیوسته تا شالوده ادامه داشته باشد، در زمین‌لرزه‌ها رفتار مناسب‌تری در مقایسه با ساختمان‌های فاقد موارد پیش‌گفته، داشته‌اند.

تأمین تقارن در پلان ساختمان نیز تاثیر مهمی روی مقاومت ساختمان در برابر زلزله دارد. برای ساختمان هایی که بی‌نظمی زیادی در پلان دارند، خرابی‌های ناشی از زلزله به مراتب بیشتر از ساختمان‌هایی است که با پلانی کم و بیش مشابه، بی نظمی‌های مربوط را حذف کرده‌اند. علت این امر آن است که تغییر ناگهانی در مقاطع موجب تمرکز تنش می‌شود و محل‌های معروض به چنین تغییراتی عملاً به نقاط بالقوه گسیختگی تبدیل می‌شوند. نمونه عام این مطلب، طبقه نرم[1] یا طبقه ضعیف[2] است که اغلب به خاطر شرایط معماری و الزام به فضاهای وسیع در طبقه همکف ایجاد می‌شود. طبقه نرم منجر به تمرکز تغییر شکل‌ها در راستای این طبقه در حین زلزله می‌شود و نیاز یا طلب سازه‌ای[3] را به شدت افزایش می‌دهد. طبقه نرم یکی از عواملی است که در صورت عدم توجه کافی و عدم برخورد منطقی با آن، بیشترین گسیختگی و انهدام سازه‌ای را در زلزله‌ها موجب می‌شود.

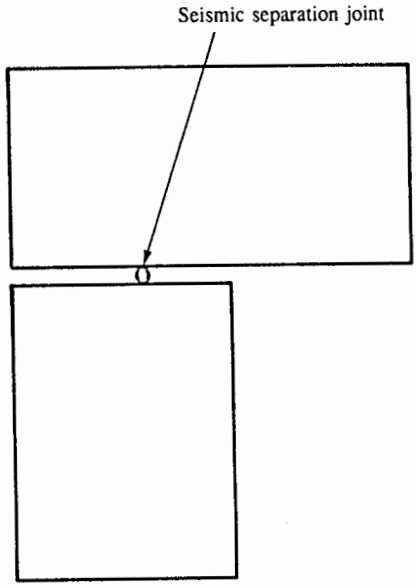
یکی از موارد بی‌نظمی در پلان، عدم انطباق مراکز سختی و جرم سازه در طبقات است. هر قدر فاصله بین مراکز سختی وجرم بیشتر باشد. پیچش ناشی از این امر بیشتر و در نتیجه خرابی متأثر از آن فزونتز می‌شود (شکل ۳). از این رو پلان‌های منظم و متقارن از نقطه‌نظر آرایش عناصر سازه‌ای و پلان‌های حدوداً همسان در طبقات، عملکرد مناسبی به ساختمان در برابر زلزله‌های شدید می‌بخشند.

---

1 - Soft story
2 - Weak story
3 - Structural demand



شکل ۳ ـ پلان‌های سازه‌ای منظم و نامنظم



شکل ۴ ـ استفاده از درز جدایی برای دستیابی به پلان‌های مناسب

اجزای لرزه‌بر قائم باید از نظر محل استقرار، نظم و مقاومت به درستی بررسی شوند. پلان‌های نامنظم و نامتقارن را می‌توان با تعبیه درز به دو شکل مناسب تبدیل کرد (شکل ۴). فاصله درز باید طوری انتخاب شود که برخورد احتمالی قسمت‌های جدا شده ساختمان در حین زلزله، صدمه‌ای به ساختمان نرساند.

جداسازی دو ساختمان مستقل مجاور هم نیز از اهمیت زیادی برخوردار است، چراکه به علت اختلاف در پریود ارتعاش و ارتفاع، این احتمال وجود دارد که سقف صلب یکی از ساختمان‌ها در زمان زلزله به قسمت میانی یکی از طبقات ساختمان دیگر اصابت کند و موجد تخریب گردد.

توزیع مناسب جرم در ساختمان از جمله مواردی است که بایستی به دقت مدنظر قرار گیرد. مشخصه مدنوسانی[1] ساختمان‌ها نشانگر آن است که تمرکز جرم‌ها در طبقات بالایی ساختمان تأثیر نامساعدی در رفتار ساختمان در مقایسه با حالتی دارد که جرم‌ها در طبقات پایین ساختمان متمرکز بشوند.

آخر سر شایسته است مهندس طراح سازه از اعتماد و اطمینان کامل به چند المان منحصربه‌فرد برای تأمین پایداری در برابر نیروهای ناشی از زلزله اجتناب نماید، چرا که در صورت گسیخته شدن اجزای مزبور، خط دفاعی ذخیره‌ای در سازه وجود نخواهد داشت. برای نمونه، ترکیب دیوارهای برشی با قاب‌های لنگرگیر یکی از راه‌های مناسب ایجاد افزونگی[2] در سازه است.
شرح تفصیلی دربارهٔ تأثیر شکل و انتظام در پایداری ساختمان در برابر زلزله را می‌توان در مراجعی نظیر ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۲۱و ۲۲ یافت. برای تأمین چنین مواردی همکاری تنگاتنگ بین مهندسین معمار، سازه و تاسیسات از همان آغاز فعالیت‌های طراحی ضروری است. در مقاله مستدلی به قلم آقای دکتر مهدی قالیبافیان، نشان داده شده است که نقش مهندس معمار در تامین معیارهای انتظام و اصالت طرح به درستی بیش از نقش مهندس محاسب سازه است [۲۳].

۶-۴- پاسخ‌های شکل‌پذیر و تردشکن

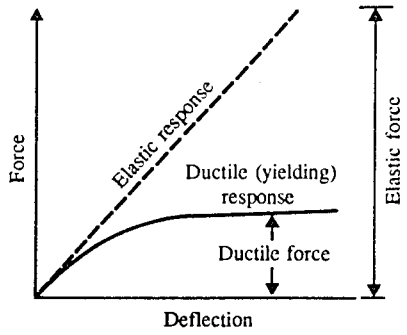
مواردی که پیشتر گفته شد در راستای حصول یک طرح مقاوم به زلزله موثرند ولی الزاماً این اطمینان را فراهم نمی‌آورند که طی یک زلزله شدید، گسیختگی جدی یا انهدام در سازه رخ ندهد. تقویت سازه تا آن درجه که هیچ زلزله‌ای موجد صدمه‌ای بر سازه نشود، عملی غیراقتصادی است. استراتژی عمومی آن است که بپذیریم سازه در یک زلزله شدید تسلیم بشود ولی پاسخ بعد از تسلیم[3] آن شکل‌پذیر باشد نه تردشکن. سازهٔ شکل‌پذیر، سازه‌ای است که پایداری خود را تحت اثر بارهای سیکلی تکرار شونده علی‌رغم حصول

1 - Swaying mode
2 - Redundancy
3 - Post-yield response

تغییرشکل‌های قابل ملاحظه و بزرگتر از تغییرشکل‌های متناظر به تسلیم، حفظ نماید. به عبارت دیگر سازهٔ شکل‌پذیر انرژی سینتیک حاصل از زمین‌لرزه را با فراهم نمودن امکان تغییرشکل‌های پلاستیک جذب می‌نماید.

استراتژی پیش گفته، این امکان را می‌دهد که طی شدیدترین زلزله محتمل، صدمات سازه‌ای حتی تا آن درجه که سازه قابل مرمت نباشد، روی بدهد. البته باید توجه داشت که نکته ذکر شده برای یک زلزله نهایی و نادر صادق است و ضوابط شکل‌پذیری عملکرد مناسب خود را عملاً طی زلزله‌های شدید به خوبی نشان داده‌اند. به هر حال، پیش‌بینی شکل‌پذیری در ساختمان‌ها، مطمئن‌ترین راه حل برای جلوگیری از انهدام فاجعه‌آمیز ساختمان‌ها در زمان وقوع زلزله‌ای شدید است که طی آن حرکات ساختمان یا نیروهای داخلی ایجاد شده در المان‌های سازه‌ای محتملاً می‌توانند بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده در آیین‌نامه‌ها باشند.

آیین‌نامه‌های جدید و معتبر زلزله از روش تسلیم شکل‌پذیر برای کاهش سطح نیروهای طراحی لرزه‌ای استفاده می‌کنند و معمولاً سطح نیروهای لرزه‌ای را ۴ تا ۶ برابر کمتر از حالتی که لازم است تا سازه ارتجاعی باقی بماند، پایین می‌آورند (شکل ۵). نیازهای شکل‌پذیری در سطوح پایین آن در غالب آیین‌نامه‌های زلزله از جمله آیین‌نامه ژاپن بطور ضمنی ملحوظ شده‌است؛ لیکن کاهش طلب لرزه‌ای در آنها تا حد ۲ برابر یا بیشتر از طلب ارتجاعی در طی شدیدترین زلزله محتمل نیز مجاز شمرده می‌شود.



شکل ۵ـ نیروها در سیستم‌های شکل‌پذیر و ارتجاعی

ضوابط شکل‌پذیری که اینک جای خود را در اکثر آیین‌نامه‌های زلزله دنیا پیدا کرده‌است، ثمرهٔ حدود ۳۰ سال تحقیقات دامنه‌داری است که در مراکز پژوهشی معتبر و دانشگاه‌های معروف انجام شده‌است. تحقیقاتی که پروفسور تام پاولی و همکارانش در دانشگاه کانتربوری زلاندنو دربارهٔ مفاهیم پیش‌گفته انجام داده‌اند، حالیه تحت عنوان طراحی ظرفیت[1]، اهمیت و اعتبار خود را در مهندسی زلزله نشان داده‌است. اطلاعات موجز دربارهٔ مفاهیم طراحی ظرفیت را در مرجع ۱۴ و اطلاعات جامع و کاملتر را در مرجع ۱۵ می‌توان یافت.

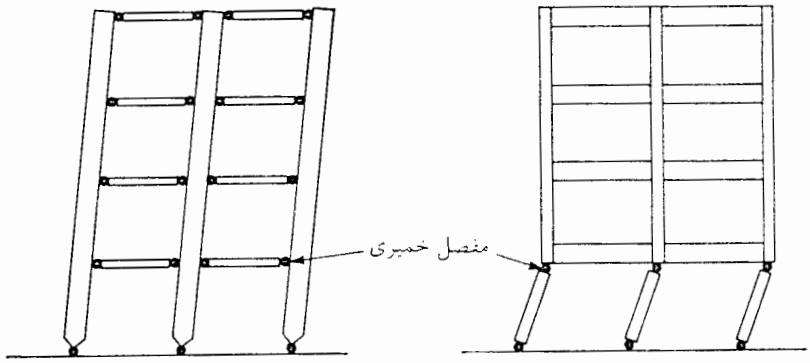
طراحی ظرفیت براین اساس استوار است که یک سازهٔ شکل‌پذیر موفق در برابر تحریکات زلزله، سازه‌ای است که در آن مدهای گسیختگی شکل‌پذیر، پیوندهای ضعیفی را که در واقع فیوزهای سازه‌ای هستند، تشکیل بدهند و تسلیم آنها نهایتاً از انباشت نیرو در سازه و رسیدن به حالت‌های گسیختگی تردشکن جلوگیری کند. رسیدن به چنین هدفی مستلزم ارایه جزئیات بسیار دقیق سازه‌ای است. برای مثال با پیش‌بینی میلگرد برشی کافی در یک تیر بتن آرمه باید اطمینان حاصل کرد که مقاومت برشی آن از میزان ضروری برای تشکیل مفصل‌های خمشی تجاوز کرده‌است. با این حال، فرم کلی سازه نیز تأثیرات خود را دارد. برای نمونه در یک ساختمان بلندمرتبه که سیستم سازه‌ای آن از قاب‌های لنگرگیر تشکیل شده، در عین پرهیز از ایجاد طبقه نرم، باید تمهیداتی اندیشید که ستون‌ها قوی‌تر از تیرها باشند و در نتیجه مفصل‌های خمیری در تیرها تشکیل شوند (شکل ۶). نتیجهٔ عملی چنین تمهیداتی افزایش ابعاد ستون‌ها در مقایسه با حالتی است که فقط برای بار ثقلی طرح شوند.

۶-۵ ـ تأمین سختی کافی برای سازه

یک سازه پایدار در برابر زلزله نه تنها می‌باید ضوابط شکل‌پذیری را ارضا کند بلکه تغییرشکل‌های مختلف آن در حین زلزله نباید از مقادیری تجاوز کنند که المان‌های باربر سازه در حالت بارگذاری ثقلی نتوانند تغییرشکل‌های مزبور را بدون گسیختگی ترد تحمل کنند. ضمناً تغییرشکل‌های متأثر از زلزله نباید صدمه‌ای به اجزای ناسازه نظیر نماها،

---

1 - Capacity design



شکل ۶ـ آرایش مناسب و نامناسب مقاومت نسبی اعضا

تیغه‌ها، سیستم‌های لوله‌کشی و غیره برسانند. از این رو برای محدود کردن تغییر شکل‌های سازه ضروری است سختی سازه هماهنگ با مواد آیین‌نامه‌ای کنترل شود. این کنترل‌ها پیش از ارضای تمهیدات مربوط به مقاومت، در تعیین ابعاد المان‌های باربر در ساختمان‌های بلندمرتبه موثرند.

۶ـ۶ـ اندرکنش سازه و ناسازه

تغییرمکان سازه در حین زلزله موجد نیروهای اینرسی در المان‌ها و نیز محتویات ساختمان‌ها می‌شود و می‌تواند موجب گسیختگی و به هم ریختگی اجزای ناسازه گردد. همین‌طور در صورتی که تجهیزات مکانیکی و برقی، سقف‌های کاذب، تیغه‌های داخلی و... فاقد پیوند مناسبی باسازه باشند معروض به خرابی و فروریزش هستند.

اتصال اجزای ناسازه به المان‌های سازه معمولاً با ارایه چند جزئیات اجرایی تیپ برگزار می‌شود، ولی طراح سازه باید توجه کند که اجزای ناسازه‌ای سخت نظیر بلوک‌های سفالی یا

سیمانی پرکننده تیغه‌ها و یا نماها در مواقعی می‌توانند تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سختی و نهایتاً در پاسخ سازه ایجاد کنند. بنابراین در مراحل نخست طراحی، شایسته است در مورد جداسازی المان‌های نما، تیغه‌ها، پله‌ها از سازهٔ اصلی و یا اتصال و همکاری آنها با سازه، تصمیم مقتضی گرفته شود. همکاری و هماهنگی بین مهندس طراح سازه و سایر اعضاء گروه طراحی نظیر مهندس معمار و مهندس تاسیسات برای تامین اندرکنش لرزه‌ای مناسب بین اجزای سازه و ناسازه ضروری است.

۷ـ تحلیل سازه برای اثرات زلزله

یکی از مراحل مهم در طراحی ساختمان‌ها، مرحله تحلیل آنهاست. گام‌های زیر را می‌توان به عنوان مراحل اساسی آنالیز سازه‌ها نام برد:

۱ـ انتخاب مدل مناسب و تعیین ابعاد اجزای آن و تعریف شرایط حدی مدل

۲ـ تحلیل مدل تحت اثر بارهای مختلف از جمله بارهای لرزه‌ای و مشخص کردن ترکیب‌های مختلف بارگذاری

۳ـ تعیین تنش‌ها و تغییرمکان‌ها برای بارگذاری‌های حاکم

۴ـ کنترل نتایج حاصل

امروزه، وجود نرم افزارهای متنوع آنالیز سازه، این بخش از کار طراحی را با سهولت بی‌نظیری مواجه ساخته است. به رغم این موضوع، آنالیز برای اثرات زلزله پیچیده بوده و وقت زیادی از مهندس طراح و هم از کامپیوتر را به خود اختصاص می‌دهد. به علاوه عدم قطعیت‌هایی نظیر جنبش‌های ورودی، پاسخ مصالح ساختمانی و خاک برای بارهای دینامیکی سیکلی، محدودیت‌هایی را برای تحلیل کننده سازه ایجاد می‌کنند. مهندس طراح سازه هنگام استفاده از نرم افزارهای موجود بایستی دامنه کاربرد و محدودیت آنها را به خوبی در نظر داشته باشد و نتایج حاصل از آنالیز رایانه‌ای را به صورتی نقادانه کنترل کند و این موضوع را هرگز از ذهن بیرون نکند که آنالیز سازه فقط یک مرحله از مراحل طراحی سازه است و صفحات بی‌شمار برون‌دادهای کامپیوتری هرگز نمی‌توانند جایگزین ذهن و اندیشه خلاق مهندس و قضاوت درست مهندسی گردند.

۸ـ ارایه جزئیات اجرایی

ارایه جزئیات اجرایی یکی از گام‌های مهم در روند طراحی مقاوم به زلزله است. برای ساختمان‌های بتن‌آرمه، جزئیات اجرایی عملاً بر روی نحوه آرایش میلگردها متمرکز می‌شود. در المان‌های بتن‌آرمه می‌باید به قدر کافی میلگرد عرضی پیش‌بینی شود تا از گسیختگی‌های برشی یا خردشدگی و نیز از کمانش آرماتورهای اصلی جلوگیری شود. میلگردهای اصلی نباید مهار خود را در داخل بتن در حین اعمال بارهای سیکلی متغیر تکرار شونده ناشی از یک زلزله شدید از دست بدهند. در ساختمان‌های فولادی، اتصالات نقش اساسی در پایداری ساختمان در برابر زلزله دارند و ملاحظات مربوط به طراحی مقاوم به زلزله بطور عمده برروی اتصالات متمرکز می‌شود و در طراحی آنها این اصل باید رعایت شود که گسیختگی محتمل اتصالات همواره پس از تسلیم اعضای قاب رخ دهد.

ارایه جزئیات اجرایی برای اجزای ناسازهٔ ساختمان نیز ضروری است. تجهیزات سنگین نظیر مخازن آب، دستگاه‌های برودتی و حرارتی باید بطور مناسبی به اجزای سازهٔ اصلی مهار شوند. ناسازه‌های سبک نظیر سقف‌های کاذب، قفسه‌های مختلف نیز در صورت عدم پیوند با سازهٔ اصلی در معرض فروریزش و خرابی در حین زلزله‌ای شدید هستند. دربند ۶ـ۶ مقاله، اندکی بیشتر به این موضوعات پرداخته شده است.

۹ـ فن‌آوری‌های جدید برای بهبود و افزایش مقاومت لرزه‌ای سازه‌ها

در سی سال گذشته، سیستم‌های ویژه‌ای ابداع شده‌اند که مقاومت لرزه‌ای سازه‌ها را بهبود بخشیده و پایداری آنها را در برابر زلزله‌ها افزایش می‌دهند. این امر عمدتاً با تغییر مشخصه‌های دینامیکی سازه‌ها به یکی از شکل‌های فعال[1] (عامل) و یا غیرفعال[2] (غیرعامل) صورت می‌گیرد. ادوات کنترل غیر فعال، پریود سازه را تغییر می‌دهند یا میرایی آن را افزایش می‌دهند و در اغلب موارد هردو کار را به صورت همزمان انجام می‌دهند.

---

1 - Active control

2 - Passive control

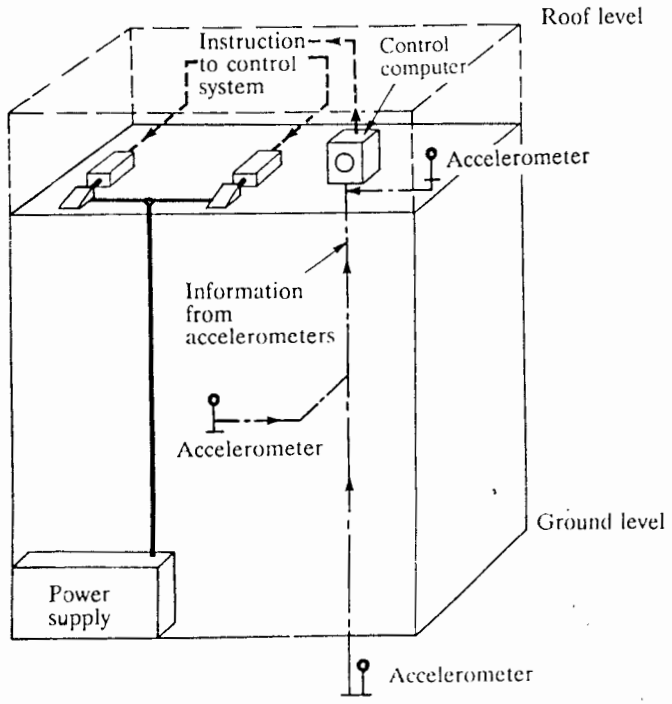
سیستم‌های کنترل فعال کامپیوتری نیز ابداع شده و در حال گسترش‌اند که در این سیستم‌ها، ادوات کنترل، مشخصات دینامیکی سازه را در حین زلزله به صورتی پیوسته کنترل کرده و در صورت نیاز آنها را تغییر می‌دهد. شکل ۷ اصول و مولفه‌های یک سیستم کنترل فعال کامپیوتری را نشان می‌دهد. شرح مبسوط سیستم‌های کنترل لرزه‌ای و بررسی مقایسه‌ای آنها در کتابی از پروفسور واربرتن آورده شده است [۱۶]. مطابق نظر پروفسور واربرتن، فن‌آوری‌های جدید فوق الذکر را می‌توان به چهار رده به شرح زیر تقسیم نمود:

۱ـ جداگرهای لرزه‌ای[1] یا ایزولاتورهای پایه‌ای[2]

۲ـ میراگرها با جرم تنظیم شونده[3]

۳ـ میراگرهای افزوده شده[4]

۴ـ کنترل‌های فعال



شکل ۷ـ اصول و مولفه‌های سیستم کنترل فعال

1 - Seismic isolator
2 - Base isolator
3 - Mass-tuned damper
4 - Added damper

سه نوع اول سیستم‌های نام برده شده در رده کنترل‌های غیرفعال قرار دارند که از آن میان بطور مختصر به جداگرهای لرزه‌ای پرداخته خواهد شد.

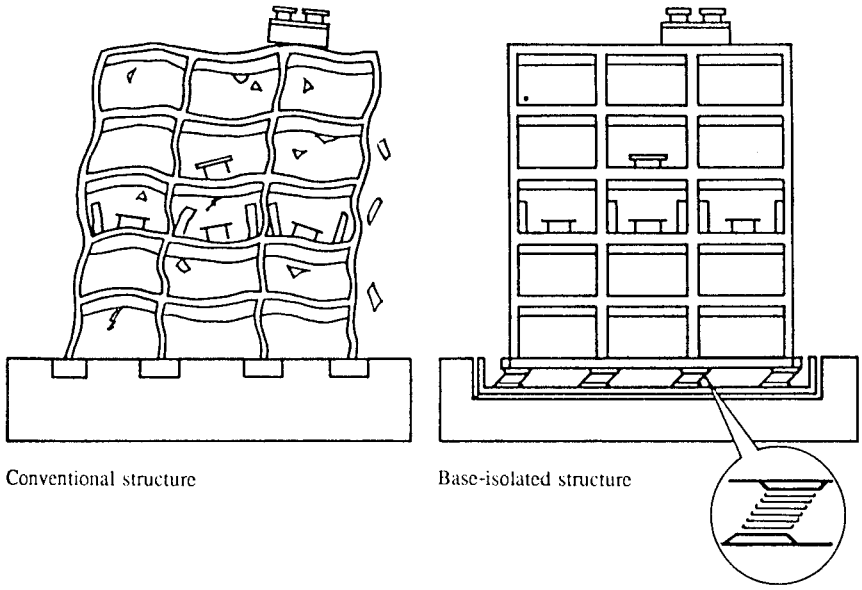
در روش جداسازی لرزه‌ای[1] یا ایزولاسیون پایه[2]، ساختمان به وسیله قطعاتی متشکل از موادالاستومری که‌باصفحات‌فولادی یا آلیاژهای‌ویژه مسلح‌شده‌اند به‌زمین‌متصل می‌شوند. خصوصیات دینامیکی این سیستم‌ها با توجه به پریود طبیعی، میرایی و دیگر مشخصات سازه، طوری انتخاب و تنظیم می‌گردند که از انتقال انرژی به سازه در حین زلزله می‌کاهندو انرژی حاصل را با ایجاد تغییرشکل‌های خمیری و وجود خاصیت پسماند در خود سیستم مستهلک می‌سازند. اندازهٔ قطعات الاستومری معمولاً ۶۰ سانتیمتر و ضخامت آنها بین ۱۵ تا ۲۵ سانتیمتر است. ظرفیت باربری هر قطعه برای بار قائم حدوداً ۶۰ تن می‌باشد. اصول ایزولاسیون پایه در شکل ۸ و یک نمونه از تکیه گاه الاستومری با هسته سربی در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. این نوع جداگرها، عملکرد مناسبی طی زلزله ۱۹۹۵ کوبه داشته‌اند.

سیستم ایزولاسیون پایه، نیروهای وارد به روسازه[3] را به میزان ۲ تا ۳ برابر کاهش می‌دهد؛ مضافاً اینکه، شتاب‌های مربوط به فرکانس‌های بالا را فیلتر کرده و تغییر شکل نسبی طبقات راکم می‌کند و بدین ترتیب به خوبی از اجزای ناسازه و نیز محتویات و لوازم باارزش داخل ساختمان محافظت به عمل می‌آورد (شکل ۸).

استفاده از جداگرهای لرزه‌ای بیشتر برای ساختمان‌های کوتاه یا با ارتفاع متوسط که برروی خاک سفت قرار دارند، مناسب است. استفاده از این ادوات در ساختمان‌های بلند مرتبه به دلیل نیروهای بالارانش فوق العاده ایجاد شده در جداگرها و نیز در زمین‌های نرم به دلیل جنبش‌های مرتبط با پریود طولانی زمین‌لرزه و احتمال همگامی مناسب نمی‌باشد. همچنین طبق شواهد موجود در صورتی که سازه نامتقارن و نامنظم باشد پیچش ایجاد شده در سازه از کارآیی جداگرها به مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌کاهد.

---

1 - Seismic isolation
2 - Base isolation
3 - Superstructure



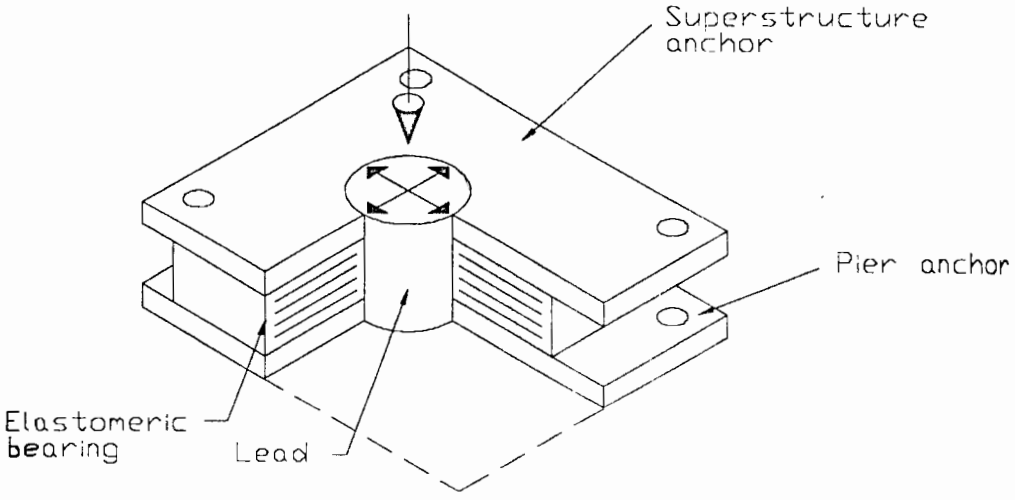
شکل ۸ـ اصول جداسازی پایه

یکی از مشکلات جداسازی لرزه‌ای، تغییر شکل بالنسبه زیادی است که بین قسمت‌های بالایی و پایینی تکیه‌گاه در یک زلزله شدید روی می‌دهد. این تغییر شکل، ممکن است به لوله‌های مختلف تاسیساتی در تراز همکف صدمه برساند. با استفاده از لوله‌های انعطاف‌پذیر و با پیش‌بینی جزئیات اجرایی مناسب در تراز همکف، این مشکل عملاً قابل حل می‌باشد.

یک مسئله دیگر دربارهٔ جداگرهای لرزه‌ای و سایر سیستم‌های مشابه جاذب انرژی، نیاز به فضای اضافی در زیر قسمت‌هایی است که این ادوات نصب می‌شوند. این فضا که بنا به ضرورت برای بازدید مرتب این سیستم‌ها تهیه می‌شود بر هزینه ساختمان می‌افزاید. ایراد اساسی دیگری که برای این گونه سیستم‌ها مترتب است، تغییر مشخصات اولیه سیستم جداگر در طول زمان و در اثر وقوع زلزله‌های متعدد می‌باشد که احتمالاً منجربه تعویض سیستم بشود که خود هزینهٔ سنگین دیگری را بر ساختمان اعمال می‌کند [۲۴].

تعیین دقیق صرفه اقتصادی جداسازی لرزه‌ای مشکل است؛ به این دلیل که ساختمان مجهز شده با جداگرهای لرزه‌ای، عملاً منحصربه فرد بوده و ساختمان مشابه آن چه به صورت معمولی و یا ایزوله شده، برای بررسی تطبیقی پیدا نمی‌شود. هزینه جداگرهای لرزه‌ای حدوداً ۱۰ درصد هزینه کل سازهٔ ساختمان برآورده شده است [۳]. به رغم هزینهٔ نسبتاً بالا، در حال حاضر در کشورهای پیشرفته زلزله‌خیز دنیا، از این سیستم‌ها در ساختمان‌هایی که پایداری آنها در عملیات امداد و اضطراری بعد از زلزله ضرورت دارد، به صورتی بالنسبه گسترده استفاده می‌شود. سیستم جداسازی لرزه‌ای مناسب‌ترین سیستمی است که مقاومت لرزه‌ای ساختمان‌های تاریخی و فرهنگی را بهبود می‌بخشد و از این رو ضرورت حفظ یک ساختمان با ارزش قدیمی، هزینه جداسازی را تحت الشعاع قرار می‌دهد.

به رغم مشکلات پیش گفته، تحقیقات دامنه داری در سطح بین‌المللی خصوصاً در کشورهای زلزله خیز و پیشرفته جهان دربارهٔ جداسازی لرزه‌ای انجام گرفته و نتایج آنها طی صدها مقاله و گزارش منتشر شده است. پابه پای این تحقیقات، تعداد زیادی ساختمان، پل، نیروگاه هسته‌ای و واحدهای صنعتی با انواع مختلف جداگرها تجهیز شده‌اند. تحقیقات



شکل ۹ـ تکیه‌گاه الاستومری با هسته سربی

مزبور، بخشی در راستای حل معضلات موجود و تکمیل فن‌آوری‌ها انجام گرفته و بخش دیگر نظر به آینده و گشودن افق‌های نوین در امر کنترل سازه‌ها در برابر زلزله دارد. فصل ۱۳ مرجع ۲ و فصل ۱۰ مرجع ۳ و نیز مرجع ۱۷ به تمامی، اطلاعات جامعی دربارهٔ جداسازی لرزه‌ای ارایه می‌دهند. در کتابی هم که اخیراً آقایان دکتر فرزاد نعیم و دکتر جیمز کلی نگاشته‌اند مبانی محاسباتی و شیوه‌های طراحی سازه‌های مستقر بر روی جداگرها به تفصیل بحث شده است [۱۸].

مراجع

1. Dowrick D.J. (1987), Earthquake Resistant Design, John Wiley and Sons, New York.
2. Naeim F., Editor (1989), The Seismic Design Handbook, Van Nostrand Reinhold , New York.
3. Booth E. (1994), Concrete Structures in Earthquake Regions, Design and Analysis, Longman S.&.T., London.
4. Seed H.B. (1975), Earthquake Effects on Soil-Foundation Systems , Ch. 25 of Foundation Engineering Handbook, Winterkon H.F. and Fang H.Y. Editors, Van Nostrand Reinhold, New York.
5. Ishihara K. (1993), Liquefaction and Flow Failure During Earthquakes. The 33rd Rankine Lecture. Geotechnique 43(3), Institution of Civil Engineers, London.
6. Ghahramani A.(1995), Recent Developments in Geotechnique for Earthquake Engineering. Proc. of the Second ICSEE, Vol.I, Tehran.
7. Kramer S.L.(1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
8. Fintel M., Editor (1985), Handbook of Concrete Engineering, Van Nostrand Reinhold, New York.
9. Stafford Smith B., Coull A.(1991), Tall Buildings Structures : Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York.
10. Taranath B.S.(1988), Structural Analysis and Design of Tall Building, Mc Graw-Hill, New York.
11. Arnold C.(1989), Architectural Considerations, Ch.5 of The Seismic Design Handbook, Naeim F. Editor, Van Nostrand Reinhold, New York.
12. Arnold C.(1980), Building Configuration : Characteristics for Seismic Design, Proc. of the 7th WCEE, Vol.4, Istanbul.
13. Arnold C., Elsesser E.(1980), Building Configuration : Problems and Solutions, Proc. of the 7th WCEE, Vol.4, Istanbul.
14. Paulay T.(1995), The Philosophy and Application of Capacity Design. Proc. of the Second ICSEE, Vol. I, Tehran.

15. Paulay T., Priestley M.J.N.(1992), Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, New York.
16. Warburton G.(1992), Reduction of Vibrations, Third Mallet-Milne Lecture, John Wiley & Sons, New York.
17. Skinner R.I., Robinson W.H., Mc Verry G.H.(1993), An Introduction to Seismic Isolation, John Wiley & Sons, New York.
18. Naeim F., Kelly J.M.(1999), Design of Seismic Isolated Structures, from Theory to Practice, John Wiley & Sons, New York.

۱۹ـ سید اچ. بی. و ادریس آی. ام. (۱۳۷۴)، حرکت‌های زمین و روانگرایی خاک در حین زلزله، ترجمه سعید منتظرالقائم، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران

۲۰ـ ناطقی الهی ف.، کاکاونداسدی و. (۱۳۷۵)، رفتار و طراحی سازه‌ای ساختمان‌های بلند، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

۲۱ـ عادلی ح. (۱۳۵۸)، فرم‌های مناسب برای سازه‌های مقاوم در مقابل زلزله، نشریه دانشکده فنی، شماره ۴۰.

۲۲ـ داویدویچی وی.ای (۱۳۶۸)، تاثیر فرم بر پایداری ساختمان در برابر زلزله، ترجمه اصغر ساعد سمیعی، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری، وزارت مسکن و شهرسازی.

۲۳ـ قالیبافیان م. (۱۳۷۲)، نقش تعیین کننده اصالت طرح معماری در تامین ایمنی ساختمان‌ها در برابر زلزله و تقلیل هزینه‌های مربوطه، مجله آگاهینامه راه و ساختمان و معماری، سال اول، شماره ۲.

۲۴ـ فرجودی ج. (۱۳۶۸)، فعالیت‌های مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن در زمینه مهندسی زلزله، مجموعه مقالات سمینار مهندسی زلزله و مصالح ساختمانی، اداره کل مسکن و شهرسازی آذربایجان شرقی، تبریز.

پیامدهای اجتماعی زلزله و

مدیریت بحران

پیامدهای اجتماعی زلزله*

پروفسور نیکلاس آمبرسیز و دکتر چارلز ملویل
ترجمه مهندس ابوالحسن رده

پیامدهای زمین‌لرزه‌ها در ایران از الگویی که در بسیاری بخش‌های دیگر جهان نیز صادق است پیروی می‌کند. فلج‌شدن ناگهانی اقتصاد محلی اغلب به جابجا شدن جمعیت، مهاجرت، افزایش در مالیات‌بندی و پیدایش بحران در امور انسانی می‌انجامد. پس از یک دورهٔ کوتاه شور و شوق برای برنامه‌های بلندپروازانهٔ بازسازی، علاقه به اجرای طرح‌های گوناگون، بویژه برای شهرهای کوچک و روستاها، آغاز به فرومردن می‌کند زیرا آشکار می‌شود که وجوهی که در دسترس است (و بیشتر آن پیشاپیش با ولخرجی‌ها بر باد رفته‌است) ناکافی است و رفته رفته مسائلی که بازسازی پیش می‌گذارد پیچیده‌تر و گرفتار کننده‌تر و کمتر هیجان‌انگیز می‌شود. روند معمول این است که رفته رفته کاهش علاقهٔ مسئولان امر آغاز می‌شود و در نتیجه بسیاری جاها (بویژه محل‌های کوچکتر) بازسازی نمی‌شود و جاهای بزرگتر نیز به بیغوله‌های به حال خود رهاشده‌ای بدل می‌شود که ساکنان آن آغاز به مهاجرت می‌کنند و اعضای کمتر فعال جامعهٔ خود را برجای می‌گذارند. نه تنها در ایران بلکه در جاهای دیگر نیز جنبه‌های انسانی و سیاسی فاجعهٔ زمین‌لرزه به‌ندرت توسط

---

* تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران ص ص ۲۸۴ـ ۲۸۸، انتشارات آگاه، تهران، ۱۳۷۰.

بررسی‌کنندگان همروزگار رویداد شناسانده می‌شده و هنوز هم چنین است زیرا آنان همواره آزاد نیستند تا دیدگاه خود را دربارهٔ موضوع‌های حساس مربوط به این زمینه بیان کنند. برای نمونه، پس از زمین‌لرزهٔ ۱۸۲۴ م در شیراز، حکومت به ساکنان شهر اجازه نداد تا در روستاهای پیرامون سرپناهی بجویند و نتیجه آن شد که به سبب بی‌سرپناهی، بیماری و احتمالاً رویداد پسلرزه‌ها شمار مرگ و میر به روزانه ۲۰۰ تن رسید. گفته می‌شد که این اقدام توسط کلانتر پیشنهاد شده‌است زیرا او بیم از آن داشت که اگر به مردم اجازهٔ ترک شهر داده شود او را در قلمرو فرمانروایی‌اش تنها رها خواهند کرد. حکومت محلی چنان ضعیف بود که در فاجعهٔ زمین‌لرزهٔ بعدی در شیراز در سال ۱۸۵۳ م، نتوانست از چپاول بازماندگان توسط دسته‌های راهزنان در درون و بیرون شهر جلوگیری کند. با این همه، این فاجعه به هیچ رو سبب آن نشد که سرکوب و بیداد در فارس کمتر شود.

اغلب استفادهٔ نادرست از وجوهی که به بازسازی اختصاص داده شده‌بوده به متروک رهاشدن روستاها و پیدایش بحران‌هایی در امور محلی می‌انجامیده است. برای نمونه، پس از زمین‌لرزهٔ ۱۹۲۳ م کاج درخت دیدگاه رسمی این بود که چندان نیازی به وجوه برای کمک‌رسانی به روستاییان نیست زیرا وضع مالی بازماندگان اندک‌شمار که دارایی خویشاوندان کشته شدهٔ خود را به ارث می‌برند بهتر از پیش خواهد شد. کوشش‌های مقامات رسمی‌برای نظارت بر هزینه کردن درستکارانهٔ وجوه اغلب ناکام می‌ماند. پس از زمین‌لرزهٔ ۱۹۲۹ م کپه‌داغ، استاندار خراسان با آگاهی یافتن از فساد هراسناک و سوءاستفاده از وجوه، نظارت بر هزینهٔ آن وجوه را خود برعهده گرفت. دو روز بعد، به دلیل نظارت بیش از اندازه دقیق و درستکارانه‌اش ناچار شد از استانداری کناره‌گیری کند.

در شماری از موارد، یک زمین‌لرزه مایهٔ به راه‌افتادن آشوب محلی می‌شد، آن‌چنانکه، برای نمونه، پس از زمین‌لرزهٔ ۱۹۳۵ م مازندران روی داد؛ زیرا در ساری و بابل این رویداد را همچون کیفر الهی در برابر ممنوع شدن دسته‌های عزاداری محرم توسط حکومت تعبیر کردند و این به تظاهرات ضدحکومتی رهنمون شد که پس از دخالت ارتش به خونریزی در

بابل انجامید.

اندیشه تمرکز دادن روستاهای کوچک به صورت واحدهای بزرگ کشاورزی بارها پس از زمین‌لرزهٔ ویرانگر توسط دولت آزموده شده است. مسئلهٔ تمرکزدهی همواره برپایهٔ زمینه‌های اقتصاد منطقه‌ای درنظر گرفته شده که از این دیدگاه تقریباً همیشه این پایه‌ها بسیار نیرومند بوده است. اما، اثرات زیانبار آن بر افراد و برخی گروه‌های اجتماعی هیچ‌گاه مورد بحث و بررسی قرار نگرفته است. یک تمرکزدهی نسبتاً نسنجیده پس از زمین‌لرزهٔ ۱۹۶۸م دشت بیاض اثر زیانباری بر زندگی اجتماعی و اقتصادی بازماندگان شماری از آبادی‌ها گذاشت که مدتی در برابر نقل مکان از روستاهای خود ایستادگی می‌کردند. همین ناسازگاری پس از زمین لرزهٔ ۱۹۶۲م بوئین‌زهرا نیز مشاهده شد که روستای تازه‌ساز رودک سال‌ها نامسکون ماند. همچنین، پس از زمین‌لرزهٔ ۱۹۷۲م قیر، مقامات رسمی‌از آن بیم داشتند که روستاییان، که بیشترشان از عشایر پیشین بودند و در برنامهٔ اصلاحات ارضی ۱۹۶۱م به آنان زمین داده شده بود، از فرصت استفاده کرده به راه و رسم پیشین زندگی خود بازگردند. در واقع نیز، شماری از آنان که پس از زمین‌لرزه به اردوهای ییلاقی معمول خود رفتند در پاییز بازنگشتند. و این امر نقشه‌های دولت را برای گردهماوری روستاهای ویران شده به صورت تعاونی‌های بزرگ کشاورزی، آن‌چنانکه در اصل برنامه گذاری شده بود، نقش برآب کرد.

همچنانکه زیان‌های مالی ناشی از پیشگویی زمین‌لرزه‌ای که هیچ‌گاه روی نمی‌دهد می‌تواند به اندازهٔ زیانی باشد که آن لرزه در صورت روی دادن به بار می‌آورد، شیوهٔ پرداختن نادرست به پیامدهای یک زمین‌لرزه نیز در منطقه‌ای توسعه نیافته ممکن است در مقایسه با حالتی که طبیعت به حال خود گذارده شود تا راه طبیعی خود را برای نوتوانی و سامانیابی دگربارهٔ محل پیدا کند، آسیب‌های شدیدتر و دیرپای‌تری به بافت اجتماعی منطقه برساند.

به رغم ضربه و زیان انکارناپذیری که یک زمین‌لرزهٔ ویرانگر در مقیاس منطقه‌ای وارد

می‌آورد، اثرات آن تقریباً همواره کوتاه‌مدت است. این کشش وجود دارد که به یک زمین‌لرزهٔ بزرگ همچون رویدادی نگریسته شود که از اهمیت تاریخی برخوردار بوده و سبب‌ساز برافتادن یک تمدن، فرهنگ، یا اقتصاد و از میان رفتن کامل یک شهر بوده است. در حالی‌که کاملاً امکان داشته است که چنین مواردی در کهن‌ترین روزهای استقرار مردم در فلات ایران و پیرامون آن پیش آید، اما پیروی از این دیدگاه دربارهٔ دوره‌ای که مورد بررسی ما بوده است نادرست خواهد بود.

گاهی ممکن است که یک زمین‌لرزه اثرات جنبی سودمندی نیز داشته باشد مانند پیدایش یک واحه در جایی که پیش از آن بیابان بوده است (همچنانکه در زمین لرزهٔ ۸۱۹ م پیش‌آمد) و یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی آن‌چنانکه در ۱۸۲۴ م در شیراز روی داد. حتی بدون این بهره‌رسانی‌های جنبی نیز، به نظر می‌رسد که ویرانی‌های مادی با سرعت چشمگیری ترمیم می‌شده است. این تا اندازهٔ زیادی با این واقعیت توضیح پذیر است که نوع مصالح ساختمانی که معمولاً در ایران به کار می‌رود نه تنها ویران شدن را به آسانی امکان‌پذیر می‌کند بلکه بازسازی سریع را نیز ممکن می‌سازد. شهرهای جدید بر روی ویرانه‌های شهرهای پیشین ساخته می‌شد و اغلب می‌بینیم که اینها چند سالی پس از رویداد همچون شهرهایی توصیف شده‌اند که دگرباره شکوفا، پرجمعیت و از نظر اقتصادی فعال بوده‌اند. زمین‌لرزه تنها یکی از خطرهای اقلیمی‌و محیطی بسیاری است که ممکن است مایهٔ ویران شدن ساختمان‌ها و کشتار گروهی مردم در جوامع ایران گردند و مردم با استواری هراس‌انگیزی با این بازی‌های سرنوشت روبرو می‌شوند. بدین‌سان، نبود اثرات درازمدت زمین‌لرزه‌ها در ایران تا اندازهٔ زیادی مرهون توان سازگاری جامعهٔ اسلامی با ناگواری‌ها است. به نظر می‌رسد که تنها مصیبت‌های دارای بزرگی و اهمیت درجهٔ اول مانند یورش مغول در میانهٔ سدهٔ سیزدهم م و لشگرکشی‌های تیمور در یک و نیم سدهٔ پس از آن، آسیب دیرپای رسانده باشد، و هیچ‌گاه یک تاریخ‌نگار ویران شدن شهری در اثر زمین‌لرزه را با همان تکاندهندگیِ هراس‌انگیزی که زخم و زیان‌های رسیده از همنوعانش را توصیف می‌کند، شرح نداده‌است.

با این همه، زمین‌لرزه‌ها را می‌توان همچون عامل کمک کننده به افول رونق برخی مناطق به شمار آورد. زوال رونق قومس در سدهٔ نهم م، سیراف در سدهٔ یازدهم م، و نیشابور پس از سدهٔ دوازدهم م را می‌توان تا اندازه‌ای از این دیدگاه نگریست. زمین‌لرزه در آنی در سال ۱۳۲۰ م به روشنی اثر زیانبار دیرپایی بر شکوفایی آن، هر چند نه تا آن اندازه که ادعا شده است، برجای گذاشت. زمین‌لرزه‌هایی در فریم در سدهٔ سیزدهم م و سه لرزهٔ ظاهراً فاجعه‌بار در سیستان در اوایل سدهٔ نهم م یا پیشتر، حتی اگر سبب‌ساز افول تدریجی رونق منطقه‌ای و از میان رفتن اهمیت سیاسی و اقتصادی آنها نبوده‌باشد، قطعاً مقارن با آن بوده است.

داستان‌های فراوانی که دربارهٔ بهره‌برداری از پریشانی یک جامعهٔ مصیبت‌زده برای چپاولگری ، راهزنی یا مداخلهٔ حکومت‌ها نقل شده است، پست ترین جنبه‌های سرشت آدمی را آشکار می‌گرداند. چپاول گنجهٔ (کیروف آباد) در سال ۱۱۳۹ م، اخاذی ستمگرانهٔ سپاهیانی که گرگان (گنبد کاووس) را اشغال کرده بودند در سال ۸۷۴ م و تاخت و تاز بختیاری‌ها در درهٔ سیلاخور در سال ۱۹۰۹ م برخی از ناامنی‌هایی را که در جامعه رایج است، و به هیچ‌رو نه منحصر به سده‌های میانی است و نه خاورمیانه، از پرده برون می‌اندازد.

زلزله روانی هنوز مردم مصیبت‌زده ما را می‌لرزاند*

دکتر مرتضی کتبی

در اولین ساعت آخرین روزی که فصل بهار برچیده می‌شد زلزله نیز بساط تعدادی از خانواده‌های ما را در گیلان و زنجان برچید. زمین غرید. خاک ما لرزید. دهاتمان درهم کوفته شد، سقف‌ها فرو ریخت. دیوارها شکست، سنگ و چوب و آهن ، دست و پا و سر و سینهٔ پیرزن و پیرمرد و نوزاد و نوپا را کوبید.

از چهار گوشهٔ عالم نامه و پیام، دوا و غذا، دعا و ثنا به سوی این خطه سرخ که سبز بود، سرازیر گردید. جوانان نیک‌نهاد و نجیب‌زادهٔ کشورمان پیشاپیش آن دسته از بیگانگانی که انسان‌دوست مانده‌اند دل به دریای غم زدند و خود را به‌سرزمین فاجعه رساندند و باچنگ و دندان، بیل و کلنگ ، سوزن و نیشتر، خوراک و پوشاک به ماتم‌زده‌های دست و پا خسته و سرشکسته یاری دادند، کسانشان را از زیر تیروتخته و طاق‌های فروپاشیده نجات بخشیدند، مرده‌هایشان را بیرون کشیدند: پدرانشان، مادرانشان، فرزندانشان، و نزدیکانشان را... .

---

* ماهنامه فرهنگی و هنری کلک، شماره ۶، شهریور ۱۳۶۹

به‌زودی نیز چرخ‌های سنگین و بی‌احساس بولدوزرها واپسین آثار حیات را در منطقه محو خواهد کرد، خون‌ها را خواهد زدود، آبادی‌ها را خواهد روبید و بهارستان‌ها را به گورستان‌ها تبدیل خواهد کرد: گورستان آدم‌ها، گورستان خاطره‌ها، گورستان زندگی‌ها ..
آنگاه نوبت به بازسازی خواهد رسید با دیوارهای از پیش ساخته و خانه‌هایی به سبک شهری پرداخته همراه با مظاهر بی‌روح زندگی ماشینی و الگوهای سرد و بی‌عاطفه تحمیلی و اسکان‌های اجباری ...

وجدان‌ها که به این ترتیب آرام گرفت، تب زلزله که فروکش کرد، مجروحان که از بیمارستان رستند، بازماندگان که یکدیگر را یافتند، حیات که به ممات پیروز شد تازه آثار زلزله دیگری که کمر مردم آن سامان را خمیده، هویدا می‌شود و ابعاد دیگر فاجعه رخ می‌نمایاند. زلزله‌ای که نه زمین را، بلکه این بار وجود انسان‌ها را تکان می‌دهد و فریاد کریه بوم را به روی خرابه‌های بهشت ایران در می‌آورد. آخر قصه‌های مادربزرگ، زانوهای پدربزرگ، لالایی مادر و نوازش پدر دیگر گم شده، خانه‌ها خوابیده، زیتون‌ها خشکیده، آدم‌های ده مرده‌اند.

خوب، شعر و شکوه، نوحه و مرثیه را دیگر بس کنیم، حالا ببینیم وقتی زلزله شد بر سر مرد و زن روستاییمان چه آمد.

مراحلی را که از پس هر فاجعه طبیعی (مانند زلزله و سیل و آتش‌فشان) و غیرطبیعی (همچون آتش‌سوزی و بمباران) رخ می‌دهد بشماریم و حالات انسانی خاص هر مرحله را بیان بداریم[1].

---

۱ ـ در کشور فرانسه سازمانی وجود دارد به نام " مرکز مطالعات و تحقیقات در مورد فاجعه‌ها". پژوهشگران این مرکز سالیان دراز است که بلافاصله پس از وقوع هر نوع فاجعه طبیعی و غیر طبیعی در این کشور در محل حضور یافته و همزمان با امدادگران به پژوهش دربارهٔ رفتارهای فردی و جمعی آسیب‌دیدگان می‌پردازند. ما در تنظیم مراحل زیر از نتیجه کار این پژوهشگران و از نظرات استاد فقیدمان ژان استونرل از دانشگاه سوربن در این زمینه بهره گرفته‌ایم.

۱ـ مرحلهٔ وارد آمدن ضربه یا شوک [1]

در این نخستین مرحله که همزمان با وقوع فاجعه حاصل می‌شود دو حالت متضاد در مردمی‌که غافلگیر شده‌اند مشاهده می‌گردد: یکی "ترس شدید" و دیگری "میل به دفاع از خود" که در این مرحله تنها به صورت امید به محدودیت ضربه جلوه می‌کند. مثلاً در مورد زلزله‌های پی‌درپی، هر بار که تکانی احساس می‌گردد شخص مصیبت‌زده امیدوار می‌شود که این یکی حتماً "آخرین تکان خواهد بود. این دو حالت به هنگام خطر تواماً" و بطور طبیعی بر هر انسانی که به زیر ضربات فاجعه کشیده می‌شود مستولی می‌گردد و در فرهنگ‌های مختلف بشری و در بین ملت‌های گوناگون به صورت‌های متفاوتی بروز می‌کند. در کشور ما که فرهنگ دینی در نهاد مردم ریشه دارد، فاجعه به مثابهٔ تنبیه فردی یا جمعی و یا آزمایش الهی و یا قدرت آسمانی تعبیر و تلقی می‌گردد که به ترس و دفاع آنها تشکل ویژه‌ای می‌دهد. این اشکال ویژه درخور تحقیقات روانی ـ اجتماعی ضروری و ارزشمندی است که ما برای بالا بردن سطح آگاهی و قدرت آمادگی مردم ستم‌کشیدهٔ سرزمین آفت‌خیز خود و حفظ جان آنان در موارد بحرانی ناچار به انجام آن هستیم و هر چه زودتر... بمباران شهرها فرصت مناسبی برای اقدام به این گونه تحقیقات بود که از دست دادیم.

طول این مرحلهٔ خانمان‌سوز بسیار کوتاه است و با نوع فاجعه و قابلیت دوام (سیل) و تکرار آن (زلزله و موشک باران) بستگی دارد و به‌هر تقدیر از چند لحظه تجاوز نمی‌کند.

۲ـ مرحلهٔ واکنش‌ها [2]

ویژگی این مرحله عکس‌العمل‌های پراکنده و گوناگون فاجعه‌زدگان است که آن را از سایر مراحل متمایز می‌نماید. عده قلیلی از افراد با خونسردی (جز در موارد زلزله و بمباران)، عدهٔ دیگری با تحرک شدید و تعداد زیادی از مردم نیز با بهت و گیجی و وارفتگی و دستپاچگی با فاجعه برخورد می‌کنند. این دسته که اکثریت عظیمی‌از مصیبت‌دیدگان را تشکیل می‌دهند خود را در مرکز خطر می‌بینند و مورد هدف می‌دانند و به حال خود رها شده می‌پندارند. احساس امنیت از آنان سلب و توان انجام هر کاری از ایشان گرفته می‌شود.

---

1 - La phase du choc

2 - La phase des reactions

افراد از زمان خود جدا می‌گردند، به عبارت دیگر زمان مفهوم خود را برای آنها از دست می‌دهد، نمی‌دانند در چه موقعی از روز یا شب زندگی می‌کنند، اغلب به عقب و به گذشته نزدیک پناه می‌برند، به یاد دیروز و دیشب و یا یک ساعت پیش خود می‌افتند: چه می‌کرده‌اند، چه می‌خورده‌اند و چه می‌گفته‌اند. آنها به خوبی نمی‌فهمند چه خبرشده و چه بر سرشان آمده‌است.

وقتی اثرات سوء فاجعه و دامنه‌گستردهٔ آن بر افراد و بر گروه آشکار گردید و آشفتگی و بهم ریختگی محیط و از هم گسیختگی "بافت اجتماعی[1]" محل بر آنها معلوم شد و بر روحیات و نفسانیات فرد و تاروپود زندگی جمع اثرات عاطفی و روانی خطرناکی به جای گذارد، فاجعه می‌تواند الهام بخش بی‌اعتقادی و بی‌قیدی و بی‌هدفی و ناتوانی گردد و بعضاً موجب ارتکاب گناه شود: برخی حرکات زشت و نامتعادل بروز می‌کند، اخلاق تضعیف می‌گردد، سرقت و تجاوز و دروغ و دشنام رواج می‌یابد. ترس از تجدید فاجعه، ترس از مرگ و ترس از زندگی عارض می‌شود. عنان اختیار از کف می‌رود. تصویر دنیای وهم و بیهودگی و نابودی در برابر چشمان بهت‌زدهٔ فرد نقش می‌بندد. این حالت ممکن است در تمام عمر در او باقی بماند و زندگی را بر وی تباه سازد. بازگشت به زندگی عادی مستلزم اعتقاد دوباره به دنیا و ایمان قوی به خصلت‌های مثبت بشری و قدرت "تطابق مجدد با محیط[2]" خواهد بود و این نیز خود به یک کار مداوم و خستگی ناپذیر فرهنگی در بین مردم نیاز دارد.

پس از این سردرگمی‌اولیه، "تظاهرات هیجانی[3]" شکل می‌گیرد. بهت و وحشت و گریه و خشم و فریاد و بی‌هوشی همراه با ترس از وقوع مجدد فاجعه و یا تشدید و ادامه آن ظاهر می‌گردد و منظره دل‌خراشی به هیجانات می‌دهد. گاهی یک سلسله حرکات و عملیات تشنج‌آمیز و دیوانه‌وار پدید می‌آید. افراد به منافع و هدف‌های فردی و خانوادگی خود چنگ می‌اندازند. هر کس مستقلاً و بطور ذهنی تصویر و تفسیری از این ضربهٔ هولناک از نظر

---

1 - La tissu social
2 - La readaptation dans le milieu
3 - Les manifestations emotionnelles

می‌گذراند و براساس آن دست به عمل می‌زند ولی از آنجا که این تصاویر و تفاسیر ذهنی از دید ناظر بیگانه یا شخص از راه رسیده پنهان است واکنش افراد به نظر وی نامنظم و پراکنده و بی‌هدف و بی‌منطق می‌آید. بدیهی است که زلزله‌ها و بمباران‌های ناگهانی فرصتی برای عمل باقی نمی‌گذارند.

در پایان همین مرحله است که بالاخره واکنش‌ها جنبه جمعی به خود می‌گیرند. بازماندگان فاجعه چنانچه در شرایط فیزیکی و روانی بسیار نامساعدی قرار نگرفته باشند به خود می‌آیند و به جمع وجور کردن خویش می‌پردازند و متوجه دیگران می‌شوند و برای نجات خود و کسان خود از مهلکه به چاره‌جویی و تلاش دست می‌زنند. رفتارها به هم شباهت پیدا می‌کند و منطقی‌تر می‌گردد. گسستگی فکری و روانی رفته‌رفته جای خود را به تمرکز نسبی حواس می‌دهد.

شناخت کم و کیف این حالات و واکنش‌های فردی و جمعی در فرهنگ ما نیز مستلزم تحقیقات دامنه‌داری است، چه می‌تواند در موارد لزوم از اثرات سوء فاجعه بر جان و مال مردم بکاهد و آنها را در برابر خطرات احتمالی و موقعیت‌های بحرانی آماده ساخته و مقاوم‌تر گرداند.

۳ـ مرحلهٔ انتظار [1]

در این مرحله که ضعف و ناتوانی غلبه می‌کند چشم انسان‌ها در انتظار کمک باز می‌ماند. فرد در برابر عظمت بلا خود را کوچک و ناچیز می‌پندارد و سرنوشت خویش را به دست تقدیر می‌سپارد، کناره گیری می‌کند، به گوشه‌ای می‌خزد و از فعالیت دست می‌کشد.

این مرحله معمولاً" با مداخلهٔ امدادگران و سازمان‌های خیریه و جمعیت‌های نیکوکار موقتاً" شکل دیگری به خود می‌گیرد و به یک دورهٔ چند روزه پرتحرک تبدیل می‌گردد. در همین

---

1 - La phase de l'attente

مرحله پرجنب و جوش پس از بحران است که سیل کمک‌ها و خیل جوان‌ها به سوی منطقه سرازیر می‌شود و نیروهای مثبت جامعه برای مقابله با عوارض بعدی فاجعه از قبیل خفقان در زیر آوار، مرگ بر اثر خونریزی و جراحات ، گرسنگی و سرما و درد و بالاخره آلودگی محیط وارد میدان می‌شوند و زمام از دست رفته امور بازماندگان را به دست می‌گیرند، به جای فاجعه دیدگان فکر می‌کنند، به عوض آنان تصمیم می‌گیرند و پا به عمل می‌گذارند. با رفت و آمد و دلداری و تسلی و توزیع وسایل اولیه زندگی و برپا کردن چادرها مردم را سرگرم و سرپا نگه می‌دارند و آنها را به همدردی همنوعان خود مستظهر و دلگرم می‌سازند.

هرچند مناطق آسیب دیده از مراکز شهری و تجمعات بزرگ انسانی دورتر بوده باشد جذبه و کشش این معاضدت‌ها و معاونت‌ها بالاتر است و حس کنجکاوی مردم این مناطق را بیشتر تحریک می‌کند. مردم بی‌پناه می‌خواهند ببینند شهری‌ها چه می‌کنند و چه می‌گویند و چه می‌اندیشند و تا چه حد برای آنها دل می‌سوزانند، تا کجا درد آنها را لمس و همراهی‌شان می‌نمایند، چه برای آنها می‌آورند، چه می‌برند..

در این مرحله، امداد حکم مرهمی‌را دارد که بر زخم مردم آفت‌زده نهاده می‌شود و به نیازهای فوری و فوتی آنها پاسخ می‌دهد: برای شکمشان قوطی‌های کنسرو، برای بدنشان پتوهای گرم هلال احمر، برای چشمانشان حرکت اتوبوس‌ها و کامیون‌ها و فرود و فراز هلی‌کوپترها ، برای زبانشان گوش خبرنگاران و برای اشکشان قلب رئوف امدادگران وجود دارد. اگر به دست طفلی که از درد گریه می‌کند اسباب بازی رنگین و گیرایی داده شود، آن طفل موقتاً ساکت و سرگرم می‌گردد ولی آیا اسباب‌بازی اسباب معالجهٔ او نیز خواهد شد؟

صحنه‌های همدردی و همرزمی در برابر آفات طبیعی و یا در برابر" اشتباهات انسانی " (مانند واقعه چرنوویل در اتحاد شوروی) و "نفع پرستی‌های خصوصی "(همچون سانحه یونیون کارباید در بوپال هند) خواه ناخواه فکر همه را تا مدتی به خود مشغول می‌دارد ولی عاقبت، این مرحله نیز پایان می‌پذیرد، آب‌ها از آسیاب می‌افتد و به‌تدریج که نیازهای اولیه

مرتفع می‌شود وجدان‌ها آرام می‌گیرد و مرحله فعال پس از بحران جای خود را به مرحلهٔ فعال دیگری می‌دهد که همانا بازسازی مناطق آسیب‌دیده نام گرفته‌است.

۴ـ مرحلهٔ بازسازی [1]

بازسازی همان ادامه امداد است منتهی به شکل همگانی‌تر، اداری‌تر و همیشگی‌تر ولی به‌مراتب کندتر و رسمی‌تر و بی‌احساس‌تر.. در این مرحله است که انسان‌های بی‌دفاع و به تنهایی و غم خود رها شده در برابر قطعات پیش ساخته سیمانی قرار خواهند گرفت و در میان خانه‌هایی که بی‌خاطره است و بوی غربت و بیگانگی می‌دهد محصور خواهند شد. آنها مجبور خواهند بود در فضایی که دیگر فضای سبز آشنا نیست، فضایی نیست که خود در طی سال‌ها با دستان خود، با فکر خود، با تلاش خود و با یاری یکدیگر به نام زندگی ساخته بودند غلت بزنند. آنها ناچارند زندگی تازه را با وقوف به مرگ عزیزان و نابودی داروندار خود از سر گیرند، بر خرابه‌های جغد نشستهٔ دیار خود بنشینند و بر روی اموال و اجساد کسان دور و نزدیک خویش بیل بزنند، پای بکوبند، عروسی کنند و جشن بگیرند، محصول بکارند و محصول بردارند. آنها ناگزیرند پیوسته اشباح مزاحم را از حیطهٔ تجسم خود برانند و به تصویر زشت فاجعه لعنت بفرستند و در عین حال با شکل جدیدی از مسکن و کار و زندگی خو بگیرند و نسج از هم‌گسستهٔ اجتماع کوچک آباء و اجدادی را باز بتنند، حوصله به خرج بدهند، روحیه بگیرند و روحیه بدهند، نقشه بچینند و اجرا کنند و دورنمایی برای آیندهٔ مبهم خویش ترسیم بنمایند.

گاهی مردم مصیبت دیده وقتی به عظمت فاجعه و اهمیت ضربه‌ای که دامنگیرشان شده پی بردند توازن و تعادل روانی خود را از دست می‌دهند و کارشان احتمالاً به اختلالات عصبی و اغتشاشات روحی و جنون و خودکشی می‌کشد. بعضی به دامن غم‌های بی‌پایان مالیخولیایی پناه می‌برند و اضطراب و نگرانی و وحشت بر آنها چیره می‌شود و برخی دیگر محو قدرت‌های خیالی و خرافی می‌گردند و پرتوقع و زودرنج می‌شوند.

---

1 - La phase de la reconstruction

در این هنگام است که حضور عاطفی دیگران و اقدامات انسان دوستانه تازه لازم می‌آید. در این‌جا نیز این اقدامات می‌تواند ضرورتاً بر مبنای پژوهش‌های اجتماعی شکل بگیرد و برنامه‌های بازسازی براساس نیازهای منطقه‌ای و فرهنگی پی‌ریزی گردد. ابتکار برنامه‌ریزی به‌دست خود اهالی سپرده و نیروهای بازمانده و جوان محلی بسیج و ذوق و سلیقه و آنچه که از عرف و آداب خودی بجا مانده به کار گرفته شود، شهرساز و جامعه‌شناس و برنامه‌ریز در اختیار روستایی قرار بگیرد و در قالب‌های فکری و معیارهای فرهنگی او عمل کند.

آمارگیری از احشام، ارزیابی خسارات مالی، برآورد نیازهای مادی که بجای خود قابل تحسین می‌باشد جز بخشی از کار پژوهشی نیست و جز قسمتی از نیازهای گوناگون اهالی را پاسخ نخواهد داد. آنچه که همچنین فوریت دارد این‌است که بافت‌های از هم‌گسیخته انسانی هرچه سریع‌تر دوباره تنیده شود، اهالی روستا همدیگر را بازیابند، افراد خانواده‌ها یکدیگر را در آغوش بفشارند.

مردم دهات مردم قائم بنفس و شجاع و بی‌نیازی هستند. برای نگه داری فرزندانشان به خانواده‌های شهری نیاز ندارند. به تفکر شهری در خانه سازی و دهیاری محتاج نیستند. خود در عین بیماری و سرگردانی بهتر از هرکس دیگر راه و رسم زندگی خویش را تشخیص می‌دهند، بهتر از هرکس دیگر کار مربوط به خود را سامان می‌بخشند. کمک و یاری دیگران به آنان می‌تواند منحصر به آن چیزهایی باشد که خود آنها در حین تلاش و کوشش برای بازسازی و نوسازی طلب می‌کنند و نه آنچه که دیگران فکر می‌کنند که روستاییان بدان نیازمندند.

بدیهی است که فرد روستایی قادر نخواهد بود به همه جنبه‌های کار به دیدهٔ تخصصی بنگرد و همهٔ مصالح خویش را به گونهٔ معماری و مهندسی بیندیشد ولی می‌تواند سبک و سلیقهٔ خویش را در برنامه‌های کارشناسی و فنی دخالت دهد و ضروریات را با عادات، الزامات را

با سنت‌ها تلفیق نماید.

در زلزله اخیر اشک بسیار ریخته شد، آه و ناله فراوان به گوش رسید و کمک‌های نقدی و غیر نقدی بی‌شماری که معرف انسانیت و شرف مردم ما بود به سوی منطقه سرازیر گردید. کمیسیون‌ها و کمیته‌ها تشکیل شد، وزیر و وکیل، فرستاده و نماینده دل سوزاند، لکن آنچه را که ما باید بدانیم و اگر هم نمی‌دانیم درس زلزله باید به ما آموخته باشد این حقیقت است که برنامه‌های منظم و عقلایی در ملک بلاخیزی مانند ایران نیازمند کار علمی و تحقیقی بنیادی است، کاری که در آن ابعاد معنوی و عاطفی امداد نیز همچون مادیات جای خود را خواهند داشت.

تحرکات اجتماعی در کاهش بلایای طبیعی*

دکتر ژاله شادی طلب

ترجمه مهندس فریدون رزمند

چکیده

بلایای طبیعی منجر به ویرانی فیزیکی، خسارات اقتصادی و نیز نابسامانی اجتماعی می‌گردد. این تحقیق، حاوی آموخته‌هایی از پیوستگی ابعاد اجتماعی و حرکت امدادی سازمان‌های امداد در زلزله منجیل می‌باشد.

زمینه‌های امداد رسانی به وسیله فشارهای سیاسی، سرعت، پیچیدگی، عدم اطمینان و دشواری استقلال رای که در مواقع بلا متداول است، مشخص گردید. ساختار اجتماعی و عملکرد واحدهای جامعه در طراحی و برنامه‌ریزی جدی تلقی نگردید، بنابراین با همه مردم آسیب دیده به یکسان رفتار شد. مسئله مربوط به نقش و مسئولیت گروه‌های اجتماعی مطرح نگردید. زن به عنوان سازمانده خانه و تهیه کننده غذا کنار گذاشته شد. فرصت برای اعضاء فقیر جامعه جهت ایفاء نقش رهبری از بین رفت. مردم آسیب دیده غیرفعال نبودند، لیکن اگر عوامل اجتماعی توسط سازمان‌های امداد مدنظر قرار می‌گرفت، مشارکت بیشتری در کارها انجام می‌دادند.

---

* Jaleh SHADI TALAB "Social Dynamics of Disaster Migitation", Proc. of the First ICSEE, Vol.II, May 1991, Tehran.

مقدمه

سال ۱۹۹۰ با "دهه بین‌المللی کاهش بلایای طبیعی" مصادف بود که اذعان جامعه بین‌الملل و دولت‌ها به ضرورت توجه به موضوعات زیر را در پی داشت:

۱ـ طرح‌های مقابله با بلایای طبیعی به جای عملیات امداد رسانی .

۲ـ ادغام طرح مقدماتی بلا در طرح‌های توسعه ملی.

۳ـ توجه به جنبه‌های انسانی و اجتماعی بلایا.

تاکنون بین حجم تحقیقات انجام شده در علوم فیزیکی و علوم اجتماعی عدم توازنی وجود داشته‌است. بخش عمده هزینه‌های صرف شده در زمینه تحقیقاتی بلا تا حال حاضر در ارتباط با علوم فیزیکی بوده‌است [۱].

جامعه شناسی بلا نسبتاً جوان است اما می‌رود که نظم یکسانی را در پیشگیری بلا، آمادگی در برابر آن و مدیریت بحران به وجود آورد.

در ممالک کمتر توسعه یافته و نیز در ایران به یافته‌های تحقیقات اجتماعی نیاز کمی احساس می‌شود و مدیران بیشتر فنی هستند تا جامعه شناس. در هر حال این تحقیق با این امید انجام می‌گیرد که مطالعات اجتماعی بلایا بطور جدی در برنامه ریزی‌ها و کمک‌رسانی‌های مرتبط با سوانح مورد توجه قرار گیرد.

اهداف تحقیق

هدف اصلی این تحقیق نگرش به رفتار امدادی افراد جامعه و سازمان‌های امداد در زلزله منجیل می‌باشد. برای مطالعه اجتماعی سانحه، سعی گردیده است موارد زیر شناسایی گردد:

ـ زمینه‌های امدادرسانی چه بوده‌اند؟

- چگونه فشارهای سیاسی بر روی عملکردها موثر بوده‌اند؟
- کدام یک از عوامل اجتماعی این عملکردها را تحت تاثیر قرار داده‌است؟
- مسائل مبتلا به سازمان‌های امداد چه بوده است؟
- آیا مردم آسیب دیده غیرفعال بودند و یا همکاری و مشارکت مثبتی داشتند؟

تحقیق، تشابه جریانات و عملکرد سازمان‌های مختلف امداد و واحدهای اجتماعی محلی را نشان می‌دهد و مبنایی را برای جمع بندی و تعمیم ارایه می‌دهد. در هر حال استثناهایی براین جمع بندی وجود داشته‌است.

روش‌های تحقیق

در این تحقیق از روش‌های زیر استفاده شده‌است:

- مشاهده عملکرد سازمان‌های امداد.
- مطالعه بی سرو صدای مردم.
- مصاحبه سازمان یافته با ۲۴ نفر از دست اندرکاران ۱۴ سازمان امداد در منطقه آسیب دیده.

حوزه تحقیقات

جریانات، تصمیم گیری‌ها، عملکردها و مسایل مبتلابه امداد و بازسازی موقت در مقطع زمانی فاجعه منجیل (۳۱ خرداد تا ۱۲ مهرماه ۱۳۶۹) در بخش‌هایی از استان‌های گیلان و زنجان که براثر زمین‌لرزه ویران شده‌بود، مطالعه شده است.

توضیح مفاهیم

برای ارتباط بهتر، مفاهیم برخی از اصطلاحات به کار رفته تشریح می‌گردد:

بلا: در اصطلاح جامعه شناسی بلا به یک حادثه ناگهانی طبیعی که عملکرد و ساختار واحدهای جامعه را متلاشی می‌سازد اطلاق می‌گردد.

این تعریف، بیانگر آن است که بلا یک پدیده اجتماعی است و هنگامی‌که در جامعه برای دوره‌ای تلاشی اجتماعی روی دهد مردم با آن مقابله خواهند نمود [۲].
امداد: کاهش تاثیرات عملی بلا روی افراد و محیط آنها امداد نامیده می‌شود.
آسیب دیدگان: افرادی هستند که تحت تاثیر بلا قرار می‌گیرند و اجباراً بیش از ظرفیت معمولی خود برای فایق آمدن بر بلا تلاش می‌کنند و در هر حال برای تقبل مسئولیت و عملکرد مثبت دارای صلاحیت می‌باشند.

خسارات اجتماعی بلا

این حقیقت که ضایعات ناشی از بلا با سطح توسعه ارتباط دارد شدیداً نیازمند تجدیدنظر می‌باشد.

در یک کشور توسعه یافته ابعاد خسارات ناشی از بلای ناگهانی به لحاظ مالی بیشتر و خسارات جانی کمتر است. پذیرفته شده است که تکنولوژی بالنده این کشورها، سیستم هدایتی و اعلام خطر مناسب و ساخت و سازهای ایمن توام با تجربیات عمومی‌و آگاهی و آمادگی مطمئن‌تری را در برابر سانحه فراهم می‌سازد.

بدبختانه ضایعات زلزله‌های گذشته ایران همانند زلزله منجیل قابل ملاحظه بوده‌است. بلا منجر به ویرانی فیزیکی، خسارات اقتصادی و اجتماعی برای مردم و جامعه گردید؛ هرچند ابعاد خسارات اجتماعی همیشه قابل توجه است لیکن غالباً از انظار پنهان می‌ماند. برای تاکید نمونه‌هایی از زلزله منجیل به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- متلاشی‌شدن ساختار و زندگی عادی بیش از ۱۳۰۰۰۰ خانوار.
- بی‌خانمانی نیم میلیون جمعیت.
- مرگ بیش از ۴۰۰۰۰ نفر از اعضاء خانوارها.
- انتقال بیش از ۶۰۰۰ مجروح.

- جابجایی نزدیک به ۵۰ دهکده.
- از دست رفتن حداقل ۱۰۰۰۰۰ خانوار.
- فروپاشی اجتماعی بیش از ۲۰۰۰ دهکده و ۲۰ شهر.
- از بین رفتن اشتغال در ۵۸ کارخانه.
- از بین رفتن امکانات تحصیلی حداقل ۲۰۰۰۰ دانش آموز.
- مشکلات در دستیابی به امکانات بهداشتی در بیش از ۶۰۰ محل.
- به‌هم‌ریختگی فعالیت‌ها در بیش از ۱۲۰۰۰ موسسه در بخش‌های تولیدی و خدماتی [۳و۴].

رفتارهای سازمان یافته

با افزایش اشتیاق مردم برای همیاری، مشکل ازدحام مردم و انباشت کالا پدیدار گردید. حرکت خودجوش مردم نمونه ابتدایی از تشکل ملی بود. داوطلبانی که معتقد بودند می‌توانند خدمات ارایه نموده و نقشی ایفا نمایند در حالی‌که تخصص یا حتی تجربه صحیح آن را نداشتند به منطقه هجوم آوردند. مقدار زیادی کالا به مناطق آسیب دیده حمل شد با این باور که توزیع مستقیم بین دهنده و گیرنده بهترین روش‌هاست. نقش رسانه‌های گروهی با ارایه تصویر و اخبار ناراحت کننده در نیل به هماهنگی ظاهری غیرقابل چشم پوشی بود.

استقرار سازمان‌های امداد

سازمان‌های محلی در شرایطی که ۸۰ درصد ساختمان‌های دولتی تخریب شده یا صدمه دیده‌بودند در برخورد با بلا از حرکت باز ایستادند. سازمان‌های محلی و منطقه‌ای که با بلای ناگهانی، تجمع مردم و ویرانی در ابعاد وسیع مواجه شدند، در هر حال در برابر سانحه غیرموثر نبودند لیکن پاره‌ای مسایل اداری گریبانگیر آنها بود.

این حقیقت که سازمان‌های منطقه‌ای برای مقابله با سانحه نسبت به سازمان‌های فرامنطقه‌ای در موقعیت بهتری قرار دارند، جدی تلقی نگردید و این فرضیه که سازمان‌های

منطقه‌ای غیرفعال شده‌اند منجر به استقرار سازمان‌های امداد از دیگر استان‌ها گردید [۵].

اولین رفتار سازمان یافته سازمان‌های امداد ارسال کلیه کالاهای قابل تصور و در دسترس، خدمات و پرسنل به منطقه آسیب دیده بود با این فرض که آنها در مکان و زمانی مورد نیاز افرادی خواهد بود، بنابراین حرکت داوطلبان به منطقه حاصل محدودی داشت. مشکلات مدیریت انبوه مردم دعوت نشده به وسیله سازمان‌های امداد منجر به خروج اجباری داوطلبان گردید و کلاً نزدیک به ۶۰۰۰ نفر پرسنل سازمان‌های امداد به منطقه وارد شدند.

این سازمان‌ها اردوگاه‌هایی برپا نمودند که بعضی از آنها تعمداً همانند کمپ‌های جنگی اداره می‌شد. این اردوگاه‌ها با نیروهای انتظامی احاطه شده‌بود به نحوی که برای ورود به آنها اجازه مخصوصی لازم بود. انتخاب محل اردوگاه مرکزی برمبنای نزدیکی به شبکه ارتباطی، دوری از منطقه ازدحام و نیز دلایل دیگر صورت گرفته بود.

سازمان‌های امداد جدید مرکب از موسسات مختلف استان‌های مربوط به خود بودند:

- برخی از موسسات کارهای عادی خود را ولی در مقیاس وسیع انجام می‌دادند (بطور مثال بنیاد مسکن).
- برخی از موسسات کارهای جدیدی را پذیرفته بود (عملکرد شهرداری در روستاها).
- برخی برای مقابله با سانحه ایجاد شده بودند (نظیر سازمان امداد در فرمانداری‌ها).

این سازمان‌های امداد برای اینکه تمام مسئولیت کمک رسانی به آسیب دیدگان زلزله منجیل را عهده‌دار گردند در منطقه مستقر شدند در حالی‌که اغلب تبحری در امدادرسانی و مدیریت بحران نداشتند و فقط تعدادی از پرسنل آنها تجربه جنگ را داشتند.

زمینه امدادرسانی

محیطی که سازمان‌های امداد در آن کمک رسانی می‌کردند مشخصات ویژه‌ای داشت:

۱ـ فشارهای سیاسی و اجتماعی

فشارهای سیاسی در شرایط بلابسیار متداول می‌باشد و سازمان‌های امداد بر بستر فشارهای خیلی واقعی که در آن عمل می‌کنند آسیب می‌بینند. در زلزله منجیل سازمان‌های امداد برای شروع هر چه سریعتر کار در منطقه آسیب دیده تحت فشار بودند. در هر حال برخی از عملیات ۷۷ روز بعد از زلزله شروع گردید و برای تسریع در عملیات نیز فشار زیادی بدون توجه به موارد زیر وجود داشت:

- تبحرپرسنل.
- تجربه قبلی آنها.
- آشنایی آنها با منطقه آسیب دیده.
- تسلط آنها به فرهنگ و زبان بومی.
- هدایت صحیح آنها.

پرسنل بدون اطلاع از موارد زیر ماموریت را با جان و دل پذیرفته بودند:

- آنها چه نقشی باید ایفا کنند.
- مسئولیت دقیق آنها چیست.
- آنها چه مدت در منطقه مستقر خواهند بود.
- شرایط آب و هوایی منطقه چه خواهد بود.

به علت ارزیابی نامناسب پرسنل و تغییر مدیریت سازمان‌های امداد، اغلب امدادگران در جریان استقرار و تکمیل برنامه‌های امداد رسانی در وهله اول از سوی مردم و در هفته‌های بعد از سوی مدیریت کل سازمان امداد در معرض فشار قرارگرفتند.

تجربه زلزله منجیل نشان داد که در مواقع سانحه هدایت هر سازمان امداد عامل کلیدی در فعالیت و برخورد مثبت این سازمان‌ها با مردم می‌باشد.

۲ـ فرضیه سرعت

تصمیم‌ها و بازتاب‌های بلادرنگ موجب بهم‌خوردن سازمان کارهای اداری بود. حقیقتاً فشار برای سرعت عمل وجود داشت و نیاز به سرعت یک اجبار بود. در هر حال کمبود زمان مهمتر از عامل سرعت بود.

در شتاب برای انجام عملیات قابل توجه جهت کاهش فشار، سازمان‌های امداد موفق نشدند به درستی با مردم تماس برقرار کنند. آنها تصور می‌کردند که این کار فعالیت و عمل آنها را که آن را نیاز مبرم می‌دانستند کند خواهد نمود. بنابراین نیازی برای مشورت در مورد امکانات و اولویت مردم احساس نمی‌شد.

۳ـ پیچیدگی

کار امداد بسیار پیچیده است و جریان‌ها و سازمان‌های زیادی در آن دخالت دارند. تعداد سازمان‌های دولتی مامور برای زلزله منجیل بیش از ۲۷ موسسه بود و هر سازمان فلسفه و روش عمل متفاوتی برای انجام وظایف خود داشت.

برنامه سازمان‌های غیر دولتی به ندرت با برنامهٔ سازمان‌های دولتی هماهنگ می‌شد. حتی بعضی مواقع در ارائه غذا و کالا و قول دادن‌ها بطور موازی عمل می‌کردند و عملاً اجرای آنها غیرممکن بود. تنوع نیازمندی‌ها: غذا، سرپناه، لباس، دارو، آموزش،آب بهداشتی ، مراقبت‌های بهداشتی، تسهیلات پخت‌وپز، مالکیت زمین، تولیدات کشاورزی، سیستم‌های آبیاری، دام‌ها و... غالباً منجر به اغتشاش بیشتر می‌شد. البته در موقع سانحه اجتناب از خلاء اداری وتامین رضایت همگان بسیار مشکل است.

۴ـ عدم اطمینان

روزهای اول زلزله گرفتاری مالی ساخت سرپناه‌های موقت محسوس نبود و محدودیت اعتبارات تخصیص یافته می‌توانست پیش‌بینی گردد. برخی از سازمان‌های امداد می‌توانستند کمک مالی قابل توجهی از مردم داوطلب گردآوری نمایند. لیکن عدم اطمینان از اعتبارات سازمان‌های امداد برای مردم آسیب، دیده منجر به بی‌برنامگی و کاهش توان آنها برای شرکت در بازسازی شد. برخی از مردم آسیب دیده ۲۰۰۰۰۰ ریال وام بلاعوض شامل مصالح ساختمانی ارزان‌قیمت برای ساخت سرپناه موقت دریافت کردند. بعداً معلوم شد که وام دریافتی هزینه‌های نجاری را نیز کفاف نمی‌دهد بنابراین از سازمان‌های امداد خواستند وام را پس گرفته و همه کار را راساً بر عهده بگیرند.

محدودیت اطلاعات در رابطه با نیازهای واقعی و فوری مردم آسیب دیده (نه آن نیازهایی که برای سازمان امداد قابل فهم بود) و همچنین واقعیت‌های مربوط به مسایل زیربنایی منطقه، منجربه عدم اطمینان در تصمیم گیری‌ها و تعهدات سازمان‌های امداد گردید، بطوری‌که بعداً معلوم گردید وعده‌های داده شده خارج از توانایی‌های این سازمان‌ها بوده است.

۵ـ استقلال رای

عملیات امداد رسانی مستلزم آشنایی با سطح برنامه‌ریزی و روش‌های اجرایی در منطقه می‌باشد. در زلزله منجیل سازمان‌های امداد می‌بایست اطلاعاتی در مورد عمل جامعه و کار با مردم آسیب دیده داشته باشند.

موسساتی که بطور منظم با مردم سرکار ندارند نظیر نیروهای انتظامی با ویژگی‌های سلسله مراتب جدی، تمرکز تصمیم گیری و روش‌های اداری می‌توانند روی همیاری مردم تاثیرات سوء داشته باشند.

این قبیل موسسات در وضعیت دشواری قرارگرفته بودند و احساس عدم استقلال می‌کردند و از همین رو می‌خواستند نقش و وظایف آنها و گروه‌ها تشریح گردد.

مسائل سازمانی متداول: گفتگو ، هماهنگی ، همکاری

مشخص گردید که بیشتر مشکلات ماهیت فنی نداشته بلکه از نقص افراد ناشی شده است نظیر:

- اختلاط وظایف و مسئولیت‌ها.
- نقص در گفتگو.
- عدم علاقه به همیاری .
- روال نامشخص همکاری .
- آموزش ناکافی .
- کوتاهی در تشخیص انتظارات مردم.
- عدم توانایی در پیش‌بینی نتیجه عملیات .

مهمترین این موارد ذیلاً بطور مختصر شرح داده می‌شود:

۱ـ گفتگو

بطور کلی سازمان‌های امداد اهمیت گفتگو با سازمان‌های دیگر و مردم محلی را دست کم گرفته و روی اطلاعات جمع آوری شده گفتگو نمی‌کردند. بنابراین برخی از آنها از کمبود اطلاعات رنج می‌بردند و برخی مجبور بودند راساً اطلاعات لازم را جمع‌آوری کنند. نهایتا" هنگامی‌که پرسنل بنیاد مسکن در چارچوب برنامه بازسازی پرسشنامه خانه به خانه تکمیل نمودند مردم از آنجایی‌که برای بار سوم بود که این‌کار صورت می‌گرفت تعجب می‌کردند.

کمبود گفتگو بین سازمان‌های امداد در مورد اولویت‌ها و سیاست‌ها منجر به عملیاتی ناهماهنگ (مانندانواع‌روش‌های ساخت سرپناه‌های موقت) در روستاهای همجوار می‌شد.

کمبود گفتگو با مردم آسیب دیده منجربه تصمیم‌گیری‌ها و عملیاتی می‌شد که هدف و نتیجه آن برای مردم روش نبود، بنابراین برنامه‌های سازمان امداد و تمایل مردم برای همکاری بی‌ثمر می‌ماند (بطور مثال طرح تخلیه).

۲ـ هماهنگی

هماهنگی به مفهوم اشتیاق مقابل برای پیوند دادن فعالیت سازمان‌های مرتبط می‌باشد. در زلزله منجیل به هماهنگی در سیستم اطلاعات و امکانات فیزیکی و منابع نیروی ماهر شدیداً" احساس نیاز می‌شد. برخی از سازمان‌های امداد کالاهایی در انبارها داشتند در حالی‌که مردم تحت سرپرستی سایر سازمان‌ها از کمبود همان کالاها رنج می‌بردند.

برخی از سازمان‌های امداد، تجهزات و ماشین‌آلات سنگین مستقر در اردوگاه داشتند، در حالی که در همان زمان سازمان امداد همجوار به دلیل کمبود ماشین‌آلات از کار باز ایستاده بود. بطور کلی امکانات مطابق با نیاز توزیع نشده بود. برخی از نیازها علی‌رغم افزایش تلاش‌ها بر آورد نگردید. تمایل برخی از سازمان‌های امداد برای اجتناب آگاهانه از آشکار شدن عملیاتشان را می‌شد احساس کرد. حتی رقابت سازمان‌های امداد برای دسترسی به مصالح خانه سازی منجربه افزایش قیمت‌ها و ایجاد بازار سیاه گردید.

۳ـ همکاری

سازمان‌های امداد با کانالیزه کردن یافته‌های خود و توسعه همکاری می‌توانستند فعالیت در چارچوب سازمان‌های منطقه‌ای را انتخاب نمایند. لیکن پیغام سازمان‌های امداد برای سازمان‌های منطقه‌ای عبارت بود از:

"شما مجبور هستید ما را در کنار خود داشته باشید. بدون پول و کمک فنی و اداری ما، شما ناقص هستید".

این پیغام‌ها سبب دلسردی سازمان‌های منطقه‌ای و پرسنل آنها در کمک به سازمان امداد جهت تامین امکانات مورد نیاز و مایحتاج شد. از طرف دیگر سازمان‌های منطقه‌ای متوجه

شدند که پیشهٔ بهتر از آن ایشان نیست.

۴ـ فرضیه برگرداندن اوضاع به حالت عادی

هنگامی‌که بلا اتفاق می‌افتد ویرانی فیزیکی و رنج انسان‌ها از خارج مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌همین دلیل تلاش سازمان امداد پاسخگویی به نیازهای اضطراری گردید. هرکس سعی می‌کرد اوضاع به حال عادی بر گردد. در هر حال این نیت ممکن است به خسارات و تلفات بیشتری در سوانح بعدی منجر گردد.

بنابراین در برنامه ریزی بلا،تز" برگرداندن شرایط به حالت عادی " برای مردمی‌که در آینده زندگی می‌کنند مطمئن ترین راه نخواهد بود و سازمان امداد بایستی برای گسترش و توسعه فعالیت خود تلاش نماید [۶].

واحدهای اجتماعی محلی

بلا روی سازمان اجتماعی اثر نموده و عمل ارگان‌های جامعه را مختل می‌سازد لیکن اکثر عوامل اجتماعی بعدا" به حالت قبل از سانحه خود باز می‌گردند.

در زلزله منجیل کمبود اطلاعات از عوامل اجتماعی محلی ، محدودیت بزرگی برای ارایه کمک‌های موثر سازمان‌های امداد به شمار می‌رفت.

عمل امداد به عنوان بازتاب فنی برای حل مسایل فنی انگاشته می‌شد در حالی‌که تشخیص زمینه‌های اجتماعی این قبیل مسایل فنی، مقوله‌ای اساسی‌تر است. با گروه‌های مختلفی از مردم در منطقه آسیب دیده که به لحاظ زبان، فرهنگ و عمل اقتصادی از هم منفک می‌شدند (نظیر کارگران کارخانه ، مشاغل آزاد، چادرنشینان ،کشاورزان) به‌گونه‌ای یکسان رفتار شد صرفا" به این دلیل که آنها در کنار هم زندگی کرده بودند.
سازمان‌های امداد در مورد نقش‌ها و مسئولیت‌ها در سیستم موجود کمبود آگاهی داشتند.

در تمام جوامع و در غالب موقعیت‌ها همچنانکه در منطقه آسیب‌دیده منجیل تقسیم‌کار بر مبنایی مردسالارانه وجود دارد، لیکن نوع تقسیم عمیقاً ریشه در فرهنگ دارد [۷].

در شمال ایران زنان نقش اساسی در امور خانه‌داری، شوهرداری، کشاورزی و مدیریت واحد اساسی جامعه (یعنی خانواده) ایفاء می‌کنند.تفکیک نقش که یک مسئله اساسی بود توسط سازمان امداد صورت نگرفت و به همین دلیل زن که مسئول سیستم غذا بود برای دستیابی به آن در صف نان و غذا ایستاد، در حالی که زنان می‌توانستند مسئولیت تهیه و توزیع غذا برای جامعه خود و پرسنل سازمان امداد را عهده دار گردند. به عنوان نتیجه اگر زنان از گردونه خارج نمی‌شدند برنامه‌های سازمان امداد خیلی موثرتر و ارزانتر تمام می‌شد.

سازمان امداد به سیستم توانایی جامعه یعنی خانواده و جمع توجه نکرد. در هر جامعه، فقیر و غنی وجود دارد و معمولاً" آنهایی که موقعیت رهبری را به‌دست می‌گیرند برگزیدگان جامعه هستند و فقیران نیروی سیاسی کمتری دارند. در مواقع بلا افراد غنی جامعه (حداقل برای زمان بحران) محل خود را ترک می‌گویند و مایملک آنها که شدیداً" آسیب دیده در جامعه باقی می‌ماند. این موقعیتی است که در آن رهبری جدید می‌تواند ظهور نماید، لیکن سازمان امداد توان مردم فقیر و نقش جدید آنها را در رهبری و پیشبرد اهداف خود نادیده گرفت. به‌همین دلیل حلقه اساسی بین برنامه امداد رسانی و طرح‌های توسعه توسط سازمان امداد از دست رفت. ارتباط بین پرسنل سازمان امداد و مردم اغلب به صورت شخصی در آمد و سخنرانی‌ها با حضور تعداد کمی از افراد جامعه برگزار شد.اهمیت سخنرانی‌ها و گردهمایی‌های عمومی به‌وسیله سازمان امداد درک نشد در صورتی که می‌توانست در موارد زیر به آنها کمک نماید:

- درک مسایل مبتلابه.
- تشریح تصمیمات اتخاذ شده.
- آگاه کردن مردم از اقدامات انجام گرفته.

- تشخیص مسایل مبهم.
- پاسخ به سئوالات.
- ارزیابی تاثیر اقدامات.
- دریافت نظریات مردم.

خانواده

خانواده اعضای خود را به لحاظ اجتماعی و روانی حمایت می‌کند، اما این عملکرد اساسی خانواده در برخی موارد نادیده گرفته شد. در زلزله منجیل مثل سایر شرایط بحرانی اعضا جامعه ترجیح دادند با خانواده، همسایه، یا حداقل دوستان خود باقی بمانند. اعضاء مسن خانواده‌ها به منظور توزیع امکانات در اردوگاه پخش شدند. بعد از چند هفته سازمان امداد درگیر مسئله شیرخوارگاه شد و نهایتا" تصمیم گرفته شد اعضاء مسن خانواده‌ها به جامعه برگردانده شوند. جدا کردن بچه‌ها از دوستان و بستگان بدون توجه به روابط اجتماعی در مناطق روستایی رفتار نسنجیده دیگری بود.

مشارکت کنندگان : مردم آسیب دیده

حرکات ناشی از فشار عصبی که زاییده شرایط تلخ و دشوار زندگی در شرایط بحرانی است همانند سایر موقعیت‌های بحرانی در زلزله منجیل نیز وجود داشت، لیکن مردم آسیب دیده قادر بودند در تصمیم گیری‌ها و عملیات سازمان امداد سهیم باشند.

شایستگی مردم و قابلیت بالای آنها برای انطباق بدین معنی نیست که آنها قادرند همه مسایل مبتلابه خود را حل نمایند و در نتیجه همیاری ضرورتی نداشته باشد. درست بر عکس آنها نیاز به دستی برای کمک دارند اما امداد رسان باید به عوامل موثر، میل و توان آسیب دیدگان برای مشارکت آگاه باشد.

شناسایی توانایی مردم آسیب دیده به این معناست که امکانات آنها اعم از فیزیکی و انسانی

باید در همیاری سازمان امداد مورد توجه قرار گیرد.

باور بر این است که پرسنل سازمان امداد حداکثر کوشش و توان خود را مصروف داشته‌اند، لیکن هنگامی‌که کمک کننده اقدام به تصمیم گیری‌هایی می‌کند که آسیب دیدگان خود بطور معمول قادر به انجام آن هستند، قدردانی تبدیل به نارضایتی می‌شود [۸].

بی تفاوتی و یا نارضایتی مردم آسیب دیده از زلزله منجیل در رعایت دستورات سازمان امداد وقتی اتفاق نمی‌افتاد که:

- ارزیابی سازمان‌های امداد از نیازها، اولویت مردم را در نظر می‌گرفت.
- میزان کمک سازمان‌های امداد منطبق بر نیازهای مردم احساس می‌شد.
- تصمیم گیری‌های سازمان امداد با توجیه لازم همراه بود و منطقی به‌نظر می‌رسید.
- سازمان امداد با فرهنگ مردم آشنایی بیشتری می‌داشت.
- طرح‌های سازمان امداد، عملکرد ساختار اجتماعی منطقه را جدی تلقی می‌کرد.

نتیجه

زلزله منجیل ساختار و عملکرد واحدهای اجتماعی را در استان‌های گیلان و زنجان متلاشی کرد. مردم آسیب دیده چشم انتظار دستی برای یاری بودند و سازمان‌های امداد برای چنین عملی آماده شدند. مشخصهٔ شرایطی که سازمان‌های امداد در آن فعالیت می‌کردند فشارهای سیاسی و اجتماعی بود و سازمان‌های مزبور ملزم بودند بدون تخصص و مهارت کافی لیکن با احساس تعهد و باداشتن اطلاعات اندکی از گسترش خسارات و موقعیت و شرایط اجتماعی و فرهنگی منطقه آسیب دیده عمل نمایند.

فرضیه سرعت و فشار برای برگرداندن همه چیز به حالت عادی بخت کمی‌برای پیاده کردن برنامه‌هایی در چارچوب طرح‌های توسعه منطقه‌ای یا ملی باقی گذاشت.مسایل متداول گریبانگیر سازمان‌های امداد سه مورد گفتگو، هماهنگی و همکاری بود که همه از عوامل

انسانی ناشی می‌شدند. مردم آسیب دیده در دوره بحرانی مثل افراد ناظر نبودند لیکن توان آنها برای مشارکت در ساخت سرپناه‌های موقت کاهش یافت.

سپاسگزاری

محقق از کمک مالی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی تشکر نموده و مسئولیت دیدگاه‌های ارایه شده را شخصاً می‌پذیرد.

مراجع

1. Office of United Nations Disaster Relief Coordinator, Disaster Prevention and Mitigation, 1986. PP. iii.
2. Quarantelli E. L., Helping Behaviour In Large-Scale Disaster, San Francisco, Jossey-Bass Publishers, 1980.
3. United Nations Development Programme, Mission Report and Technical Review of the Impact of the Earthquake of 21 June 1990 in the Provinces of Gilan and Zanjan, PP. 47-58.
4. Iran Statistical Centre, Economic and Social Implications of Earthquake in Gilan and Zanjan, 5 Volume, 1990.
5. UNDRO, Disaster Prevention and Mitigation, 1986, PP. 22-25.
6. Anderson B. Mary, RISING From the Ashes Development Strategies in Time of Disasters, West-View Press and UNESCO, 1989, PP. 1--99.
7. United Nations For Human Settlements, Women and Human Settlements Development, 1989.
8. UNDRO, Disaster Prevention and Mitigation, 1986, PP. 12-20.

عوامل اجتماعی و فرهنگی در برخورد با زلزله:

آموخته‌های بهداشت‌عمومی از زلزله ۱۹۹۰ ایران*

دکتر کارول آر. اندروود
ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

ارتباط متقابل توسعه و مقوله مقابله با بلا روشن و مشخص‌است: توسعه نیافتگی موجب وخیمتر شدن بلا می‌شود و بلا سبب کند شدن روند توسعه می‌گردد.

گرچه نقش حیاتی مهندسی و پیشرفت‌های فنی در کاهش خرابی‌های ناشی از زلزله به خوبی درک شده، لیکن اهمیت استراتژیک و کلیدی عوامل اجتماعی در کنار کوشش‌های علمی نادیده گرفته شده‌است. در بسیاری حالات، این ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی یک جامعه است که مشخص می‌کند بین فن‌آوری‌های ویژه و دخالت‌های بالقوه در زمان سانحه و یا برنامه ریزی دقیق با نتایج مطلوب، کدامیک مناسب‌تر و عملی‌تر است.

اقدامات بهداشتی همگانی تاثیر مهمی در روند توسعه دارد. تجربهٔ زلزله ۱۹۹۰ ایران نشان

---

* Carol R. Underwood "Social and Cultural Factors in Earthquake Preparedness and Response: Public Health Lessons From The 1990 Earthquake in IRAN ". Proc. of First ICSEE, Vol.II , May 1991, Tehran.

می‌دهد در صورتی که آمادگی محدود و معینی در برابر سوانح موجود باشد، کاهش بلایای طبیعی نیاز به دقت بیشتر و تلاش دسته‌جمعی زیادی برای رفع نقایص دارد.

مقدمه

سازمان ملل سال ۱۹۹۰ را به عنوان "دههٔ بین‌المللی کاهش بلایای طبیعی" اعلام کرده‌است. زلزله با بزرگی زیاد یکی از ویرانگرترین حوادث در طبیعت به شمار می‌رود. کشور ایران به خاطر قرار گرفتن در یک منطقه لرزه‌خیز، زلزله‌های وحشتناکی را تحمل‌کرده‌است که ویرانگرترین مورد اخیر آن در ۲۱ ژوئن ۱۹۹۰ اتفاق افتاد. از این رو، مناسبت برگزاری یک کنفرانس بین‌المللی پیرامون لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله در تهران به درستی احساس می‌گردد.

کاهش بلایا مقوله‌ای از توسعه‌است. تحقیقات دهه گذشته به صراحت نشان می‌دهد مادامی‌که نتوان بلایای طبیعی نظیر زلزله و زمین‌لغزش را بطور کامل مهار و حذف نمود، صدمات جانی، تلفات مالی و ویرانی اقتصادی و اجتماعی را تنها می‌توان با برنامه‌های اساسی متکی بر عزم و ارادهٔ سیاسی مردم و حکومت آنها لیکن با تحمل ناملایمات بسیار کاهش داد. بلایای طبیعی درکشورهای توسعه یافته صنعتی، ابزار بسیار برتری را نسبت به کشورهای غیرصنعتی در برابر خود دارد: "سرانهٔ مرگ و میر درکشورهای غیرصنعتی تقریباً ۱۰۰ برابر کشورهای صنعتی و سرانه خسارات در آنها حدوداً ۱۰ برابر کشورهای ثروتمنداست" [۱].این ارقام بیانگر آنست که ماهیت مسئله، فقر و توسعه نیافتگی‌است و آن زادهٔ نابرابری اقتصادی و اجتماعی و نبود تکنولژی مناسب می‌باشد.

ارتباط متقابل توسعه و مقوله با بلا روشن و مشخص‌است: توسعه نیافتگی موجب وخیمترشدن بلا می‌شود و بلا سبب کند شدن روند توسعه می‌گردد. برنامه‌ریزی غیرمقتضی و نامتناسب با ابعاد سوانح طبیعی، جامعه و ملت را با وخیمترین نتایج حوادث طبیعی گریبانگیر می‌سازد، که تبدیل حوادث طبیعی به فاجعه و بحران از آن جمله‌است.

بلایا بخصوص بلایایی که برنامه‌ای برای مقابله با آنها تدارک دیده نشده باشد، هنگام بروز، خسارات هولناکی را بر جای می‌گذارند. بازسازی‌های مفصل و گسترده جای برنامه‌های توسعه در حال پیشرفت را می‌گیرند و به این ترتیب روند توسعه به علت بروز سوانح به تأخیر می‌افتد. از همین رو برنامه مقابله با بلایا و برنامه امداد در برابر آنها بایستی ضرورتاً وابسته به برنامه‌های توسعه باشند. در نتیجهٔ رعایت این امر در مدیریت بحران، توجه از واکنش‌های بعد سانحه به کنش‌ها و عملیات پیشگیرانه قبل از حادثه معطوف می‌شود [۲].

گرچه نقش حیاتی مهندسی و پیشرفت‌های فنی در کاهش خرابی‌های ناشی از زلزله به خوبی درک شده، لیکن اهمیت استراتژیک و کلیدی عوامل اجتماعی در کنار کوشش‌های علمی نادیده گرفته شده‌است. در بسیاری حالات، این ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی یک جامعه‌است که مشخص می‌کند بین فن‌آوری‌های ویژه و دخالت های بالقوه در زمان سانحه و یا برنامه ریزی دقیق با نتایج مطلوب ،کدامیک مناسب‌تر و عملی‌تر است.

ارتباط طبیعی بین توسعه و مقوله کاهش بلا، مبین حقایق بدیهی دیگری است: "بلا نتیجهٔ راهی‌است که جامعه با زندگی معمولی خود آن را برگزیده‌است" [۳]. به عبارت دیگر، راه‌هایی که گروه‌ها و جوامع بشری بر مسیر آنها زندگی اجتماعی و سیاسی خود را سازمان می‌دهند، نقش مهمی در آسیب‌پذیری نسبی آنها در برابر بلایای طبیعی دارد. هنگامی که بلا به عنوان پدیده‌ای مجزا از زندگی روزمره مورد بازنگری قرار گیرد، ناظر مسئله به راحتی از علت‌یابی مسئله اجتناب خواهدکرد.

هدف این مقاله بررسی دو مورد زیراست:

۱) بحث اینکه عوامل اجتماعی چگونه در مقابله با بلا و تسکین و کاهش خسارات ناشی از آنها تاثیر می‌گذارند؟

۲) ارزیابی نقش شبکه بهداشت به عنوان قسمت مهم و جدا نشدنی توسعه در مقابله با زلزله و تلاش‌های امدادی در زلزله سال ۱۹۹۰ ایران.

گاهشماری بلایا

در بررسی برنامه‌ریزی مقدماتی بلا در ایران، توجه به ۵ فاز ذیل در مدیریت بلایای طبیعی، آن‌طور که توسط لچات [۴] بیان شده، مفید می‌باشد:

- فاز نخست که مرحله تدارکاتی و زمان برنامه‌ریزی، آمادگی و پیشگیری است.
- فاز دوم، مرحلهٔ اعلام خطر که در آن ارایه هشدارهای مناسب عمده‌ترین راه‌حل‌هاست.
- فاز سوم، مرحله امداد که در آن مرحله، مردم آسیب دیده می‌توانند در صورتی که پیشاپیش آمادگی لازم را کسب کرده باشند، نقش اساسی ایفا نمایند.
- فاز چهارم، مرحلهٔ کمک و تسکین آلام است که در ضمن پیش‌بینی کمک‌های فوری بعد از فاجعه را نیز در برمی‌گیرد.
- فاز پنجم، مرحلهٔ احیا یا باززنده‌سازی است که می‌تواند با برنامهٔ توسعه عمومی، نزدیکی زیادی داشته باشد.

فازیک یا مرحله آماده‌سازی، شالوده‌ای را تشکیل می‌دهد که فازهای بعدی براساس آن عمل می‌کنند. (فاز آمادگی بایستی کاهش حوادث را نیز شامل شود). در مورد ایران، ایجاد کمیته‌های ملی، منطقه‌ای و محلی برای آمادگی در برابر بلایا و ارزیابی خطرات، ایجاد ستادهای خبررسانی همگانی و تدوین برنامه های کاهش بلایا، امری اساسی‌است.

درد و رنج، مرگ و میر انسان‌ها و نابودی دارایی‌ها در زلزله‌ها بطور عمده ناشی از طراحی و اجرای نادرست ساختمان‌ها و سازه‌ها است. تخمین زده می‌شود ۹۰ درصد تلفات جانی زلزله‌ها نتیجهٔ گسیختگی و فروریختن ساختمان‌ها است [۵]. برنامهٔ کاهش بلایا و یا تحقق اقداماتی که تاثیر مخرب و ویرانگر بلای طبیعی را به حداقل برساند، می‌تواند بطور موثری درد و رنج و مرگ و میر را کاهش دهد. لرزه‌نگارهای حساس با اندازه‌گیری لرزش های زمین، اطلاعات لازم را برای طراحی ساختمان‌های مقاوم به زلزله فراهم می‌آورند. "یک

ساختمان مقاوم به زلزله، هزینهٔ چندان زیادی در مقایسه با ساختمان مشابه غیرمقاوم به زلزله در برندارد...» [۶]. بنایی غیرمسلح متداول در ایران، احتمالاً در برابر زلزله‌های متوسط نیز فرو می‌ریزد [۷]. با صرف اندکی هزینه بیشتر می‌توان اکثر ساختمان‌های جدید را بطور قابل ملاحظه‌ای مقاوم به زلزله ساخت و یا ساختمان های موجود را تسلیح نمود. سرمایه‌هایی که برای این منظور تخصیص می‌یابند و نیز افراد استفاده‌کننده از آنها، غالباً به وسیله گروهی منتخب که در تصمیم‌گیری‌ها دخیل هستند، برگزیده می‌شوند.

هنگامی که طراحی این نوع سازه‌ها به لحاظ مهندسی مطرح می‌گردد، ضروری است که عوامل اجتماعی ، فرهنگی و اقتصادی نیز مورد توجه قرار گیرد. اعمال مفاد آیین‌نامه‌های ساختمانی همان قدر مقوله‌ای اجتماعی ـ سیاسی است که موضوعی فنی.

در طراحی سازه‌ای بایستی اولویت‌های فرهنگی، منابع اقتصادی و شبکه‌های اجتماعی جوامع تحت بازسازی مدنظر قرار گیرند. در حالی که گروه‌های اجتماعی محلی به‌این عوامل اشراف کامل دارند، مدیران سازمان‌های بین‌المللی بازسازی نیازمند کسب آگاهی ریشه‌ای در زمینه عوامل اجتماعی و فرهنگی هستند. در ایران یک پروژه خانه‌سازی که نیازهای اولیه جوامع اسلامی را مدنظر قرار ندهد، نگهداری آن برای ساکنان پرهزینه باشد و بدون توجه به وابستگی متقابل شبکه‌های اجتماعی ساخته شود، عملاً متروک خواهد ماند و یا واگذار و فروخته خواهدشد، همان‌طورکه این موارد در سایر کشورهایی که در آنها عوامل اجتماعی و فرهنگی نادیده گرفته شده‌اند، اتفاق افتاده‌است.

در حالی که غالب تلفات جانی ناشی از خرابی و گسیختگی ساختمان‌های مسکونی و صنعتی‌است، از بین رفتن تسهیلات درمانی نیز تاثیر سوئی در ارایه خدمات فوریتی پزشکی (اورژانس) می‌گذارد. در مناطق زلزله‌خیز، ساختمان‌های عمومی و تاسیسات خدمات شهری نظیر شبکه‌های تأمین آب، سیستم فاضلاب و گرمابه‌ها می‌باید تابع استانداردهای ویژه‌ای باشند.

فاز اعلام خطر و مرحله نجات عملاً به شبکه‌های اجتماعی و فرهنگی محلی بستگی دارند، از این رو کفایت یک سیستم خبردهی و اعلام خطر در سرعت دسترسی آن به قربانیان حادثه است. تحقیقات نشان می‌دهد ۷۲ ساعت اول پس از وقوع زلزله برای عملیات امداد بسیار اساسی است [۸]. تأمین فوریت‌های پزشکی و تلاش برای بیرون کشیدن قربانیان در این مقطع زمانی بسیار حیاتی‌است. به دلیل همین محدودیت زمانی، غالب تلاش‌های نجات می‌باید توسط ارگان‌های محلی، منطقه‌ای و ملی صورت گیرد. (به علت وجود مشکلات لجستیکی، تلاش‌های امدادی بین‌المللی معمولاً در فازهای پیشگیری و بازسازی موثرتر می‌باشند). اطلاع‌رسانی مناسب و سریع، عملیات امداد را در مرحله نجات تسریع می‌کند.

برای تیم‌های پزشکی بین‌المللی رسیدن به موقع جهت مشارکت در فاز اضطراری سانحه مشکل می‌باشد [۹]. این مطلب طی بازدیدهای محلی در ایران مشخص‌تر شد. پنج روز بعد از زلزله، یک تیم از پزشکان بدون مرز را ملاقات کردیم که اظهار می‌داشتند به دلیل آنکه پزشکان ایرانی در فاز اضطراری، کنترل را به صورت مطلوبی دردست دارند، نیازی به وجود آنها نیست. در پیش‌بینی استفاده از امکانات بین‌المللی، مسئولین دولتی بایستی طرح روشنی جهت استفادهٔ مقتضی از خدمات بین‌المللی داشته باشند.

فاز چهارم یا فاز کمک‌های بعد از سانحه ، مرحله‌ای است که بایستی قبل از وقوع حادثه مورد توجه جدی برنامه‌ریزان مقابله با بلابا قرارگیرد. در صورتی که برنامه‌ریزی بطور مطلوبی انجام گیرد، بهره‌برداری مناسب از همکاری‌های بین‌المللی میسر خواهدشد. غالب تلاش‌های بین‌المللی کمک‌رسانی در ارسال چادر والبسه خلاصه می‌شود در حالی که توجه به عوامل بهداشت عمومی برای تخفیف عواقب زیست‌محیطی بلاکه ضروری‌تر است به فراموشی سپرده می‌شود.

با فاز بازسازی، دایره روند برنامه‌ریزی بلا بطور اساسی بسته می‌شود. با ادغام استراتژی امداد در مرحله بازسازی، توسعه قابل حصول می‌باشد؛ طرح‌های توسعه آتی کمتر

آسیب‌پذیر می‌شوند و بلا به عنوان فرصتی برای اعمال تغییرات تعبیر می‌گردد.

درس‌هایی از محل بلا

ارتباط تنگاتنگ توسعه و برنامهٔ مقابله با بلا را با ذکر مثالی از شبکه مراقبت‌های اولیه بهداشتی که در سطح ایران گسترده است و نقشی که در موقعیت بلا ایفا نمود بهتر می‌توان درک کرد.

مراقبت های اولیه بهداشتی که هزینهٔ سرانه آن کمتر، سطح نیازهای فن‌آورانه آن پایین‌تر و در بیشتر زمینه‌های اصلی مورد اعتماد بهداشتکاران روستا است، مورد استقبال دانشجویان موسسات بین‌المللی بهداشتی،برنامه‌ریزان و تهیه کنندگان برنامه نیز می‌باشد. بیانیه آلماآتا[۱۰] در مجموع بیانگر آن است که مراقبت‌های اولیه بهداشتی شامل آموزش، تولید مواد غذایی، مسایل تغذیه، تأمین آبمشروب و دفع فاضلاب ، سرپرستی کودکان ، واکسیناسیون، پیشگیری و کنترل بیماری‌های بومی، مداوای سادهٔ بیماری‌های عمومی و جراحات معمولی و تأمین داروهای ضروری در زمرهٔ مراقبت‌های اساسی بهداشتی می‌باشد.

گسترش مراقبت های اولیه بهداشتی در مناطق روستایی ایران نقش عظیمی در برنامهٔ درازمدت توسعه ایران داشته‌است. توسعه توانمندی‌های سازمان بهداشت، عامل مهمی در کاهش میزان مرگ‌ومیر کودکان ایرانی به میزان ۵۰ درصد در مقایسه با دهه گذشته گردیده‌است. سازمان بهداشت تاثیر زیادی در تأمین مراقبت‌های بهداشتی مناطق روستایی داشته‌است. مع هذا در ادامه این مقاله به توانایی‌های شبکه بهداشت در برخورد مناسب با نیازهای بهداشتی روستاییان، منبعث از زلزله خواهیم پرداخت. در این راستا شرح مختصری از شبکه بهداشت ایران، برای کسانی که خواهان آگاهی از نحوه ارایه خدمات درمانی در مناطق روستایی ایران باشند، ضروری‌است.

خانه بهداشت حکم قلب سیستم بهداشتی روستا را دارا می‌باشد که ضمن تحت پوشش قرار دادن حداقل ۱۵۰۰ نفر از روستاییان محل استقرار به مردم روستاهای اقماری نیز خدمات مورد نیاز را می‌دهد. خانه بهداشت توسط یک یا دو نفر بهورز اداره می‌شود. هنگامی که تعداد بهورزان، دو نفر باشد، وظایف آنها ماهیتاً متفاوت‌است، هر چند این تقسیم وظایف انعطاف‌پذیر می‌باشد. بهورزهای زن در کنار مداوای ناراحتی‌های جزئی و امور مامایی، بهداشت کودکان از قبیل آموزش شیردادن و از شیرگرفتن، تنظیم خانواده، گفتار درمانی، مراقبت های مربوط به رشد اطفال و واکسیناسیون کودکان را نیز عهده‌دار می‌باشند. بهورزان مرد در خدمت بهداشت محیط و کنترل بیماری‌های مسری هستند.موارد تخصصی به مراکز بهداشت که توسط یک پزشک و تیم همراه اداره می‌شود و یا به بیمارستان منطقه احاله می‌شود.

تیم یونیسف که من نیز یکی از اعضا آن بودم برای کمک به زلزله‌زدگان به استان‌های گیلان و زنجان سفر کرد. ما که در ارتباط با مسائل بهداشتی منبعث از زلزله فعال بودیم از شهرهای مشرف بر بزرگراه اصلی همچنین روستاهای دورافتادهٔ کوهستانی بازدید کردیم. شهرهایی را دیدیم که با خاک یکسان شده بودند، تمام دهکده‌ها ویران و دامنه کوهپایه ها در جاده‌ها ریزش کرده‌بودند. اساساً روستاهای دو استان مذکور در مقابل زلزله دوام نیاورده و بازماندگان فاجعه بالاجبار از میان آوارهای خانه‌های خراب شده به اردوگاه‌های موقت که در مزارع پراکنده بودند منتقل شده‌بودند.

در حالی که اکثر مزارع و باغات بدون اینکه خسارتی ببینند به حال خود رها شده و کسی برای نگهداری از آنها در محل نمانده بود در برخی دهات ۸۰ درصد دام‌ها از بین رفته‌بودند. در چنین شرایطی، به دلیل سیستم آبیاری فرو پاشیده، کشاورزی نیمه جان و مرگ هزاران کارگر کشاورزی، منطقه قادر به ایفای نقش مرکزیت کشاورزی خود حداقل به مدت سه سال نخواهد بود. بازدیدهای به عمل آمده حاکی از آن بود که صنایع مستقر در منطقه، از جمله صنایع شهر صنعتی قزوین مشکلات شدید و در مواردی ضایعات غیر قابل برگشتی را

متحمل شده‌است.به علاوه ،ساختار زیربنایی اقتصادی شامل جاده‌های اصلی و روستایی ، شبکه برق، سیستم آبیاری،شبکه آب بهداشتی ،بیمارستان ها، مراکز درمانی،مدارس و سایر تسهیلات عمومی در موارد مختلف از بین رفته بود.

شبکه تامین آب در ۳۷۵ روستا و ۳ شهر کاملاً نابود و اکثریت ساکنان شهرها و روستاهای آسیب‌دیده برای دسترسی به آب بهداشتی، مشکلات عدیده‌ای را تجربه کردند. گرمابه‌های عمومی که تنها منبع شستشوی اغلب روستاییان می‌باشند، در همه روستاهای زلزله‌زده، ویران شده‌بودند. در استان‌های گیلان و زنجان، ۱۶۰ خانه‌بهداشت، ۳۰ درمانگاه روستایی و ۵ مرکز بهداشت ناحیه‌ای غیرقابل استفاده شده‌بود. خطوط تلفن و انتقال نیرو در دو استان کشاورزی قطع شده‌بود.

سفرهای انجام شده از این نقطه نظر آموزنده بودند که مشخص می‌ساختند در صورت عدم وجود شبکه بهداشت، بازتاب اقدامات درمانی انجام گرفته شده پس از سانحه نه تنها غیرموثر بلکه غیرعملی نیز می‌باشند. مدیران بهداشت در سطح ملی به دلیل آگاهی بر نقاط قوت و ضعف شبکه گستردهٔ بهداشت، قادر به اجرای برنامه اضطراری بودند. آنها به شبکه وسیعی که تا روستاهای دورافتاده گسترده‌بود و می‌توانست بسیج گردد، دسترسی داشتند. توضیح اینکه عوامل محیطی همانند نیازهای پزشکی مستلزم توجه ملی‌است. مهندسان محیط درکمترین زمان ممکن به کمک بهداشتیاران شتافتند.

اهمیت شبکه بهداشت در تامین مراقبت‌های بهداشتی مردم ایران، به واسطهٔ نقش آن در موقعیت اضطراری ،قوت بیشتری گرفت. پرسنلی که مسئولیت مراقبت‌های بهداشتی را در ایران بر عهده داشتند و با زندگی مردم روستایی مأنوس بودند به رغم وجود تنش‌ها و فشارهایی که ناشی از ماهیت سیستم بود، در مواجهه با مصیبت، بلادرنگ به مقابله با مشکلاتی که بروز کرده بود پرداختند. در خیلی از موارد، خطوط ارتباطی نابود و حمل‌ونقل مختل شده بود. در یک منطقه با مجموعه‌ای از روستاهای دورافتاده، مختل‌شدن سیستم

حمل‌ونقل می‌تواند پیامدهای تأسف باری داشته‌باشد.چون اغلب خانه‌های بهداشت در مناطق زلزله‌زده، آسیب‌دیده یا از بین‌رفته بودند، برای تداوم مراقبت‌های اولیه بهداشتی، خانه‌های بهداشت موقت در چادرها مستقر شدند. در پنج روز اول بعد از زلزله این سیستم موقت جایگزین خانه‌های بهداشت آسیب دیده گردیدند.

مشارکت مردم بلافاصله آشکار گردید. روستاییان سریعاً به اولین نیازی که احساس می‌کردند بازتاب نشان می‌دادند. مهمان‌نوازی که روستاییان ایرانی به آن مشهورند حتی در اوضاع و احوالی که رنج و مصیبت برآن مستولی بود آشکارتر گردید. بهورزان تحت سرپرستی مربیان خود در حالی که روستاییان را در برخورد با تبعات فاجعه رهبری می‌کردند، اقدامات ضروری را در رابطه با گندزدایی آب، ساختن توالت‌ها، دفن بهداشتی دام‌های تلف شده، به عمل می‌آوردند. کارکنان بومی، قربانیان را دفن و آوارها و نخاله‌ها را تخلیه نموده و آنچه راکه باقی مانده بود ضدعفونی می‌کردند. مهندسان برای مدیریت بازسازی سیستم بهداشتی و مرمت شبکه‌های آبرسانی که قطع شده یا خسارت دیده بودند، از اقصی نقاط مملکت به مناطق شهری و روستایی اعزام شده‌بودند. معلمان روستا مسئولیت ثبت مایحتاج وارده به منطقه را برعهده گرفته بودند. نشانه‌های عملکرد موثر سیستم بهداشت در همه جا عیان بود. بالاخص سطح معلومات و فهم روستاییان در رابطه با سلامتی و بهداشت قابل ذکراست. تلاش‌های شبکه بهداشت از ورای آموزش و درک متقابل پرسنل موجب گسترش مشارکت مردم شده‌بود. این امر در شرایط فاجعه می‌تواند تاثیر نجات‌بخشی داشته باشد.

پیشنهادات و نتیجه گیری

بهداشت عمومی بطورکلی و مراقبت های اولیه بهداشتی بالاخص تاثیر مهمی روی روند توسعه دارند. تجربه زلزله ۱۹۹۰ ایران نشان می‌دهد در صورتی که آمادگی محدود و معینی در برابر سوانح موجود باشد، کاهش بلایای طبیعی نیاز به دقت بیشتر و تلاش دسته جمعی زیادی برای رفع نقایص پیش گفته دارد. دلایل موجود حاکی از آن است که ضعف سیستم

مقدمتاً در فاز فعال یا فاز مرتبط با برنامه‌ریزی، آمادگی و پیش‌گیری نهفته‌است. این قبیل فعالیت‌ها در چارچوب نظام حکومتی و با رهبری آن انجام می‌شود که در ایران نسبتاً متمرکز مانده‌است.

ساختمان‌های بهداشتی و تاسیسات عمومی در مناطق لرزه‌خیز ایران بایستی اساساً مقاوم به زلزله ساخته شوند و یا در مورد ساختمان‌های موجود تقویت‌های لازم انجام گیرد تا ساختمان‌ها، تمهیدات سازه‌های پایدار در برابر زمین‌لرزه‌ها را تامین نمایند. در صورتی که مصمم به جلوگیری از تلفات جانی و مالی مردم در ابعاد بسیار وسیع هستیم، خانه‌سازی نیز باید بر چنین استانداردهایی استوار باشد. افزون بر این موارد، تاسیسات عمومی و تجهیزات مخابراتی و خبررسانی نیز نیازمند محافظت هستند.

در ارتباط با آمادگی برای مقابله با زلزله، ارایه آموزش‌هایی شامل علل وقوع، نتایج زلزله و رفتارهای مناسب در زمان حادثه، بایستی به صورت بخشی از برنامه های مراقبت‌های اولیه بهداشتی درآید. آمادگی در سطح جامعه از اهمیت اساسی برخوردار است. از افراد مسئولی که در سطح روستا ارایه خدمات بهداشتی می‌کنند نمی‌توان انتظار داشت که به تنهایی مدیریت مواجهه با بلا را برعهده داشته باشند، بلکه همکاری روستاییان آگاه و آموزش دیده ضروری‌است. موضوعات قابل درک، حساس و متفاوت به تبع تفاوت‌های منطقه‌ای باید پرورش یابند تا بهداشتیاران محلی را در آموزش روستاییان برای کاهش اثرات بلایا کمک نمایند. هدف چنین برنامه‌ای باید تلاش در ترویج آگاهی عمومی مردم باشد و در صورتی که برنامه‌های سایر مناطق به عنوان الگو مدنظر قرارگیرند، این امر ممکن است موثر باشد ولی می‌تواند نتایج نامنتظری نیز به بار بیاورد. روابط تعاملی اجتماعی موجود بایستی در فاز برنامه‌ریزی ملحوظ گردد. بی‌توجهی به ساختار اجتماعی محلی می‌تواند تلاش‌های جوامع بزرگتر را در چنین برنامه‌ای با ناکامی مواجه سازد.

یکی دیگر از وجوه امدادرسانی در موقعیت بلا، مراقبت‌های روان‌درمانی است. اخیراً و

آن‌هم در استان‌های معدودی، شبکه بهداشت اقدام به ارایه خدمات روانشناسی نموده‌است. بلا، شدیداً تنش‌های روانی را افزایش می‌دهد و پرسنل بهداری باید بیاموزند که در رفع فشارهای روانی-اجتماعی نیز که زاییده بلا می‌باشند به یاری بشتابند.

پرسنل سازمان بهداشت در فازهای سه و چهار عملکرد بهتری داشتند که در زمره تلاش‌های امداد و تسکین آلام است. گرچه بیشتر این فعالیت‌ها خودانگیخته و بدون برنامه قبلی بود و در مواردی شامل دوباره‌کاری‌هایی نیز گردید. برنامه‌ای که با دید روشنی تهیه گردد در کاهش هرگونه تأخیر و تعلل در انجام اقدامات حیاتی بلافاصله پس از زلزله موثر است. شایان ذکر است که فازهای پیش‌گفته جزو مراحلی هستند که بیشترین ارتباط را با مسایل حادگریبانگیر جامعه دارند.

پیوندها و سنت‌های ریشه‌دار اجتماعی در کمک‌رسانی و تأمین تغذیه خانواده‌ها و همسایگان که منبعث از ویژگی‌ها جوامع ایرانی‌است، پس از بروز زلزله شدیداً تأثیرات خود را نشان دادند. روستاییان،کمک‌های ایثارگرانه خود را سریعاً به آنهایی که نیازمند بودند، رساندند و شهرنشینان داوطلبانه ارزاق عمومی تامین کردند. این امر نشان می‌دهد در صورتی که ساختارهای اجتماعی از حمایت سازمان یافته حکومتی در سطوح مختلف برخوردار گردد، می‌تواند تأثیرات امدادرسانی را در زمان سوانح به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد.

آخر سر اینکه، در مرحله بازسازی مدیران و پرسنل شبکه بهداشت با تاکید بر رعایت ضوابط آیین‌نامه زلزله در احداث ساختمان‌های نوبنیاد می‌توانستند تاثیرگذار باشند. با ادغام مرحله بازسازی در برنامه آمادگی و امداد، این حادثه مصیبت‌بار می‌توانست فرصتی را در راستای تغییرات سودمند اجتماعی و اقتصادی و توسعه بیشتر فراهم آورد.

مراجع

1. Kates, R.W. "Disaster Reduction : Links between Disaster and Development" in Making the Most with the Least: Alternative Ways to Development, edited by Barry and Kates. (New York : Holm and Meier, 1980).
2. Kreimer, Alcira and Michele Zador. "Colloquium on Disasters, Sustainability and Development : A Look to the 1990s." World Bank, Environment Working Paper No.23, 1989.
3. Kent, Randolph C. "Anatomy of Disaster Relief : The International Network in Action". (London and New York : Pinter Publishers, 1987).
4. Lechat, M.F. "The International Decade for Natural Disaster Reduction : Background and Objectives" in Disasters, Vol.14, No.1, 1989, Pages 1- 6.
5. Davis, Ian. (ed). "Disasters and the Small Dwelling" (New York: Pergamon Press, 1981).
6. Boulle, P.L. "Will the 1990s be a Decade of Increasingly Destructive Natural Disasters?" in Natural Hazards Observer, Vol. 14, No. 5, May 1990.
7. The Public Health Consequences of Disasters 1989. (U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control: Atlanta, Georgia, September 1989).
8. Cuny, F.C. Disasters and Development (NewYork : Oxford University Press, 1983: p. 47).
9. Ibid, P. 46.
10. WHO/UNICEF "Primary Health Care. Report of the International Conference on Primary Health Care" Alma-Ata, USSR, September 6-12 , 1978: p. 6.
11. Funaro-Curtis, Rita. "Natural Disasters and the Development Process : A Discussion of Issues." Prepared for the Office of U.S. Foreign Disaster Assistance, Washington, D.C., 1982.

مدیریت بحران: عوامل مؤثر بر مشارکت آسیب دیدگان زلزله در روند بازسازی *

دکتر ژاله شادی طلب

این مقاله نتیجه مقدماتی تحقیقی[1] است در مورد تجربه زلزله دیلمان که در تاریخ سی ویک خردادماه سال هزار وسیصدو شصت و نه در بخشی از دو استان گیلان و زنجان رخ داد. در این بحث،صرفا" مسائل اجتماعی و عاطفی آسیب دیدگان زلزله و اثر این مسائل بر چگونگی مشارکت آنها در روند بازسازی مطرح می‌گردد و سعی خواهد شد که به مطالب زیر پرداخته شود:

- انسان‌هایی که در معرض فاجعه قرار می‌گیرند، چه ویژگی‌هایی دارند؟
- تنش‌های فردی و اجتماعی این انسان‌های آسیب‌دیده چگونه بر میزان مشارکت آنها در روند بازسازی اثر می‌گذارد؟
- زنجیره "نیاز"، "امداد" و "مشارکت" چیست؟
- ارتباط و استحکام حلقه‌های این زنجیر در روند بازسازی چگونه موثر است؟

---

* آموزش همگانی برای مقابله با خطرات زلزله، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی‌زلزله، شهریورماه ۱۳۷۰.

۱ - این تحقیق با پشتیبانی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی انجام شده است.

ارایه نمونه‌هایی از قطع ارتباط بین حلقه‌های این زنجیر از بررسی تجربه دیلمان به بیان روشن‌تر مطلب کمک خواهد کرد و بالاخره پیشنهادهایی هر چند بسیار کلی و مقدماتی ارایه خواهد شد.

به نظر می‌رسد زلزله دیلمان[۱] سر آغازی بر مطالعات " فاجعه پژوهی " بخصوص در ابعاد اقتصادی و اجتماعی آن درکشور ما شده است، وگرنه در مورد زلزله از ابعاد فنی کار بسیار صورت گرفته و سال‌هاست که متخصصین در این مورد مشغول مطالعه و تحقیق هستند.[۲]

در جستجویی که برای یافتن منابع در زمینه برنامه‌ریزی، مدیریت و مطالعات اجتماعی و اقتصادی زلزله‌های گذشته در ایران انجام شد، بجز چند مورد بسیار مختصر و کوتاه و یک مورد جالب و قابل استناد[۳]، مطلب دیگری در مورد اثرات اجتماعی و اقتصادی زلزله در ایران یافت نشد. بنابراین واقعیت این است که از تجربیات گذشتگان مطلبی بجا نمانده و درسی نیاموخته‌ایم. تمام تلاش در این تحقیق بر این است که برای حفظ جان هزاران انسان، آنچه که از تجربه زلزله دیلمان می‌تواند راهگشا باشد، برای آیندگان بجای گذاشته شود.

قبل از شروع بحث اصلی، برای همزبانی و ایجاد یک درک مشترک از مفاهیمی‌که به کار برده می‌شود، چند مفهوم اصلی، به صورت ساده تعریف خواهد شد، تعاریفی که بیشتر جنبه کاربردی آنها مورد نظر بوده است.

فاجعه چیست؟

گروهی مفهوم " سانحه " را به‌کار می‌برند ولی با توجه به عمق و ابعاد وسیع اثرات حادثه اتفاق افتاده، کلمه" فاجعه" شاید مناسب‌تر باشد.

"فاجعه حادثه‌ای طبیعی است که ناگهانی بروز می‌کند و آنچنان ویران می‌نماید که مردم آسیب دیده از عهده خسارت بر نمی‌آیند و دست کمک به سوی غیر دراز می‌کنند".

---

۱ ـ مهندس علی‌اکبر معین‌فر و مهندس احمد نادرزاده این زلزله را "زلزله منجیل" نامیده‌اند. "گزارش فنی مقدماتی و فوری"، مرکزتحقیقات ساختمان و مسکن، تیر ماه ۱۳۶۹.

۲ ـ سازمان برنامه و بودجه، فهرست منابع موجود در مورد زلزله، تیرماه ۱۳۶۹.

۳ ـ مطالعه آقای باقر پرهام در مورد زلزله طبس.

در این تعریف سه ویژگی عمده مورد نظر می‌باشد : ناگهانی بودن حادثه، ویرانی حاصل از آن و نیاز به کمک .

عوارض فاجعه کدام است؟

منظور بازتاب فاجعه در جامعه است، یعنی اثرات یک پدیده طبیعی (زلزله) که بطور ناگهانی در جامعه‌ای اتفاق افتاده است.

این عوارض را به دو دسته می‌توان تقسیم کرد:

۱ـ اثرات نخستین (عوارض نخستین)

۲ـ اثرات ثانویه

منظور از اثرات نخستین تعداد کشته شدگان، مجروحین و آوارگان است.

منظور از اثرات ثانویه، خسارت در ابعاد روانی، اجتماعی و اقتصادی جامعه است.

عوارض دسته اول غالباً" به خوبی منعکس می‌شود و حتی گاهی در اعلام ارقام و اطلاعات مبالغه می‌شود. عوارض دسته دوم ، که در واقع تحلیل رفتن منابع انسانی ، اجتماعی و اقتصادی است، کمتر در ابعاد وسیع منعکس می‌شود و اهمیت آن حتی بر مسئولین و دست اندرکاران هم روشن نیست. عوارض نخستین باعث گرمی بازار مطبوعات و وسایل ارتباط جمعی است، ولی عوارض ثانویه راکسی حوصله شنیدن و خواندنش را ندارد. در این مقاله، بررسی و تاکید بر عوارض ثانویه زلزله است.

آسیب دیدگان چه کسانی هستند؟

آسیب دیدگان انسان‌هایی هستند که در جریان یک حادثه طبیعی ناگهانی دچار سه دسته گرفتاری عمده می‌شوند:

دسته اول: درهم ریختن سلامت روانی

دسته دوم : از دست دادن سلامت جسمانی

دسته سوم: فروریختن بنیادهای اساسی محیطی [۱]

تحقیقات[۲] نشان می‌دهد که در برابر فاجعه‌ها، از جمله زلزله، معمولاً آنهایی که توان مقاومت کمتری در مقابل حادثه دارند، فقرا هستند، یا در واقع در مقابل فاجعه‌ها، این کشورهای جهان سوم و بخصوص فقرای کشورهای جهان سوم هستند که بیشترین لطمه را می‌بینند.

با روشن شدن مفاهیم باید دید انسان‌هایی که در معرض فاجعه زلزله قرار می‌گیرند، چه ویژگی‌هایی دارند؟

این انسان‌ها را با توجه به مسایل و مجموعه نیازهای آنان می‌توان به پنج دسته تقسیم کرد:

دسته اول : آسیب دیدگان زلزله هستند، آنهایی که مستقیماً در معرض فاجعه قرار گرفته اند و بیشترین سهم را در سه دسته گرفتاری‌ها (در هم ریختن سلامت روانی، از دست دادن سلامت جسمانی و فروریختن بنیادهای اساسی محیطی) دارند.

دسته دوم: بستگان آسیب دیدگان هستند، بستگانی که میزان پریشانی احوال آنها بستگی به رابطه و نزدیکی آنها با آسیب دیدگان دارد.

دسته سوم :کارکنان گروه‌های امداد هستند، این گروه‌ها در معرض فاجعه قرار می‌گیرند و در حین انجام وظیفه ، فشارهای عصبی زیادی را تحمل می‌کنند.

دسته چهارم: گروه کثیری از مردم هستند که بعد از فاجعه زلزله به اقدامات مختلفی دست می‌زنند : ارایه هدیه از انواع مختلف وگاهی اوقات حتی هدیه‌های غیرضروری یا هدیه‌های بسیار سخاوتمندانه،که شاید بیشتر برای تسلی خاطر اهداکنندگان انجام می‌گیرد تا برآوردن نیازهای دریافت کنندگان هدایا.

دسته پنجم: کسانی هستند که ترجیح می‌دهند فاجعه راندیده بگیرند و تصور کنند که این واقعه برای آنها اتفاق نخواهد افتاد و احتمالاً فکر کنند که باید زندگی را آسان گذراند.

---

۱ ـ آج. دبلیو. تایلور، سوانح و نقش آنها در ایجاد تنش‌های انسانی " به نقل از کتاب" سوانح ، پیشگیری و امداد" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۶۸.

۲ ـ خانم فرانسیس دوسوزا، ۱۹۸۳، مدیر موسسه بین‌المللی فاجعه پژوهی (از ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۳)

هر کدام از این گروه‌ها، نیازهای متفاوتی دارند و هر یک پس از فاجعه زلزله عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. درمورد دسته اول این عکس‌العمل‌ها ناشی از وضعیت روحی یا در واقع سلامت روانی، جسمانی و به‌هم خوردن روابط اجتماعی و اقتصادی محیطی است که نسل‌ها در آن و با آن زندگی کرده‌اند.

در این مقاله مسایل و نیازهای این دسته مطرح می‌شود ولی بطور یقین مسایل عاطفی و اجتماعی دسته‌های دوم و سوم یعنی بستگان آسیب دیده‌ها و امدادگران نیز بسیار مهم است. بطوری که توجه به مشکلات دسته دوم سبب شده که در کشورهای پیشرفته مثلاً" در استرالیا در کنار غسالخانه‌ها، ساختن یک اتاق مناسب ضروری تشخیص داده شود. بستگان قربانیان فاجعه در این اتاق با گروه مشاوره‌ای روبرو می‌شوند که این گروه آنها را برای کسب آرامش خاطر کمک می‌کند و برای برگشتن به یک زندگی عادی تسلی می‌دهد. در این کشور، کمیسیون بهداشت روانی ، برای کنترل تنش‌های فردی و اجتماعی به امدادگران آموزش‌های خاصی می‌دهد. بنابراین برای آموزش امدادگران، بستگان آسیب دیدگان و حتی انسان‌هایی که احتمالاً" روزگاری ممکن است در معرض خطر قرار بگیرند، در کشورهای پیشرفته سازمان‌های خاصی طراحی شده و سالیان زیادی است که با انجام بررسی‌های جامع نسبت به آن اقدام نموده‌اند.
در کشورما، هنوز کاری انجام نشده، یا لااقل تا قبل از زلزله دیلمان به ابعاد روانی، اجتماعی و اقتصادی آسیب دیدگان پرداخته نشده است .

بطور یقین برای همگان قابل درک است که میزان و چگونگی تنش‌های فردی و اجتماعی آسیب دیدگان در عکس العمل‌های فوری و دراز مدت آنها اثر می‌گذارد. آنچه که می‌تواند از میزان تنش‌های فردی و اجتماعی آسیب دیدگان بکاهد و آرامش را به آنها باز گرداند و انگیزه کار، فعالیت و مشارکت در امور پس از فاجعه زلزله را در آسیب‌دیدگان فراهم آورد، در واقع رفتار سازمان امداد است و آنچه که می‌تواند سازمان امداد را در این وظیفه سنگین موفق بدارد، تشخیص صحیح نیازها و مسایل آسیب‌دیدگان است.بنابراین، عملاً" وجود

زنجیره‌ای در اینجا محسوس است(شمای شماره ۱).زنجیره‌ای که یک حلقه‌اش نیازها، مسایل عاطفی و اجتماعی و اقتصادی آسیب‌دیدگان است. حلقه دیگر که به حلقه اول متصل است، امداد و تلاش سازمان امداد در شناخت نیازها و مسایل روانی و اجتماعی آسیب‌دیده‌ها است و حلقه‌ای دیگر که این دو حلقه را به‌هم وصل می‌کند و در واقع برآیند میزان استحکام این دو حلقه است، مسئله مشارکت آسیب دیده‌ها است. بنابراین یک حلقه اصلی، نیاز است. نیاز آسیب دیده‌ها، مسایل اجتماعی، روانی و اقتصادی آنها. آسیب دیده‌ها در این دایره منعکس کننده فرهنگ جامعه، روابط اجتماعی و مسایل اقتصادی جامعه‌ای هستند که نسل‌ها در آن زندگی کرده‌اند و به آن خو گرفته‌اند.

سازمان امداد به صورت حلقه‌ای برای کمک به آسیب‌دیده‌ها وارد جریان شده است. رابطه دو جانبه‌ای بین آسیب‌دیده‌ها و سازمان امداد باید وجود داشته باشد، که در این رابطه درک درست سازمان امداد از مسایل عاطفی، اجتماعی و فرهنگی آسیب دیده‌ها، نقش اصلی را دارد.
حلقه سوم مشارکت است. اگر با توجه به مسایل فرهنگی ، اجتماعی و روانی انتظار مشارکت از آسیب دیده‌ها می‌رود، بطور قطع باید رابطه متقابلی بین سازمان امداد، مسایل و نیازها و مشارکت قائل شد. مشارکت بدون بر قراری این ارتباط امکان پذیر نیست. توانایی سازمان امداد در برقراری این ارتباط رمز موفقیت در جلب مشارکت‌های مردمی‌است. نتیجه اتصال درست این حلقه‌ها به‌هم می‌تواند دست اندرکاران بازسازی را یاری نماید.

در اینجا منظور از بازسازی فقط ساختن مسکن نیست. مسکن موقت یا دائم جزیی از برنامه بازسازی است. در واقع بعد از یک فاجعه، در مدیریت بحران، مفهومی‌که مطرح است "توسعه" است. توسعه به معنای وسیع کلمه یعنی" تعالی انسان‌ها"، انسان‌هایی که در فرآیند متعالی شدن، با فاجعه‌ای روبرو شده‌اند و حال فرصتی به دست آمده که (انسان‌های آسیب دیده) آموزش ببینند، فرصتی به دست آمده که منابع اقتصادی در جای درست خود قرار گیرد، فرصتی به دست آمده که روابط اجتماعی از نو ساخته شود و این همان جریان توسعه

است. اگر کار بازسازی در قالب وسیع توسعه دیده شود، آموزش محلی از اعراب خواهد داشت وگرنه ساختن مسکن را سازمان‌ها با مردم و یا بدون مردم هم ساخته و می‌سازند.

بنابراین در این مقاله، بر وجود زنجیره‌هایی از سه حلقه اصلی "نیاز"، "امداد" و "مشارکت" از تجربه زلزله دیلمان نمونه‌هایی می‌توان ارایه نمود. از مواردی که این حلقه‌ها یا اصلا" وجود نداشته یعنی به آن توجه نشده و یا محل اتصال، آن‌چنان سست بوده که به راحتی پاره شده و کار بازسازی موقت را با مشکل مواجه کرده است. قبل از ارایه این نمونه‌ها لازم است که روشن شود، آسیب دیدگان پس از زلزله، در چه شرایطی هستند؟ چه وضعیتی دارند؟ و چه مشارکتی را می‌شود از آنها انتظار داشت؟

بطور کلی آسیب‌دیدگان، گر چه سلامت روانی و جسمی‌شان ضربه شدیدی تحمل کرده است ولی موجودات درمانده‌ای نیستند. اغلب آسیب‌دیده‌های زلزله دیلمان، به دلیل مشکلات عدیده‌ای[1] که به صورت شاید غیرعادی پیش آمده تا ساعت‌ها، کسی به کمکشان نرسیده است، خودشان اجساد را بیرون آورده‌اند، خودشان دفن کرده‌اند، خودشان تا ۲۴ ساعت و در بعضی نقاط تا ۴۸ ساعت مواد غذایی را برای بازمانده‌ها تامین کرده و به نحوی بین خود تقسیم کرده‌اند. این شاید حداکثر مشارکتی است که از انسان‌هایی که عزیزانشان را، حتی به تعدادی بیش از انگشتان دست[2]، از دست داده‌اند می‌توان انتظار داشت. بنابراین آسیب‌دیدگان در زلزله دیلمان، در هفته اول امداد فوری توانسته‌اند تنش‌های خود را کنترل کنند و در انجام امور خود و جامعه مشارکت کافی داشته باشند. کنترل این تنش‌ها باعث تعجب بسیاری از محققین علوم انسانی شده بود. بطوری‌که این تصور پیش آمده بود که فاجعه زلزله و از دست دادن عزیزان، مردم شمال کشور ما را ناراحت و غمگین نکرده‌است. درحالی‌که این وضعیت توان و قدرت آسیب دیدگان را در کنترل تنش‌های فردی و اجتماعی نشان می‌دهد و نه اینکه تنشی وجود نداشته‌است.

---

۱ ـ معین فر، نادرزاده "گزارش فنی مقدماتی و فوری" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تیرماه ۱۳۶۹، صفحه ۲

۲ ـ برخی از آسیب دیدگان، بیش از ۶۰ نفر از فامیل خود را از دست داده‌اند که حتی تصور آن برای همه انسان‌ها، یک فاجعه است.

آسیب‌دیدگان زلزله دیلمان، مانند هر فاجعه دیگری، بطور قطع اضطراب، افسردگی، اختلال در اشتها و خواب، احساس تنهایی شدید و غم از دست دادن عزیزان را داشته‌اند و همه اینها در فعالیت انسان‌ها اثر می‌گذارد. بنابراین مسایل عاطفی منابع انسانی را بعد از فاجعه زلزله تحلیل می‌برد. با قبول این اصل، آن وقت باید اذعان نمود که مشارکت مردم بعد از فاجعه زلزله، در دوره امداد فوری[1] در حد قابل قبول و حتی بیش از انتظار بوده است.

بعد از دوره امداد فوری، دوره سروسامان‌دهی و یا بازسازی موقت آغاز می‌شود. در این دوره چقدر مسائل عاطفی و اجتماعی در روند بازسازی تاثیر می‌گذارد؟ در این دوره، مردمی در منطقه زلزله‌زده هستند که علاوه بر خسارات انسانی، نتیجه کار یک عمر خودشان را از دست داده‌اند. ثمرهٔ یک عمرکار، خانه‌های هر چند محقر،تعدادی دام ولو ناچیز و اثاثیه‌ای که به نظر دیگران، ممکن است بی اهمیت تلقی شود ولی برای آسیب‌دیده همه دارایی و منابع اقتصادی بوده، از بین رفته است. بنابراین آسیب‌دیدگانی باید به زندگی عادی برگردند که بطور کلی ساخت اقتصادی جامعه آنها و فعالیت اقتصادی خود آنها از هم پاشیده شده و از دست رفته است. انسان‌هایی که یک عمر شرافتمند انه زندگی کرده‌اند، حال محتاج یک دست لباس، یک جفت کفش و یا یک قوطی کنسرو غذا هستند. این شوک روانی را هیچ انسان آگاهی نمی‌تواند و نباید نادیده بگیرد. این چنین انسانی را دوباره به حال عادی بر گرداندن بطور یقین، کار مهندس و معمار نیست، فقط کار توزیع میخ و چوب و یا آجر روی آجر گذاشتن نیست. توجه به مسایل عاطفی و اجتماعی متخصص خاص خودش را می‌طلبد. برای بازگرداندن این انسان‌های آبرومند فقط توجه به زندگی عادی به فرآیند: اول سیر کردن شکم، دوم یک سر پناه اضطراری ،بعد مسکن دایم، کارساز نخواهد بود. منابع و فعالیت اقتصادی آنها و نیازهای اقتصادی آنها را نباید نادیده گرفت.

نمونه‌ای از برآورده نشدن نیازهای اقتصادی در زمان مناسب، وضعیتی است که در ناحیه

---

۱ ـ متخصصین پزشکی دوره امداد فوری را سه روز و حداکثر در موارد نادر ۶ روز ذکر کرده‌اند. یعنی پس از ۶ روز امیدی به زنده ماندن کسی در زیر آوار نیست.

کوهستانی عمارلو وجیرنده[۱] به‌وجود آمده است. در این ناحیه گندم‌ها روی زمین مانده و منتظر خرمنکوب است. گاوکار از بین رفته یا رها شده است و یا صاحب گاو، آن را فروخته است. کمباینی که برای کمک آمده بود در زمان بسیار کوتاهی بر می‌گردد. همه می‌دانند که روستایی همیشه نان را درتنور خانگی می‌پزد. خرمن روی زمین مانده، تنور خانگی بدون آرد، کمباینی که زود آمده و رفته و نهایتا" امروز باید نان را پخته و به در خانه روستایی تحویل داد. چرا که آن وقت که باید نیازها به درستی شناخته می‌شد این‌کار انجام نشده و کارکردی که خود او، می‌توانست با کمترین کمکی در موقع مناسب داشته باشد، در همان مراحل اولیه، امکاناتش فراهم نشده و حالا باید هزینه و پیامدهای اقتصادی ـ اجتماعی آن را جامعه بپذیرد.

نمونه دیگر وضعیت آسیب‌دیدگانی است که قادر به نگهداری دامشان یعنی مهمترین منبع اقتصادی خود نبوده‌اند؛ برای فروش مایملک خود مجبور شده‌اند کیلومترها پیاده طی کنند و بعد هم برای دریافت پول دام‌ها روزی دیگر به مرکز استان بروند. یعنی راه حلی برای نگهداری دام ارایه نشده و با مراجعات مکرر گرفتاری آنها چند جانبه تشدید شده‌است. در نتیجه حلقه‌های اتصال‌وانگیزه همکاری‌ومشارکت‌باسازمان‌های‌امدادسست‌تر گردیده‌است.

بطور یقین، آسیب‌های روانی و روابط اجتماعی و اقتصادی در هم ریخته، جایی برای آرامش باقی نمی‌گذارد. باید مجموعه نیازها را شناسایی کرد. ارزیابی صحیح این نیازها و تامین آنها در موقع مناسب بر میزان و چگونگی مشارکت آسیب دیدگان موثر می‌تواند باشد.

علاوه بر مسایل و نیازهای اقتصادی ، نحوه و شیوه برخورد با آسیب‌دیدگان نیز بر مشارکت آنها تاثیر می‌گذارد. انسانی که یک عمر زحمت کشیده حال پس از فاجعه ، برای یک قوطی کمپوت باید به دنبال کامیونی بدود و یا در صفی طویل بایستد، انسان با منزلت، منزلت اجتماعی و اقتصادی، هرگز چنین حرکتی را نمی‌پسندد. این شیوه توزیع مواد غذایی

---

۱ ـ بخش عمارلواز شهرستان رودبار

برخورنده است. برای عده‌ای این شیوه کار می‌تواند توهین به مردمی تلقی شود که یک عمر با صداقت و زحمت کار کرده‌اند. بنابراین علاوه بر شناخت درست نیازها، روش برخورد سازمان امداد در برآوردن نیازهای آسیب دیدگان، حلقه مشارکت را می‌تواند سست کند. سازمان امدادی که با روش‌های حفظ منزلت اجتماعی انسان‌های آسیب دیده آشنا نیست، اتصال زنجیرهای سه گانه، یعنی اعلام نیاز از طرف آسیب دیدگان، شناخت این نیازها و زمینه فرهنگی ـ اجتماعی مردم و نهایتاً" مشارکت آنها را از دست داده است.

پس از فاجعه زلزله، سازمان‌های اجتماعی سنتی در منطقه زلزله‌زده آسیب می‌بینند. سازمان اجتماعی خویشاوندی از هم می‌پاشد، حتی گاهی اوقات همه خویشاوندها از بین رفته‌اند. یاری گرفتن از خویشاوندان به عنوان یک کارکرد سازمان خویشاوندی و در جایی‌که خویشاوندی باقی نمانده باشد، یاری گرفتن از جامعه آشنای ده برای آسیب‌دیدگان مطلوبتر است تا در خواست کمک از بیگانگان.

در اثر زلزله سازمان اجتماعی ده از هم گسیخته می‌شود. در برخی از مواقع رهبران محلی دیگر حضور ندارند. ریش سفیدها نیستند که راهنمایی کنند. اگر سازمان‌های سنتی وجود داشتند، آسیب‌دیدگان کماکان ترجیح می‌دادند که به این سازمان‌ها مراجعه کنند. ولی در غیاب آنها به ناچار به سازمان‌های امداد مراجعه می‌کنند.

این علاقه مردم و ارتباط یا سازمان‌های اجتماعی ـ سنتی، نشان‌دهنده اعتماد به خودی و افراد محلی و آشناهاست. غیر محلی‌هایی که به دلایل مختلف در منطقه حضور دارند، مردم را دچار نگرانی می‌کنند، حتی وقتی که با نیت خیر به منطقه آمده باشند. بنابراین پس از فاجعه زلزله، اگر همه سازمان‌های اجتماعی از بین رفته باشند، بطور قطع آسیب دیدگان با مسایل شدید عاطفی و اجتماعی روبرو خواهند شد، که سازمان امداد باید بتواند جای آنها را پر کند. با شناخت درست این مسئله و در صورتی‌که هنوز سازمان‌های اجتماعی سنتی باقی مانده باشند، این سازمان‌ها، امدادگران را می‌توانند در تشخیص نیازها، میزان کمک‌ها

و جلب مشارکت مردم یاری دهند.

در تجربه زلزله دیلمان، پس از دوره امداد، فقط در برخی از نقاط از شوراهای اسلامی کمک گرفته شده است و آن هم غالباً در شرایطی که بقدر کافی مسایل در هم ریخته شده بود.

نیروهای غیر بومی، که بدون شناخت از شرایط اقلیمی، فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی به منطقه‌ای وارد می‌شوند، بطور یقین از نظر آسیب دیدگان بیگانه‌اند. نیروی امدادی که با زبان مردم بومی آشنا نیست و سه هفته طول می‌کشد تا یاد بگیرد "زیگالی[۱]" چیست و وقتی هم یاد گرفت، ماموریتش به پایان رسیده و باید برود نمی‌تواند اطمینان مردم را به خود جلب نماید. بنابراین نیروهای امدادی بیگانه، با همه تلاش‌های صمیمانه در اتصال محکم حلقه‌های نیاز و مشارکت توفیق چندانی نمی‌یابند. عدم توجه و شناخت سازمان‌های اجتماعی و کارکرد آنها بدون در نظر گرفتن مسایل عاطفی و روانی کودکان مشکل بزرگی را به‌وجود آورده بود. کودکان بی‌پدر و بی‌مادر را با این تعریف که وقتی پدر و مادر نیست، یعنی کودک بی‌سرپرست است، سازمان امداد از منطقه جمع کرده و به بیرون از منطقه انتقال می‌دهد. اما کودکی که به ناگهان پدر و مادر را از دست داده و هیچ چهره آشنایی را نمی‌بیند، هیچ فامیلی در کنار او نیست، به محیطی می‌رود که بسیار غریبه است. پس از ۵ر۱ تا ۲ ماه، سازمان امداد متوجه اشتباه شده و قضیه بازگرداندن کودکان را به منطقه و سپردن آنها را به خویشاوندان داوطلب مطرح می‌نماید. این‌کودک برای همیشه دچار مسئله روحی و عاطفی شده‌است. این حادثه نشان‌می‌دهد که سازمان‌اجتماعی منطقه‌زلزله‌زده‌شناخته نشده و روابط اجتماعی مورد توجه قرار نگرفته است. شناخت مسایل اجتماعی و نقش هرکس در این جامعه آسیب دیده، در برقراری ارتباط بین حلقه‌های زنجیره و بازسازی موثر است.

در فرهنگ شمال کشور ما، زن‌ها از موقعیت خاصی برخوردار هستند. در فعالیت‌های اقتصادی زن‌ها نقش بسیار مهمی را دارند. زن شمالی در شالیزار کار می‌کند. در چایکاری

---

۱ ـ به زبان محلی، نام خانه‌های چوبی است که باشیوه خاصی ساخته می‌شوند.

نقش عمده دارد. در نگهداری منزل و تربیت بچه‌ها بطور یقین مسئولیت اصلی را به عهده دارد. در کار دامداری و بردن دام‌ها به ییلاق (در ناحیه کوهستانی)، زن همراه دام می‌رود. در خانه سازی این زن شمالی است که گل درست می‌کند. لای درزهای چوب را با گل پر می‌کند و حتی ماله کشیدن و گچ‌کاری کار زن هاست. در جریان زلزله، اغلب خانوارهایی که زن خانه را از دست داده‌اند، مدیریت خانه از هم پاشیده شده، ولی خانوارهایی که مرد خانه را از دست داده‌اند، زن به‌خوبی توانسته ، مدیریت کند، بچه‌ها را نظم و تربیت داده، خانه موقت را بنا کرده و به کار خود ادامه داده است. ولی سازمان امداد در کار خانه‌سازی می‌رود سراغ مردها. چون با فرهنگ نیروی امداد، این فقط مردها هستند که می‌توانند خانه بسازند و سازمان امداد متعجب از رفتار مردان، هیچ انگیزه‌ای برای مشارکت در آنان نمی‌یابد.

توجه به نقش زن، می‌توانست بار زیادی از دوش سازمان‌های امداد بر دارد. زنان کار تهیه و توزیع غذا و طبخ نان را در صورتی که مواد اولیه داده می‌شد، به راحتی می‌توانستند بر عهده بگیرند. عدم توجه به ویژگی‌های فرهنگی و اجتماعی جامعه، باعث از دست دادن وقت و انرژی سازمان‌های امداد گردید. انواع و اقسام سازمان‌های امداد به منطقه رفتند تا غذا بپزند و توزیع کنند. غذاهایی که نه ذائقه مردم با آن سازگار است و نه طبخ آن مورد نظر مردم.

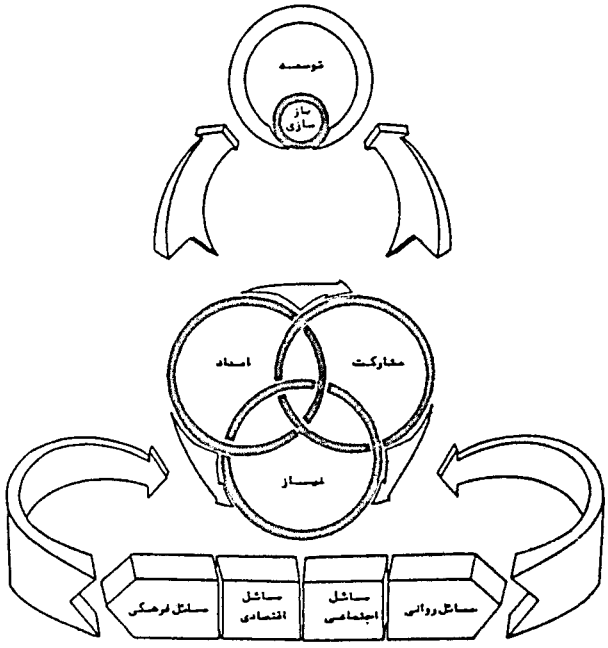
از تجربه خانه‌های موقت در برقراری اتصال کامل بین زنجیره‌های نیاز، امداد و مشارکت چه درسی می‌توان گرفت[1]؟ ستادها برای هر خانه چوبی که در ابعاد ۱۲ مترمربع برای خانوارهای زیر ۷ یا ۸ نفر ساخته شده است، حدود ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ هزار ریال هزینه نموده‌اند. در فضای ۱۲ مترمربع، ۲ مترمربع آن را آسیب دیدگان رختخواب گذاشته‌اند، یک مترمربع آن را گاز پیک نیکی یا وسیله پخت و پز قرار داده‌اند. یک مترمربع آن را ظروف ، سینی و سبد، پارچ آب و.. گذاشته‌اند. بطور متوسط ۵ تا ۶ نفر در فضای حداکثر ۸ مترمربع باید زندگی کنند. وقتی رختخواب‌ها را برمی‌دارند، هرکس حدود یک متر جا برای خوابیدن دارد. البته قرار نبوده برای آسیب دیدگان قصر ساخته شود، ولی در نظر گرفتن چنین فضایی

---

۱ ـ ضمن قدردانی از زحمات بسیار زیاد نیروهای ستادهای معین، که اجر اخروی آنها با خداست.

نشان می‌دهد که کارکردهای اجتماعی-اقتصادی مسکن در منطقه شناخته نشده است. چنین مشکلی در کنار مشکل دیگری مطرح می‌شود به نام "خانه‌های پیش‌ساخته". برای خانه‌های پیش‌ساخته مطابق قرارداد با هلال احمر، مقرر گردیده که پس از بازسازی مسکن دایم، به هلال احمر بازگردانده شود و بنابراین خانه‌های پیش ساخته امانت است. به این ترتیب همه کسانی که در ابتدا، برای خانه‌های پیش ساخته سر و دست می‌شکستند حالا، در مقر ستادهای معین، متقاضی خانه‌های چوبی هستند. چراکه ماهیت تکاملی خانه‌ها در روستاها و حتی شهرهای کشورما و علاقه مردم به مالکیت و تعلق خاطر آنها به زندگی در محلی متعلق به خود را، سازمان امداد، نادیده گرفته است.

بنابراین تجربه زلزله دیلمان نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، اصولا" زنجیره‌ای دیده نشده است و یا به دلایل مختلف، اتصال حلقه‌ها سست و در برخی موارد بکلی گسسته شده است.



شمای شماره ۱ ـ زنجیرهٔ نیاز، امداد و مشارکت

در این مرحله حداقل می‌توان پیشنهاد کرد که دوره بازسازی موقت و دایم باید در قالب برنامه توسعه دیده شود. هدف را باید بر تقویت نهادهای محلی، مشارکت در برنامه ریزی، تصمیم گیری و اجرا بنا نمود. هدف این باشد که قابلیت " خودگردانی" در مردم به وجود آید. برای به وجود آوردن این قابلیت، شناخت درست فرهنگ آسیب‌دیدگان ، عوامل اجتماعی، روانی و اقتصادی آنها توسط سازمان امداد، یک ضرورت است و یک پیش نیاز برای مشارکت کامل مردم در روند توسعه.

بطور خلاصه پیشنهاد می‌گردد که :

۱) مردم محلی، سازمان‌های محلی، فرهنگ محلی را باید شناخت و در امورمشارکت داد.
۲) انتخاب‌رهبران محلی و آموزش رهبران در زمینه‌های موردنیاز را باید موردتاکید قرار داد.
۳) کار بازسازی ، به عنوان جزئی از توسعه، صرفا" فیزیکی نیست. فعالیت‌های بازسازی را با شناخت مسایل اجتماعی، عاطفی و فرهنگی جامعه باید همراه کرد.
۴) کارکنان را باید محلی انتخاب کرد و به آنها اصول خانه سازی مقاوم در برابر زلزله را آموخت.
۵) تمام بخش های اجتماعی (آموزش، بهداشت، و...) اقتصادی (کشاورزی ،صنعت و..) را باید مشارکت داد.
۶) نقش زنان را در فعالیت‌های اجتماعی،اقتصادی و... باید در نظر گرفت و برای ارتقاء آگاهی آنها باید آموزش‌های خاصی ارایه نمود.

مقوله‌های بنیادی بازسازی پس از فاجعه*

دکتر اکبر زرگر

ضمن تشکر از مسئولین محترم موسسهٔ بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله که این فرصت را به من دادند تا در خدمتتان باشم، بعضی از مطالبی را که در نظر داشتم در قالب مقوله‌های بازسازی در این جلسه عرض کنم، آقای دکتر بروجردی مطرح کردند و تعداد بیشتری از آنها را هم خانم دکتر شادی طلب مورد بحث قرار دادند. لذا به نظرم رسید که شاید بد نباشد که در ادامه بعضی از مباحثی که خصوصاً" خانم دکتر شادی طلب اشاره فرمودند، من هم چند نکته‌ای را عرض کنم که در امتداد همان صحبت‌هاست.

مجموعه فعالیت‌هایی که به فاجعه‌ها مربوط می‌شوند به دو مقطع قبل و بعد تقسیم می‌شوند که دارای ماهیت‌های متفاوتی می‌باشند. مقطع قبل در حقیقت عبارت است از برنامه‌ریزی برای فاجعه و هدفش هم عمدتاً" پیشگیری و تقلیل خسارات و یا آمادگی جامعه در مقابل وقایع ناگهانی است.

---

* آموزش همگانی برای مقابله با خطرات زلزله، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شهریور ماه ۱۳۷۰

بعد از وقوع فاجعه‌ها، خصوصاً" فاجعه‌های طبیعی مثل زلزله سه مقطع یا گروه فعالیت قابل شناسایی است. فعالیت‌هایی که در این سه مقطع انجام می‌شوند با یکدیگر بسیار متفاوت هستند. اول مقطع اضطراری[1] است، در این مقطع اساس فعالیت‌ها عبارتند از: نجات جان مصدومین، رساندن مجروحین به بیمارستان‌ها، بیرون کشیدن و دفن اجساد کشته‌شدگان و احیاناً" تدارک غذا و غیره. این مقطع همان‌طور که خانم دکتر شادی‌طلب فرمودند چیزی حدود یک هفته است و پس از آن عملاً" چه بخواهیم و چه نخواهیم مقطع تازه‌ای شروع می‌شود که اصطلاحاً" آن را مقطع انتقالی[2] می‌گویند. این مقطع درست بلافاصله بعد از مقطع اضطراری شروع می‌شود و در حقیقت به دورانی گفته می‌شود که زندگی موقت ولی نه هنوز نرمال آغاز می‌گردد و معمولاً" تا چند ماهی ادامه دارد (کمتر از یک سال). اگر به زلزله اخیر خودمان توجه کنیم، در منطقه گیلان و زنجان دوران انتقالی حدود ۵ الی ۶ ماه طول کشیده است. این مقطع در واقع زمانی است که به اصطلاح فعالیت‌های امدادی اولیه سپری شده ولی هنوز زندگی عادی نشده است.

از لحاظ مسکن در دو سه روز اول مردم دنبال این می‌گردند که به هر ترتیب درون اتاق ترک خورده و شکسته و یا با استفاده از مصالح و اجزای باقیمانده از ساختمان فرو ریخته مثل در و پنجره و غیره، و یا معمولاً" به وسیله چادر و امثالهم برای خودشان سر پناه تهیه کنند. پس از آن به تدریج در دوران انتقالی واحدهای نیمه دایمی ساخته می‌شوند. و این کاری است که اکنون در گیلان و زنجان کرده‌اند. بعد از این مقطع، مقطع سوم یعنی بازسازی شروع می‌شود که در حقیقت زمانی است که زندگی از آنجا بطور جدی به حالت نرمال بر می‌گردد. حالا روی کلمه نرمال خیلی بحث نمی‌کنیم که آیا دقیقاً" مقصود وضعیت قبل از فاجعه یا وضعیت عادی تازه‌ای است. مجموعهٔ عرایض امروز بنده عمدتاً" راجع به این قسمت است و همانطور که عنایت دارید، یکی از مهمترین مقولاتی که در بازسازی مد نظر است مسئله پیشگیری و تقلیل صدمه در مقابل فاجعهٔ بعدی است. یعنی در برابر فاجعه ضرورتاً" باید فکر کرد که چگونه می‌توان آسیب را تقلیل داد و بنابراین به نحوی با مقطع برنامه‌ریزی‌های

---

1 - Emergency Phase

2 - Transitional Phase

مربوط به تقلیل صدمات فاجعه ارتباط پیدا می‌کند.

اما در مورد فرمایشات خانم دکتر شادی طلب در مورد موضوع" مشارکت مردم"، من فکر می‌کنم اصلا" این اصطلاح غلط است. مشارکت مردم را در فارسی برابر اصطلاحات Community Participation یا Public Participation انتخاب کرده‌ایم. ولی فکر می‌کنم آنها هم غلط استفاده می‌کنند و این اصطلاح درستی نیست. جان کلام را من فقط عرض می‌کنم. در مثال‌هایی که الان خود ایشان هم زدند، ما می‌بینیم که یک جامعه مصیبت زده اگر به حال خودش باشد بنا به وجود عوامل ذاتی خودش و به لحاظ غرایزی که انسان‌ها دارند خود به خود شروع می‌کند که هر چه سریعتر به حالت عادی برگردد. همان‌طور که همکارمان مثال زدند زلزله‌زدگان تمام همت خود را می‌گذارند برای بیرون کشیدن و دفن اجساد و غیره. در جاهای دیگر دنیا نمونه‌های حادتری هم بوده است که برای مثال جاده بریده شده و تا یک هفته کسی به کمک نرسیده است. و در این یک هفته مردم سرشان را نگذاشتند زمین و بمیرند، این عکس‌العمل رفتار عادی مردم نیست. بلکه مصیبت‌زدگان بلافاصله شروع به فعالیت می‌کنند. من مخصوصا" در زلزله اخیر باز این موضوع را دقیقا" پرس‌وجو کردم و شنیدم که افراد محلی بلافاصله شروع کرده بودند به فعالیت و بعد از نجات نزدیکترین افراد خانواده‌شان به سراغ همسایه‌ها و فامیل‌های دیگر رفته‌اند، غذا را خودشان جیره‌بندی می‌کنند، مجروح‌ها را خودشان رسیدگی می‌کنند، همه کارها را خودشان انجام می‌دهند، این اصلا" رفتار طبیعی مردم است، مشارکت آنها نیست. این حرکت طبیعی آنهاست. آنچه که در واقع مشکل ما است، نه تنها در مورد فاجعه‌ها، بلکه در کل طرح‌های توسعه، هر جا که مسئله مشارکت مردم مطرح می‌شود، یا اساسا" در بحث‌های تئوری مفصلی که وجود دارد، گرفتاری بر سر مشارکت مردم نیست. گرفتاری در حقیقت بر سر مشارکت امدادگران، مهندسین، طراحان و برنامه‌ریزان است. غالبا" این ما هستیم که به عنوان رده کارشناس غریبه و ناآشنا به یک جامعه، چه مصیبت زده و چه جامعه‌ای که طرح توسعه برای آن داریم، نمی‌دانیم که چه کار باید بکنیم و غالبا" مداخلات ما تولید مسئله می‌کنند. بنابراین به اعتقاد من به جای مشارکت مردم، باید از مشکلات و مسایل مشارکت امدادگران، مشارکت دولت،

مشارکت ستادهای معین و امثالهم سخن گفت. این نقد کوچکی بود که دراین زمینه داشتم.

مطلب دوم در ارتباط با رابطه بین بازسازی فیزیکی و بهبود روانی می‌باشد، که باز به آن اشاره‌ای شد، اینکه چطور می‌توان در بازسازی، مقولات روان شناختی را مد نظر قرار داد. از قضا من موقعی کارمشترکی با یک نفر از همکاران روان‌شناس کرده‌ام و مقاله‌ای نوشته‌ایم تحت عنوان : Physical Reconstruction and Psychological Recovery و در آن کوشیده‌ایم که رابطه این دو را پیدا کنیم. من بیشتر به‌دنبال این می‌گشتم که فاکتورهای روان‌شناختی را که در بازسازی فیزیکی بنده به عنوان معمار و برنامه‌ریز بازسازی فیزیکی می‌باید بدانم شناسایی کنم. خانم دکتر شادی‌طلب عمدتاً" به بررسی‌هایی که ما کردیم اشاره کردند ولی من کمی جزئی‌ترش را می‌گویم که به اصطلاح دستورالعمل‌هایی است که ما به‌عنوان معمار بایست سعی کنیم مد نظر قرار دهیم.

اولین موضوع عبارت است از جایابی سکونت‌گاه جدید که در حقیقت مسئله جابجایی در آن مطرح می‌شود. جابجایی عمدتاً مسائل اجتماعی و روانی درست می‌کند. یعنی بردن یک گروه آدم در محیطی جدید، در زمینی که محیطش را نمی‌شناسند، طبیعتش را احیاناً" نمی‌شناسند و نمی‌دانند که آن‌را چطور کنترل کنند مسئله زاست. بنابراین، اولین اصلی که ما سعی می‌کنیم رعایت کنیم این است که تا جای ممکن مردم را از زمین خودشان تکان ندهیم، مگر اینکه خطر جدی ضایعه و تلفات در فاجعه احتمالی قریب الوقوعی وجود داشته باشد.

مسئله دوم، مکرراً" تجربه شده که وقتی چند روستا را در یکدیگر ادغام می‌کنند، مسائل عدیده‌ای ایجاد می‌شود که بعضی اوقات بطور دراز مدت باقی می‌مانند، یعنی بی‌توجهی به مسائل اجتماعی، مخصوصاً" با وضعیت روانی خاص که این جماعت دارند هر چقدر محیطشان غیرطبیعی‌تر و نامانوس‌تر باشد و مجبور باشند برای ارتباط با آدم‌های دیگر یا گروه‌های اجتماعی دیگر و حل و فصل مسایل روزمره خودشان بطور مداوم فکر کنند و خود را به یک سری رفتار تازه عادت بدهند، اینها مسئله بهبود روانی‌شان را به تأخیر خواهد

انداخت. ما در بازسازی فیزیکی باید از این‌گونه تصمیمات اجتناب کنیم. در مورد طرح روستا یکی دوتا از مثال‌هایش را خودم خدمتتان ارایه می‌کنم. دگرگون کردن یکباره طرح و نقشه یک روستا یا شهر چون تداخل اجباری رفتارهای شناخته شده و مانوس این مردم است، باعث بروز مسائل اجتماعی و روانی خواهد شد. مثلاً" در غالب روستاهای خوزستان مردم عادت دارند که به‌صورت خانواده گسترده زندگی کنند. یعنی پدری با چهار پسرش به صورت یک خانواده هیجده نفره با هم زندگی می‌کردند. در مواردی ما آمده‌ایم موقع بازسازی به هر نفر ۳۰۰ متر زمین پهلوی هم به آنها داده‌ایم. این خودش برای اینها مسئله شده، چون باید خودشان را با این زندگی انفرادی در ۳۰۰ متر زمین تطبیق بدهند. تازه در این زمین، جای کافی برای دام‌هایشان ندارند، این خود یک فاکتور جدید است و اینها طبیعتا" فشار روانی را زیادتر خواهند کرد. برای این خانواده، این محیط زندگی مصنوعی است و به اعتقاد من همین باعث تأخیر در بهبود روانی افراد خانواده خواهد شد. همین داستان را ما در مورد طرح واحدهای مسکونی داشتیم. دقیقا" مطالعه کردیم و متوجه شدیم که نقشه‌های ساختمانی برای زندگی مردم هر قدر به وضع پیشینی که آنها داشتند و به آن مأنوس بودند نزدیکتر باشند افراد راحت‌تر خودشان را با آن تطبیق می‌دهند. ولی وقتی نقشه ما جدید و عجیب و غریب باشد، گو اینکه ممکن است از دید ما نقشه پیشرفته‌تری باشد، ولی در حقیقت این موضوع یک عامل جدید فشار روانی خواهد شد و صاحبخانه مدام در فکر این خواهد بود که در و پنجره را چکار کنم؟ سرما و گرما را چکار کنم؟ تعمیر ساختمان را چه کنم و امثال آن.

همین قضیه را باید در مورد استفاده از مصالح و تکنولوژی ساخت مد نظر قرار داد. من خاطرم هست که در منطقه خوزستان که حوزه اصلی مطالعه‌ام بود در روستایی در یکی از اتاق‌ها با شخصی نشسته بودیم. سقف اطاق را از تیرچه بلوک ساخته بودند. به خاطر بدی اجرا یکی از این بلوک‌ها در حال افتادن بود. صاحبخانه چون می‌دانست من مهندس هستم پرسید که من این بلوکی را که دارد می‌افتد چکار باید بکنم؟ این شخص سال‌های سال تیر چوبی، حصیر و گل را خوب می‌شناخته و به محض اینکه ساختمانش احتیاج به تعمیر

داشته، می‌دانسته که چکار باید بکند. با این ابداع و با به‌کار بردن تکنولوژی جدید و مصالح جدید برای شخصی که می‌خواهد در این ساختمان زندگی کند مسئله تازه‌ای درست کرده‌ایم. مسئله تعمیر و نگهداری. و برای او وابستگی ایجاد کرده‌ایم. حالا باز مثال‌های دیگری برای شما می‌گویم. مثلاً" راجع به استفاده از شیشه در واحدهای مسکونی در منطقه دشت آزادگان، چیز غریبی که وجود داشته این بوده که پنجره‌ها اصلاً" شیشه نداشتند. در بازسازی پنجره‌ها را شیشه‌خور ساخته‌اند. یک بارستاد معین یک کامیون شیشه آورده و انداخته و رفته است. ساکن ساختمان هم به شیشه عادت نداشته اولین بار که خواسته پنجره‌ها را ببندد آن را محکم بسته و شیشه را شکسته است. نزدیکترین جایی که این فرد می‌تواند شیشه دریافت کند کیلومترها با محل سکونت او فاصله دارد. اگر به فرض بتواند اندازه شیشه را بگیرد و بعد هم بداند که چطور بتونه‌اش کند و زهوار را باز کند، تازه باید برود از فاصله سی یا چهل کیلومتری جنسی را که حمل و نقلش بسیار سخت است بیاورد یا اینکه باید برود و شیشه‌بر بیاورد و اندازه بگیرد و دوباره او را ببرد تا خلاصه یک پنجره ساده را شیشه بیاندازد که این هم از بنیه مالی او خارج است.

جمع بندی کلی که ما در آن مقاله داشتیم در دو اصل خلاصه می‌شود. اصل اول آن است که دربازسازی تا جایی که ممکن است از تغییر اجتماعی، فرهنگی و یا فیزیکی خودداری کنیم. اول به دلیل اینکه بازگشت مردم را به حالت عادی به تأخیر می‌اندازد. دوم اینکه در جریان بازسازی بطور کلی در آنچه که انجام می‌شود روند کار به مراتب مهم‌تر از تولید نهایی است. اهمیت این پروسه بسیار بیشتر از کیفیت آن ساختمان یا مجموعه در حال ساخت است. این مدیریت ساخت است که اهمیت دارد و یک فاکتور اساسی در مدیریت ساخت عبارت از درگیری و فعالیت خود مردم است. یعنی در حقیقت به خود مردم اجازه داده شود که بازسازی نمایند. دولت و نیروهای دیگر باید نقش سرویس دهنده و پشتیبان را داشته باشند. یا به قول همکارمان با مشارکت این کار صورت بگیرد. اصلاً" این روحیه در این بازسازی وجود داشت همان‌طور که در هویزه و یا در خیلی از روستاهای دیگر این کار راکردند. یعنی گفتند که ما حالا برای کسی که قبلاً" خانه خرابه‌ای داشته، خانه آجری، شهری و فرض کنید

با طاق بتنی می‌سازیم و در آخر طی مراسمی‌کلید را دو دستی به او تقدیم می‌کنیم و او را ذوق زده می‌کنیم و فکر می‌کنند که از این بهتر هم نمی‌شود کاری کرد. در صورتی که از لحاظ بهبود روانی آن خانواده، ذوق زده کردن آنها هیچ‌گونه ارزشی ندارد. در حالی‌که اگر همین شخص را شما در مسیری که داشتید برایش تصمیم‌گیری می‌کردید، یا برای بازسازی خانه‌اش کار می‌کردید در این بازسازی شرکت می‌دادید و یا اینکه از اول شروع می‌کردید در مورد انتخاب زمینش با او مشورت می‌کردید و اگر حتی افراد آن خانواده در مورد کارهای کارگری و بدنی بازسازی کمک می‌کردند و خودشان با دست خودشان خانه را می‌ساختند و ماهم نقش حاشیه‌ای و امدادی داشتیم به مراتب وضع روانی‌اش زودتر بهبود می‌یافت و زودتر احساس می‌کرد که به شرایط عادی رسیده تا اینکه یک خانه دربست به او جایزه بدهیم. این شاید دو جمع بندی اساسی بود که در این زمینه داشتیم.

نکته دیگر اینکه من اخیراً بعضی از مقولاتی را که الان خانم دکتر فرمودند به‌صورت جزوه‌ای درست کرده‌ام که اینجا خدمت دکتر آشتیانی هم فرستاده‌ام.مقولات سر پناه اضطراری است که در حقیقت بخشی از آن موضوعاتی است که من مشغول گفتگو در مورد آنها هستم و بخشی از آن مطالبی است که خانم دکتر فرمودند مشغول مطالعه هستند. در لیاول و ماشمیان مواردی مشابه آنچه خانم دکتر ذکر کردند وجود دارند. البته مجموعه‌ای که در آب بر ساخته شده است مسائلی به مراتب حادتر و پیچیده‌تر از لحاظ مسائل اقتصادی دارد که به اعتقاد من مورد جالبی برای مطالعه می‌باشد. و حالا جان کلام این است که فکر می‌کنم آنجا هم سه الی چهار روستا را به فاصله‌های خیلی زیاد جمع کرده‌اند و همه را دریک زمین دولتی که قرار بوده پادگان شود اسکان داده‌اند و خانه سازی کرده‌اند. مسئله‌ای که با آن روبرو هستند این‌است که حالا غیر از اینکه خدمات و تاسیسات ندارند این جمعیت ۶الی ۷ هزار نفری هیچ کدام شغل ندارند و امکان تولید شغل هم در آن نزدیکی اصلاً برای ایشان موجود نیست و جالب این‌است که در آنجا از لحاظ مسئله اقتصادی در سطحی قرار دارند که امکان مهاجرت را هم ندارند. در صورتی که در جاهای دیگر احتمالاً این امکانات وجود دارد، مثلاً در همین منطقه جیرنده که معدن ذغال سنگ بوده و فعلاً تعطیل شده و

کارگرانشان را بازخرید کرده‌اند یک عده توانستند با آن ۷۰۰ الی ۸۰۰ هزار تومانی که گرفتند خودشان را از آنجا نجات بدهند در حالی‌که همین امکان هم در منطقه آب‌بر وجود ندارد. و اما بپردازیم به عرایض اصلی خودمان.

شاید مهمترین مقوله ما در بازسازی عبارت از این باشد که اساسا" شناختی که از فاجعه و آسیب‌های فاجعه وجود دارد شناخت غلطی است. یعنی آسیب فاجعه را کمّی و مادی می‌بینیم. این اصولا" یک گرایش انحرافی و در عین حال رایج است. یعنی اگر در جایی زلزله بیاید، نمی‌گویند فرضا" چقدر فشار روانی به چند نفر وارد آمده است. این اصلا" نه مترکردنی است و نه می‌شود خیلی راحت آن را گزارش داد ونه راحت عکسش را گرفت، ولی مثلا" عکس خانه‌های خراب شده و غیره را می‌توان زود گرفت و گزارش کرد و نوشت.

این نوع نگرش که در حقیقت در آن ابعاد غیر فیزیکی فاجعه در زمینه خسارت‌ها نادیده و کم اهمیت انگاشته می‌شود در نگرش به مسئله بازسازی منعکس می‌شود. می‌گویند ما اصلا" چی را بازسازی می‌کنیم؟ اساسا" کلمه بازسازی از آن مسئله‌هایی است که باید یک بار روی آن فکر کرد که آیا اصلا" درست است یا نه. به اعتقاد من این کلمه غلط است و غلط بودن آن‌هم به دلیل این است که وقتی ما صحبت از بازسازی می‌کنیم بلافاصله به مناسبت معنی لغوی ذهنمان متوجه بازسازی فیزیکی از قبیل خانه سازی و ساختمان سازی می‌شود. در حالی که باید از اصطلاحات دیگری مانند" باز زنده سازی" یا مثلا" کلمه" احیاء" استفاده کرد تا بتوانیم مفهوم را برسانیم. یعنی مقایسه و در واقع تفاوت بین Rehabilitation و Reconstruction است. در حقیقت آن چیزی که این جوامع مصیبت زده احتیاج دارند باززنده‌سازی است. این است که دوباره حیاتش را ونه اینکه ساختمانش را پیدا کند. شاید این بزرگترین مشکلی است که با آن روبرو هستیم. یکی از دلایل گرایش به این مسئله اساسا" کمّی و یا مادی دیدن قضایا است. در واقع این تا حدودی فرهنگ جامعه امروز ما شده است. حالا در مورد فاجعه‌ها هم همین‌طور است. فرض کنید ما پنج هزار واحد فابیس داریم. یعنی چه؟ اصلا" کسی می‌آید نگاه کند که وقتی آنها را به مردم می‌دهیم از لحاظ امکان زیست و

اسکان دادن این خانواده و حل مسئله‌اش چقدر موفق بوده‌ایم؟ حالا بررسی کنید و بگویید بحمداله خیلی موفق است، واحدی درست کردیم که به خوبی جواب تک تک خانواده‌ها را می‌دهد والا عدد پنج هزار اصلاً" چیز افتخار آمیزی نیست. این شاید یکی از اصلی ترین مسائل باشد.

ما اگر بخواهیم یک شهر، یا یک روستا را در نظر بگیریم ذهن فوری متوجه تعدادی خیابان و یک سری ساختمان و دکان و بازار و امثال اینها می‌شود. و وقتی می‌گوئیم " روستا"، یک سری مزرعه، تعدادی دام و تعدادی خانه و یک سری آدم که درون آن خانه‌ها زندگی می‌کنند. این یک نوع نگاه کردن ساده و ابتدایی است. ولی اگر ما یک روستا یا یک شهر را مثل یک موجود زنده در نظر بگیریم، متوجه می‌شویم، که مانند وقتی که با یک آدم برخورد می‌کنیم اولین چیزی که می‌بینیم هیکلش است. بسیار خوب ولی یادمان نرود که در درون این هیکل که سر پا ایستاده و دارد راه می‌رود و فعالیت‌هایی می‌کند یک مکانیزم پیچیده عمل می‌کند یعنی باید تغذیه و یا تنفس کند. تمام فعالیت‌ها را داشته باشد تا بعد بتواند حرکت کند و راه برود. تازه غیر از تغذیه یک سری ارتباط و بده و بستان با آدم‌های دیگر دارد، مناسبات و از همه اینها گذشته روح ، اندیشه و تفکر و فرهنگ دارد. به یک چیزهایی اعتقاد دارد، از یک چیزهایی خوشش می‌آید و از یک چیزهایی بدش می‌آید. اگر بازسازی یا باززنده‌سازی را به معنای جامع آن بگیریم بایست کوشید و کمک کرد که هر چه زودتر مجموعه این سیستم به حال عادی برگردد. آن وقت است که کار بسیار پیچیده می‌شود. یعنی از یک پیمانکاری ساده، که می‌شود دو روزه روی یک کاغذ نوشت و بودجه آن را هم تصویب و تامین کرد برای بازسازی نتیجه‌ای که می‌خواهیم حاصل نخواهد بود. چیزی که در این میان اصلاً" مطرح نیست و یا خیلی کم اهمیت است، این است که چطور می‌شود در مورد مسائل اجتماعی ، فرهنگی و احیای مجدد این موجود پیچیده اقدام کرد. اگر این موارد را در نظر بگیریم نظایر این ادغام‌ها و جابجایی‌ها و امثالهم که دارند انجام می‌دهند را تکرار نخواهیم کرد. این طور بازسازی کردن مثل این می‌ماند که یک نفر با ماشین تصادف بکند، دست و پایش خرد بشود، سرو صورتش زخمی‌بشود، و بعد این شخص را به بیمارستان ببرند و

بجای هر کاری اول دست او را جراحی پلاستیک بکنند در حالی‌که او دارد از داخل خونریزی می‌کند. منتها زخمهای پوستش را اول پانسمان می‌کنند و هیکل او را درست می‌کنند و بیرون می‌فرستند. ظاهرش مثل آدم است، همه چیزش ظاهراً درست شده ولی آن مجموعه سیستمی‌که باید داخلش کار بکند تا این موجود تبدیل بشود به انسان کامل، صدمه دیده است . نتیجه این نگرش‌ها ما را می‌برد به سمت بازسازی محلی مثل هویزه که مثل جسد بزرگ خیلی شیکی است که نه تنها ظاهرش را ساختند بلکه برای آن کراوات و پاپیون هم زدند، منتها یک اشکال خیلی کوچک دارد. روح ندارد، مرده است، هویزه برای همیشه مرده و این چیزی که فکل و کراوات زدند موجود دیگری است، اصلاً هویزه نیست. این اشکال کار است.

مطلب دومی‌که در ارتباط با بازسازی می‌باشد، رابطهٔ بازسازی با مسایل سیاسی است. بازسازی شدیداً قضیه‌ای سیاسی است. دولت‌ها ناچار هستند که خودشان را درموضعی قرار بدهند که نشان بدهد که مشغول کنترل شرایط بوده و خوب سرویس می‌دهند و رسیدگی می‌کنند. اینهایی‌که عرض می‌کنم مسایل ایران نیست، بلکه بطور کلی این‌طور است. عملکرد ضعیف دولت در مورد فاجعه‌ها در حقیقت باعث خواهد شد که حتی جوامع مصیبت ندیده هم احساس بدی نسبت به دولت پیدا کنند، چون کشور حس ترحمی‌نسبت به مردمی‌که خانه و غذا ندارند خواهد داشت و احساس خواهد کرد که پس دولت چکاره است و چرا تکان نمی‌خورد؟ نتیجتاً دولت برای حفظ خودش یا در واقع برای استحکام بخشیدن به موقعیت خودش ناچار است که خوب عمل کند، خوب رسیدگی کند و یا اینکه حداقل نشان بدهد که خوب رسیدگی می‌کند و چون دولت قابلیت آسیب پذیری را دارد، متاسفانه بعضی وقت‌ها به جای اینکه به درد واقعی مردم برسد در خط تبلیغات می‌افتد. این اولین مسئله‌ای است که با آن مواجه هستیم، مثلاً در سیل دو سه سال پیش بنگلادش خاطرم هست که من تصاویر سیل را همیشه در اخبار نگاه می‌کردم. تصاویر، سیل و آقای پرزیدنت ارشاد را نشان می‌داد که پوتین‌های بلندی را پوشیده و درون یک قایق در خیابان‌های سیل‌گرفته حرکت می‌کند و با دست خودش نان به مردم می‌دهد و این عمل را

هر روز تکرار می‌کرد. این گذشت، ولی بعدها با ایشان در مورد همین سیل صحبت کرده بودند، او گفته بود اگر سیل برای مملکت ما فاجعه بود و خسارات زیادی به بار آورد ولی برای من خیلی خوب بود، یعنی از لحاظ تحکیم موضع سیاسی ایشان مؤثر بوده است. این مردمی نشان دادن خود به حقیقت کمک کرد تا حداقل برای مدتی بتواند کارش را ادامه بدهد. بعضی محققین معتقدند که فاجعه‌ها پتانسیل سیاسی شدیدی دارند. در نظام‌های سیاسی دموکراتیک یکی از چیزهایی که اتفاق می‌افتد این است که به محض وقوع فاجعه، حزب جناح مخالف آماده است و می‌داند که در امداد و بازسازی و دیگر موارد کمبود زیاد است. به همین جهت ذره‌بین بر می‌دارند و می‌روند در محل نگاه می‌کنند و می‌گویند مثلاً" به فلان کس اصلاً" نرسیدند و در آنجا چه شد و چه شد. موردی مشابه این را اخیراً" خبرنگاری در یکی از روزنامه‌ها نوشته بود که به خاطر آن از روزنامه اخراجش کردند.

یک موضوع دیگر این است که بازسازی می‌تواند به عنوان ابزاری برای یک سری اهداف سیاسی در اختیار دولت قرار بگیرد. مثلاً" در ارتباط با گروه‌های اقلیت و یا نارضایی‌ها و امثالهم. از دو راه می‌شود مردم را خرید، یا از راه تطمیع، یعنی پول بیشتر به آنها پرداختن و خوب سرویس دادن و غیره، و یا از طریق تحت فشار قرار دادن آنها. به بیان دیگر در مورد یک مجموعه‌ای که تخریب شده چون جامعه نیاز و احتیاج به کمک دارد دولت می‌تواند بده و بستان سیاسی بکند. مثلاً" دولت می‌گوید من این امداد را می‌دهم منتها یک نخ به آن می‌بندم و یا اصلاً" نمی‌دهم و به این طریق می‌تواند یک سری امتیاز بگیرد.

مقوله دیگری که در بازسازی وجود دارد و خانم دکتر به آن اشاره کردند، نیروها و سازمان‌های امدادگر و چگونگی برخورد با این سازمان‌های بین المللی است که ما در ایران زیاد سابقه آن را نداریم، زیرا این سازمان‌ها زیاد به ایران نیامده‌اند. من کتابی در این زمینه دیده‌ام و به شما توصیه می‌کنم که مطالعه کنید، تحت عنوان Disasters and Development تالیف F.C. Cuny، این کتاب در سال ۱۹۸۳ منتشر شده و عمده مباحث آن راجع به همین سازمان‌های بین‌المللی است. مثلاً" در خیلی از کشورهای جهان سوم معمولاً" بعد از وقوع

فاجعه آن محل تبدیل به میدان مبارزه می‌شود. بنگاه‌های امداد بین المللی که یکی دو تا هم نیستند برای امداد و اسکان می‌آیند ولی متاسفانه مشکلات عدیده‌ای را نیز به وجود می‌آورند. ما در داخل ایران به شکل دیگری این مسئله را داریم و با این قضیه روبرو هستیم که یک‌سری نهادها، یا مردمی و یا دولتی یا نیمه دولتی از شهرها و استان‌های دیگر با نیت خیر بسیج می‌شوند و هیچ‌کس در مقابل عملکردشان پاسخگو نیست. به اصطلاح دندان اسب پیش‌کشی را نمی‌شمارند. وقتی کسی بلند شده برای کمک کردن آمده و خانه سازی می‌کند و یا پول آورده چطور می‌شود به کارش ایراد گرفت؟ در حال حاضر در مناطق جنگزده و زلزله‌زده عده‌ای آمده‌اند و روستا می‌سازند، دیگر نمی‌توانیم بگوییم آقا چرا این‌طوری می‌سازی؟ چرا با این طرح و نقشه؟ چون اشکال کار در این است که به محض اینکه بخواهی چرا در بیاوری و قید بگذاری اصل قضیه ممکن است به هم بخورد. می‌گوید "نمی‌خواهی خداحافظ". آن پول را می‌برد جای دیگر خرج می‌کند و یا اصلا" کاری نمی‌کند و برمی‌گردد. عدم پاسخگویی این سازمان‌ها و بنگاه‌های خیریه از یک طرف و از طرفی دیگر وابستگی فاجعه‌زده‌ها به دولت یکی از مصیبت بارترین مسایلی است که ما با آن روبرو هستیم. در همین منطقه آسیب دیده اخیر زنجان و گیلان، ستادهای معین از جاهای مختلف آمدند و گواینکه الگوی کلی داشتند و انصافا" تجربه بسیار موفقی بود. آنها با ضوابط خودشان یعنی تا ۲۰ هزار تومانی که برای اسکان موقت داده شده بود شروع به کار کردند. اصفهانی‌ها آمدند و یک مقدار پول از بازار شهرگرفتند و شروع به ساختن ساختمان با اسکلت بتونی کردند. در یک جای دیگر می‌بینیم که یک طرف یک اتاق آجری ساختند و مثلا" تیرپوش کردند. یک جای دیگر می‌بینیم که فقط آمدند و چوب دادند و مردم خودشان کارکردند. یک جای دیگر می‌بینیم که اسکلت را ساختند و بعد رها کردند و رفتند و در حقیقت در محیط چندگانگی را از لحاظ اسکان می‌بینیم. اولین چیزی که مردم از خودشان می‌پرسند این‌است که دلیل این تفاوت‌ها چیست؟ بطور کلی اینها اعتراض دارند و می‌گویند ما در روستای بالا شنیدیم که ستاد معین ۴۵۰۰ تومان پول به مردم داده و بقیه را پول چوب داده است، اینجا به ما یک قران هم ندادند. آخر چرا ۴۵۰۰ تومان را به آنها دادند و به ما ندادند که این موضوع را مرتب تکرار می‌کنند و تا ابد هم فراموش نخواهند کرد.

مشکل دیگر در رابطه با این نیروهای امدادگر این است که سازمان دهندگان این نهادهای مردمی‌در واقع شناخت علمی‌کافی در مورد فعالیتی که می‌خواهند انجام بدهند ندارند. وقتی به یک کارگاه ساختمانی که ۳۰۰ خانه درون آن ساخته شده، می‌روید می‌بینید که فنی‌ترین آدمی‌که در این محل هست مثلاً" یک جوان دیپلمه است و حالا شما بخواهید با وی راجع به مقولات مدیریت و ابعاد توسعه‌ای فعالیتی که می‌کند صحبت کنید که اگر مردم کمک کنند و یا کمک نکنند چه می‌شود. او مقیاسش اصلاً" با این بحث‌ها فرق می‌کند و یکی از معضلات اساسی این گروه‌های امدادگر همین است. البته قصدشان خیر است، می‌آیند و باید هم بیایند و آمدنشان اجتناب ناپذیر است. در این زلزله اخیر به اعتقاد من، هم هسته‌های مردمی و نهادهای مردمی عمل کردند، هم دولت و همین دلیل موفقیت آنها بود.

یک مقوله دیگری که مادر بازسازی بارها با آن روبرو می‌شویم این است که چطور می‌شود از خسارات فاجعه بعدی جلوگیری کرد. در مقطعی که ما مشغول بازسازی هستیم برای اینکه مشکل قضیه روشن شود می‌گویند که باید خانه‌های ضد زلزله بسازند، پس طبیعتاً" راه حل تکنولوژیک دارد. بدیهی است خانه ضد زلزله ساختن مسئله خیلی مشکلی نیست، پس می‌خواهیم بدانیم چه چیزی مسئله را مشکل می‌کند. اساساً" ما از زلزله به‌عنوان فاجعه حرف می‌زنیم، این اصلاً" غلط است. زلزله چیست؟ زمین می‌لرزد. وسط بیابان هم می‌لرزد، وسط کویر هم می‌لرزد. زیر اقیانوس هم مدام زمین می‌لرزد. ولی اتفاقی نمی‌افتد. لرزش زمین که مشکلی نیست، پس چه موقع مشکل می‌شود؟ موقعی که این به یک سکونتگاه انسانی برمی‌خورد، وقتی که یک مجموعه شهر و یا یک روستا را می‌لرزاند. آیا این فاجعه است؟ خیر. باز هم ممکن است این فاجعه نباشد. مثلاً" در ژاپن، شاید هر هفته یک زلزله بیاید و کسی آسیبی نبیند. باز هم این فاجعه نیست. پس کی فاجعه است؟ در حقیقت زمانی که خسارات مالی و جانی به وجود بیایند، حالا چرا این خسارات به‌وجود می‌آید؟ دلیلش آسیب پذیری خانه‌ها است. موضوع خیلی ساده است. وقتی ساختمان با سنگ رودخانه‌ای یا گل و با آن تیرهای چوبی روی هم گذاشته شود طبیعتاً مقاومت ندارد و در زمین‌لرزه ۷ ریشتری می‌ریزد. حالا اگر آن ساختمان چوبی ولی محکم بوده، خوب دوام آورده کسی

خسارت نمی‌بیند یا اگر ببیند خیلی جزئی خواهدبود. بنابراین نباید دنبال این بگردیم که زلزله در زمین چکار می‌کند و غیره. ما باید بگردیم تا ریشه‌های آسیب‌پذیری‌مان را پیدا کنیم. الان نمی‌خواهم وارد جزییات بشوم ولی مهمترین مسئله این است که ریشه آسیب‌پذیری در حقیقت مسئله‌ای اقتصادی و اجتماعی و حتی فرهنگی و نهایتاً فیزیکی است. یعنی فقط ساختمان‌ها نیستند که آسیب‌پذیرند، بلکه همراه با آن شخصی که ساختمانش این‌قدر آسیب‌پذیر است، آسیب می‌بیند. زیرا به احتمال خیلی زیاد او از لحاظ معیشتی وابسته به زمین و یا محلی است که در حقیقت این ریسک را به او تحمیل می‌کند. در منطقه دشت آزادگان به بعضی از روستاهایی که در نزدیکی بستان بازسازی شده‌اند مثل ابرفوش و سیدناصر و غیره رفتم و طبق پژوهشی که پس از بازسازی دنبال می‌کردم از مردم سئوال می‌کردم: "این زمینی که الان در آن زندگی می‌کنید سیل‌خیز هست یا نه؟" می‌گفتند: "بله، مثلاً دو سال پیش که سیل آمد تا کمرخانه‌مان را گرفت". سوال بعدی من این بود: " در اینجا نزدیکترین زمینی که سیل‌گیر نباشد کجاست؟ " گفتند: "که چنین زمینی اصلاً وجود ندارد. یعنی فرضاً باید چندین کیلومتر دورتر رفت " . رفتن چندین کیلومتر دورتر یعنی اساساً کشت‌وکار روی این زمین‌ها را فراموش کردن، چون اینها به آن زمین وابسته‌اند. ریسک سیل را هم قبول می‌کنند. هنوز هم همین‌طور است. بیش از ۵۰ درصد روستاهای بازسازی شده دشت آزادگان در استان خوزستان سیل‌گیر هستند و اگر سیل سنگین بیاید کرخه و کرخه نور طغیان خواهند کرد. ولی در عین حال اجتناب ناپذیر است به خاطر اینکه زمین مسطح است و منطقه طوری است که در آن زمین مرتفع وجود ندارد یا به ندرت پیدا می‌شود. منتها می‌شود فکر راه حل‌هایی را در طرح سکونتگاه‌هایشان کرد تا آسیب پذیری آنها کم بشود. همان طور که مثلاً وقتی در ابرفوش سیل آمد تا کمر خانه‌ها را گرفت، چون خانه‌ها پی و دیواره درست داشتند آسیب پذیری آنها تقلیل پیدا کرده، ولی بکلی رفع نشده بود. نکته‌ای که در این آسیب‌پذیری وجود دارد این‌است که یک مجموعه سیستم‌هایی هست که باهم عمل می‌کنند و مثال خیلی ملموس آن را باز عرض می‌کنم.

مدتی قبل در مقاله‌ای تحقیقی دیدم که ضمن بررسی معلوم شده بود در هر فاجعه‌ای که در

قاره آمریکای شمالی اتفاق می‌افتد، در طی یک مقطع ۲۰ ساله تعداد نفراتی که کشته شده‌اند بطور متوسط حدود ۲۵ نفر بود، در حالی‌که در قاره آسیا این رقم چیزی حدود ۹۵۰ نفر بود. دلیل چیست؟ دلیلش این‌است که درجه توسعه یافتگی این دو قاره باهم فرق می‌کند. بحث بر سر این است که می‌گویند اگر جامعه‌ای توانست خودش را آنچنان رشد و بهبود و توسعه بدهد که در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و غیره به تکامل برسد آن وقت خود به خود شرایط فیزیکی آن هم مطلوب خواهد بود. گرفتاری عمده این‌است که ما نمی‌توانیم با توسعه فیزیکی معجزه کنیم و کمک زیادی به توسعه اقتصادی و اجتماعی محل مورد نظر بکنیم. اشکالاتی که با آن روبرو هستیم چیست؟ شما در منطقه‌ای که مردم هنوز آب آشامیدنی ندارند و مشکل اسهال دارند که هر ساله ۱۰ نفر از بچه‌ها را در روستا می‌کشد چطور می‌خواهید با مردم از زلزله‌ای که ۱۰ سال دیگر آیا می‌آید و نمی‌آید صحبت کنید. آنها نمی‌توانند فکر چنین موضوعی را بکنند. در سرمایه‌گذاری که می‌خواهید برای این مردم بشود باید دید که آیا اولویت توسعه‌اش در آن زمان، مقاومت در برابر فاجعه است یا احیاناً روی چیزهای دیگری است. و وقتی که زلزله خصوصاً در مناطق روستایی و در مناطق فقیر اتفاق می‌افتد این مسئله به خوبی احساس می‌شود و تصمیم گیری در مورد آن بسیار مشکل است. در جوامع و مجموعه‌های شهری، در زاغه‌نشین‌ها و آلونک نشین‌ها هم زلزله می‌آید. شما می‌دانید که اینها زمین‌هایی هستند که غالباً غیرقانونی‌اند و بسیار سست می‌باشند و با حرکت زمین همه آن مجموعه به ته دره می‌رود. حالا دولت می‌خواهد با اینها چه بکند؟ کدام مشکل اینها را حل کند؟ اگر برای آن کسی که آلونک نشین است و شغل ندارد و مالک چیزی نیست، در جایی یک واحد ضدزلزله درست کنید، نمی‌تواند مخارج آن‌را پرداخت کند و اگر فرضاً بتواند مخارج را پرداخت کند شغلش را چکار کند؟ مشکل اقتصادی اش کماکان باقی خواهد بود. باز این از آن چیزهایی است که این‌طرف و آن طرف زیاد تجربه کرده‌ام. خلاصه‌اش را عرض می‌کنم و آن، این‌است که برای مشکلی که ریشه‌اش اقتصادی، اجتماعی است راه حل تکنولوژیک فیزیکی پاسخ‌گو نیست. اینکه حالا چکار باید کرد و چطور به سمت استحکام بخشی ساختمان‌ها پیش رفت مسئله پیچیده‌ای است که به آسانی قابل حل نیست. آن چیزهایی که در کتاب‌ها می‌خوانیم و یا درس می‌دهیم که مثلاً

برای ساختمان ضدزلزله میلگردها را از هر طرف ۶۰ سانتیمتر از هم رد کنید و این اتصالات را این‌طور جوش دهید ساختمان پایین نمی‌آید، وقتی این به مرحله اجرا می‌رسد باید بدانیم چه کسی هزینه‌ها را تامین خواهد کرد؟ چه کسی اجرایش می‌کند؟ این پول را آن کسی که می‌خواهد در آن زندگی کند از کجا بیاورد؟ زمین را از کجا بیاورد؟ شغل را از کجا بیاورد؟ و مسئله از همین جا پیچیده می‌شود.

باز یکی از اپیدمی‌های فاجعه به اعتقاد من این‌است که دولت و مسئولین فکر می‌کنند که یک فرصت طلایی به وجود آمده که باید حداکثر استفاده را از آن بکنند. در خوزستان تعداد ۳۰۰ الی ۴۰۰ روستا تخریب شده‌است. در سال‌های ۶۲ـ۶۱، گفتند چون انقلاب شده حالا می‌خواهیم این روستاها را درست کنیم. پس از همین خوزستان که خراب شده شروع می‌کنیم. رفتند سراغ اینکه روستای ایده‌ال را بسازند، بعد شروع به تعریف کردند روستای ایده‌آل چی دارد؟ خیابان‌های منظم، خانه‌های مرتب، یک مرکز و مدرسه و مسجد دارد و به فاصله کوتاهی که شاید یکی دو سال طول کشید شروع به ساخت کردند. در همین موقع مسئولین متوجه شدند که قیمت نفت پایین آمده و پول کم شده‌است و دیگر نتوانستند این روستاها را بسازند و این سیاست را کنار گذاشتند و تازه در آن مقطع که ساخته شده بود متوجه شدند که بطور مثال در دشت آزادگان مسجدی که طرح کرده‌بودند بسیار بزرگ بوده و دارای ورودی‌های جداگانه زنانه و مردانه. حیاط برای زنان است ولی به این مسئله توجه نکرده بودند که در دشت آزادگان مرد عرب به هیچ وجه اجازه نمی‌دهد زنش به مسجد برود، بنابراین عملاً بخش زنانه این مسجد بی‌فایده بود. حتی برای مردان این ناحیه هم مسجد نقشی را که برای ما شهرنشین‌ها دارد، دارا نیست. آنها تجمع مذهبی خود را در محلی به نام حسینیه انجام می‌دهند که وابسته به بزرگ خانواده یا جمعی از بزرگان آن طایفه خاص است. من در این نوع مراسم شرکت کرده‌ام و آن را از نزدیک دیده‌ام، این محل بخشی از خانهٔ شخص است و تمام مراسم مهم در آنجا برگزار می‌شوند. در هویزه هم مسجد خیلی بزرگی درست کرده‌اند، ولی اگر غروب آفتاب به این مسجد بروید خبری نیست. شاید یکی دو نفری آنجا باشند و یا شاید هم هیچ‌کس نباشد. در حالی‌که دویست یا سیصد متر

آن‌طرف‌تر همه مشغول وضوگرفتن هستند تا برای نماز خواندن به حسینیه جدیدی بروند که مردم ساخته‌اند. گاهی من فکر می‌کنم که این فرصت طلایی که پیش آمده به این علت است که می‌گویند چون این مردم مصیبت زده هستند الان محتاجند و بنابراین هرچیزی را در شرایط فعلی می‌پذیرند و حتی فکر می‌کنند که حالا اگر اینها فاجعه‌ای را هم تجربه کرده‌اند پس آمادگی برای تغییرات را دارند و دنبال راه‌حل‌های بهتری می‌گردند. بنابراین از لحاظ روانی هم شرایط بهتری را برای پذیرش تغییر دارند. اینها همه‌اش توهمات است. تجربهٔ گذشته این را نشان نمی‌دهد. بارها آمده‌اند و در جاهای مختلف دنیا این تغییرات را تحمیل کرده‌اند و آن چیزی که خانم دکتر گفتند دارد اتفاق می‌افتد که لیاول علیا و ماشمیان و سوسفر را به زور کنار هم آورده‌اند. ولی اینها الان دارند به هسته‌های اولی‌شان برمی‌گردند و احتمالاً خانه‌های خودشان را خواهند ساخت، این چیزی‌است که من مطمئن هستم اتفاق خواهد افتاد. مردم این تغییرات را اصلاً راحت نمی‌پذیرند، یعنی آدم‌ها خیلی سرسخت هستند و در مقابل این تغییرات مقاومت نشان می‌دهند، مخصوصاً اگر بخواهد برای زندگی روزمره‌شان مشکل زا هم باشد. چنین فرصت طلایی به اعتقاد من وجود ندارد. اگر در جایی مثل هویزه را ببندند و مردمش هم بیرون باشند و در عوض یک جای بزرگ بسازند و بیایند کلید آن را به مردم بدهند باز مشکلات فراوانی وجود خواهد داشت. هنوز که هنوز است بعضی از مشکلات هویزه حل نشده‌است. هنوز مسئله مالکیت بخشی از زمین‌ها که کشاورزی بوده ولی روی آنها خانه ساخته شده و امثالهم باقی مانده‌است. شاید شما به هویزه رفته باشید، یکی از مهمترین چیزهایی که در آنجا دیده می‌شود کتیبه بزرگی است که جلوی کتابخانهٔ شهر بطور خیلی افتخارآمیزی گذاشته شده‌است که نمی‌دانم، قدری یا در واقع بیشتر از قدری مرا به یاد زمان شاه می‌اندازد که روی آن نوشته که ما چکار کرده‌ایم و چکار نکرده‌ایم و با همت فلان شخص شهر هویزه با وسعت ۱۰ برابر گذشته‌اش بازسازی شده‌است. اگر کسانی که می‌خواستند کتیبه را بنویسند یک سر سوزن دانش فنی و اجتماعی داشتند حداقل آن کتیبه را نمی‌نوشتند و آنجا نمی‌زدند. آخر مگر شهر یک خمیر است که آن‌را بگیریم از هر طرف بکشیم و ۱۰ برابر بکنیم؟ آخر اگر شهر را ۱۰ برابر کنیم فکر کنید برای آدم‌هایی که می‌خواهند در آن زندگی کنند چه مشکلاتی پیش خواهد آمد. رفت و

آمدشان چه می‌شود؟ دسترسی آنها به قسمت‌های مختلف شهر چه خواهد شد؟ مثلاً فکر این را کرده‌اید که اگر اسم این همه خیابان و بلوار را شعارگونه مثلاً بلوار امام رضا و یا دیگری را امام خمینی و یک میدان را هم فصل مشترک آنها بگیریم و اسمش را بگذاریم میدان امام، اینها آخر تا چه اندازه به زندگی مردم نزدیک است؟ آخر مردم هویزه از کجا پول پاک کردن جوی‌های شهرشان را بیاورند؟ از کجا کسی را بیاورند تا آنها را پاک کند؟ چه کسی باید اسفالت این خیابان‌ها را نگهداری کند؟ در هویزه به‌جای دکان و گذر، مرکز خرید درست کرده‌اند و برای همین هم می‌بینیم که بازار آنچنانی با حوض خانه و غیره که آدم جدا فکر می‌کند که بایست چند عدد صندلی‌های کافه‌تریایی بگذارند و عصرها جماعت بنشینند و نسکافه بخورند، در حالی‌که آن‌طرف دیگران دارند در کانتینر جنس خرید و فروش می‌کنند. این مشکلات خیلی ملموس‌اند. در برخوردی که با این افراد داشتیم یکی می‌گفت مثلاً زنم وقتی می‌خواهد دو کیلو سبزی بخرد باید به آن طرف شهر مسافرت کند، باید تاکسی بگیرد و یا نمی‌دانم چی سوار بشود تا ۲ کیلومتر برود و ۲ کیلوسبزی بخرد و امثالهم.

به‌هرحال این فرصت طلایی متاسفانه برای دست اندرکاران و مسئولین و آنهایی است که چون پول دستشان است و زورشان می‌رسد فکر می‌کنند در تصمیم‌گیری هم حق دارند و هر طور که بخواهند برای مصرف کننده یعنی کسی که در نهایت می‌خواهد در آنجا زندگی کند تصمیم می‌گیرند، بدون آنکه رعایت او را بکنند و این را واقعاً می‌گویم. با مسئولی در خوزستان بحث و جدل می‌کردیم که آقایان این خانه‌های آنچنانی را طرح نکنید، این مردم نمی‌توانند این‌طور زندگی کنند. مثلاً ما ۵ یا ۱۰ سال است که داریم روی این قضیه کار می‌کنیم. گفت: "باید یاد بگیرند این‌طوری زندگی کنند، ما حالا داریم می‌سازیم ولی نتیجهٔ آن‌را خواهیم دید". مردم دشت آزادگان در این مجموعه‌های مدرن ساخته شده یک زندگی سنتی نیمه بدوی را دارند ادامه می‌دهند. الان شواهدی وجود دارند که سکونت‌گاه فعلی مدرن حتی از لحاظ مسائل بهداشتی که شاید فاکتور اساسی در طرحشان بوده، به‌مراتب غیربهداشتی‌تر از همان سیستم سنتی خودشان است. یکی آنکه به‌دلیل تراکم زیاد، چون جمعیت را با دام و غیره در یک سطح کم متراکم کرده‌اند، مشکل دفع آب‌ها را دارند و جا

برای دفع ندارند، کوچه‌ها باریک و سایه‌دار هستند و آفتاب نمی‌خورند و لجن و کثافت همین‌طور مانده، خیلی از اول بدتر شده‌است.

من بحث‌هایم را همین جا خاتمه می‌دهم و از شما دعوت می‌کنم سریع چند عدد از این اسلایدها را باهم نگاه کنیم.

زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹
به روایت شعر

سرزمین افسانه و اساطیر، سرزمین گذر تاریخ، سترگ و پهناور، ایران، سرزمین شعر نیز هست. شعر که طغیان و فریاد مشترک انسان‌هاست به‌گاه عشق و شور، درد و رنج ... بدین‌سان زلزله آخرین روز بهار ۱۳۶۹ و قربانیان فاجعه‌ای که لرزش زمین برجای نهاد، مضمون بسیاری شعرها گشت که در مجلات و روزنامه‌های مختلف میهنمان منتشر شدند.

نگارنده این سطور به فراخور توانایی خود اشعار و سوگسرودهایی را در این زمینه گردآوری نموده‌است، اما آوردن همه آنها در این یادمان میسر نیست. از این رو گزیده‌ای از اشعار گردآوری شده، در صفحات بعد آورده می‌شود با این امید که روزی چاپ جداگانه همه اشعار و غم‌آواهای مربوط به زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ امکان‌پذیر گردد.

این بخش از یادمان را با شعری از مسعود محمودی می‌آغازیم که به نظر نگارنده، یکی از زیباترین اشعاری است که دربارهٔ زلزله شمال ایران سروده شده‌است و با شعری از شفیعی کدکنی ـ م سرشک ـ به پایان می‌بریم که گرچه مشخصاً دربارهٔ این زلزله سروده نشده‌است اما به کوتاهی شرح گویایی از درد و رنجی است که همواره درگذر تاریخ از قِبل سوانح طبیعی یا فجایع تاریخی بر مردمان این مرز و بوم رفته است.

مسعود محمودی

و جنگل در عزا، تعطیل شد جشن بهارینش*

رسول صبح از اوج شبانگاهان به راه افتاد
و می‌آمد که چون هرروز
نوید آرد طلوع صبح دیگر را
و برسقف بلند آسمان
خورشید آویزد
و جنگل
سبزپوش و سربلند و سبز
نگهبان حریم دشت و دریا بود
و دریا
موج می‌زد در هوای پارُوی مردان ماهیگیر
و عطر سبز رویش، بوی سبزینه
هوای خلد جاری بود
و می‌زد شانه شالیزار را دست نسیم شب
و ماه از اوج شب
با خفتگان خسته نجوا داشت

---

* زلزله گیلان به روایت مطبوعات، ادارهٔ کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰.

و کودک
در نهان خواب شیرین
بند می‌زد گردن آویزی
زیشم و لعل و مرجان را
که زیب گردن مادر کند
در صبح ناپیدا
و مرد صید
در رویای دریا
خنده بر لب داشت

* * *

زمین لرزید، دل لرزید، سقف آسمان لرزید
و نبض زندگی خوابید
و شد صدپاره گردن‌بند لعل و یشم و مرجانش
و مرد کار
در درگاه خانه
عشق را گم‌کرد
و جنگل در عزا
تعطیل شد جشن بهارینش
و کوه از بهت و ماتم
سرفرود آورد
و دریا
گریه را سرداد.

مهنوش شاه‌نظری

سرزمین خاکستر*

سرزمین سبز
غبار خاکستر برپهنه‌ی سبزت:
در جاده‌ی خیال
مشتی تمشک، زیتون، انار
درختان زیتون معلق
گریان

پیشتر
کرانه‌ی رود سپید
فغان، کبودی

کجایند کودکان
تا فریاد کنند تمشک
تا فریاد کنند انجیر
تا فریاد کنند اتاق، اتاق؟

---

* مجله گردون، شماره یکم، آذرماه ۱۳۶۹

خانه رفته‌ست
عشق رفته‌ست
فرزند رفته‌ست
آیا دوباره کودکانمان را خواهیم دید؟

دیگر نه صدای سبزی تازه می‌آید
نه صدای خروس مغرور

بوی نای سنگفرش‌های قدیمی
در کابوس شهر گم شده‌است

دخترکی پیش می‌آید
کاسه‌ی سفالی آبی رنگش را
به دستان ترسان ما تعارف می‌کند
به تل خاکی فریاد می‌کشد:

ماره، ماره، مهمان بعو
ماره، ماره، اماره، مهمان بعو
اماره، مهمان بعو ...

سرزمین خاکستر
خیال سبز بر پهنه‌ی خاکسترت

مفتون امینی

۷/۳*

زمین لرزید
و پیش از آنکه دل‌ها بلرزد
خانه‌ها
برتن‌های خفته فرو ریخت.
□
چراغ‌های روشن، آخرین شب خود را نمی‌دانستند
و رمه‌های بی‌خروج، نخستین پگاه را.
□
میان درد بجانی، و چشم‌براهی
پسلرزه‌ها
غم‌ها را با ترس‌ها جابجا کرد
و
راه را بر فریادرسان بست.
□

---

* مجله آدینه، شماره ۴۹، شهریور ۱۳۶۹

آه!
بازگشت به روستا هنگامی دست داد
که دیگر چیزی نمانده بود
جز پشته‌های کلوخ ـ میوه‌های کال تکیده ـ گاوهای گمشده،
و کودکان بی‌نام.

□

آزمون، یا کیفر؟
آسمان بی‌آنکه پاسخی بدهد
آب‌ها و بادهای آلوده را روانه ساخت
تا
جنوب امتناع
تا جزیرهٔ انکار.

فتح ا... شکیبایی

شروه‌های غربت*

بنال ای دل که گیلان سوگوار است
نگین سبز ایران سوگوار است

درآن خاک نجیب سبز در سبز
هوا و باد و باران، سوگوار است

از این زخمی که تا اعماق جان است
نه جان، بل جان جانان سوگوار است

بهاران بود و شادی بود و گل بود
دریغا نوبهاران سوگوار است

زمین لرزید و صدها لاله پژمرد
زهجران، سرو بستان سوگوار است

زند بر سینه دریا مشت لرزان
از این غم بحر جوشان سوگوار است

زداغ لاله رخساران خاموش
دریغا، ماه تابان سوگوار است

پریشان کرده گیسو، بید مجنون
درخت عشق و عرفان سوگوار است

به قلب شب، صراحی غرق خون شد
سبوی میگساران سوگوار است

برایـن ماتم ببار ای اشک، باران
بنال ای دل، که گیلان سوگوار است

---

* روزنامهٔ اطلاعات، شماره ۱۹۰۸۷، ۱۹ تیرماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰

سید محمد هاشمی

افسانه‌دیار

تضمین شعری از فتحا... شکیبایی

"بنال ای دل که گیلان سوگوار است — نگین سبز ایران سوگوار است"
شکسته شاخه‌های سبز زیتون — زماتم سرو بستان سوگوار است
بهاران بود وسرو و سوسن و گل — گل و سرو وچناران سوگوار است
خروشد "اسپرو" غمگین و نالان — که او از درد هجران سوگوار است
فرو خفته نوای مرغ الحق — بحق آوای مرغان سوگوار است
کجا شد ناله نی دردل کوه؟ — رمه از داغ چوپان سوگوار است
زمین و آسمان تاریک و غمگین — زغصه ماه تابان سوگوار است
عزیزان وطن خفتند در خاک — از این غم دشت و هامان سوگوار است
"برایین ماتم ببار ای اشک، باران — بنال ای‌دل که گیلان سوگوار است "

عبدا... فرّخی

غروب‌ستاره‌ها*

در سوگ فرزندانم "فرزاد و فرزانه" که در فاجعهٔ زلزلهٔ ۶۹/۳/۳۱ جان باختند.

غروبِ ستاره‌هایم را باور ندارم
آنجا،
در گورستان بی‌غسل و کفن
در کنار هم آرمیده‌اند.
ستارهٔ کوچولویم فرزانه
پیراهن توری سپید را خیلی دوست می‌داشت
و من شرمنده
که حتی از تهیهٔ کفن سپید درمانده‌ام!؟

پسر قشنگم که می‌خواست روزی پزشک شود
حتی کارنامهٔ سال اولش را ندید
و فرش زیرپای اتومبیل کفنش بود!؟

---

* نقش قلم، شماره ۵۵۲ ، ۸ مهرماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰.

آن شبِ پریشان هنوز سحر نشده‌است
و در زیر پاهای خسته‌ام
زمین همچنان می‌لرزد
سپیدرود خسته و گریان
از غم عزیزان درگذراست
و من در انتظار سحر
خاموشی ستاره‌ها را به تماشا نشسته‌ام.

گنجه ـ ۶۹/۶/۱۸

احمد قربانزاده

غزلواره*

زبان من بود چو برگ زیتون
دو چشمم اینک خلیجی ازخون

به شانه من غمی است سنگین
به سینه دارم غمی چو مجنون

ندانم ای دل کجا گریزم
که رودباریست، غرقه در خون

چو مرغ کوکوچنان بنالم
که گریه آید، کویر و هامون

چو کوه دیلم دلم گرفته
به جانم اینک شرار گردون

---

*کادح، شماره ۱۶، ۲۰ تیرماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰.

چـــنان بگـــریم کـــه کـــوه دلفک
بـــه گـــریه مـــن بـماند افسـون

ســـــپیدرودم ســـــیاه طـــالع
بـــه آب شـــویید، آب ســـیحون

ســـتیغ البـــرز ســـرت سـلامت
بـــنال بـــلبل بـــه نـای مـحزون

صـــبا کـــجایی؟ کـه بـا نـوایـی
قـــمر بـخوانـد بـه نـاله مـوزون

هـــلا بـــهاران خـــجسته بـــاشی
فـــلک نـــبخشد، بـــهار اکـــنون

محمدحسین اورسجی

مسلخ زیتون*

برای زلزله‌زدگان میهن

برما ببخشایید
شاعران چیزی ندارند
جز شاخه‌ای شعر
که بر مزاری غریب بگذارند

□

هبوط مصیبت، بر درختان پیراهن زخم پوشاند
غمی به وسعت عالم، بروطن بارید
دل بزرگ وطن را
عزا به مشت فشرد
در این قیامت درد،
من دیدگانم را هم گریسته‌ام

□

آه، اینجا قربانگاه است
مسلخ انسان و زیتون و برنج
خواب شیرین کودکی

---

* روزنامه کیهان، شماره ۱۳۹۵۹ ، ۴ مردادماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰

با مرگ سنجاق شد
بر گهواره‌ها
گل گریه می‌بندم
□
زمان اندوه
زمین اندوه
فواره‌ها خاموش‌اند
دریا با دلش آمده‌است
و سر به سینه‌ی ساحل، می‌گرید
گیاهانی که زندگی در ریشه و ساقه‌های آنها
مرده‌است
پرنده آشیان برباد رفته
بی‌کسی بر شاخهٔ غربت
□
نه، دیگر یارای اندیشیدن
نه یارای بازگشت
هرگز شانه‌های ما تهی از زخم نبود
بال‌های ما را به شلاقی تر نواختند
و سبزی دلمان را لگدمال کردند
ابر از دانه‌های سرخ بارور بود
و قلب پدر همیشه از زخم طوفانی می‌شد
دست پینه بستهٔ مادرم ارثیه بغض داشت
و مهریه‌اش گریه بود
ما پیوسته کاشتیم تا دیگران بخورند
هرگز کسی برای ما نکاشت
اینک رنجی مضاعف
در لحظه‌های رنج
این گردباد مرثیه ...

بهمن صالحی

هزار آینه‌ی خونین*

شکست خـواب بـیابان را صـدای پـنجره‌ها درهـا
پـــرنده‌ها هـــمه کـوچیدند ز ارتـفاع صـنوبرها

بهـار، عزم سفر می‌کرد، در آخـرین شب زیـبایش
که لاله‌هـای جـوان مـردند ز تـاب کـوره اخگـرها

در امتداد سکوت شهر، شکـفت صـاعقه وحشت
دوید رعشه‌ی مرگی تلخ، شگـفت‌وار بـه پـیکـرها

زمین به شیهه‌ی ناگاهان، سوار خویش فـروافکـند
چـواسب وحشـی خشـماگـین ز تـازیانهٔ بـربرها

امیر مـرگ شبیخون زد به خیمه‌های سپید خـواب
عروس عشق به خون غلطید در آبگینه‌ی خنجرها

---

* روزنامه کیهان شماره ۱۳۹۶۹، ۱۸ مردادماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰

هـزار آیـنه شـد خـونین بـرآسـتانه‌ی صبح درد
هزار پـنجره ویـران شـد بـه بـهت دیـده‌ی اخـترها

نهال کوچک زیتونی، شکسته، تکیه به سـنگی داد
بـه گـوشه‌ی قـفسی لرزان، پـرنده‌ای زده پـرپرها...

شبی که ماه چو بـانویی کشـید چـادر غـم بـر سـر
شبی که عشق به خاکستر نشست و رفت ز دفترها

نسیم مرده، سحرگاهان، ز دوش کوه گـذر مـی‌داد
صـدای نـاله‌ی کـودک‌ها، صـدای شـیون مـادرها

دلم به وسعت ویرانی، نشسته با غم سنگینی است
چـوجغد در شب بـارانـی بـه یـاد کـوچ کـبوترها

علیرضا قزوه

آیات زیتون*

پژمرده پرپر، گل‌های قالی
یک شهر ویران، یک شهر خالی

در زیر آوار خوابند و بیدار
مردان جنگل، مردان شالی

آن اختران، آه، آن مهر، آن ماه
دیشب چنان بدر، امشب هلالی

یک رود آواز، یک آسمان راز
یک دیدهٔ باز، یک دست خالی

از شهر آیا، مانده‌ست برجا
گلخانه‌ای با سقف سفالی؟!

کوسفره‌ای با آیات زیتون؟!
کوسینه‌ای با عشق جلالی ؟!
۱۳۶۹/۴/۲

---

* روزنامه اطلاعات، شماره ۱۹۰۷۶، ۵ تیرماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰

تیمور ترنج

مروایدشکسته*

در سوگ عزیزان از دست رفته‌ی زلزله در گیلان و زنجان

زمین،
برشانه‌های زلزله می‌لرزد
وشهر،
چون مرواریدی شکسته
از دستان مخملی جنگل
فرومی‌ریزد.
"سنج زنگار بستهٔ ماه"
در سوگ ستارگان
ناله می‌کند
دانه‌های سبز زیتون
برنطع خونین خاک
می‌بارند
و پرندگان گم کرده آشیان
گلواژه‌های خونین را

---

* روزنامه جمهوری اسلامی، شماره ۳۲۲۵، ۲۸ تیرماه ۱۳۶۹
به نقل از: زلزله گیلان به روایت مطبوعات، اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی گیلان، رشت ۱۳۷۰

تا افق‌های دوردست
می‌برند.

زخم سنگ
بر پیشانی تابان کودکی
که خواب‌هایش
سرشار از بال رنگین پروانه‌هاست

زخم سنگ
برجمجمهٔ پرخاطرهٔ مردی که
در بیدار خوابی‌اش
به فکر نان فرداست

زخم سنگ
برپاهای پرتاول زنی که
خستگی کار را
آرام خفته است

زخم سنگ
برشاخسار پرشکوفهٔ دستان دختری که
سرپنجه‌های پریشانش
آغشته به عطر یاسمن هاست

آه...
پنج کودک مرده
پیچیده در کفن سپیده دمان
و زنی تنها،
که بر بستر ویران کوچه‌ها
آغوش می‌گشاید
و کودکانش را
به‌نام می‌خواند

□ □

از پس دیوار شکسته بغض‌ها
ترانه‌های تلخ
همبال نسیم
بال می‌گشایند و
فرو می‌ریزند
و جهان،
فرو می‌ریزد
و آسمان
فرو می‌ریزد
و شهر
چون مرواریدی شکسته
از دستان مخملی جنگل
فرو می‌ریزد.

بوشهر، ۶۹/۴/۶

هوشنگ جعفری

باکلر! سنه نه گلدی؟*

به زبان ترکی آذری

باکلر
ای گوللو چیچکلی
ساری بیرچکلی
گؤزه‌ل کند
طارما زنجانا دلبند
سنه بیر سؤیله نه گلدی؟

باکلر
ای طارم علیاده
غم و یاسه باتان کند
تورپاق آلتیندا یاتان کند
ناله‌سی عرشه چاتان کند
اوره‌گین صبرله دولدور
عیبی یوخدور!

---

* قانلی چیچکلر (غنچه‌های خونین)، گردآوری دکتر سیدمحمدحسین مبین، م. شمشک، انتشارات ارک تبریز، ۱۳۶۹.

جمه‌لر چولده ده قالسا
دئنه قالسین
باغچالار قاره لچک باشینا سالسا
دئنه سالسین.
قوی یاشیل دون توزا باتسین
باغینین گوللری سولسا
دئنه سولسین.
آنالار زولفونو یولسا
دئنه یولسین.
سن محبت گولون اک
غملی اوره کلرده گؤیرسین
بودا بیرگوندو، کئچر!

باکلر
ای گوللو چیچکلی
ساری بیرچکلی
گؤزه‌ل کند
سنه بیر سؤیله نه گلدی؟

من طارم‌دن گلیرم
وار خبریم فاجعه سیندن
او داغیلمیش سینه سیندن
نه دئییم زلزله سیندن.
ناله‌لر عرشه چاتیبدی
"وای بالام" سسله نن آروادلاری گؤردوم کی
"بالام وای" چاغیریردی.

یولدا ویرانه قالان
کندلری گؤردوم.
کنده بایقوش باغیریردی
بالالار خوفله میشدی
چوخو دوشموشدولر دیلدن
هئچ سئچیلمیردیلر گولدن.
سسله قوی تورپاغین آلتیندا
یاتانلاردا اویانسین
ناله‌لر قوی اوجالانسین
آمما صبرین کاساسی،
قویما جالانسین!

باکلر
ای گوللو چیچکلی
ساری بیرچکلی
گؤزه‌ل کند
طارما زنجانا دلبند
سنه بیر سؤیله نه گلدی؟

سنده من بسله دیگیم خاطیره
یکسر ناغیل اولدو.
سن دایان، من دانیشیم
سن اوره‌کدن اودو سوندور
یئنه قوی من آلیشیم
آیریلیقدان دانیشیم
یئره فریاد ائله ییم

خشمووی ساخلا
آز، یانیق سینه‌نی داغلا
گَل غبار غمی، چوکدورمه
باغ اوسته
داغلاری ییخما دام اوسته
اوردا بیر تازه گلین وار
اوردا بیر تازه گلین وار
بختینین آیناسی نئیلیم کی
کاس اولدو!
طویلاری دوندو
یاس اولدو!

باکلر
ای گوللو چیچکلی
ساری بیرچکلی
گؤزه‌ل کند
سنه بیر سؤیله نه گلدی؟

هوشنگ جعفری
برگردان به فارسی جواد فرید

باکلر! چه بر سرت آمد؟

باکلر
ای پر زگل و غنچه
گیسو طلایی
ده زیبا
دلبر طارم و زنجان
بگو، چه بر سرت آمد؟

باکلر
ای ز طارم علیا
روستای فروخفته در غم
روستای فرو خفته در خاک
روستای با ناله‌ای تا آسمان رسیده
دلت را سرشار شکیبایی کن
غمی نیست!

گله گر در دشت مانَد

گو بمانَد
باغ گر لچک سیاه بر سر افشانَد
گو بیفشانَد
بگذار دامن سبز با گرد و خاک بیالاید
گل‌های باغت گر بپژمرنَد
گو بپژمرنَد
مادران گرزلف برکَنَند
گو برکَنَند
تو گل محبت را بکار
تا در دل‌های غمبار سبز شود
این نیز روزگاری است، بگذرد.

باکلر
ای پر زگل و غنچه
گیسو طلایی
ده زیبا
بگو، چه بر سرت آمد؟

من از طارم می‌آیم
از فاجعه خبر دارم
از سینه داغان شده‌اش
چه بگویم از زلزله‌اش
ناله‌ها تا به آسمان رسیده‌اند
زنان را دیدم "وای فرزندم" را می‌موینند
"وای فرزندم" را می‌نالند
در راه، ویران گشته

روستاها را دیدم
جغد در آنها ناله می‌کرد
کودکان ترسیده بودند
بسیاری‌شان از سخن‌گفتن وامانده بودند
کودکانی همسان گل‌ها.
فریاد کن تا آنانی که زیر خاک آرمیده‌اند
بیدار شوند
ناله‌ها را گو تا به آسمان رَسَند
اما کاسه شکیبایی را
گو فرو نریزد.

باکلر
ای پر زگل و غنچه
گیسو طلایی
ده زیبا
دلبر طارم و زنجان
بگو، چه بر سرت آمد؟

خاطراتی که از تو به یادگار داشتم
یکسر فسانه شد
دمی بیاسای، تا من سخن بگویم
تو آتش را از قلبت بنشان
بگذار من زبانه برکشم
از جدایی‌ها بگویم
بر زمین فریاد کشم:
خشمت را فرو خور

سینه سوخته را کمتر داغ بزن
بیا و غبار غم بر باغ میفشان
کوه‌ها را بر روی سقف‌ها مریز
آنجا، نوعروسی است
آنجا، نوعروسی است
چه کنم، که آیینه بختش
سیاه ماند
عروسی‌اش بَدل به ماتم شد.

باکلر
ای پر زگل و غنچه
گیسو طلایی
ده زیبا
بگو چه برسرت آمد؟

نادر فرید فتحی "آیدین"

غملی فاجعه*

به زبان ترکی آذری

آغـلا اؤلکـه‌م، آغـلا گـیلان
شن یـازیمیز یـاسلانیب‌دیر
ده‌نیز، ده‌نیز گـؤز یـاشیمیز
کـیپریکلردن آسـلانیب‌دیر

زوال گـلدی بـیر گـئجه‌ده
مین بیر آرزی باتدی یئره
اولدوز لارا یـوکسلمه دن
قـــامتیمیز یـاتدی یـئره

نه‌آجی‌ایمیش شیرین یـوخو
یـازیق بـالام آیسـیز گـئجه
سـن طـوفانا تـوش گـلنده
هایین قالدی هـایسیز گـئجه

قالاق ـ قالاق نیسگیللرین
سینه‌م اوسته قـالانیب‌دیر
وار یوخوموز بیر گـئجه‌ده
زلزله ایـــلن تـالانیب‌دیر

دنسـیز قـالیب خـرمنیمیز
کـــول اله‌نـــیب بـاشیمیزا
غم سیرقاسین آسلاییب دیر
گـــؤزدن آخـان یـاشیمیزا

---

* قانلی چیچک‌لر (غنچه‌های خونین)، گردآوری دکتر سیدمحمدحسین مبین، م.شمشک، انتشارات ارک تبریز، ۱۳۶۹

معصوم بالام نه بیلئیدن
آناسیزلیق لئچک لرین

دنیا بوتون یالانئمیش
باشیمیزا سالانئمیش

گونش کیمی سئیر ائده‌ردین
ایسنجی‌کیمی پارلاییردین

ناغیل‌لارین دنیاسیندا
باخیشلارین دریاسیندا

نه بیلئیدن زوال دوغار
باهار چاغی یئرسیز خزان

بیر گئجه‌ده قیصیر تورپاق
اله‌ریسئره یاشیل یارپاق

دنیا! گره‌ک بوغولایدین
املیک قوزوم، شیرین بالام

بو فاجعه دوغولاندا
تورپاق آلتدا بوغولاندا

نه جور دئییم گؤزلریمه
ایستگین گئده‌ن بالالاریم

آغلاماسین بو ماتمه
چولقاماسین منی غمه

ایپک تئللی سازلارادا
"آیدین" دیرکی بو فاجعه

زیل غم الیر بم اوستونه
غم قالایبر، غم اوستونه

نادر فرید فتحی "آیدین"
برگردان به فارسی جواد فرید

فاجعه غمبار

گریه کن سرزمین من، گریه کن گیلان
بهار زیبایمان به سوک نشسته
دریا دریا اشک چشمانمان
از مژگان آویخته

زوال شبانه در آمد
هزاران آرزو در خاک شد
قامتمان خمید
به جای برافراشتن تا ستارگان

چه تلخ بود خواب شیرین
کودک بی‌نوایم، ای شب بی‌ماه
روی در روی طوفان ایستادی
فریادت بر جای ماند همچون شبی بی‌فریاد

انبوه انبوه حسرت
روی سینه‌ام سنگینی می‌کند
هست و نیستمان در یک شب
به دست زلزله به یغما رفت

خرمن‌هایمان بی‌حاصل
خاکمان بر سر
گوشوارهٔ اندوه آویزان
از سرشک دیدگانمان

کودک بی‌گناهم، چه می‌دانستی
دنیا سراسر دروغی بیش نیست
لچک بی‌مادری اینک
برسرمان فرو فکنده

همچون خورشید سیر می‌کردی
در دنیای قصه‌ها
همچون مروارید می‌درخشیدی
در دریای نگاه‌ها

چه می‌دانستی زوال می‌زاید
شبانه از خاکی سترون
خزان نابهنگام در بهار
برگ‌های سبز را بر زمین می‌ریزد

دنیا! می‌باید خفه می‌شدی
هنگام که این فاجعه زاده می‌شد
هنگام که برهٔ کوچکم، طفل شیرینم
در زیر خاک خفه می‌شد

چگونه بگویم با چشم‌هایم
که نگریند بر این ماتم
چگونه بگویم با کودکان گمگشته‌ام
بیش از این مرا غرقه در غم نسازند

در سازهای ابریشمین سیم
زیرِ غم روی بم می‌ریزد
روشن* است که در این فاجعه
غم روی غم می‌ریزد

* در متن اصلی شعر، شاعر از جناس لفظی استفاده کرده و کلمه "آیدین" تخلص خود را به جای روشن و آشکار به کاربرده‌است.

سید نعمتا... خالقی "فانی"

هجرون

به زبان محلی رودباری

منا یادبومیه ناگه مه یارون
بنالوم از فراق و درد و هجرون

بنالوم مثل بلبل تا سحرگون
که بی‌گل من کنوم شیون ز هجرون

ترا یاده او شب فصل بهارون؟
زمین غره بکرد ناله مه یارون

بکردن کوچ چره اوکس و کارون
بقربون قده تمومه مارون

بدای پیچ زلزله خشتون هزارون
بشکسته سر و دس تخته تلارون

کوکوتی‌تی زنه ناله فراوون
آسمون گریه داره نه که وارون

خونه حق چی همش حق ای خراوون
کشه فریاده حق از ظلم دورون

به آواره بلبل از دیارون
سوت و کوره چره روخون کنارون

زه باغون خشک ببان دارون فراوون
ببه ویرون تمومه کشته زاروون

بکرد دون ریز جو و گندم زراتون
دیه نای ونگ کلاسر بین راهون

کشاورزون بموردن کو اوراقون
کسی نیشتای کنه آباد بجارون

ببه پربار محصول میوه باغون
نخوردن دلخوشی مردم انارون

همه بان لخت و عریون زیر وارون
نبه تن پوش ببه غسال یرافوون

امون از آخرین شو بهارون
کشه روزی منا ای درد هجرون

منا یاده همه جم بان ایالوون
ازاوکیچه سرون دروازه دالوون

روون سازوم مدام اسرور چشمون
زدریای دلوم بهر عزیزوون

کـنوم نـهرا پـر آواز خـون مـه جـون　　مـبون خشک ای بکـاشته نـونهالوون
مـــزارســـون بـــیه آبـاد بـهارون　　بکـاشتوم گـل هـزارون بـا دل و جـون
بکـــرد "فـــانی" وصـیت زارونـالون　　بـه وقت دفـن بـرین بـورن مـه بـالوون
نشـینن دورمـه خـاک شـادوخندان　　بشـــام راحت بـــبام از زجـر دورون
بـــومام تـــنها بشـام عـینه غـریبون　　دوروزه عـــمر بـــبن بـاهم رفـیقون

سید نعمتا... خالقی "فانی"
برگردان به فارسی سیدمحمد هاشمی

هجران

ناگهان یارانم به یادم آمده‌اند
از فراق و درد هجران می‌نالم

می‌نالم مثل بلبل تا هنگام سحر
که من از هجران گل شیون می‌کنم

آن شب فصل بهاران یادت هست؟
زمین غرید و یارانم ناله کردند؟

چرا آن عزیزان و خویشان کوچ کردند؟
فدای قد تمام مادران شوم

زلزله هزاران خشت را در هم ریخت
سر و دست و تخته تالارها را درهم شکست

مرغ کوکو ناله فراوان می‌کند
آسمان بجای باران اشک می‌ریزد

مرغ حق در خرابه‌ها ناله سرداده
او از ظلم دوران ناله حق سرمی‌کشد

بلبل از دیارها آواره شده است
چرا ساحل رودخانه‌ها سوت وکورشده‌است؟

باغ‌های زیتون و بسیاری از درخت‌ها خشک شدند
تمام کشتزارها ویران شدند

جو و گندم مزارع دانه‌های خود را ریختند
دیگر از بین راه‌ها و خرمنگاه بانگی برنمی‌خیزد

کشاورزان مردند و از داس گندم‌چینی خبری نیست
کسی یافت نمی‌شود برنج‌زارهارا آبادکند

باغ‌های میوه پر از محصول بودند
ولی مردم انار باغ‌ها را به خوشی نخوردند

همه در زیر باران لخت و عور بودند
تن‌پوشی نداشتند و لباس‌ها نصیب غسال شد

امان از آخرین شب بهاران
روزی این درد هجران مرا می‌کشد

من یادم هست که همه برو بچه‌هایم جمع بودند
از سرکوچه تا سرسرای دروازه

از دریای دلم برای عزیرانم
مدام از چشمانم اشک جاری می‌کنم

از خون جانم نهر را پراز آب می‌کنم
تا نونهال‌هایی که کاشته‌ام خشک نشوند

گورستان در بهاران آباد شد
هزاران گل با جان ودل در آن کاشته‌ام

"فانی" زارونالان وصیّت کرد
به وقت خاک سپاری بازوانم را بیرون بگذارید

دور خاکم شاد و خندان بنشینید
رفتم و از زجر دوران راحت شدم

تنها آمدم و همانند غریب‌ها رفتم
دوستان من، دور روزه عمر را باهم باشید

محمدرضا شفیعی کدکنی "م سرشک"

سوگنامه*

موج موج خزر، از سوگ، سیه پوشانند
بیشه دلگیر و گیاهان همه خاموشانند.
بنگر آن جامه کبودان افق، صبحدمان
روح باغ‌اند کزین گونه سیه پوشانند

چه بهاری‌ست، خدا را! که در این دشت ملال
لاله‌ها آینهٔ خون سیاووشانند

آن فروریخته گل‌های پریشان در باد
کز می جام شهادت همه مدهوشانند
نامشان زمزمهٔ نیمه شب مستان باد
تا نگویند که از یاد فراموشانند

گرچه زین زهر سمومی که گذشت از سر باغ
سرخ گل‌های بهاری همه بی‌هوشانند،
باز در مقدم خونین تو، ای روح بهار!
بیشه در بیشه، درختان، همه، آغوشانند.

---

* شفیعی کدکنی محمدرضا، م. سرشک، در کوچه باغ‌های نشابور، انتشارات رز، تهران ۱۳۵۰.

زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹

به روایت تصویر

حرف و صوت و گفت را بر هم زنم
تا که بی این هر سه با تو دم زنم
مولوی

برای تصاویری که خود "به هزار زبان در سخن‌اند" هیچ نمی‌توان نوشت، جز آنکه آرزو کنیم تصاویری که هر یک از هنرمندان عکاس از زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ فراهم آورده‌اند در مجموعه‌هایی چاپ و در اختیار علاقه‌مندان قرار گیرد. از یاد نبریم بسیاری از این تصاویر که در مجلات و روزنامه‌های داخل و خارج کشور چاپ و منتشر شده‌اند و یا از رسانه‌های تصویری پخش شده‌اند در برانگیختن هیجان، همدردی و علاقه‌مندی افکار عمومی به زلزله منجیل و گسیل کمک‌های داوطلبانه مردم و سازمان‌های امداد به منطقه زلزله‌زده تأثیر بسزایی داشته‌اند.

مسعود زنده روح کرمانی

مسعود زنده روح کرمانی

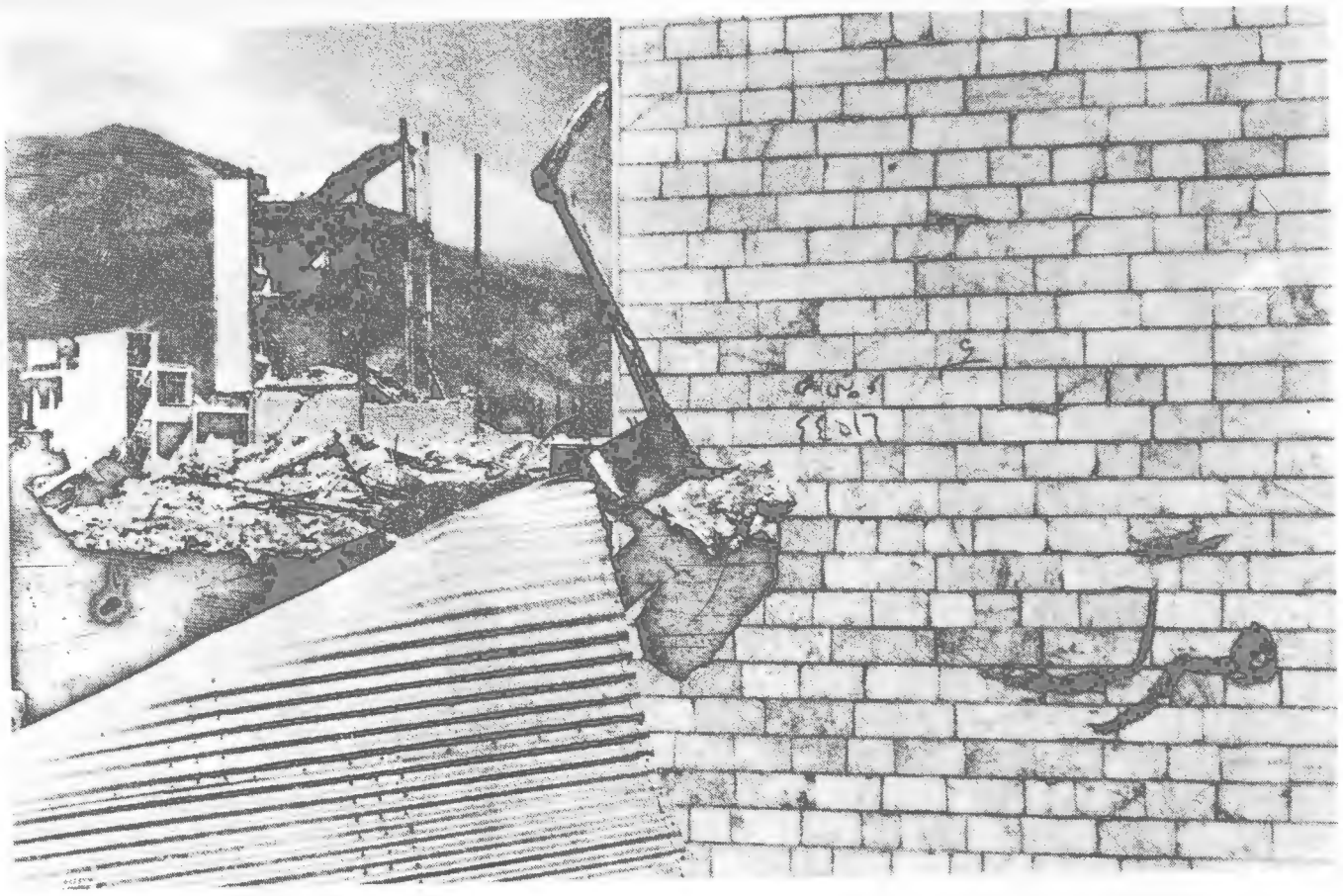
علی فریدونی

محمد اسلامی راد

مسعود زنده روح کرمانی

افشین شاهرودی

افشین شاهرودی



افشین شاهرودی

افشین شاهرودی

محمد اسلامی راد

محمد اسلامی راد

محمد اسلامی راد

سید حسین میرپور

یداله عبدی

سیف‌اله طاهری

خسرو ورکانی

حسین مشگ‌آبادی

مسعود زنده روح کرمانی

مجید کریمیان

مجید کریمیان

مریملی هاشمی

محمود ظهيرالدين

عربعلی هاشمی

عربعلی هاشمی

مجید کریمیان

افشین شاهرودی

مسعود زنده روح کرمانی

محمد اسلامی راد

امیررضا برزی

علیرضا ریحانی

علی فریدونی

محمد اسلامی راد

جاسم فضبانپور

جاسم غضبانپور

جاسم غضبانپور

علی فریدونی

محمد اسلامی راد

مسعود زنده روح کرمانی

سیف‌اله طاهری

سیف‌اله طاهری

مهدی جمشیدی

مسعود زنده روح کرمانی

علی فریدونی

عربعلی هاشمی

حسن چپی

فرزاد کاظم‌زاده

علیرضا ریحانی

امیررضا برزی

به یاد یار و دیار

روایت سید محمد هاشمی

از زلزله رودبار

به یاد یار و دیـار آن چـنان بگـریم زار
که از جهان ره و رسم سـفر بـرانـدازم
حافظ

سید محمد هاشمی اهل رودبار است و ساکن تبریز. تحصیلات عالیه‌اش را در تبریز به پایان رسانده و از دانشکده ادبیات دانشگاه تبریز لیسانس زبان فرانسه گرفته‌است. در تبریز ازدواج کرده، در همین شهر کار می‌کند و همکار بازنشسته آب منطقه‌ای آذربایجان است. موسیقی، هنر و ادبیات آذربایجانی را دوست دارد و زبان ترکی را به همان روانی یک تبریزی حرف می‌زند. این همه برای گفتن این مطلب که چیزی از یک همشهری تبریزی کم و کسر ندارد. با این همه دلش و تکّه بزرگی از دلش را هنوز در شمال باقی گذاشته است. در درون جنگل‌های انبوه، در باغ‌ها و شالیزارها، کوهستان‌ها و زیتون‌زارها و در کرانهٔ دریای نیلی. حضورش آرامش بخش و رفتار و سخن گفتنش آرام و پرشکیب است. می‌گوید: "زمان وقوع زلزلهٔ خرداد ۶۹ در مسافرت خارج از کشور بودم. شب موقع اخبار نام ایران را از تلویزیون شنیدم و از تصاویر آوارهایی که نشان می‌داد دانستم گوشه‌ای از میهنم به خود لرزیده‌است. شاخه‌های زیتونی که در کنجی از یک تصویر هویدا بود مرا در این اندیشه فرو برد که شاید این گوشهٔ به‌خود تپیده دیار عزیز و دلخواه من باشد. و پس آن تلفن، تماس، بازگشت، دریافت اخبار، دردناک‌ترین اخبار، مرگ عزیزان، دوستان، آشنایان، اقوام ...". بدین‌گونه سیدمحمد هاشمی قریب هشتاد تن از نزدیک‌ترین عزیزان خود را در این زلزله

هولناک از دست می‌دهد. فزون بر این عزیزان، خانه پدری، محلات و شهری را که زادگاهش بود و شیرین‌ترین دوران زندگی خود را در آن به سربرده با خاک یکسان می‌بیند و به یکباره از شهر و دیاری که این‌همه دوست می‌داشت و از عزیزان خود هیچ نمی‌یابد، از این‌رو پس از فروکش اندکی از درد و رنج به بازسازی شهر و دیار و یادآوری یاران و عزیزان خود می‌نشیند. بازگشتی دیگرگون به رودبار گذشته و نوعی ادای دین به این سرزمین و مردمان دوست داشتنی‌اش. آنچه را که سیدمحمد هاشمی در این رهگذر پیش‌بینی کرده‌است، دامنه‌ای گسترده و فراخ دارد؛ از کنکاشی در تاریخ و جغرافیا و اقتصاد منطقه، فرهنگ و معتقدات و فولکلور تا روایات شب و روز حادثه و شعر و غم‌آوا و سوگ‌سرودهای بعداز فاجعه را دربرمی‌گیرد. او بر این امید بود که این مجموعه را در نخستین سالگرد زلزله تقدیم همشهریان خود کند "تا یادی باشد و یادگاری برای آیندگان". لیک گستردگی کار از سویی و نیاز به زمان افزونتر از سوی دیگر، توفیق کامل را به وی عطا نمی‌کند. با این حال مختصری از کار انجام شده را تحت عنوان "اسپروی غمگین" در پایان خردادماه ۷۰، در مراسم نخستین سالگرد زلزله، در گستره‌ای از اندوه و در حال و هوایی که بی‌نشان از رودبار گذشته بود تقدیم علاقه‌مندان می‌کند.

"اسپرو" همان سپیدرود است. یکی از مظاهر طراوت و سرسبزی گیلان. آنچه را که در صفحات بعد خواهد آمد قسمت‌هایی است که از "اسپروی غمگین" برگزیده شده است. با این امید که سید محمد هاشمی هر چه زودتر این مهم را که بر آن دست یازیده است با موفقیت به پایان برد و جان و دل مشتاقان را با یادآوری رودباری که روزگاری نه چندان دور پر از رود و سرود بود بنوازد[۱].

---

۱ ـ هنوز پس از گذشت ده سال از وقوع زلزله متاسفانه سیدمحمدهاشمی موفق به چاپ و انتشار اثر خود نشده‌است و این کار بزرگ به دلیل نیافتن ناشری علاقه‌مند همچنان روی دست وی مانده‌است.

اسپروی غمگین

یادی از فاجعه زمین‌لرزه خردادماه ۱۳۶۹ شهرستان رودبار

سیدمحمد هاشمی

آغاز سخن

به نام پروردگار توانا، قادر متعال، آفریننده جهان و هستی، بخشاینده بزرگ، کریم و رحیم. به نام پروردگاری که آسمان‌ها و زمین‌ها و آنچه که میان آنها است آفرید. به‌نام پروردگاری که تضادها را در کنار هم و باهم کرده؛ روزوشب، هستی و نیستی، روشنایی و تاریکی، شادی و غم، زیبایی و زشتی، راستی و کژی را. آفریننده‌ای که گردش شب و روز، حرکت ستارگان و خورشید و ماه را با نظم خاصی در اختیار دارد، خداوندی که پیچیده‌ترین شبکه‌ها را در وجود انسان نهفته و رابطه مغز و پی، گردش خون، دستگاه تنفس، قدرت بینایی، احساس و عواطف را در شاهکار خلقت خود به ودیعه گذاشته‌است.
با نام او که آغازگر جهان است، سخن آغاز می‌کنم.

در روزهایی که شهر ودیار من رودبار در ناز و نعمت فروخفته بود و دست مشاطه‌گر طبیعت او را به هفت قلم آراسته بود و خیاط ازلی قبای سبزورق برقامت او دوخته و عطر گل و ریاحین در پهن دشت او فضای لایتناهی را پرکرده بود. گل که در فصل بهاران جامه سبز خود دریده و چهره شرمگین از آن به‌درکرده و با ناز و تبختری جهان را مسحور غمزه عین نموده و بانوای دل‌آویز خود بر طبیعت فخر می‌فروشد و می‌گوید:
"من گلم، معشوقه بلبلم، مظهر تجلی و شاهد ازلی هستم، زینت باغ و بوستان و فرح‌بخش

دل دوستانم، از نفس مشکینم نسیم صبا معطر و از رخساره رنگینم صحن گلشن مزین است. طفل نازپرورد مادر طبیعتم، از پستان ابر می‌نوشم و از دیبای بزرگش جامه می‌پوشم. نسیم سحر گهواره جنبان من و مرغ شب آهنگ مرغ غزل‌خوان من است. به حسن و زیبایی خداداده دل همه را می‌برم، مشاطه گرمادر طبیعتم، اگر باورنداری سحرگاهان به سراغ من در گلستان آی تا مسحور زیبایی و جلال من باشی".

بلی، در آن روزها که نسیم روح پرور بهاری کالبد بی‌جان را رمق می‌بخشید و سایر فصول سال هر یک خاطره‌های جاودانه در انسان ایجاد می‌کرد هرگز تصورش را هم نمی‌کردم که رودبار من روزی آنچه را که داشته از دست خواهد داد؛ پروانه‌وار بر شاخسار گل نشسته از گلی به گلی دیگر پرواز می‌کردم، نه من بلکه اکثر همشهری‌های رودباری که در سایر شهرها زندگی می‌کردند در حال و هوایی همانند من بودند. روزهایی از ایام سال را به این سرزمین می‌آمدند و غرق در جمال و زیبایی طبیعت شده، عواطف لطیف و لحظات شادی آفرین را در کنار خویشان و در خانه‌های پراز صفا و صمیمیت آنان سپری می‌کردند و خستگی‌ها و مشکلات یک سال تلاش و کوشش را به کوهستان‌ها و به آب همیشه روان سپیدرود تسلیم می‌کردند و خود با دنیایی خاطره، سبکبال و آرام بار سفر می‌بستند و برای تلاشی دیگر آماده می‌شدند. آری! در آن روزها هرگز تصور نمی‌کردیم که خانه‌های پر از صفا و محبت رودبار به آشیانه جغد شوم بدل خواهد شد، باور نداشتیم که زیبارویان و صمیمی‌ترین عزیزان و شیرین‌ترین کودکان را از دست خواهیم داد. نمی‌دانستیم که روزی درختان همیشه سبز زیتون، این درخت صلح و دوستی برگ ریزان خواهند کرد و با شاخه‌های در هم شکسته به ما خواهند نگریست، دیوارها و پرچین باغ‌ها در هم خواهد ریخت، صخره‌ها از صلابت کوهستان جدا خواهند شد و دیار سبزپوش، غبار غم به خود خواهد گرفت، نشاط و شادی رخت برخواهد بست و قبای سبز طبیعت جای خود را به ردای ژنده خواهد داد.

نمی‌دانستیم که چهره‌های شاد و خندان مردمان دیار ما در سوک عزیزان مغموم و در هر کوی و برزن به جای قهقهه و آوای ترنم، نوای شوم مرگ به گوش خواهد رسید. نه! هرگز باور نمی‌کردیم و با آنکه عظمت فاجعه را دیده‌ایم و بدبختی‌ها را لمس کرده‌ایم و هم آوای عزیزان و با آنان و در کنار بازماندگان نوحه سر داده‌ایم ولی باورمان نمی‌شود که آنان را از

دست داده‌ایم و همه چیز را خواب و خیال می‌پنداریم و گاهی تصوری با طل در قلب خود می‌پرورانیم. ولی هر چه هست این حقیقت تلخ را باید قبول کنیم که واقعه شوم زمین‌لرزه ۳۱ خرداد سال ۱۳۶۹، رودبار را ویران کرد، هستی‌ها را برباد داد، گل‌ها را پژمرد و بازماندگان را با تازیانه قهر خود افسرد و چهره‌ها را درهم شکست، امیدها را ناامید کرد، مردم را آواره شهرهای دور و نزدیک نمود و رودبار را به صورت دیار اشباح در آورد. چه بسا نسل‌ها را منقرض کرد و بین آنان که جان به سلامت برده‌اند جدایی افکند. الفت دیرین و دیرپای را به فراغ بدل کرد، بطوری که عزیزان از مرگ رسته آرزوی لحظه‌ای دیدار را دارند تا در کنار هم از آن شب شوم سخن گویند و خود را تسکین دهند.

گروهی بی‌یار ترک دیار کرده‌اند و کمتر به رودبار بر می‌گردند، عده‌ای دیگر از شهرهای نزدیک خود را در روزهای تعطیل به میعادگاه عاشقان و به گورستان‌های رودبار می‌رسانند و فقط می‌توانند دیداری تازه با آرام خفتگان در خاک تیره داشته باشند و نوحه سردهند و ناله کنند و ساعتی با یاد عزیزان در کنار آرامگاه ابدی آنان به سر برند و دوباره راهی دیار غریب شوند و چه بسا فرصت دیدار از فامیل باقی‌مانده را ندارند که او خود درکنار مزار عزیزان در قبرستانی دیگر نوحه سرایی می‌کند و حتی کمتر فرصت می‌کنند در کنار هم بنالند. مرگ ناگهانی یاران، هجران و دوری اقوام و زندگی در اردوگاه‌ها و مکان‌های ناآشنا، در بدری و بی‌خانمانی، رفت و آمدهای مکرر هفتگی، ثبات و آرامش این عزیزان را گرفته و یارای اندیشیدن ندارند و دست و دل به کاری نمی‌دهند تا بتوانند بر ویرانه‌های خود طرح دیگری بریزند و عده‌ای دیگر که در شهرهای دور زندگی می‌کنند، ماهانه و گاهی چند ماه یکباربه رودبار می‌آیند و تجدید میعاد می‌کنند.

این تصویری است از اوضاع رودبار پس از وقوع زلزله. ولی افسوس، از آن روزها که رودبار آباد و پرجمعیت و باطراوت و صفا بود کمتر عکس و تصویر داریم فقط خاطره‌ها و یادواره‌ها هستند که تصویری بر ضمیر هر فرد رودباری به جای گذاشته است.

امروزکه جغد شوم بر ویرانه‌های دیار من آشیانه کرده و نوحه سر می‌دهد به فکر افتاده‌ام تا

مطالبی بنویسم و آنچه راکه در رودبار قبل از وقوع زلزله وجود داشته به رشته تحریر درآورم و بایاد عزیزان به خون خفته در اثر فاجعه عظیم زمین لرزه و با تقدیم خالصانه‌ترین فاتحه به ارواح پاک و بی‌آلایش آنان به همشهریان محترم عرضه نمایم، تا یادی باشد و یادگاری برای آیندگان ....

موقعیت رودبار

رودبار به جایی اطلاق می‌شود که چند نهر و رود در آنجا جاری باشد. رودبار یکی از شهرستان‌های استان گیلان است که در جنوب این استان واقع و توسط رشته کوه‌های البرز غربی احاطه شده و مرکز آن شهر رودبار است. شهرستان رودبار کوهستانی است و بیش از ۳۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و مساحت آن بالغ بر ۲۷۵۱ کیلومترمربع و تعداد جمعیت آن براساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۶۵ بالغ بر ۱۲۵۷۶۸ نفر بوده است که از این تعداد ۳۴۹۹۷ نفر ساکن در نقاط شهری و ۹۰۷۷۱ نفر ساکن روستاها بوده‌اند.

شهرستان‌های فومن، رشت، لاهیجان، و قسمتی از قزوین و استان زنجان آن را چون نگین به خود گرفته‌اند. این شهرستان دارای سه شهر، رودبار، منجیل و لوشان بوده و به دوبخش شامل هفت دهستان تقسیم شده و متشکل از ۲۲۲ آبادی دارای سکنه و ۱۴ آبادی خالی از سکنه بوده است.

برای آنکه از رودبار قزوین و رودبار قعران و غیره تمیز داده شود در کتاب از آستارا تا استارباد نوشته استاد دکتر منوچهر ستوده به نام خشک رودبار یا رودبار محمد زمان خانی یاد شده و در گفته‌ها و نوشته‌های دیگر به نام‌های مختلف از جمله رودبار زیتون، پیلده رودبار، رودبار گیلان، رودبار رشت نیز آمده است، ولی مناسب‌ترین نام برای این شهرستان "رودبار زیتون" می‌باشد. شهرستان رودبار تقریباً در جنوب شهر رشت و قسمت اعظم آن در دو سوی سپیدرود قرار دارد و از شمال به کهدم، از شرق به شفت و از جنوب به قزل‌اوزن و طارم و از مغرب به قسمت‌هایی از زنجان و قزوین محدود می‌شود.

جاده تهران ـ رشت و همچنین گاز صادراتی به اتحاد جماهیر شوروی سابق از این شهرستان می‌گذرد و سه شهر این شهرستان دقیقاً در مسیر جاده قرار دارند. محصول عمده این شهرستان، زیتون و فرآورده‌های آن، گردو و فندق می‌باشد، برنج نیز در مناطقی از دو طرف سپیدرود به عمل می‌آید و تقریباً از نوع مرغوب می‌باشد، گندم معمولاً به‌صورت دیم کاشته می‌شود.

رودبار به سه ناحیه تقسیم شده است:
۱ـ رحمت آباد که از هرزویل شروع و تا نزدیکی امامزاده هاشم ادامه دارد.
۲ـ رودبار که در قسمت جنوبی و در غرب سپیدرود واقع است
۳ـ جشیجان که به گفته سید ظهیرالدین نزدیک کوهستان تالش کهدم بوده است. بخش عمارلو در این ناحیه و در جنوب دیلمان کشیده شده است.

رودبار مرکزی در وسط جنگلی از درختان زیتون که بیشتر آنها دارای تنه‌ای به ضخامت ۹۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۹ الی ۱۲ متر می‌باشند قرار گرفته و کوه‌هایی به ارتفاع یکصدوبیست تا سیصدوشصت متر برآن حلقه زده‌اند و تماشاگر تلاش و فعالیت مردم این شهر و نظاره‌گر غمزه موزون جریان سپیدرود می‌باشند که از وسط این شهر می‌گذرد.

زیبایی و صفای این دیار آنگاه بیشتر به چشم می‌خورد که از پای کوه‌های اطراف به سوی ییلاق‌های آن گذر کنیم و صنع خداوند را در تمام زوایای ییلاق‌های این شهرستان که دوسوی سپیدرود را احاطه کرده ببینیم و به جایی برسیم که شاید لحظاتی در کمال ناباوری خود را در طبیعت محض جستجو کنیم و شکوه و عظمت پروردگار را که زیبایی دشت‌های شت بلندی‌ها را با قلم خود رقم زده تماشا کنیم. آنگاه آرزو کنیم، ایکاش! ایکاش دور از مامی مشکلاتی که تمدن برای بشریت به بار آورده برای همیشه در آن دیار باشیم و چشم از یبایی‌های طبیعت برنداریم. زیبایی‌های دامنه‌های کوه دلفک، دره گوهررود، دشت ویل، طلابر و تمام چشم اندازهای ناحیه رحمت آباد در ساحل شرقی سپیدرود و همچنین در تپه اهورها و دامنه کوه‌های منطقه چون سلان‌سر، لشکرگاه، رادله چال و بِحرَن و دارستان

از یکسو و ییلاق‌های تکلیم، فیلده و لاکه و دوگاهه و کبته و کلاس و شاهوا از سوی دیگر در قسمت غرب سپیدرود و همچنین اگر می‌خواهیم بهتر مسحور طبیعت شویم در مناطق کرارود، نقطه‌بر، سیاهرود پشته از جاده فاصله گرفته به اعماق جنگل‌های منطقه و آبادی‌های آن روآوریم تا ببینیم که طبیعت سرسبز، قدرت صنع خداوند عالمیان را چگونه به تماشا گذاشته است.

درخت زربین (زربین دار)

سلطان سبز پوش و مظهر قدمت در منطقه

عکس از فاصله ۲۵۰ متری ، قطر درخت حدود ۲ متر می‌باشد.

سیدنعمتا... خالقی "فانی"

رودبار

تو رودبارا چه شهر با صفایی / به خوبی بهتر از تونیست جایی
چوالبرز رشته کوهان همچونخجیر / به دور شهر توگردیده زنجیر
زبهردشمنانی را که ایام / بود شاهد بتازیدند بشد دام
زجنگل‌های تو وآن کوه دلفک / اَوِستا نام او در پیکه کرد حک
از آن کوه‌های چل‌چشمه خورد آب / قزل اوزن از آن خطه خورد تاب
به آن سوبنگری شارود جاری / نشان از طالقان آرد به یاری
دو رود پیوند خورند در شهر منجیل / کنند پرآب سدّی را به تمجیل
سفیدرودی روان سازند خروشان / فزاید در قشنگی چشم مپوشان
بماندست از نیاکان یادگاری / همان سدّی که گیلان زنده داری
فراوان هست در تو نخل زیتون / بدادی پرورش با جان و با خون
نشان صلح خوانند خود که دانی / چودر قرآن زآن تحسین بخوانی
زشهر تو برند صابون و روغن / به هر نقطه ز ایران هست هر چند
ربایی دل زهر فردی مسافر / که شهر تو ببینند می‌شوند سحر
تو با آن مردمان میهمان دوست / به نیک نامی شدند مشهور چون دوست
چمن‌زاران تو سرسبزوخرم / صدای بلبلان آید دمادم
مبرا باشی از رنگ و ریایی / کشی بطلان برآن رنگ سیاهی
از آن باد و هوایی را که داری / شوی مشهورتر گوهر چه خواهی
شدی هم مرز با زنجان و قزوین / سیاهکل‌تا به لاهیجان به از این
زخلخال و ز رشت گه باطوالش / کنی با رودسر آن‌سو تو سازش

چنین توصیف کرد "فانی" برایت — به سیم وزرنشاید گفت بهایت
زتکلیم زادگاه "فانی" آید — هر آنچه گفته شد تا جانی آید
نمودم هدیه چندبیتی من این بار — کند تاریخ از این گفتار تکرار
بماند شهر من پاینده رودبار — زبهر نسل آینده به ادوار

سرو کهن، یادی از گذشته‌های دور در گذر تاریخ
عکس از فاصله ۱۵۰ متری

زلزله‌های ایران
به روایت پیشینیان

زلزله به‌عنوان یک پدیده طبیعی آسیب‌رسان با نابسامانی‌هایی که از دیرباز در سرزمین ما بر جای گذاشته است و با پیامدهای گوناگون اجتماعی، سیاسی و فرهنگی خود تا چه حد در ادبیات مکتوب یا فرهنگ شفاهی دیار ما جای گرفته است؟ فولکلور و فرهنگ عامیانه مردم نواحی مختلف ایران چگونه این سانحه طبیعی را باز می‌تاباند؟ این مباحث، سر دور و درازی دارند و پرداختن به آنها بضاعتی را می‌طلبد که نگارنده این سطور فاقد آن است. اما در کنکاشی کوتاه، ردپای زمین‌لرزه و آثار منبعث از آن را در فولکلور ایران زمین و نیز در ادبیات داستانی معاصر، خصوصاً شاخه‌ای از آن که فقر و نکبت در جوامع شهری و روستایی پیش از انقلاب اسلامی را به تصویر می‌کشد، به رغم انتظار کم و بیش ساکت و گنگ یافتیم.

تنها در دیوان‌های شعر، سفرنامه‌ها، تذکره‌ها و کتب تاریخی و جغرافیایی و یادداشت‌های کاتبان حکومتی است که به زلزله‌ای در منطقه‌ای از ایران زمین اشاره شده و شرح پریشانی مردم و ویرانی شهرها و روستاها آورده شده است. گزیده‌ای از این متون با تاکید بر شیوه روایت زمین‌لرزه‌ها به شعر یا به نثر در صفحات بعد آورده می‌شود. این متن‌های برگزیده را به ترتیب زمانی تاریخ وقوع زمین‌لرزه مرتب کرده‌ایم و تنها تغییری که در آنها داده‌ایم اعمال رسم الخط امروزی زبان فارسی است. توضیحات اضافی که در پاورقی متون آورده شده‌اند از آنِ نویسنده اصلی، مصحح یا حاشیه‌نویس است.

حکیم ناصر خسرو قبادیانی*

زلزله ماه ربیع‌الاول ۴۳۴ هـ ق (نوامبر ۱۰۴۲ م) تبریز

... بیست و ششم محرم از شمیران برفتم. چهاردهم صفر را به شهر سراب رسیدم، و شانزدهم صفر از شهر سراب برفتم و از سعید آباد بگذشتم. بیستم صفر سنهٔ ثمان و ثلاثین و اربعمائه (۴۳۸) به شهر تبریز رسیدم ـ و آن پنجم شهریور ماه قدیم بود ـ و آن شهر قصبهٔ[1] آذربایجان است، شهری آبادان. طول و عرضش به گام پیمودم، هریک هزار و چهارصد بود. و پادشاه ولایت آذربایجان را چنین ذکر می‌کردند در خطبه: الأمیرُ الأجَلّ، سَیْفُ‌الدّولَة و شَرَفُ المِلّة، ابومنصور وهسودان بن محمد، مولی، امیرالمؤمنین.

مرا حکایت کردند که بدین شهر زلزله افتاد، شب پنجشنبه هفدهم ربیع الاول سنهٔ اربع و ثلاثین و اربعمائه (۴۳۴) و در ایّام مسترقه بود پس از نماز خفتن. بعضی از شهر خراب شده بود و بعضی دیگر را آسیبی نرسیده بود. و گفتند چهل هزار آدمی هلاک شده بودند. و در تبریز قطران نام شاعری را دیدم. شعری نیک می‌گفت....

---

* حکیم ناصر بن خسرو قبادیانی مروزی، سفرنامه ناصر خسرو، به کوشش دکتر نادر وزین پور، مجموعه سخن پارسی ۳، چاپ پنجم، تهران ۱۳۶۲، ص ۷.

۱ ـ قصبه، میان شهر (مقدمةالادب) مقصود، مرکز و شهر مرکزی است.

ابو منصور قطران عضدی تبریزی*

زلزله ۴۳۴ هـ‌ق تبریز

در زلزلهٔ تبریز و مدح ابونصر مملان

بود محال مرا داشتن امید محال — به عالمی که نباشد همیشه در یک حال
از آن زمان که جهان بود حال زینسان بود — جهان بگردد لیکن نگرددش احوال
دگر شوی تو و لیکن همان بود شب و روز — دگر شوی تو و لیکن همان بود مه و سال
محال باشد فال و محال باشد زجر[1] — مدار بیهده مشغول دل به زجر و به فال
مگوی خیره که چون رسته شد فلان اعوان — مگوی خیره که چون برده شد فلان ابدال
تو بندهٔ سخن بندگانت باید گفت — که کس نداند تقدیر ایزد متعال
همیشه ایزد بیدار و خلق یافته خواب — همیشه گردون گردان و خلق یافته هال[2]
دل تو بستهٔ تدبیر و نالد از تقدیر — دل تو سخرهٔ آمال و غافل از آجال
عذاب یاد نداری به روزگار نشاط — فراق یاد نیاری به روزگار وصال

در ستایش شکوه و آبادی تبریز

نبود شهر در آفاق خوشتر از تبریز — به ایمنی و به مال و به نیکویی و جمال
زناز و نوش همه خلق بود خوشا خوش — ز خلق و مال همه شهر بود مالامال

---

* دولت‌آبادی عزیز، زلزله‌های تبریز، ضمیمه نشریه دانشکده ادبیات تبریز، تابستان ۱۳۴۳.
* کسروی احمد، شهریاران گمنام، چاپ ششم، انتشارات جامی، تهران ۱۳۷۷.

۱ ـ تفال و تطیّر با پریدن مرغ
۲ ـ قرار و آرام

درو به کام دل خویش هرکسی مشغول امیر و بنده و سالار و فاضل و مفضال
یکی به خدمت ایزد یکی به خدمت خلق یکی به جستن نام و یکی به جستن مال
یکی به خواستن جام بر سماع و غزل یکی به تاختن یوز بر شکار غزال
به روز بودن با مطربان شیرین گوی به شب غنودن با نیکوان مشکین خال
به کار خویش همی کرد هرکسی تدبیر به مال خویش همی داشت هرکسی آمال
خدا پدید نیاورد شهر بهتر از این فلک به نعمت این شهر برگماشت زوال

در لرزش زمین و ویرانی شهر و گزند مردم

فراز گشت نشیب و نشیب گشت فراز رمال گشت جبال و جبال گشت رمال
دریده گشت زمین و خمیده گشت نبات دمنده گشت بحار و رونده گشت جبال
بسا سرای که بامش همی بسود فلک بسا درخت که شاخش همی بسود هلال
از آن درخت نمانده کنون مگر آثار از آن سرای نمانده کنون مگر اطلال
کسی‌که رسته شد از مویه گشته بود چوموی کسی که خسته شد از ناله گشته بود چو نال
یکی نبود که گوید به دیگری که مموی یکی نبود که گوید به دیگری که منال
همه به دیده بدیدم چو روز رستاخیز ز پیش رایت مهدی و فتنه دجال
کمال دور کناد ایزد از جمال جهان کمی رسد به جمالی کجا گرفت کمال
چنان که باید بگذاشتم همی شب و روز به ناز و باده و رود و سرود غنج و دلال
به مهر بود دل من ربوده چند نگار به فضل بود دل من سپرده چند همال
بدان همال همی دادمی به علم جواب بدین نگار همی کردمی به بوسه سئوال
یکی گروه به زیر اندر آمدند زمرگ یکی گروه پریشان شدند از اهوال
ز رفتگان نشنیدم کنون یکی پیغام ز ماندگان نه ببینم کنون بها و جمال
گذشت خواری لیک این از آن بود بدتر که هر زمان به زمین اندر اوفتد زلزال

باز هم در زلزلهٔ تبریز و مدح ابونصر مملان و پسرش

آن غیرت یزدان نگر و قدرت یزدان / از قدرت یزدان چه عجب غیرت چندان
هرگز نرسد کس به سرقدرت ایزد / هرگز نرسد کس به سر غیرت یزدان
گه کوه و بیابان کند از باغ و بساتین / گه باغ و بساتین کند از کوه و بیابان
شاید که فرومانی زین فکرت و غیرت / شاید که فرومانی زین غیرت حیران
خواهی که بدانی همه را یکسر معنی / خواهی که ببینی همه را یکسر برهان
رو قصه تبریز همی خوان و همی بین / شو ساحت تبریز همی بین و همی خوان
شهر ی به دو صد سال برآورده به گردون / خلقی به دو صد سال در او ساخته ایوان
مردمش همه دست کشید از بر پروین / باروش همه بار کشید از سر کیوان
آن خلق همه گشت به یک ساعت مرده / و آن شهر همه گشت به یک ساعت ویران
بس صورت آراسته همچون بت کشمیر / بس خانهٔ افراخته چون روضهٔ رضوان
در بوم[1] شد آن صورت آراسته مدفون / در خاک شد آن خانهٔ افراخته پنهان
آنان که برفتند زتیمار برستند / و آنان که بماندند، بماندند در احزان
از درد همی روی بکندند به چنگال / وز درد همه دست گزیدند به دندان
آن شهر بدین گونه بیاشفت که گفتم / و آن شب که بلا داد بر این خلق نگهبان
مادر ز فزع یاد نیاورد ز فرزند / عاشق ز جزع یاد نیاورد ز جانان
این زلزله نشیند کس اندر همه گیتی / وین ولوله نادید کس اندر همه کیهان
از کردهٔ ما رفت همه آفت برما / وز کردهٔ خود هیچ نگشتیم پشیمان

---

۱ ـ زمین شیار نکرده

سید ظهیرالدین بن سید نصیرالدین مرعشی*

زلزله ۳ شعبان ۸۹۰ هـ.ق. (۱۵ اوت ۱۴۸۵ م) مازندران و گیلان

روز یکشنبه سیم شعبان موافق بیست و هشتم آذرماه قدیم که آفتاب در سه درجه و صفر دقیقه سنبله بود از تقدیر حکیم علیم جلت قدرته قریب به غروب آفتاب، زلزله‌ای عظیم واقع شد و اتفاق حسنه را حضرت اعلی خلافت پناه، در باغ دیلمان نماز عصر گذارده به سر سجادهٔ تقوی نشسته، مترصد شام بود که این واقع شد و بسیار عمارات صورت انهدام پذیرفت. اما در بعضی ولایت بیشتر و بعضی جا کمتر بود. مثلا در ناحیه شکور[1] در بعضی قرا بیشتر بود و بسیار بنای قدیم منهدم گشت و هفتاد نفر از اناث و ذکور در زیر گل‌وچوب درجهٔ شهادت یافتند. و بعضی را که حیات باقی بود، بعد از یک روز و دو روز [از] آنجا بیرون می‌آوردند و در گرجیان و گلیجان صد و شش نفر به رحمت رفتند. و در رودبارات نیز بسیار فوت شدند. اما عدد به تحقیق معلوم نشد و در قلعهٔ پالیسن طالقان هفتاد و هشت نفر از اصحاب قلعه فوت گشتند. و در تنکابن عمارات عالیه از قصر و مساجد و مشاهد و حمامات منهدم گشت و بعضی که تمام نیفتاد شق شد، چنانکه قابل اصلاح نشد. و در رانکو و لاهیجان و گوکه و کیسم و پاشیجا و لشتنشاه، زلزله‌ای محکم [شد] اما کسی فوت نگشت و آن‌چنان خرابی واقع نشد. و در دیلمان بسیار از عمارات کهنه بیفتاد اما اهالی را خیر بود و هشتپر کهنهٔ رانکو بعضی بیفتاد. و بسیار مواضع دیلمستان از قلل جبال سنگ های عظیم

---

* سید ظهیرالدین بن سید نصیرالدین مرعشی، تاریخ گیلان و دیلمستان، تصحیح و توضیح دکتر منوچهر ستوده، بنیاد فرهنگ ایران، ۱۳۴۷. به نقل از: مجله دانشمند شماره پی‌درپی ۳۲۲، مرداد ۱۳۶۹، ص‌ص ۳۲ و ۳۳.

[1] ـ درست آن اِشکوَر است.

بغلطید و بسیار مواشی را به هلاک آورد. و در جنده[1] رودبار گرجیان از قلهٔ کوه، خوکی از هیبت آن زلزله بجهید و در رودخانه بیفتاد و بمرد. و قصر سودابه سرگرجیان که بنایی محکم بود، با زمین هموار شد. و دو نفری که در آن مقام به پاس پائی مشغول بودند، فوت شدند. و بعد از آن حکمت حکیم علیم، هر روزه یک نوبت و دو نوبت زلزله واقع می‌شد، چنانکه مردم از بناهایی که باقی بود، بیرون آمده، به صحرا بودند و تا آخر رمضان سنهٔ مذکوره همه روزه و یک روز در میان زمین می‌جنبید. ذالک تقدیر العزیز العلیم.

---

۱ ـ امروزه جنت رودبار خوانده می‌شود.

عبدالرحیم خان کلانتر ضرابی*

زلزله ۲۵ ذیقعده ۱۱۹۲ هـ ق (۱۵ دسامبر ۱۷۷۸ م) کاشان

بعد از آنکه سه چهار شبانه روز متوالی باران باریده و بام و برزن را گل کرده در نیمه شب که همه کس به خواب بود زمین متزلزل شد و کل خانه‌ها را شکسته و خراب کرد و قریب به نصف مردم هلاک شدند و آنچه از آن حادثه جان به کنار بردند نظر به آنکه قریب یک ماه زمین قرار نداشت و شبانه‌روزی دو سه نوبت متحرک می‌گردید همه در قبرستان‌ها و ویرانه‌ها مسکن ساخته، آنچه از اموات با سدر و کافور بقاعده و یاسای شریعت خاتم النبیین به خاک پیوستند از بلده و بلوک کاشان سی هزار نفر به قلم رسیده بود و آنچه در نقاب تراب ماندند و شاید که بعد از چندین سال پیدا شدند غیر معلوم ماند و از این قرار قریب یک ثلث بیشتر جان به کنار نبردند.

---

* کلانتر ضرابی عبدالرحیم، تاریخ کاشان، انتشارات فرهنگ ایران زمین به کوشش ایرج افشار، امیرکبیر، تهران ۱۳۵۰. به نقل از: معروف حبیب، تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران ـ نقش ماندگار، یادنامه حبیب معروف به کوشش رامین و نازی معروف، نشر آزاده، تهران ۱۳۷۴

صباحی بیدگلی*

زلزله ۱۱۹۲ هـ ق کاشان

مرثیه‌ای برای خانه خراب شده و همسر و فرزندان از دست رفته

خـــانه‌ای کـــز روی او شب‌چـــون‌گلستان‌دیدمش
صـــبح چـون بـنیاد عـیش خـویش ویـران دیـدمش
خـــوابگـــاه نـــازنین خـویش را کـردم طـلب
خـارم انـدر دیـده زیـر خـاک پـنهان دیـدمش
عـقد مـرواریـد دنـدانـی کـه شب بـوسیدمی
صبحدم رنگین به خون چون شاخ مرجان دیدمش
شـــــامگه آراســـــتم از پـــردهٔ دل بســـترش
صبحدم در مهد خون چـون مـهر غـلطان دیـدمش
بـر سـر خـاک کـه سـازم بـعد از ایـن یـارب مـقام
ســـروها دارم بـــه‌زیر خـــاک نـــالم بـر کـدام
در ریـــاض نـاز هـریک سـروی و سـرو بـلند
بـــر ســپهر حســن هـریک مـاهی و مـاه تـمام
خـواهـم از هـر سـو اثـر نـه کـوی مـی‌بینم نـه در
جویم از هـر جـا نشـان نـه صـحن مـی‌یابم نـه بـام

---

* صباحی بیدگلی، دیوان، تهران ۱۳۳۸، به نقل از: معروف حبیب، تاریخ زمین لرزه‌های ایران ـ نقش ماندگار، یادنامهٔ حبیب معروف به کوشش رامین و نازی معروف، نشر آزاده، تهران ۱۳۷۴

عبدالرزاق بیگ دُنبُلی "مفتون" *

زلزله اول ماه محرم ۱۱۹۴ هـ‌ق (۷ ژانویه ۱۷۸۰ م) تبریز

در شب شنبه عزّهٔ شهر محرّم الحرام سنهٔ اربع و تسعین و مائة بعد الالف (۱۱۹۴) یک ساعت از شب گذشته، به ناگاه حاش للسامعین[۱]، زمین گران تمکین، به شدتی متزلزل گردید که آثار عالیها سافلها[۲]، پدیدار و در یک آن، شور نشور و واهمهٔ قیامت موعود، در جهان، آشکار شد، مفسّر ملالها و مغیرّ حالها (اذا زلزلت الارض زلزالها و اخرجت الارض اثقالها و قال الانسان مالها).

میرزا محمد رفیع تبریزی[۳] رفع اللّٰه درجته فی الجنان می‌گفت که در حالت حدوث این بلیّهٔ عظیمه در سجده بودم، چنان احساس کردم که زمین را به یکبار از جا بلند کرده، از هم ریختند و گرد از بنیادش برانگیختند، از هیبت آن زلزلهٔ زهره‌شکاف، که صفت "بست الجبال بساً و کانت هباءً منبثاً[۴]" داشت کوه سرخاب از هم شکافته، شکافی ژرف و عمیق واقع شد، عرضش دو ذرع و طولش قریب به دو فرسنگ، از جنوب به طرف مشرق کشیده، در دو فرسنگی سمت شرقی تبریز، قطعه زمینی را که چمن بود، زیاده از بیست من بذرافکن، از مکان خود برداشته به فاصلهٔ ربع فرسنگ، دورتر افکند، الحال آن چمن موجود است و در

---

* عبدالرزاق بیگ دنبلی، تجربة الاحرار و تسلیة الابرار، بخش دوم، تصحیح و تحشیه حسن قاضی طباطبایی، انتشارات موسسه تاریخ و فرهنگ ایران، دانشگاه تبریز، ۱۳۵۰.

۱ ـ دور از شنوندگان، هرچه بیرون ازین بود کم و بیش / حاش للسامعین عذاب منست، نقل از فرهنگ معین.

۲ ـ این تعبیر مأخوذ از قرآن و مراد از آن زیر و زبر شدن است برای اطلاع از شواهد آن در شعر فارسی رجوع شود به امثال و حکم دهخدا.

۳ ـ جد خانوادهٔ محترم ثقةالاسلام که اخبارش در جلد اول مذکور شد.

۴ ـ سورهٔ ۵۶ آیهٔ ۵

برابر ابصار اولو الابصار مرئی و مشهور.

بعد از اتفاق این واقعهٔ عجیبه، آبی سیاه، از آن زمین، بیرون آمد که اگر منقطع نشدی و شبانروزی، جریان یافتی و در فوران آمدی، بسان تنور طوفان ....

بینندگان حکایت کردند که از جملهٔ غرائب نیز یکی این بود که در این زلزله، اگر مهرهٔ گلی از دیوارها به مهرهٔ دیگر به‌جزئی علاقهٔ آویخته بودی و به اشارهٔ انگشتی یا به ضرب خفیف مشتی، چون مستی، در غلطیدی، در ثانی زلازل عظیمه اتفاق افتاد، بسی شدیدتر از اول....

بعد از زلزلهٔ پرآفت، تا نیم ساعت، عرصهٔ شهر خراب را به نوعی خاموشی فروگرفت که نه جوش و خروشی پدید گردید و نه آوای مرغی و نه هرّای دد و نه صدای جنبنده و نه نباح[1] کلاب، بعد از لمحه‌ای چند، خروش و غوغائی، غلغله و ضوضائی[2] برخاست که شورش فزع اکبر، در جنب آن شوروشر صریر باب وطنین ذباب، می‌نمود و اگر از سرائی کسی جسته بود، نوحه سرائی بود، و اگر از زندان هلاکی، کسی رسته بود، بر سر خاکی، بر سر، خاک می‌ریخت، پسری پدری را به سوز دل حزین، می‌جست و پدری در جستجوی پسری، خاک سرائی را به سیلاب چشم خون پالا، می‌شست، از تپش و فتش زمین، در سراغ یاران نازنین، خون‌ها از بن ناخن ماهرویان هلال ناخن، روان بود....

---

۱ ـ به‌ضم اول به‌معنی آواز سگ

۲ ـ به‌فتح اول به‌معنی بانگ و خروش

ابومحمدنادرمیرزا*

زلزله ماه محرم ۱۱۹۴ هـ‌ق تبریز

از ثقات نقل است که نجفقلی خان بیگلربیگی را فرزندی بود فضلعلی آقا نام. رویی چون آفتاب و مویی چون کمند پرتاب. به گفتار شکر شکستی و به یک دیدار دل زاهدان بردی. همانا او خطی نیکو داشت، بدان روی که عبدالمجید درویش که شکسته را معلم اول بود، او را استاد و بدو شیفته‌ای زار بود. بدین جنبش به سرایی بود و یک تن پیشکار به میان در به پای. چون خانه‌ها فرود آمد اینجا نیز بریخت. فراشان و حشم خان که سالم بودند خاک خوابگاه آن جوان به یک سو کردند. از آن رشک پری، نشانی نبود. آن پیشکار بدان درگاه زنده بود به پای. پرسش گرفتند که آقا چون شد؟ گفت "زمین بجنبید چنان دیدم که آقا به صحن سرای شد". هرچند جستند و آن ریخته‌ها بکافتند نبود، تا تودهٔ خاکی به نزدیک آبگیران صحن دیدند که دور از سرای بود. به یک سو کردند. کالبد آن جوان آن جای بود که به هنگام گریز این توده خاک به نیروی زلزله از عقب رسیده و او را به قضای شوم فروگرفته بود، رحمه الله علیه.

---

* نادر میرزا، تاریخ و جغرافیای دارالسلطنة تبریز، تصحیح و تحشیه غلامرضا طباطبایی مجد، انتشارات ستوده، تبریز ۱۳۷۳.

* دولت آبادی عزیز، زلزله‌های تبریز، ضمیمه نشریه دانشکده ادبیات تبریز، تابستان ۱۳۴۳

ابومحمدنادرمیرزا*

زلزله ۱۲۰۱ هـ ق (۱۷۸۶ م) تبریز

.... من سال پنجاه و شش یا شصت پس از یک‌هزار و دویست از چند پیرمرد شنودم که از تاریخ زلزلهٔ آخرین داستان‌ها همی گفتند. کمتر از این شماره پیری بوده خیاط، زنده دل و زبان‌آور. جامهٔ سپهبد پدرم و جامه‌های ما فرزندان همی دوخت. ثقه بود و دیندار. او گفت بدان سال که این رجفه شد این شهر نیک آبادان بود و من مراهق[1] بودم، پدر و مادر و برادر و خواهر داشتم، پدرم نیز درزی بود. اول شب به خانه، زیر زمین خزیدیم. آخر خزان بود، روز گردی از برف به درختان نشسته بود. هنوز به جامه خواب نرفته بودیم که زمین بجنبید و خانهٔ فراز ما بوده تابستانی، فرو ریخت. مخرج بر ما بگرفت. فریادها کردیم، هیچ آوازی نشنودیم مگر زمین لرزان بود و گاهی صدای سقوط جدران همی شنودیم. پدر گفت خروش را حاصلی نیست این راه بباید گشودن. بیلی و افزاری نبود مگر سیخی بلند که نان از تنور بر گیرند. بچگان خرد بودند و نادان، بخفتند. مادرم تازه دختری آورده بود و نزار و خستو بود. من سخت خائف بودم و لرزان و پدرم با آن سیخ آهنین درگاه همی کاوید و در این کار بجد بود و حریص؛ من و مادرم خاک‌ها با دست بدین سوی و آن سوی بردیم تا تاب برفت. مادرم گفت پدر را که بحمدالله اینجا نه زمینی را خدای عزوجل نگاهداشت؟ اکنون شب است تا به روز بپاییم، چون صبح دمد همسایگان بیایند و درگاه بگشایند. نان پخته اینجاست و نان خورش قدید زمستانی به‌سویی و ابریقی آب است. چراغدان پر از روغن، توانیم روزی چند در این خانه زندگانی کردن؟ پدرم با آنکه سخت به دهشت بود برآشفت زن را بر شرّ و گفت تو چه دانی ای گول و کودن ساعتی چند نه بگذرد که انفاس و گرمی تن ما اینجا پر کند و ما

---

* دولت‌آبادی، عزیز، زلزله‌های تبریز، ضمیمه نشریه دانشکده‌ادبیات تبریز. تابستان ۱۳۴۳.
این متن در کتاب "تاریخ و جغرافی دارالسلطنه تبریز" به تصحیح و تحشیه آقای غلامرضا طباطبایی مجد موجود نیست، لیکن به خاطر زیبایی متن و روایت تلاش خانواده‌ای برای رهایی از زیر آوارهای ناشی از زمین‌لرزه در اینجا آورده می‌شود.

۱ ـ جوانی که به حد بلوغ رسیده

همه جان دهیم، باید به خدای پناهیم و روزنه به همت باز کنیم تا توانیم نفس کشیدن. مادرم گفت رنج بردن به گشودن درگاه دو رویه است، شاید زود بگشاید و تواند بود که نتوانیم گشود، چه دانیم که خاک توده پشت آن انبوه است یا کمتر، پدرم چون فرو ماند گریست. من چراغدان روشن‌تر کردم به یکبار پدرم شادی نمود به رخ و چهره و آن سیخ بر گرفت و کرسی زمستانی باژگون کرد که بلندتر برفراز شد و سقف همی کند که سوراخی کند و آن خشت خام بود به اندک ساعتی سوراخ کرد و خاک بریخت. افسوس که بر زبر آن توده، خاک بود، پدرم سخت پژمان فرود آمد. دیری ببودیم چون بیهوشی، پدرم به مادرم گفت کما اینکه صبح نزدیک باشد ندانم خواست خدا چیست تواند بود که ما روی زمین ببینیم، اندک خرسندی دارم که ما را هنوز نفس برجاست و چراغ بیراه نشده، گمانم که ازین درگاه یا آنجای که از سقف کاویدیم روزنی به بیرون دارد که هوا بدین جای جاری و ساری است. زن گفت این زیرزمین بزرگتر است و جای نفس بسیار. پدرم دست برداشت و یزدان را بخواند و زاری‌ها همی کرد، من همی گریستم، مادرم فغان کرد و طفلکان به خروش ما از خواب بیدار شدند. آشوبی بود. من به گوشهٔ آن خانه شدم بدان سوی که بخاری بود و پدرم آن رخنه را بدانجا عمارت کرده بود که در سردی شتا در آنجا نانخورش بتوانند پخت و سر بدان روزنه کردم ستارهٔ دیدم، چه سقف پست و کمتر از سه گز بود. فریادی بلند به شادیانه کردم، پدرم را مژده دادم که اینجای من ستاره دیدم، بیامد و بدید و یزدان را ثنا گفت و به زن گفت زندگانی ما بدین سوراخ‌ها به جای مانده وگرنه مرده بودیم که ازین روزن هوایی به‌درون آید، این وقت چون بدان روزن نزدیک می‌شدیم آوازها شنیده می‌شد نه چنانکه بدانیم چه می‌گویند؛ ببودیم حیران و نومید که هر دقیقه سالی بود تا دیرباز صداها نزدیک شد و همگی خروش‌ها همی کردیم یکی یکی سر بدان روزن بخاری نهاده آواز دادیم و پدرم استغاثه کرد و به چابکی سقف بشکافتند و سوراخی بزرگ کردند. کرسی زیر پای نهادیم، بیرونیان یک یک را همی کشیدند تا همه به سلامت بیرون شدیم. پس از آن سخنانی هولناک از منظر شهر و مردم که از زیر خاک‌ها برکشیدند همی گفت، پس گفت به یک برزن بزرگ می‌گذشتیم یک تن یا دو تن بیش نمی‌دیدیم تا دو سال. نام این درزی پسر ملانقی بود، فرزند خرد او که ملامهدی نام دارد به دبستان با من همدرس. او به سال نیز با من برابر است، در مقدمات عربیت اوستاد است، اکنون دو تن از پسرکان من را آموزگار است...

محمد تقی ملک‌الشعرا بهار*

زلزله پنجم خرداد ماه ۱۳۰۲ هـ ش (۱۹۲۳ م) تربت حیدریه

درین بینها قضیهٔ هولناکی روی داد. در شهر تربت حیدری واقع در خراسان زلزلهٔ شدیدی شب پنجم خرداد ۱۳۰۲ اتفاق افتاد و خرابی زیاد و تلفات سنگینی به اهالی شهر و روستاهای تربت وارد آمد و این زلازل مکرر شده تا روزهای هشتم و نهم خرداد طول کشید.

راپورت اول مورخه ۵ جوزا

شب پنجم هفت ساعت و ربع از شب گذشته زلزلهٔ عظیمی واقع شد که نظیر آن را هیچ‌کس یاد ندارد و تاکنون که یک ساعت و نیم از روز گذشته متوالیاً زلزله مداومت دارد ولی به شدت و سختی مرتبهٔ اول نیست، تمام منازل سست بنیاد بکلی خراب و آنچه باقی است به واسطهٔ گسیخته شدن ارکانش از هم قریب به انهدام و به قسمی خطرناک‌است که عبور از داخل آن عمارات ممکن نیست. عجالة تلگرافچی تربت فقط با یک دستگاه‌که در توی چادر گذاشته شده برای اینکه سیم تعطیل نشود مشغول کار است، میزان خسارت و عدهٔ تلفات وارده در شهر و اطراف هنوز تحقیقاً معلوم نیست، برای هرکس که امکان دارد در چادر و دور از عمارت منزل می‌کند.

راپورت دیگر دو ساعت قبل از ظهر ۵ جوزا

هنوز کاملاً عدهٔ تلفات و میزان خسارت وارده معلوم نیست. حکومت شخصاً به اتفاق مامورین و عمادالملک خرابی‌های وارده به شهر را معاینه و برای سرکشی به دهات اطراف

---

* محمد تقی ملک الشعرا بهار، تاریخ مختصر احزاب سیاسی ایران، جلد اول انقراض قاجاریه، شرکت سهامی کتاب‌های جیبی، چاپ دوم، تهران ۱۳۵۷.

رفته و امدادیه برای باقی‌ماندگان و مجروحین از آوار درآمده و مردمان زیر آوار، حرکت کرده است. به قدری حالت شهر و سکنهٔ آن و وضع قرا و اطراف و تلفات وارده رقت‌آور است که حد ندارد. آنچه تاکنون شنیده شده است در شهر قریب سی و پنج نفر زیر آوار رفته و اغلب تلف شده‌اند و بقیه مجروح شده و قریه مهم جوزق و صدرآباد زیادتر دچار لرزه شده، به قرار مسموع از جمعیت کثیر آن عدهٔ قلیلی نیمه‌جان نجات یافته‌اند، صدرالعلماء و دامادش با شش نفر اولاد و بستگانش که در قریهٔ صدرآباد بوده‌اند تلف شده‌اند. هنوز هم پی در پی زلزله حمله می‌کند. خداوند عاقبت این بلای عظیم را بخیر بگذراند.

راپورت ظهر ۷ جوزا

از دیروز تاکنون وقایع تازه اتفاق نیفتاده است. دیشب و امروز سه چهار مرتبه زلزله آمد، سه مرتبه خفیف و یک مرتبه یک ساعت قبل از ظهر امروز سخت بود، بطور عموم و خفیف در تمام اوقات زلزله محسوس می‌شود که لاینقطع زمین متزلزل است.

از طرف حکومت تربت و رئیس‌التجار و امین‌التجار و سایرین حتی‌المقدور برای بیرون آوردن اجساد و دفن و کفن آنها جدیت‌هایی شده و می‌شود.

... جناب آخوند ملاعباس هنوز خارج شهر و به ادای وظیفه اشتغال دارند. امروز هم عدهٔ دیگر عمله و چند نفر غسال و غساله و مقداری آذوقه و چندین توپ پارچه برای کفن از طرف حکومت به اتفاق مأمورین مخصوص به خارج فرستاده شد. حالت عموم خیلی بد و بهت غریبی عامه را فرا گرفته. بازار و دکاکین تعطیل، تمام زن و مرد در باغات اطراف پراکنده‌اند، هیچیک از ابنیهٔ شهر قابل سکونت نیست، تمام باید از بنیاد برداشته شده ثانیاً ساخته شود، قرا منهدمهٔ اطراف تمام سکنه و مواشی آن تلف شده، زراعاتشان هم به‌واسطهٔ عدم صاحب و سرپرست از میان خواهد رفت.

... عفونت اجساد لاشه‌های مواشی قراء منهدمهٔ مذکوره تمام اطراف آن نواحی را عفن نموده است.

... میزان تحقیقی تلفات بغیر از مجروحین که تاکنون تحصیل شده است به قرار ذیل است: قریهٔ ملکی ۳ نفر، گوجو ۴، بالا ولایت ۲۰، مرتضویه ۴۰۰، توزان ۹۰۰، خورق ۵۰۰، جعفرآباد ۲۴، جمع باقی دهات و شهر کلیه ۲۲۱۹ نفر است.

راپورت‌های حضوری نمایندگان خراسان

دو فقره حضوری با نمایندگان مخابره شد، خلاصهٔ آنها چنین است:

عدهٔ تلفات و زخمی‌های شهر شصت نفر ، خرابی دهات اطراف که بکلی واژگون شده است: خورق و توزان و کاج درخت و تقی آباد و دهنو و مرتضویه که به استثنای عدهٔ قلیلی که در موقع وقوع زلزله در قلعه‌جات فوق نبوده‌اند بقیه که تخمیناً علاوه از دو هزار نفر بوده‌اند بکلی زیر آوار مانده در سایر دهات متفرقه هم که با این دهات یک فرسخ و نیم فاصله داشته است علاوه از ششصد نفر تلفات پیدا شده است، آنچه تصور می‌شود و تا اکنون صورت به دست آمده قریب سه هزار نفر تلف شده‌اند، با این ترتیب حال اهالی معلوم است چه قسم است زیرا خانه‌های شهر ابداً قابل سکونت نیست... چهار رشته قنوات متعلق به شهر و دهات اطراف نیز مسدود شده است.

اتفاقاً جلسات علنی هم به واسطهٔ حاضر نشدن هواداران دولت در مجلس تشکیل نمی‌شد تا در مسئله اعانه تربتیان اقدامی شود، مع‌ذلک از طرف شاه دعوتی به عمل آمد و کمیسیونی برای تدارک اعانه به زلزله زدگان تربت تشکیل گردید. دولت هم مساعدتی کرد و سایر محسنین نیز اقدامی کرده اعاناتی در مرکز و ایالات برای تربت جمع و حواله گردید.[1]

دراین دعوت شاهانه، همگی علما و شاهزادگان و وزرا و اعیان و بازرگانان حاضر بودند. روز دعوت عصر یکشنبه بیستم خرداد ۱۳۰۲ بودو متجاوز از یک صد و پنجاه تن در کاخ گلستان حضور به هم رسانیدند و شاه از فرح آباد به شهر آمده در مجلس مذکور حاضر گردید و نطق زیرین را ادا کرد:

---

۱ ـ از طرف مؤلف این تاریخ نیز در جلسهٔ یکشنبه ۲۷ خرداد ۱۳۰۲ به اتفاق نمایندگان خراسان به دولت پیشنهادی شد که مبلغ صد هزار تومان از محل قرضهٔ جدید برای اعانهٔ تربت اختصاص داده شود و دولت پنجاه هزار تومان متقبل گردید و بالجمله اعانه‌هایی کافی جمع شد اما همه آنها به مصرف نرسید مانند داستان ارومی و این عادت خست طبیعی اولیای امور است که آن‌قدر طول می‌دهند که مار گزیده بمیرد و نوشدارو پس از مرگ به سهراب برسد. منجمله من خود اطلاع دارم که سی هزار تومان ازین وجوه در بانک شاهنشاهی مشهد تا مدت‌ها بعد موجود بود و عاقبت به حساب لشکر شرق گذاشته شد. من خود این مطلب را در ضمن مطالب دیگر از حسین آقای خزاعی سرلشکر شرق شنیدم....

بیانات احمد شاه

"قضیهٔ هائله تربت و تصور حال بلادیدگان این مصیبت بزرگ خاطر ما را بی‌نهایت ملول و متأثر داشته تصمیم فرموده‌ایم به حال رقت انگیز بازماندگان و مجروحین این بلیه توجهی فرموده، تهیه موجبات تسهیل معیشت و مسکن و محل زندگانی آنان را فراهم نمائیم، لهذا این مجلس را به ریاست عالیه خودمان تشکیل و مقرر می‌فرماییم حاضرین مجلس که مراتب نوع پرستی آنها را کاملاً می‌دانیم با این عقیده و نیت ما موافقت کرده در بذل اعانه و مساعدت با آن بلادیدگان هرکس به‌قدر مقدور کومک و همراهی نماید و همچنین مقرر فرمودیم که دولت تصمیم ملوکانه را به ایالات و ولایات اعلام و تاثرات خاطر ما را مخصوصاً به سکنهٔ بی‌خانمان آنجا ابلاغ نماید"

بالجمله چنانکه اشاره شد مبلغ معتنابهی از مرکز و ایالات و خود خراسان گرد شد و قسمتی به مصرف رسید.

روزنامهٔ‌کوشش*

زمین لرزه ۱۳ مرداد ۱۳۱۵ ه‍.ش تبریز

خبر تلگرافی تبریز را که حاکی از **حدوث زلزله بود**، شرح دادیم، اینک وقایع مفصل آن که به توسط پست رسیده، ذیلاً طبع می‌شود:

شب سه شنبه ۱۳ مرداد ۱۳۱۵، **هشت ساعت و سی و پنج دقیقه** بعد از ظهر، با یک غریو هولناکی که گویی چندین توپ را یک مرتبه آتش زدند، زمین لرزه دهشتناکی در تبریز روی داد که اگر از نقطه نظر تخریبات در درجهٔ دوم و سوم باشد، از جهت صدا و دهشت و طولانی بودن که زمین مانند آب جوش در زیر پا، ثانیه‌ها در غلیان و جریان بود، از زلزله‌هایی است که از پنجاه و شصت سال پیش، نظایر آن در این شهر که از کانون‌های معروف زمین‌لرزه شمرده می‌شود، شنیده و دیده نشده است.

در آن وقت که زن و مرد و بزرگ و کوچک از مردم تبریز مانند نواری متحرک در پیاده‌روهای شهر بخصوص خیابان پهلوی، با خیال فارغ رو به سوی باغ‌ها و هوتل‌ها و سینماها در حرکت بودند، ناگهان صدای مهیبی به گوش رسید و در پی آن زمین مانند سیماب، بنای لرزش گذاشت و عمارات بزرگ دو سه طبقه به این طرف و آن طرف متمایل شد و شرفه‌ها و نماهای عمارات شروع به ریختن نمود، سیم‌های چراغ برق، اینجا و آنجا پاره شد و امواج قتال برق در بالای سر مردم سرگرم لمعان و چشمک زدن گردید و چراغ‌ها یکباره خاموش شد و هزاران تن از زن و مرد از عمارات و بالاخانه‌ها و مغازه‌ها و سینماها (غالباً با سر و دست شکسته) با یک وضع صرع آمیز، به وسط خیابان‌ها ریختند و هایهوی مردم و فریاد و

* روزنامهٔ کوشش ، به نقل از: ذکا یحیی، زمین‌لرزه‌های تبریز، شرکت کتابسرا، چاپ اول، تهران ۱۳۶۸، ص‌ص ۱۷۹-۱۸۴.

گریه کودکان و صدای درشکه‌ها و اتومبیل‌ها که زخمی‌ها و زن و بچه‌های وحشت زده را به‌این طرف و آن طرف فرار می‌دادند، در یک چشم به‌هم‌زدن، غوغای غریبی در برابر ساکنان تبریز مجسم ساخت.

پس از آنکه زلزله آرام شد و قلب‌ها تا اندازه‌ای از طپش افتاد، مردم برای این که بدانند، خانه و اقوامشان در چه حالی هستند، همچون سیلی، به سوی محله‌ها و خانه‌های خود سرازیر شدند و پس از اینکه دیدند، اغلب خانه‌ها شکست برداشته و قابل سکونت نمی‌باشد و نیز به علت اینکه معلوم نبود زلزله دنباله دارد یا نه، دوباره به میدان‌ها و خیابان‌های شهر هجوم آوردند، و هرچه وسیله نقلیه در شهر موجود بود، از قبیل درشکه، دوچرخه، اتومبیل، اتوبوس، تا اواخر شب مشغول حرکت دادن مردم به باغ‌های خارج شهر گردیدند و گروهی از مردم در سطح میدان‌ها و خیابان‌ها، دسته دسته شب را به صبح رسانیدند و عده زیادی هم به باغ دلگشا[1] پناه بردند و در آنجا شب را به صبح آوردند.

بعد از زلزلهٔ شدید اول، سپس یک بار صبح سه شنبه و بار دیگر ساعت سه بعد از ظهر روز چهارشنبه و بار چهارم شب پنجشنبه تکان‌های دیگری روی داد که هر سه آنها خفیف بود و چندان موجب نگرانی و خرابی تازه‌ای نگردید.

چنانکه اشاره کردیم، چون احتمال دارد که هنوز زلزله ادامه داشته باشد و اسباب اطمینان فراهم نیست، اشخاصی که به بیرون‌های شهر انتقال یافته‌اند، شب‌ها را کماکان در بیرون شهر و یا میدان‌ها و سطح خیابان‌ها می‌گذرانند و عمارات اطراف خیابان‌ها خاصه خیابان پهلوی شب‌ها خالی از سکنه است.

زلزله تبریز، آن شدت و دهشت را که در محله‌های بازار و خیابان و راسته کوچه و نوبر و مقصودیه و لیل‌آباد و اهراب و سایر محله‌های مرکزی بخصوص اطراف خیابان پهلوی

---

۱ ـ پیشترها در بیرون و غرب تبریز سر راه تهران ـ تبریز باغی بنام "دلگشا" وجود داشته است که گمان نمی‌رود منظور گزارشگر همان باغ زمان ناصرالدین شاه باشد، شاید باغ ملی یا باغ گلستان را در نظر داشته است.

داشته، در محله‌های مارالان و سرخاب و شتربان و هکماوار و سایر محله‌های دوردست نداشته است، و عجیب‌تر از همه اینکه هر خرابی و شکست و ریزش که حاصل شده در عمارات محکم و ساختمان‌های گچ و آجری بوده[1]، در خانه‌های چینه‌ای و خشتی (چه کهنه‌ساز و چه تازه ساز) چندان و بلکه هیچ گونه تخریباتی به وجود نیامده‌است.

چون هیچ کدام از محله‌های معمور و خانه‌های آباد شهر در خرابی‌های زلزله (کم و بیش) سالم نمانده، بنابر عقیده اشخاص مطلع، خسارات امسال به مراتب بیشتر از خسارات سیل هشتم مرداد ۱۳۱۰ هـ ش می‌باشد.

به موجب اطلاعی که از ولایات رسیده، غیر از ارسباران که حرکت خفیفی در آنجا احساس شده، در سایر ولایات آذربایجان شرقی و غربی اثری از زلزله تبریز احساس نگردیده است. از جمله عماراتی که در نتیجهٔ خرابی موهش زلزله، محتاج تعمیرات اساسی است و قابل سکونت نیست، عمارت اداره ثبت می‌باشد که آن را مجبور به تعطیل نموده است و همچنین اغلب گنبدهای بازار نیز شکست‌های بزرگ برداشته که ماموران شهرداری مشغول معاینه و تخریب آنها می‌باشند.

زلزله شب سه شنبه، علی‌التحقیق تلفات جانی نیز وارد آورده ولی هنوز شماره صحیح آن در دست نیست، آنچه محقق است سیم‌های پاره شده چراغ برق نیز در تلفات مزبور دستی داشته است که سپس اطلاع خواهیم داد.

---

۱ ـ نویسنده این کتاب در تابستان آن سال در تبریز نبود با خانواده برای دیدار پدر که در سنندج ریاست بانک ملی را داشت رفته بودیم و خبر زمین‌لرزه تبریز را در آنجا شنیدیم و چون در آغاز سال تحصیلی به تبریز بازگشتیم، خانه‌مان که در جنب مسجد اندبیلی‌ها بود و ساختمان استواری داشت و تمام از سنگ و آجر و گچ ساخته شده بود، چنان شکاف‌ها و ترک‌های خطرناک برداشته بود که قابل سکونت نبود و ناچار در قسمتی از حیاط اندرونی که بزرگتر و چسبیده به این خانه بود و عمویم در آنجا زندگی می‌کرد، منزل کردیم.

جلال آل احمد*

زلزله ۱۰ شهریور ۱۳۴۱ هـ ش (اول سپتامبر ۱۹۶۲ م) بویین زهرا

... و رفتیم. ساعت نه صبح روی نوار خاکستری جادهٔ مهرآباد بودیم و ۷ شب از زیر طاق بستان می‌گذشتیم. قزوین را در آینه دکان خرازی فروش کنار خیابان دیدیم. با عینکی تازه و تنگ و سیاه... و چه بهتر. آن بساط نکبت بار زلزله را با عینکی هرچه تنگ‌تر و تارتر می‌دیدیم بهتر بود. ناهار را زیر سایهٔ درخت های غبار گرفتهٔ یکی از قهوه‌خانه‌های سرراه خوردیم. درست چسبیده به الباقی سفرهٔ زلزله. عمارت سنگی قهوه‌خانه انگار از داخل ترکیده بود و سنگ‌های تراش خورده هریک در گوشه‌ای و سر تیرها از میان خاک و پوشال بیرون مانده. و مردکی لاغر که روی همان یک زیلوی ما نیمرو می‌خورد، نمی‌دانم در قیافهٔ ما چه دید که به دو استکان [....] مهمانمان کرد. و از گاوهایش گفت که همه حرام شده‌اند. و حالا او می‌ترسید که پوست های دریده‌شان را هم کسی نخرد. و باز رفتیم. و همدان را خواستم در یک لیوان [...] ببینم. به عنوان رفع خستگی. که نشد. ناچار به یک لیوان از این آب‌های رنگی قناعت کردیم. کنار خیابان. و باز رفتیم. و پاهای من عین اهرم‌ها. بی‌حس. تمام راه عبارت بود از بیابان‌ها یا تپه‌ای و بر سر آن با تیرک‌ها سه پایه‌ای ساخته و با گونی و جاجیمی رویش را پوشانده و خرت و خورت زندگی دهاتی‌ها اطرافش پراکنده و پرچمی سیاه بر بالای همهٔ بساط. روستاها همچون بار خربزهٔ کرمویی به زمین خورده و ترکیده و مردان کنار جاده به گدایی نشسته. عین طبق‌کش‌هایی که بار بدل‌چینی‌شان یا کاسه بشقابشان افتاده و خرد شده و حالا عزا گرفته‌اند. با چشم‌هایی گود نشسته و دودوزنان. و یک جا جاده شکافته بود. از عرض. و درست انگار که از پله‌ای بیفتیم. نگهداشتم که چرخ‌ها را وابرسم. پاها نا نداشت. و طول کشید. که ریختند. گمان کرده‌بودند ما هم به خیرات و مبرات آمده‌ایم.

---

* جلال آل احمد، سنگی بر گوری، (بی‌نا)، (بی‌تا)، ص‌ص ۵۷، ۵۸.

به تصدق اشرافیت! هرکدام با یک گونی خالی زیر بغل. و تصدق دهندگان؟ هر کدام با یک گونی به دوش پر از پاره پوره‌های زندگی یا نان و آب و قند و شکری. ولی ماشین ما خالی بود. من بودم و زنم و یک چمدان روی صندلی عقب و تویش یک لباس سیاه. بیشتر بچه‌ها بودند. پیشقراول. و دنبالشان مردها. و نمی‌دانم در قیافهٔ ما و رفتارمان چه بود که کم‌کم پس نشستند. آیا وبازده بودیم یا جذام داشتیم؟ هیچ‌کدام. فقط هیچ بار و بنه‌ای نداشتیم جز پیراهن سیاهی در چمدانی.

آموختن از زلزله منجیل

گزارش کلی زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل *

مهندس علی‌اکبر معین‌فر

مقدمه

زلزله‌ای که در نخستین ساعت روز ۳۱ خرداد ۱۳۶۹، در منطقه گیلان و زنجان روی‌داد از نظر بزرگی و شدت و میزان تلفات، بزرگترین زلزله‌ای است که در قرن اخیر در کشور ایران روی داده‌است. این زلزله در منطقه‌ای به وسعت بیش از ششصد هزار کیلومترمربع با شدتی بیش از III (مقیاس MSK) احساس شد و در منطقه‌ای به وسعت بیش از ۱۵۰۰ کیلومترمربع دارای شدتی بیش از IX (MSK) بود، که حکایت از گستردگی منطقه تخریبی شدید دارد. براثر این زلزله، بطوری که گفته‌شده است بیش از سی‌وپنج هزار نفر جان خود را از دست دادند و به بیش از یک هزار آبادی آسیب رسید و از جمله شهرهای منجیل و رودبار بکلی ویران شد.

پس از وقوع این زلزله، منطقه آسیب دیده از طرف عده زیادی از کارشناسان، مهندسان و علاقه‌مندان داخلی و خارجی مورد بازدید قرار گرفت که امید است به تدریج یافته‌های آنان انتشار یابد. از جمله این بازدیدها، بازدیدی است که آقای مهندس احمد نادرزاده و این‌جانب از منطقه داشتیم و گزارش فنی مقدماتی آن در اواخر تیرماه ۱۳۶۹، از طرف مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن منتشر گردید. در این مقاله، ضمن بهره‌گیری از آن گزارش سعی

---

* کنفرانس آزاد زلزله ۳۱ خردادماه ۱۳۶۹ منجیل، ۲۰ و ۲۱ مردادماه ۱۳۶۹، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان‌ومسکن

خواهد شد حتی‌المقدور مطالب آن تکرار نگردد.

زلزله اخیر، در منطقه‌ای روی داد که دارای ساختمان‌ها و سازه‌های مهندسی‌ساز جدید بود و بنابراین درس‌هایی که از این زلزله گرفته می‌شود می‌تواند در موارد مشابه برای سایر مناطق ایران که دارای سازه‌های مهم و ساختمان‌های امروزی است، آموزنده باشد.

در شهر رشت با فاصله حدود شصت کیلومتر از مرکز زلزله، به ساختمان‌های بلندتر خسارات جدی وارد شد و ضمن اینکه به ساختمان‌های سنتی کوتاه آسیبی وارد نگردید، تعدادی از ساختمان‌های هفت و هشت طبقه فروریخت. همچنین به سدّ سفیدرود و برج‌های آب مرتفع خساراتی وارد گردید و برج آب بتن آرمه یکهزاروپانصد مترمکعبی شهر رشت بکلی فروریخت.

مشخصات زلزله منجیل

زلزله منجیل که در ساعت ۳۰ دقیقه روز ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ (ساعت ۲۱ روز ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ به وقت بین‌المللی) روی داد، به صورت زلزله چند پدیده‌ای[1] اتفاق افتاد و مرکز مهلرزه‌ای[2] آن در حوالی سد سفیدرود و شهر منجیل با مختصات 49.40E و 36.75N می‌باشد.

بزرگی این زلزله، بین ۳ر۷ و ۷ر۷ اعلام شده‌است. از آنجا که زلزله منجیل از چند پدیده زلزله‌ای تشکیل یافته‌است بهترین معرف بزرگی آن، بزرگی‌ای است که از طریق گشتاور زلزله‌ای[3] محاسبه می‌گردد. باتوجه به اینکه عدد گشتاور زلزله‌ای که تاکنون محاسبه گردیده مختلف است (بین ۸×۱۰^{۲۶} دین ـ سانتیمتر محاسبه شده از طرف استراسبورگ بااستفاده از یک ایستگاه، $۱ر۰۲ \times ۱۰^{۲۷}$ دین ـ سانتیمتر محاسبه شده آمریکا با استفاده از چندین ایستگاه تا $۱ر۶۸ \times ۱۰^{۲۷}$ دین ـ سانتیمتر محاسبه شده از طرف دانشگاه پاریس با استفاده از چندین ایستگاه) لذا عدد گشتاور زلزله را می‌توان بطور متوسط برابر $۱ر۵ \times ۱۰^{۲۷}$ دین ـ

1 - Multifile events
2 - Macroseismic epicenter
3 - Seismic moment

سانتیمتر درنظرگرفت و به این ترتیب می‌توان قبول‌کرد که بزرگی‌ای که از گشتاور این زلزله محاسبه می‌شود (که تقریباً دراین درجه از بزرگی برابر با بزرگی‌ای است که از امواج سطحی M_S به‌دست می‌آید) باید حدود ۳ر۷ Mw باشد. ژرفای کانونی زلزله حدود ۲۰ کیلومتر تخمین زده‌می‌شود.

حداکثر شدت این زلزله، در ناحیه منجیل حدود X (با مقیاس MSK) است، در شهر رودبار شدت زلزله حدود IX (MSK) است. شدت زلزله در قزوین و زنجان و ابهر و رشت حدود VI (MSK) و در شهر تهران حدود V (MSK) می‌باشد.

تغییرات حاصل از زلزله در زمین

زلزله منجیل همراه باگسستگی و گسل تقریباً شرقی ـ غربی بود که در گزارش مقدماتی تیر ۱۳۶۹، اجمالاً ذکر گردید. اضافه برآن، آثار و قرائنی موجود است که علاوه براین گسل، گسل تقریباً شمالی ـ جنوبی همراه با این زلزله موجود بوده‌است که نشان می‌دهد زلزله در اثر فعالیت منطقه گسله‌ای en-echelon حادث گردیده‌است. به‌هرحال بحث در مورد گسل‌های این زلزله در مطالعات تفصیلی محلّی که از طرف اهل فن انجام شده، صورت گرفته‌است.

براثر این زلزله، زمین لغزه‌های متعدد در مقیاس بسیار بزرگی حادث گردید و علاوه برآن در محل‌های زیادی سنگ ریزش به‌وقوع پیوست و موجب انسداد راه‌ها و تولید خساراتی شد.

در مناطق محدودی در مجاورت پل بالابالا (لوشان ـ منجیل) و در منطقه بسیار وسیعی از آستانه اشرفیه، پدیده آبگونگی ایجاد و موجب جوشش ماسه و آب از زمین شده و باعث بروز خسارات زیادی شد. در سطح زیرزمینی آب‌های منطقه نیز تغییرات زیادی حاصل گردید.

پس‌لرزه‌ها

پس از وقوع زلزله اصلی، پس‌لرزه‌های نسبتاً بزرگی که یکی از آنها با بزرگی بیش از ۶ بود در

منطقه به‌وقوع پیوست و هم‌اکنون نیز هرچندگاه یک بار، پس‌لرزه شدیدی روی می‌دهد. آنچه تاکنون از روند وقوع این پس‌لرزه‌ها و مراکز آنها به دست آورده شده‌است نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ای از پس‌لرزه‌های زلزله منجیل در ناحیه پاکده (حوالی انتهایی شرقی گسل شرقی ـ غربی) و قسمتی در شمال منجیل واقع شده‌است.

بطور کلی روند این پس‌لرزه‌ها در امتداد یک خط شرقی ـ غربی متمایل به جنوب است که موازی با گسل تقریباً شرقی ـ غربی است که در گزارش مقدماتی نشان داده شده‌است.

شتاب حرکت زمین در زلزله منجیل

گذشته از آثار و قرائنی که در منطقه آسیب‌دیده موجود است و نشان می‌دهد که شتاب حرکت زمین در حوالی مرکز زلزله بیش از g۰ر۶۰ بوده‌است، ارقامی که از شتابنگاشت‌های ثبت شده از شتابنگار آب‌بر به‌دست آمد، وجود شتاب افقی قابل توجهی را در این منطقه تأیید می‌کند.

بطورکلی در شعاع ۲۵۰ کیلومتری از مرکز زلزله تعداد ۵۰ دستگاه شتابنگار Strong motion accelerograph در هنگام وقوع زلزله قرار داشت که از بین آنها ۱۰ دستگاه در موقع زلزله قابل بهره‌برداری نبود و از ۴۰ دستگاه دیگر ۲۲ دستگاه زلزله را ثبت کرده و شتابنگاشت‌هایی به دست داده‌اند.

بیشترین شتاب افقی و شتاب قائم که از زلزله اخیر ثبت شده‌است در دستگاه شتابنگار آب‌بر است که در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری گسل شرقی ـ غربی و در جنوب گسل احتمالی شمالی ـ جنوبی قرار گرفته‌است. حداکثر شتاب افقی شتابنگاشت به دست آمده از این شتابنگار حدود g۰ر۶۵ و حداکثر شتاب قائم حدود g۰ر۵۲ است.

در شهر رشت، به علت دستکاری‌هایی که از طرف افراد غیرمسئول شده‌است دستگاه شتابنگار آماده به کار نبوده‌است و شتابنگاشتی از زلزله اصلی در این شهر به دست

نیامده‌است. بدیهی است، چنانچه شتابنگاشتی از این منطقه به دست می‌آمد، در تحلیل علت خرابی ساختمان‌های بلند این شهر می‌توانست بسیار مفید واقع شود که متاسفانه این فرصت از دست رفته‌است. ولی خوشبختانه در شهر لاهیجان که از نظر نوع زمین و فاصله با مرکز زلزله شرایطی مشابه شهر رشت را دارد، شتابنگاشت زلزله اصلی به‌دست‌آمده‌است و سیطره پریود بلند در این شتابنگاشت می‌تواند به شهر رشت نیز تسری داده شود. در شهرهای شمالی دیگر ایران نظیر رودسر، گچسر و در شهرهایی نظیر قزوین، زنجان و ابهر شتابنگاشت‌های مفیدی به‌دست آمده‌است.

از جمله مواردی که در مطالعه چند شتابنگاشت این زلزله ملاحظه می‌شود گذشته از مورد مربوط به اثر فاصله از مرکز زلزله که ناشی از طبیعت و مکانیسم زلزله اخیر است، وجود امواج دارای تراکم کم، حدود ۰ر۵ و ۰ر۸ هرتز است که قله‌های کوچکی را در منحنی طیف شتاب در حوالی پریود ۲ ثانیه و ۱ر۲ ثانیه ایجاد می‌نماید (قله اصلی در پریود حدود ۰ر۲۵ ثانیه یعنی برای حوالی پریود تواتر ۴ هرتز است). وجود این تواترها در منحنی طیف فوریه و منحنی‌های طیف شتاب برای شتابنگاشت‌های قزوین و ابهر که تاکنون توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، قرائت و نمودارهای شتاب و سرعت و تغییر مکان و طیف آنها رسم شده است، خصوصاً" برای میرایی‌های کم (میرایی صفر و میرایی ۲ درصد میرایی بحرانی) کاملاً" نمایان است و با قرائت سایر شتابنگاشت‌ها و تهیه طیف‌های مربوط به هر یک اطلاعات کاملتری به دست خواهد آمد.

در این مقاله شتابنگاشت‌های تصحیح شده قزوین وابهر، هر یک در سه مؤلفه (یک مؤلفه قائم و دو مؤلفه افقی) و همچنین طیف فوریه و طیف شتاب آنها که شتابنگاشت ثبت شده آنها توسط خانم جدیدی کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن قرائت و نمودارهای تصحیح شده و طیف آنها با استفاده از برنامه کامپیوتری کالتک[1] توسط آقایان مهندس احمد نادرزاده و دکتر جمشید فرجودی محاسبه شده است، ملاحظه می‌شود. در طیف فوریه و

1 - California Institute of Technology

طیف شتاب این دو محل (که هر دو حدود ۶۰کیلومتر از مرکز زلزله فاصله دارند ولی در دو امتداد مختلف هستند) اثر وجودی تواترهای کم ملاحظه می‌شود.

در شهر تهران که بیش از ۲۰۰ کیلومتر از مرکز زلزله فاصله دارد چندین دستگاه شتابنگار،شتابنگاشت‌هایی را ثبت کرده‌اند که عموماً شتاب افقی ثبت شده حدود ۲ درصد شتاب ثقل زمین است. کلیه این شتابنگارها برروی زمین طبیعی قرار داشته‌اند و تنها شتابنگارهایی که در ساختمان بلند قرار داشته، شتابنگارهای نصب شده در کاخ وزارت کشاورزی است که علاوه بر شتابنگار موجود در زمین طبیعی، یک شتابنگار در طبقه دهم و یک شتابنگاردر طبقه بیستم قرار داشته است که همه آنها زلزله را ثبت کرده‌اند که باید جداگانه مورد بحث قرار گیرد.

اثر زلزله بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی

همان طوری که بیان شد، از ویژگی‌ها مهم زلزله منجیل آن است که بر خلاف زلزله‌های گذشته ایران که عموماً در مناطق کم جمعیت و در روستاها می‌افتاد که فاقد ساختمان‌های اساسی بود، در منطقه‌ای روی داد که دارای انواع ساختمان‌های مختلف و همچنین سازه‌های مهمی نظیر سد، سیلو، نیروگاه‌ها و برج‌های آب بود که در هر مورد باید مطالعات تفصیلی به عمل آید و دستاوردها انتشاریابد.

در منطقه گیلان و زنجان که زلزله در آن حادث گردید خصوصاً در بخش زنجان و همچنین در ناحیه شرقی منطقه زلزله زده نظیر کلیشم، ساختمان‌های خشت وگلی و یا سنگی متداول در سایر روستاهای ایران با سقف‌های سنگین فراوان است. این قبیل ساختمان‌ها عموماً بر اثر زلزله خسارات شدید دیده و ویران شده‌اند و قسمت عمده‌ای از تلفات ناشی از زلزله به علت وجود این نوع ساختمان‌ها بوده‌است.

ساختمان‌های با مصالح بنایی مرکب از دیوارهای آجری و سقف‌های ساخته شده از تیرآهن و طاق ضربی بیشتر در داخل شهرهای زلزله‌زده موجود بوده‌است و این نوع ساختمان‌ها

برحسب نوع ملات و نحوه اجرای کار و کاربرد کلاف بتن‌آرمه و یا عدم اجرای کلاف (و یا اجرای کلاف بتن آرمه با کیفیت ضعیف) واکنش‌های متفاوتی از خود نشان داده‌اند. بطور کلی در این قبیل ساختمان‌ها، در مواردی که کلاف‌بندی ساختمان‌ها به‌خوبی اجرا شده‌است تلفات و خسارات کمتر بوده‌است و در مواردی وجود کلاف بتن آرمه افقی و یا قائم موجب گردیده‌است که ساختمان لااقل از خرابی کامل درامان مانده و سقف آن فرونریزد.

خسارت به ساختمان‌های با اسکلت فلزی عموماً در ناحیه اتصالات تیر و ستون بوده و قسمت عمده خرابی ساختمان‌ها در شهر منجیل، رودبار و رشت ناشی از ضعف اتصالات است. این‌گونه ساختمان‌ها در مواردی که دارای دیوارهای پرکننده کافی و یا دارای بادبندهای ضربدری بوده‌اند باوجود ضعف اتصالات، مقاومت بیشتری در برابر زلزله از خود نشان داده‌اند.

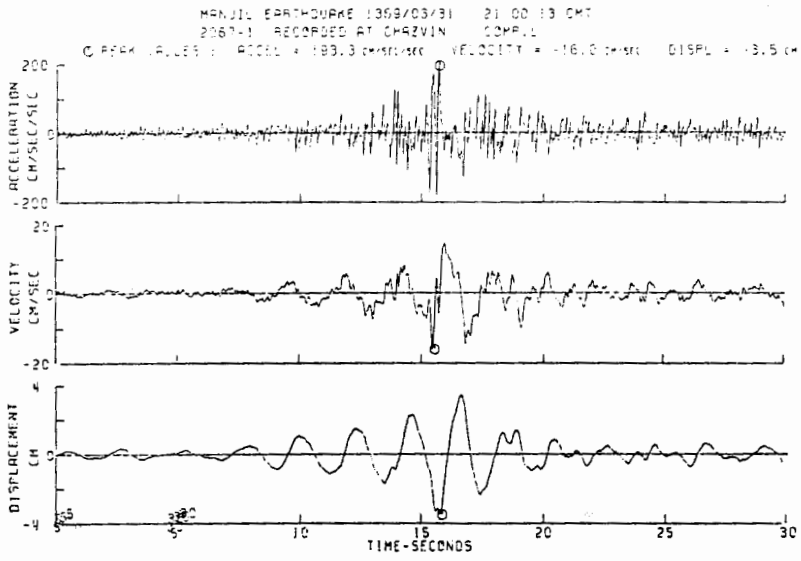
مهمترین ساختمان آجری و آجری مرکب با اسکلت فلزی که در منطقه زلزله‌زده دچار آسیب‌گردید ساختمان بیمارستان یکصد تختخوابی شهرستان رودبار است که علاوه براینکه در زمین سست و مستعد لغزش بنا شده‌بود از نظر اجرایی نیز هم در قسمت آجری و هم در قسمت مختلط دارای این قبیل نقاط ضعف بود و بکلی ویران گردید و در حساسترین موقع که به بهره‌برداری از بیمارستان نیاز بوده‌است به صورت مخروبه درآمد.
ساختمان‌های بتن آرمه متداول در منطقه خصوصاً ساختمان‌هایی که با ستون‌های لاغر و بلند (در طبقه همکف) ساخته شده‌اند نیز در این زلزله امتحان بدی دادند و از علل عمده خرابی این ساختمان‌ها کیفیت نامناسب بتن، عدم تکافوی کامل تنگ‌ها و بالاخره فقدان شکل‌پذیری کافی بوده‌است.

از ابنیه مهمی که زلزله خساراتی به آن وارد ساخت، سد سفیدرود است که در شدیدترین نقطه منطقه زلزله‌زده قرار داشت. این سد از نوع سد پایه‌ای وزنی و دارای ۲۳ پایه است، ارتفاع سد ۱۰۶ متر و عرض پایه‌ها در قسمت زیر ۱۰۰ متر می‌باشد (ضخامت پایه‌های ۵ متر است). براثر زلزله ترک‌های افقی و در مواردی ترک‌های مورب در حوالی محل تلاقی

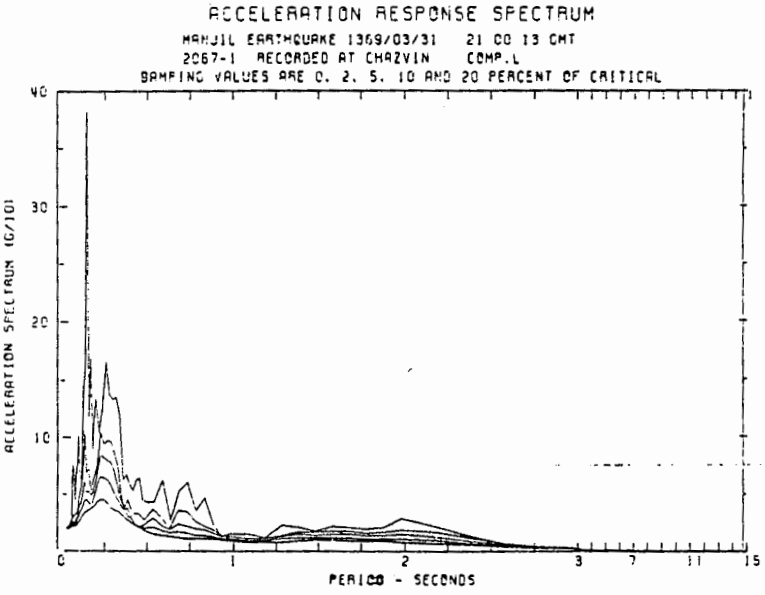
قسمت قائم و شیبدار پایه‌ها که ۱۴ متر زیر تراز بالایی تاج سد است ایجاد شد. همچنین پس از تخلیه دریاچه سد، ملاحظه گردید که ترک‌هایی در ناحیه بالادست در قسمت زیرین دو طرف سد ایجاد شده‌است. خوشبختانه سد سفیدرود با وجود خساراتی که برآن وارد شده‌است پایداری عمومی خود را از دست نداده و قابل مرمت است.

به برج‌های آب بزرگ و مرتفع شهر رشت براثر سیطره پریود بلند زلزله، خساراتی وارد شد و یک برج آب ۱۵۰۰ متر مکعبی با ارتفاع حدود ۴۶ متر بکلی واژگون و خراب گردید و به دو برج دیگر هریک به ظرفیت ۲۵۰۰ متر مکعب و ارتفاع حدود ۵۰ متر که ساختمان آنها اخیراً به پایان رسیده و در هنگام وقوع زلزله خالی و فاقد آب بوده‌اند خساراتی وارد شده‌است. در اینجا از بحث تفصیلی درباره این سازه‌ها خودداری می‌گردد.

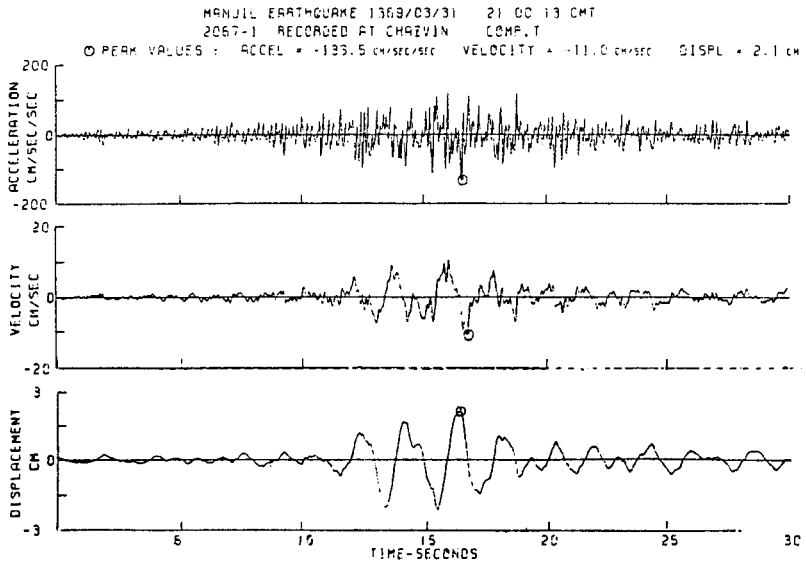
بطور کلی زلزله منجیل خسارات زیادی به ساختمان‌ها و ابنیه فنی و تاسیسات مکانیکی نیروگاه‌ها و غیره وارد آورد که می‌تواند در طرح و اجرای کارهای ساختمانی و عمرانی آتیه آموزنده باشد.



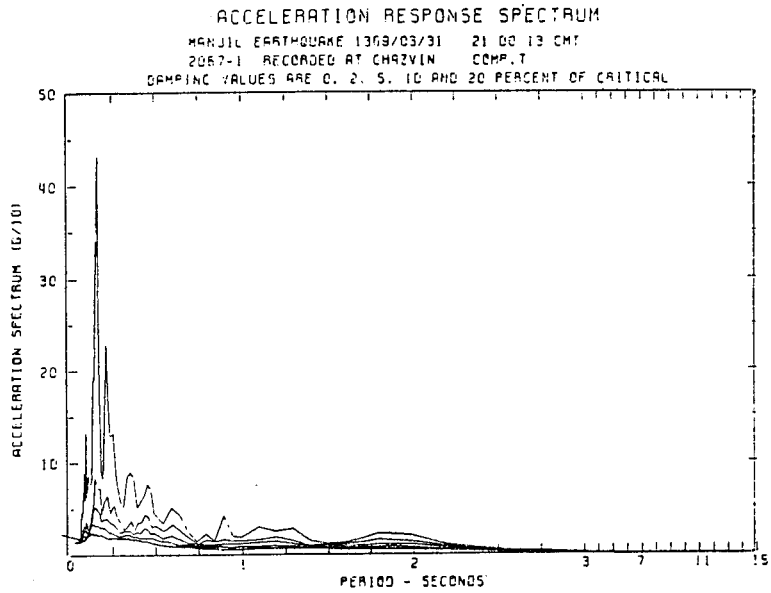
شتاب‌نگاشت افقی زلزله منجیل ثبت شده در قزوین (۷۰ کیلومتری مرکز زلزله) مولفه طولی دستگاه



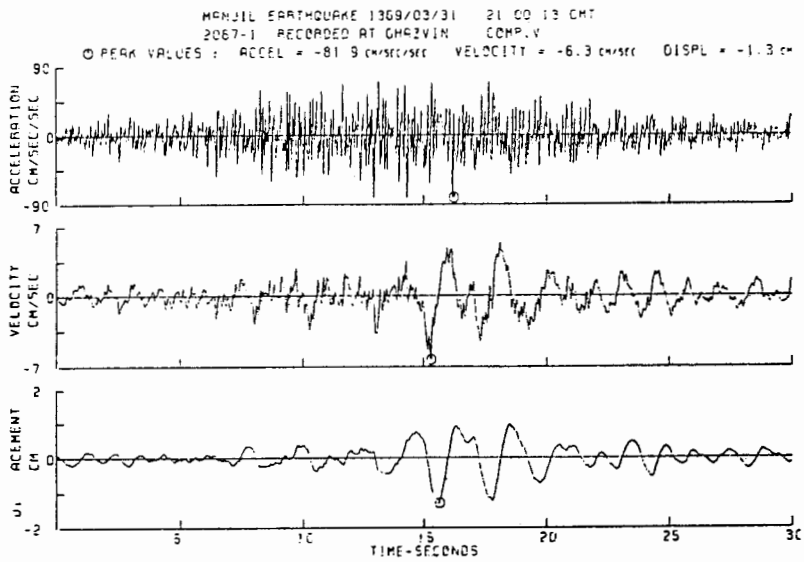
طیف بازتاب شتاب افقی زلزله منجیل محاسبه شده از مولفه طولی شتاب‌نگاشت ثبت شده در قزوین



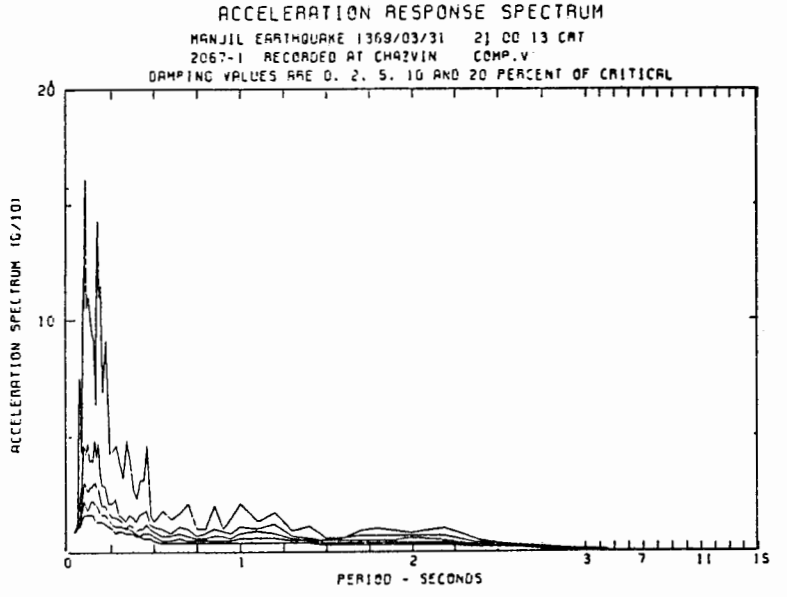
شتاب‌نگاشت افقی زلزله منجیل ثبت شده در قزوین (۷۰ کیلومتری مرکز زلزله) مولفه عرضی دستگاه



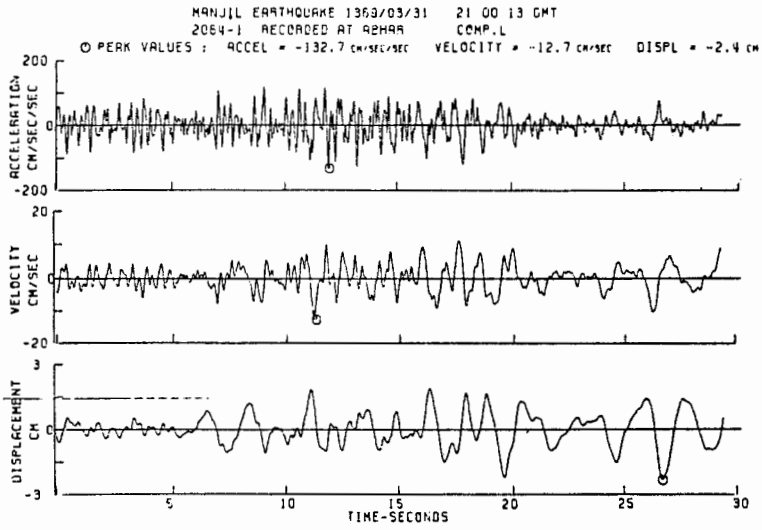
طیف بازتاب شتاب افقی زلزله منجیل محاسبه شده از مولفه عرضی شتاب‌نگاشت ثبت شده در قزوین



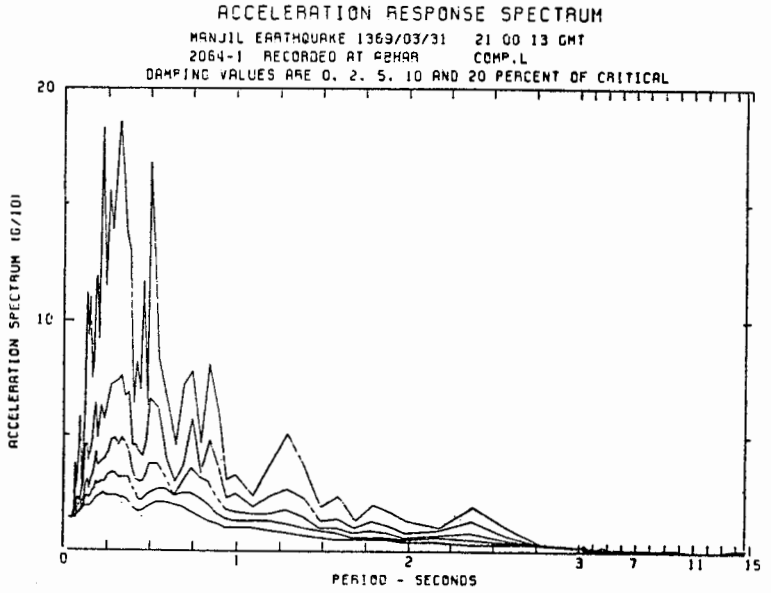
شتاب‌نگاشت قائم زلزله منجیل ثبت شده در قزوین (۷۰ کیلومتری مرکز زلزله) مولفه قائم دستگاه



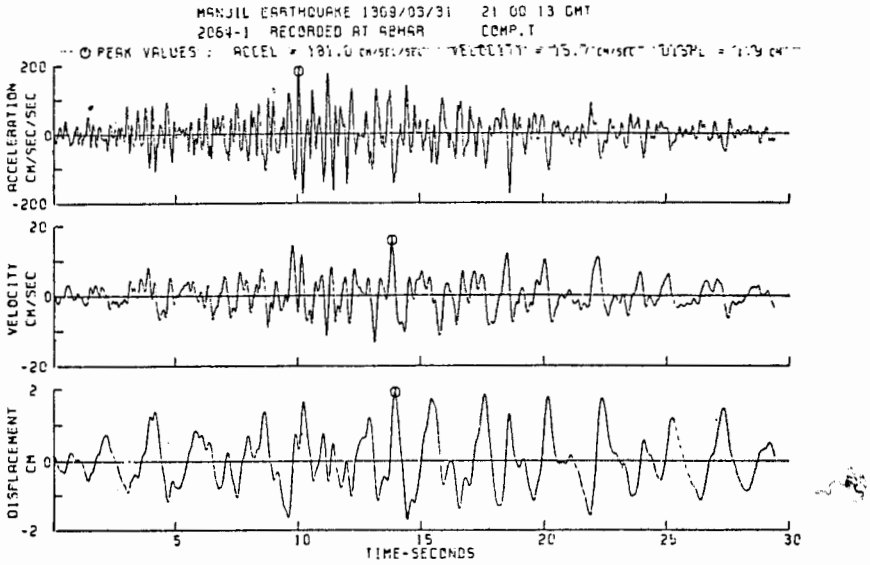
لیف بازتاب شتاب قائم زلزله منجیل محاسبه شده از مولفه قائم شتاب‌نگاشت ثبت شده در قزوین



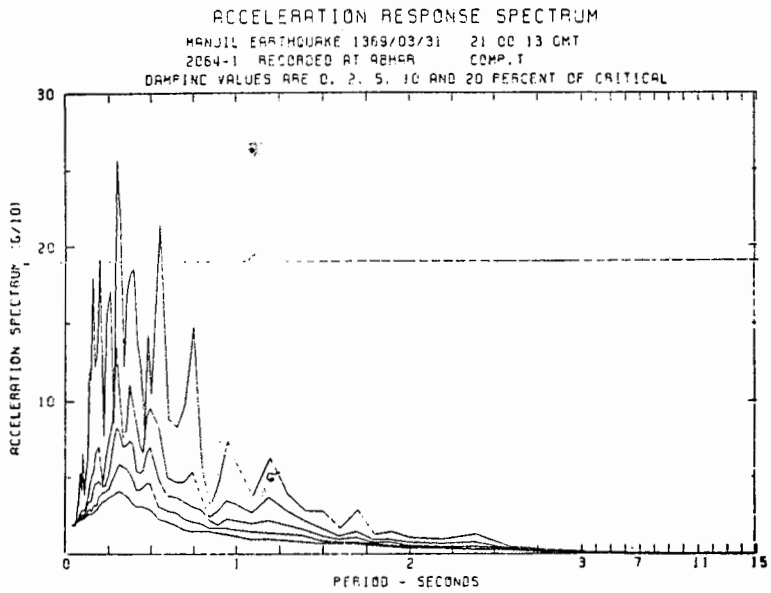
شتاب‌نگاشت افقی زلزله منجیل ثبت شده در ابهر (۶۵ کیلومتری مرکز زلزله) مولفه طولی دستگاه



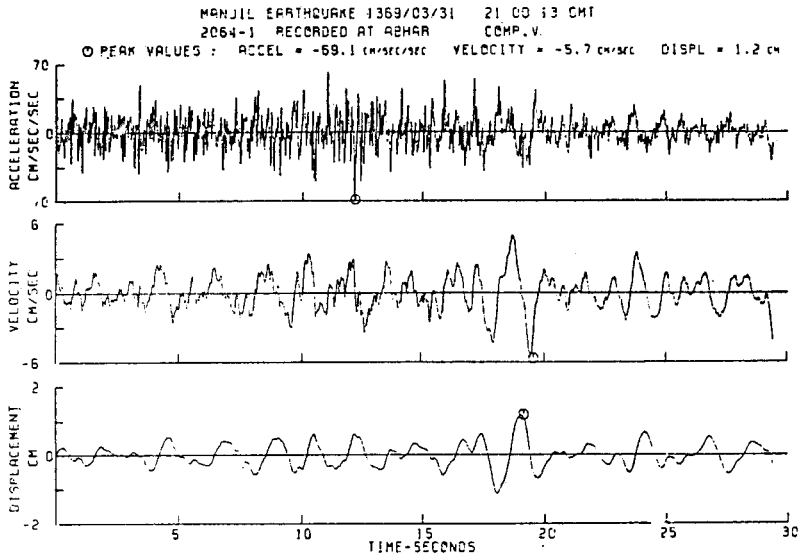
طیف بازتاب شتاب افقی زلزله منجیل محاسبه شده از مولفه طولی شتاب‌نگاشت ثبت شده در ابهر



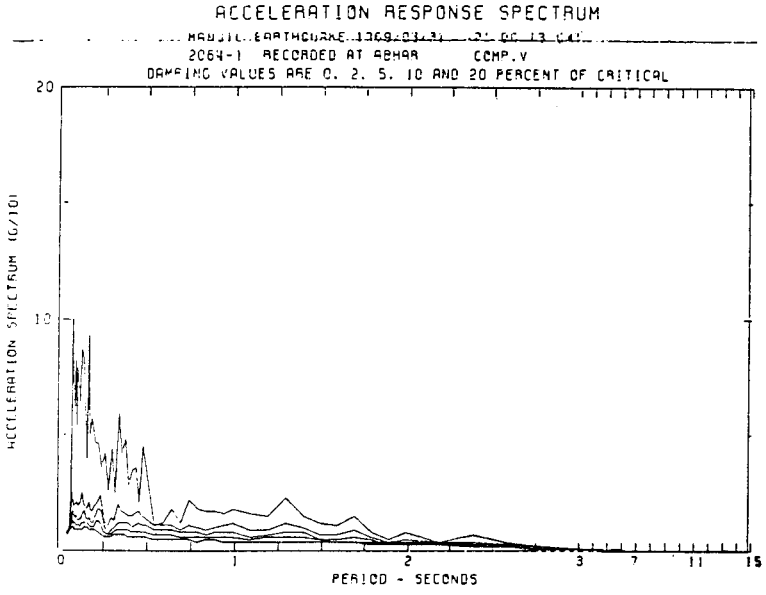
شتاب‌نگاشت افقی زلزله منجیل ثبت شده در ابهر (۶۵ کیلومتری مرکز زلزله) مولفه عرضی دستگاه



طیف بازتاب شتاب افقی زلزله منجیل محاسبه شده از مولفه عرضی شتاب‌نگاشت ثبت شده در ابهر



شتاب‌نگاشت قائم زلزله منجیل ثبت شده در ابهر (۶۵ کیلومتری مرکز زلزله) مولفه قائم دستگاه



طیف بازتاب شتاب قائم زلزله منجیل محاسبه شده از مولفه قائم شتاب‌نگاشت ثبت شده در ابهر

درس‌هایی از زلزله منجیل*

دکتر مهدی قالیبافیان

امروز من درباره "درس‌هایی که می‌توان از زلزله منجیل آموخت" صحبت خواهم کرد. این مطالب بطور عمده در "سمینار آزاد زلزله" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و سپس در "گردهمایی بررسی زلزله گیلان و زنجان" در دانشگاه گیلان عنوان شده‌اند ولی هر بار بدون تغییر کلیات، جزییات آن دقیق‌تر و با اطلاعات دیگری که طی مسافرت‌های بعدی به منطقه جمع‌آوری گردیده‌اند، تکمیل شده‌اند. البته من سعی خواهم کرد حتی‌المقدور از تکرار مطالب خودداری کنم ولی این موارد به دلیل فراگیر بودن و نقش تعیین کننده‌شان در تامین ایمنی و حفاظت فضاهای زیست و کار انسان در مقابل زلزله، ارزش تکرار مکرر را دارند. با این مقدمه و به منظور صرفه‌جویی در وقت وارد اصل مطلب می‌شوم.

درس اول

اولین درسی که از زلزله منجیل می‌توان آموخت و باید آموخت، ضرورت درس گرفتن است. می‌گویند:

هرکه ناموخت از گزند روزگار　　هیچ ناموزد ز هیچ آموزگار

متاسفانه بررسی گذشته امر در کشورمان نشان می‌دهد که نیاموختن و عبرت نگرفتن در

---

* مجموعه مقالات سمینار مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی. شهرداری تبریز و دانشگاه تبریز، ۹ و ۱۰ آبان ماه ۱۳۶۹

مورد ما مصداق کامل دارد. هرچند صباح یک بار در گوشه و کنار مملکت زلزله‌ای رخ می‌دهد، فضاهای زیست و کار را ویران می‌کند؛ کار، زندگی و تولید مختل می‌شوند و ما گناه را به گردن زلزله می‌اندازیم و از روی ماجرا می‌گذریم و نمی‌آموزیم که حدوث زلزله هم مانند باریدن برف در زمستان امری کاملاً طبیعی است و همان طورکه سقف خانه یا کارخانه را در مقابل بار برف محاسبه می‌کنیم باید سازه‌های فضاهای زیست و کار را برای پایداری در مقابل نیروهای جانبی ناشی از زلزله طرح و محاسبه نماییم و اگر چنین کردیم دست یافتن به ساختمان‌های امن برای حفاظت زندگی، کار و تولید مشکل نخواهد بود. وجود سازه‌هایی که بالنسبه خوب طرح و اجرا شده و توانسته‌اند این زلزله بزرگ را با حداقل لطمات تحمل نمایند، نظیر ساختمان‌های خط تولید کارخانه سیمان خزر، شاهد این مدعا است.

درس دوم

درس دوم، اگر از کل شروع کرده و به جز برسیم، اثر نوع و توپوگرافی ساختگاه ساختمان‌ها در پایداری آنها در مقابل زلزله است. زمین، که زادگاه و آرامگاه ما است، در همه جا دارای جنس، شکل و کیفیت یکسان نیست. تجارب و مشاهدات نشان می‌دهند که همه این عوامل در پایداری ساختمان‌ها در مقابل زلزله موثرند:

- ساختمان‌های ساخته شده بر روی زمین‌های مقاوم آسیب پذیری کمتری نسبت به ساختمان‌های ساخته شده بر روی زمین‌های سست دارند.
- خاک‌های دستی، حتی اگر طبق مشخصات ریخته و کوبیده شده باشند، نسبت به خاک‌های بکر مشابه آسیب پذیرترند و در اثر لرزش‌های ناشی از زلزله بیشتر نشست می‌کنند و باعث صدمه دیدن مستحدثات موجود بر روی خود می‌شوند.
- ساختمان‌هایی که در مکان‌های گود، در پای دیواره خاکبرداری‌ها یا شیروانی خاکریزها ساخته می‌شوند، آسیب‌پذیری کمتری دارند.

این پدیده نخستین بار در زلزله ۵ فروردین ۱۳۶۲ بایجان توجه مرا جلب کرد. در موقع این زلزله من در چند ده متری قرارگاه پلیس راه بایجان بودم. سازه این ساختمان، که در بالادست پل بایجان در کنار جاده هراز و تقریباً در رقوم عرشه پل ساخته شده است، متشکل از

قاب‌های فولادی شیب‌دار و دیوارهای ساختمان مزبور آجری است. گوشه این ساختمان در اثر لرزش‌های زمین فرو ریخت ولی به ساختمانی سنتی که در پایین دست پل و اندکی بالاتر از رقوم کف رودخانه، در پای خاکریز جاده ساخته شده بود، آسیبی وارد نیامد. خاطره این مشاهده برای من باقی ماند و در زلزله منجیل شبیه این حالت را در شهرک کارکنان نیروگاه لوشان در هرزویل (شهرک بستان) و در پایین دست سد سفیدرود، در نزدیکی پل فلزی مشاهده کردم و به نظر من این پدیده، پدیده‌ای است که نیاز به مطالعه و بررسی بیشتری دارد.

درس سوم

گذشته از شکل ساختگاه بنا، شکل خود بنا و تقارن هندسی و مکانیکی آن نیز نقش اساسی در تامین پایداری ساختمان در مقابل زلزله دارند. هرچه ساختمان از حالت متقارن بیشتر خارج شده و از حالت مکعب مستطیل، منشور و استوانه دورتر شود، در موقع زلزله در معرض لطمات بیشتری قرار دارد. به عبارت دیگر باید توازن هندسی و مکانیکی ساختمان‌ها به عنوان یکی از شاخص‌های اصالت و تناسب طرح برای مقاومت در برابر زلزله در نظر گرفته شود. در واقع تناسب ابعاد، تقارن نسبی در پلان، سادگی و نظم عمومی چه در پلان و چه در ارتفاع (بطوری که حجم عمومی بنا حتی‌المقدور به مکعب مستطیل، منشور یا استوانه نزدیکتر باشد)، توزیع متناسب جرم در طبقات و در سطح هر طبقه و بالاخره توزیع هرچه بیشتر و در عین حال متناسب و بالنسبه متقارن عناصر مقاوم در ساختمان، عواملی هستند که بیشترین نقش را در تامین توازن هندسی و مکانیکی ساختمان دارا می‌باشند.

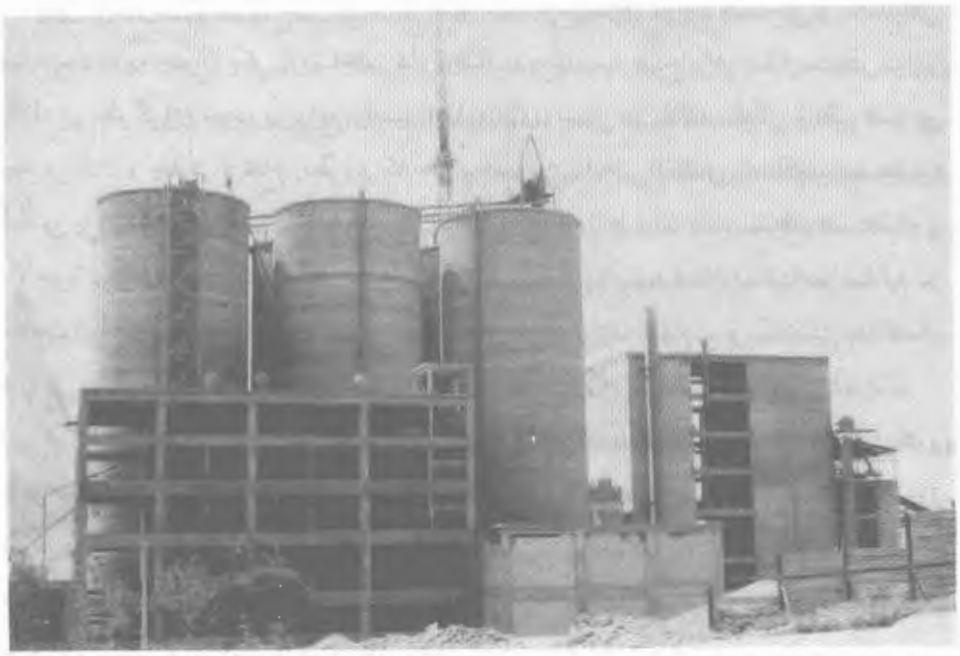
این عوامل در مجموع باعث می‌شوند که مرکز جرم و مرکز سختی ساختمان به هم نزدیک و یا برهم منطبق گردند و به این ترتیب از تمایل سازه به پیچش حول محور قائم و بروز تلاش‌های ثانوی مخرب در اجزای باربر آن جلوگیری می‌شود.

مشاهدات نشان می‌دهند در ساختمان‌هایی که راه پله حالت نامتقارن داشته و پوشش آن از حجم کلی بنا بیرون زده بود، همان طور که در تصاویر شماره ۱ تا ۷ دیده می‌شود، ستون‌ها و تیرهای پوشش مزبور در اثر زلزله آسیب جدّی دیده‌اند در حالی که به قسمت‌های دیگر

ساختمان آسیب قابل ملاحظه‌ای وارد نیامده است. به علاوه در تمام این موارد لطمات وارد به ستون واقع در گوشه بیرونی از همه کمتر و آسیب دیدگی ستون واقع در گوشه داخلی از همه بیشتر بوده است.

درس چهارم

بخش عمده خسارات جانی در منطقه زلزله زده مربوط به ساختمان‌های سنتی روستایی و خشت و گلی است. این واقعیتی است که هنوز عده زیادی از هموطنان ما در ساختمان‌های سنتی سکنی دارند و نه در حال حاضر و نه در آینده‌ای نزدیک امکان منع احداث این نوع سرپناه‌ها وجود ندارد. این واقعیت ایجاب می‌نماید که برای تامین ایمنی نسبی این ساختمان‌ها و تقلیل میزان مرگ و میر ناشی از اثر زلزله در این سرپناه‌ها، ضوابطی تدوین و از طریق دادن آموزش‌های لازم و احتمالاً کمک‌های فنی و مالی، به موقع اجرا گذاشته شوند.



تصویر شماره ۱ـ ساختمان بسته‌بندی کارخانه سیمان خزر و موقعیت پله آسیب دیده آن

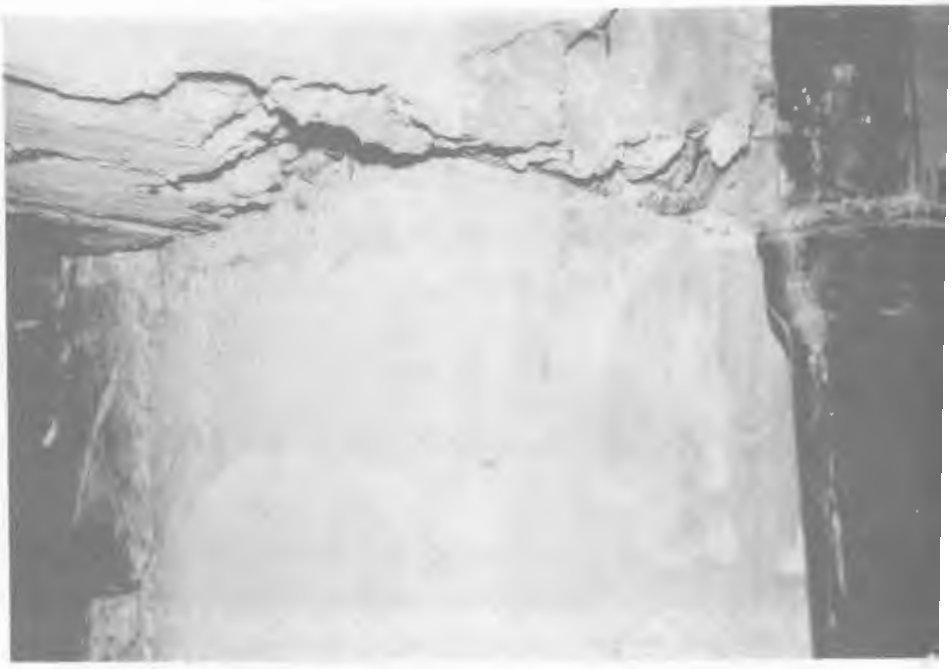
تصویر شماره ۲ـ پوشش راه پله ساختمان بسته‌بندی

تصویر شماره ۳ـ گره فوقانی ستون گوشه داخلی راه پله

تصویر شماره ۴ـ دید دیگری از گره فوقانی ستون گوشه داخلی راه‌پله

تصویر شماره ۵ـ گره فوقانی ستون کناری راه‌پله

تصویر شماره ۶ـ گره تحتانی ستون کناری راه‌پله ـ قطعه چوب در سطح واریز دیده می‌شود



تصویر شماره ۷ـ گره فوقانی ستون کناری پله ساختمان اداری سیمان خزر

درس پنجم

از دیدگاه میزان تلفات جانی، ساختمان‌های با مصالح بنایی در رده دوم پس از ساختمان‌های روستایی قرار دارند، هر چند که لطمات مالی مربوط به آنها بیش از ساختمان‌های سنتی به نظر می‌رسد.

در این ساختمان‌ها، ترک خوردگی از گوشه‌های دیوارها و کنار بازشوها شروع شده و هرچه به مناطق شدت‌های بیشتر زلزله نزدیکتر می‌شویم عرض ترک‌ها بیشتر می‌شود و بالاخره با از دست رفتن انسجام و یکپارچگی دیوارها و پوشش، ساختمان شروع به فروریختن می‌کند.

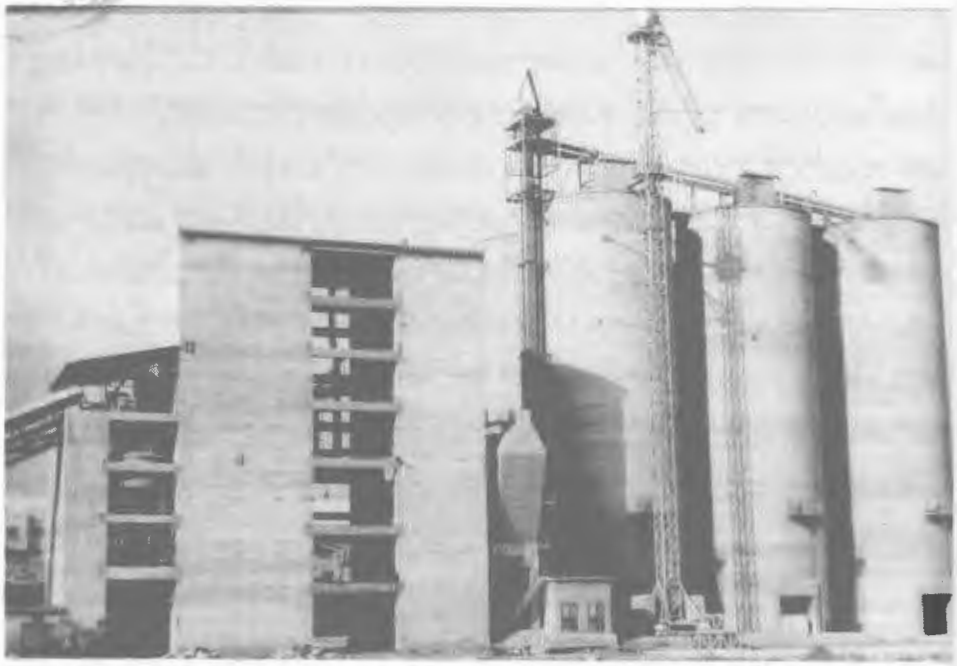
مشاهدات نشان می‌دهند که هر پیوندی در نقاط فوق وجود داشته، در جذب و استهلاک نیروی زلزله مشارکت کرده و مانع خرابی شده و یا لااقل خرابی را به تاخیر انداخته است. این امر موید نقش تعیین کننده کلاف‌ها در ایمنی ساختمان‌های با مصالح بنایی در برابر زلزله است.

در این مورد بدنیست از همکار آرماتوربندی یاد کنیم که منزل مسکونی‌اش در رستم‌آباد می‌باشد و به محض شنیدن خبر زلزله، از کارگاهی واقع در جنوب خراسان خود را به منطقه می‌رساند و مشاهده می‌کند که علی‌رغم آسیب دیدن شدید بنا، کلاف‌های قائم و افقی که به ابتکار خود تعبیه کرده بوده، از فروریختن سقف جلوگیری کرده‌اند و لذا آسیبی به افراد خانواده‌اش نرسیده و اتومبیلش نیز در زیر سقف سالم مانده است.

درس ششم

ساختمان های بتن آرمه اگر بد طرح و اجرا شده باشند فرو می‌ریزند ولی اگر با رعایت اصول طراحی شده و خوب اجرا شده باشند، عملکرد بسیار خوبی در مقابل زلزله دارند و از این نقطه نظر ساختمان‌های بتن آرمه با دیوارهای برشی در رده اول‌اند. تصاویر شماره ۸ و ۹ تعدادی از ساختمان‌های خط تولید کارخانه سیمان خزر را پس از زلزله نشان می‌دهند. به این ساختمان‌ها جز لطمات محدود و موضعی، آسیب دیگری وارد نشده است.

تردیدی نیست که هرچه سازه ساختمان ریزیدتر باشد، در موقع زلزله درصد بیشتری ا



تصویر شماره ۸ـ آسیاب سیمان و سیلوهای سیمان کارخانه سیمان خزر پس از زلزله

تصویرشماره ۹ـ سیلوهای همگن‌ساز، پیش‌گرمکن ، کوره و تعداد دیگری از ساختمان‌های خط تولید کارخانه سیمان خزر پس از راه اندازی بعد از زلزله

شتاب زمین را خواهد گرفت و نیروهای جانبی بیشتری بر آن اثر خواهند کرد. برعکس هرچه سازه ساختمان انعطاف‌پذیرتر باشد، درصد کمتری از شتاب زمین را می‌گیرد و نیروهای اینرسی کمتری در آن ایجاد می‌شوند. ولی تجربه نشان می‌دهد که علی‌رغم این واقعیت، خرابی ناشی از زلزله در ساختمان‌های دارای سازه ریژیدتر کمتر است و لطمات وارد بر دیوارها، اعم از پرکننده، که در جذب و استهلاک نیروهای زلزله با سازه اصلی همکاری می‌کنند، یا تیغه‌های جداگر که سبک‌تر بوده و با سازه همکاری ندارند، کمترند. همچنین سایر ملحقات و تجهیزات نصب شده در ساختمان‌های ریژیدتر و لوله‌کشی‌های این ساختمان‌ها لطمات کمتری می‌بینند و احتمال اینکه تغییرمکان‌های جانبی در این ساختمان‌ها از حدی بیشتر شده و مشکل ایجاد نمایند، کمتر است. اما در ساختمان‌های انعطاف‌پذیرتر:

- دیوارهای پرکننده زودتر ترک خورده و گوشه‌های آنها زودتر خرد می‌شوند،
- دیوارهای سبک و تیغه‌های جداگر زودتر در هم می‌شکنند،
- به دلیل تغییر مکان‌های جانبی بزرگتر، ترک خوردگی‌ها، شدیدترند و تجهیزات و ملحقات بیشتر آسیب می‌بینند،
- لوله‌کشی‌های آب و فاضلاب زودتر آب بندی خود را از دست می‌دهند،
- بالاخره احتمال به هم خوردن هندسه ساختمان در اثر برون محوری ناشی از تغییر مکان جانبی و بروز پدیده کمانش (اثر $P-\delta$) بیشتر است. به عبارت دیگر، حرکت جانبی بیش از حد سازه و اجزای سازه‌ای موجب وارد آمدن لطمات جدی به اجزای غیر سازه‌ای ولی گران قیمت ساختمان می‌شود.

یادآوری این نکته ضروری است که نباید دو مفهوم "شکل‌پذیری" و "انعطاف‌پذیری" یکی تلقی شوند. در واقع شکل‌پذیری[1] به مفهوم قابلیت خمیری شدن مقاطع و تغییر شکل یافتن بدون ایجاد گسیختگی ترد در مقابل مفهوم تردشکنی[2] و انعطاف‌پذیری[3] به مفهوم قابلیت تغییرشکل یافتن اجزا سازه‌ای یا کل یک سازه در مقابل مفهوم صلبیت[4] است.

1- Ductility
2- Brittleness
3- Flexibility
4- Rigidity

آنچه در بالا در مورد واکنش ساختمان‌ها در برابر زلزله گفته شد مربوط به مفهوم انعطاف‌پذیری است و ارتباطی با شکل‌پذیری که مقوله دیگری است، ندارد.
نقطه ضعف فراگیر سازه‌های بتنی و بتن‌آرمه سطوح واریزند. در این سطوح، بتن قبلی و بعدی خوب به هم نپیوسته و به ازای تنش‌های کششی، کمی از هم جدا می‌شوند. تاسف‌بارترین نمونه این نارسایی‌ها را در سد سفیدرود می‌توان ملاحظه نمود.

درس هفتم

سازه‌های فولادی، مشروط بر این که خوب طرح، محاسبه و اجرا شده باشند، بویژه سازه‌های دارای بادبند، عملکرد خوبی در مقابل زلزله دارند ولی رفتار بادبندهای مختلف باهم یکسان نیست و بادبندهای متشکل از میلگرد و بست دو پیچه (بست قورباغه‌ای) آسیب پذیرترین نوع بادبندها هستند. معذلک این نوع بادبند، به دلیل سادگی و قابلیت نصب سریع، برای مواردی که بخواهیم بادبند نظیر "فیوز" عمل کرده، یعنی در موقع زلزله تغییر شکل خمیری یافته، درهم شکسته و نیروی زلزله را جذب و مستهلک نماید و بلافاصله پس از زلزله تعویض گردد، مناسب ترین انواع می‌باشد.
نقطه ضعف اصلی و فراگیر سازه‌های فولادی و حتی بالاتر از یک نقطه ضعف متعارف، "چشم اسفندیار" آنها "اتصالات" است. نارسایی‌های اتصالات سازه‌های فولادی از دو منشا سرچشمه می‌گیرند:

- طراحی نامناسب، که بطور عمده لنگرگیر محسوب داشتن اتصالاتی نظیر اتصالات خورجینی است که چنین نقشی را نمی‌توانند بطور کامل ایفا کنند.
- اجرای نامناسب، که بطور عمده به کیفیت نازل جوش مربوط می‌شود.

تصویر شماره ۱۰ یک اتصال خورجینی آسیب دیده را در یک ساختمان چهار طبقه واقع در لوشان نشان می‌دهد.

درس هشتم

نشیمنگاه سازه فولادی روی شالوده بتنی یکی از نقاط حساس سازه‌ها است. در صورتی که ابعاد صفحه زیرسری سازه فولادی و تکیه‌گاه بتنی که صفحه مزبور روی آن می‌نشیند

نزدیک به هم باشند و یا به هر دلیل دیگر لبه صفحه زیرسری در نزدیکی لبه بتن استقرار یافته باشد، در موقع زلزله، که در اثر تلاش‌های ناشی از زلزله، تنش در زیر لبه صفحه مزبور افزایش می‌یابد، بویژه وقتی که صفحه زیر سری تحت اثر توام لنگر و نیروی عمودی قرار گرفته باشد، لبه بتن ورقه ورقه شده و می‌ریزد و به اصطلاح لب‌پر می‌شود.

درس نهم

شرایط همجواری ساختمان‌ها، یعنی چگونگی جدایی آنها از یکدیگر یا اتکای ساختمان‌های مجاور به یکدیگر، از لحاظ مقاومت آنها در برابر زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نظر به اینکه زمان تناوب‌های نوسان‌های طبیعی ساختمان‌ها با یکدیگر متفاوتند، علی‌رغم اینکه ساختمان‌های همجوار در آغاز زلزله با هم شروع به نوسان می‌نمایند، همسویی حرکت آنها لحظه‌ای بیش نمی‌پاید و بلافاصله حرکات ساختمان ها ناهماهنگ می‌شوند. این ناهماهنگی سبب می‌شود که ساختمان‌های مجاور در لحظاتی در خلاف جهت هم حرکت نمایند. در این حالت اگر ساختمان‌ها کاملاً از یکدیگر جدا شده باشند، در صورتی که امتداد حرکت آنها موازی صفحه جدایی‌شان باشد، یا در حالتی که امتداد حرکت عمود بر صفحه جدایی و فاصله بین دو ساختمان به اندازهٔ کافی باشد، مشکلی پیش نمی‌آید ولی اگر امتداد حرکت عمود بر صفحه جدایی و فاصله بین دو ساختمان کم باشد، ساختمان‌ها به هم "تنه می‌زنند" و باعث بروز خرابی می‌شوند. به عنوان نمونه، تصویر شماره ۱۱ ستون آسیب دیده ساختمان بسته‌بندی سیمان خزر را در اثر تنه زدن ساختمان بارگیرخانه نشان می‌دهد.

در صورتی که ساختمان‌های همجوار در فصل مشترک خود به نحوی با یکدیگر پیوند داشته باشند حرکات ناهماهنگ آنها در موقع زلزله چه در امتداد موازی با صفحه جدایی و چه در امتداد عمود بر آن، باعث درهم شکستن پیوندها می‌گردد.

در تصاویر شماره ۱۲ و ۱۳ برج پله فولادی مستقر بر روی ساختمان بتن آرمه بسته‌بندی کارخانه سیمان خزر در مجاورت سیلوهای سیمان، که علی‌رغم جدا بودن دو ساختمان بتن آرمه به سیلو بسته شده است و لطمات وارد به برج و محل اتکای آن بر روی ساختمان بسته بندی و بر روی سیلو دیده می‌شوند. همچنین تصویر شماره ۱۴ خرد شدن محل اتکای

راهروی بین دو سیلوی سیمان بر روی سقف سیلو و تصویر شماره ۱۵ خرد شدن ستون بتن آرمه سالن توربین‌های نیروگاه لوشان را در محل اتکای سازه فولادی دیگخانه بر روی آن نشان می‌دهند.

البته در مواردی که وجود پیوند بین دو سازه در شرایط متعارف ضروری است، می‌توان عالماً و عامداً پیوندها را چنان سازمان داد که رفتار "فیوزی" داشته باشند، به این معنی که در موقع زلزله آسیب دیده و پس از زلزله به آسانی قابل تعویض باشند.

تصویر شماره ۱۶ فک نصب شده روی سازه آویخته دیگ بخار نیروگاه لوشان و ضامن متصل به سازه محیطی آن را نشان می‌دهد که در موقع زلزله آسیب دیده است. این ضامن، که وجودش در شرایط متعارف بهره‌برداری برای ممانعت از حرکت سازه آویخته در امتداد جان نیمرخ I و تامین امکان انقباض و انبساط آزاد آن در امتداد عمود بر صفحه جان در اثر تغییر دما مورد نیاز می‌باشد، باید تعویض گردد.

درس دهم

دیوارها، که می‌توان آنها را عام‌ترین ملحقات ساختمان‌های دارای قاب باربر تلقی کرد، آسیب‌پذیرترین اجزای بناها هستند. این دیوارها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- دیوارهای جداگر که در خارج از صفحه قاب‌ها قرار داشته و در جذب و استهلاک نیروهای زلزله مشارکت عمده‌ای ندارند.
- دیواره‌های پرکننده که در صفحه قاب‌ها قرار داشته و علاوه بر محصور یا جدا کردن فضاها، به نحوی موثر در جذب و استهلاک نیروهای زلزله با قاب‌ها همکاری می‌نمایند.

دیوارهای نوع اول در اثر تغییر شکل‌های جانبی ناشی از زلزله، نظیر دیوارهای ساختمان‌های با مصالح بنایی، در گوشه‌ها و کنار بازشوها آسیب می‌بینند. تصاویر شماره ۱۷ و ۱۸ دو نمونه از خرابی گوشه این نوع دیوار را نشان می‌دهند.

تصویر شماره ۱۰ـ یک اتصال خورجینی
در کنار پله مهمانسرای سیمان خزر

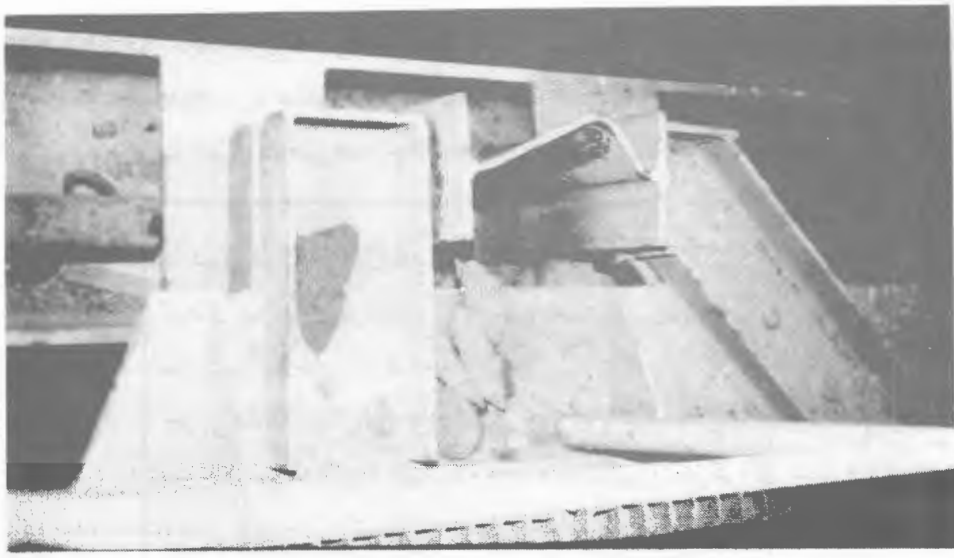
تصویر شماره ۱۱ـ آسیب دیدن ستون
ساختمان بسته‌بندی در اثر تنه‌زدن
ساختمان بارگیرخانه

تصویر شماره ۱۲ـ سیلوهای سیمان، ساختمان بارگیرخانه و موقعیت برج پله فلزی آسیب دیده

تصویر شماره ۱۳ـ آسیب دیدن محل
اتکای پله روی‌بدنه سیلو و پای‌بست
بتنی ـ کمانه‌کردن و بریدن
بادبند ضربدری

تصویرشماره ۱۴ـ آسیب‌دیدن و خردشدن بتن در محل اتکای تیرفلزی راهروی بین دوسیلوی سیمان

تصویر شماره ۱۵ـ آسیب دیدن و خرد شدن بتن در محل اتکای سازه فولادی ساختمان دیگ‌بخار روی سازه‌بتن‌آرمه سالن توربین‌ها در نیروگاه لوشان



تصویر شماره ۱۶ـ نک و ضامن آسیب دیده در محل اتکای سازه آویخته دیگ بخار روی سازه محیطی در نیروگاه لوشان

تصویر شماره ۱۷ـ آسیب دیدن گوشه آزاد دیوار در مهمانسرای سیمان خزر

انواع خرابی‌های دیوارهایی که در داخل چشمه‌های قاب‌ها اجرا شده و با قاب‌ها در جذب و استهلاک نیروهای زلزله مشارکت می‌نمایند به شرح زیرند:

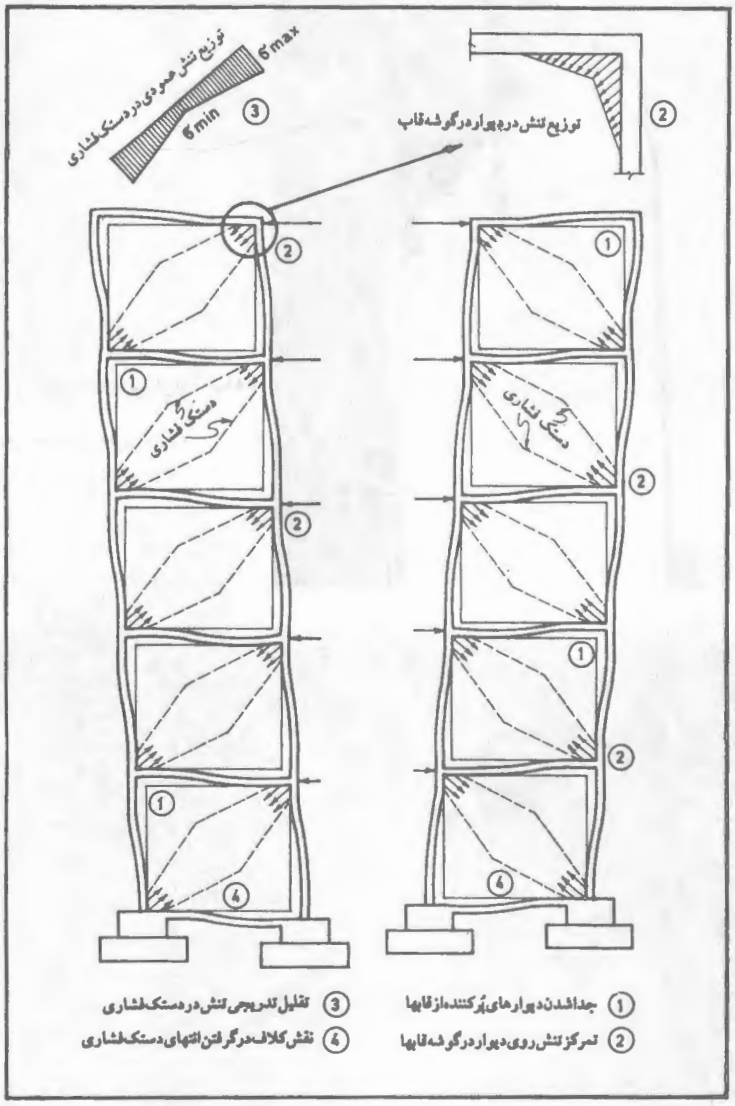
- پدیدار شدن ترک در مرز اضلاع قاب و دیوار بویژه در بالای دیوار و جدا شدن دیوار از قاب
- خرد شدن دیوار در گوشه‌های قاب
- ایجاد ترک‌های ضربدری در دیوار
- پرتاب شدن دیوار به خارج از صفحه قاب

سه نوع اول این خرابی‌ها، که در اثر نیروهای جانبی موازی با صفحه دیوار به وجود می‌آیند، با عملکرد بادبندگونه مجموعه قاب و دیوار، که مدل محاسباتی آن در کروکی شماره ۱ نشان داده شده است، قابل توجیه می‌باشند. نوع چهارم خرابی در اثر نیروهای جانبی عمود بر صفحه دیوار حادث می‌شود.

در اثر حرکت جانبی قاب، چشمه‌های آن، که در حالت سکون به شکل مربع مستطیل می‌باشند، می‌خواهند به شکل متوازی الاضلاع در آیند و در نتیجه یکی از قطرهای هر مربع مستطیل می‌خواهد کوتاه شود در حالی که قطر دیگرش می‌خواهد بلندتر گردد. در اثر این تغییرات، دیواری که در داخل چشمه قاب محصور است، در امتداد یک قطر فشرده شده و در امتداد قطر دیگر کشیده می‌شود. فشار قطری باعث خرد شدن گوشه‌ها گشته و کشش قطری به ایجاد ترک مورب منجر می‌گردد و در نتیجه تغییر جهت متناوب نیروهای زلزله، دیوار در هر چهار گوشه خرد شده و در امتداد هر دو قطر ترک می‌خورد. در صورتی که دیوار از مصالح ترد نظیر آجر سفالی مجوف ساخته شده باشد، ممکن است خرد شدن آن در گوشه‌های قاب حتی انفجاری و سته ه قطعات حاصل از ترکیدن و پاشیدن این مصالح خطرناک باشند. (به توجه به این نکته در برخی کشورها، ساختن دیوارهای پرکننده را با آجر سفالی مجوف ممنوع کرده‌اند).

در تصاویر شماره ۱۹ تا ۲۲ نمونه‌هایی از خرابی دیوارهای پرکننده ملاحظه می‌شوند. باید توجه داشت که سختی دیوارهای پرکننده در مقام مقایسه با سختی قاب‌های باربر زیاد است و این دیوارها به نحوی موثر با قاب‌ها در تحمل نیروهای جانبی مشارکت می‌نمایند، ولی میزان مشارکت آنها به پارامترهای متعددی بستگی دا شته و با شناختی که تا به امروز در این

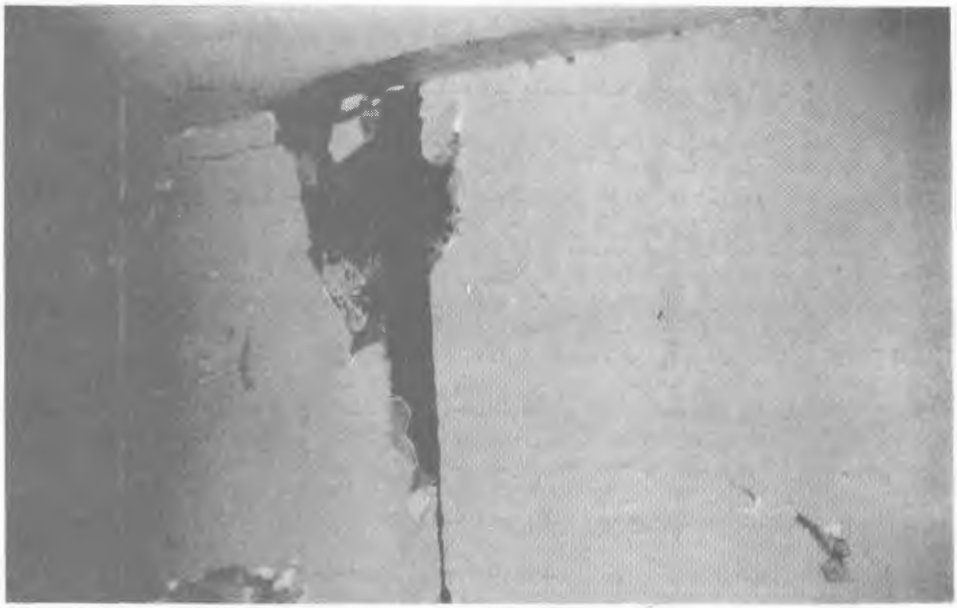
زمینه وجود دارد، به سادگی قابل ارزیابی دقیق نیست. گذشته از آن، خرد شدن دیوارهای پرکننده در اثر تغییر شکل‌های جانبی قاب، می‌تواند باعث تقلیل ناگهانی سختی مجموعه و افزایش سریع تغییرمکان‌های جانبی گشته و حتی به خرابی منجر شود.



کروکی شماره ۱

تصویر شماره ۱۸ـ آسیب دیدن تیغه‌ها
در مهمانسرای سیمان خزر

تصویر شماره ۱۹ـ ترک خوردن دیوار و آغاز خرد شدن آن در گوشهٔ قاب در مهمانسرای سیمان‌خزر



تصویر شماره ۲۰ـ خرد شدن دیوار در گوشه قاب در مهمانسرای سیمان خزر

تصویر شماره ۲۱ـ خرد شدن دیوار در گوشه قاب در مهمانسرای سیمان خزر

در مواردی که قاب‌ها لنگرگیر نیستند یا ظرفیت لنگرگیری آنها کم است، به عبارت دیگر وقتی که اتصال اضلاع قاب به یکدیگر ساده و یا مانند اتصال خورجینی نیم گیردار است و در نتیجه قابلیت جابجایی طبقات نسبت به هم زیاد می‌باشد، اختلاف بین سختی قاب‌ها و سختی دیوارهای پرکننده بسیار زیاد بوده و احتمال بروز خرابی در اثر خرد شدن دیوارهای مزبور قابل اغماض نیست. بویژه وقتی که دیوارها از مصالح ترد ساخته شده باشند ضربه ناشی از فروپاشیدن انفجاری آنها می‌تواند حادثه آفرین باشد. ولی اگر تمهیداتی قایل شویم که دیوارها پس از ترک خوردن از چشمه قاب خارج نشده و فرو نریزند، بقایای آنها در تقلیل تغییرمکان‌های جانبی موثر خواهند بود و احتمال خرابی تقلیل خواهد یافت.

برعکس در ساختمان‌های دارای دیوار برشی بتن آرمه، سختی دیوارهای برشگیر قابل توجه و قابل قیاس با سختی دیوارهای پرکننده می‌باشد و با عنایت به اینکه تغییر مکان‌های جانبی این نوع ساختمان‌ها هم معمولاً کوچکند، احتمال خرد شدن و فروریختن دیوارها و تیغه‌های پرکننده بسیار کم است.

درس یازدهم

در ساختمان‌های صنعتی اگر تجهیزات و ماشین‌آلات، که ملحقات اصلی ساختمان را تشکیل می‌دهند، به نحوی مناسب در محل خود تثبیت نشده باشند، در اثر نیروهای زلزله از جای خود حرکت کرده و از تنظیم خارج می‌گردند و تولید متوقف می‌شود. مشاهدات در منطقه زلزله‌زده حاکی از آن است که اغلب پایه‌ها، بست‌ها، ادوات تثبیت ماشین‌آلات بر روی شالوده‌ها یا پوشش طبقات، مهار ورق‌های فولادی که به منظور بستن تجهیزات در بتن کارگذاشته شده‌اند، پلاتفرم‌ها و ملحقاتی که روی ماشین‌آلات تکیه دارند و گاه قطعاتی از ماشین‌آلات برای تحمل زلزله طراحی نشده‌اند، در نتیجه علی‌رغم اینکه ساختمان سالم است، ماشین‌آلات و تجهیزات نصب شده در آن آسیب دیده و تولید متوقف گشته است.

در تصویر شماره ۲۳ جابجایی ورق زیرسری کندانسور نیروگاه لوشان و خرد شدن بتن اطراف آن مشاهده می‌شود. همچنین کروکی‌های شماره ۳،۲ و ۴ لطمات وارد به ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه کاغذ چوکا را نشان می‌دهند.

درس دوازدهم

عدم توجه به ضوابط و قیود آیین‌نامه‌ای و مراعات نکردن این ضوابط و قیود، که عصاره تجارب پیش‌کسوتانند، به خرابی‌های زودرس و افزایش لطمات جانی و مالی منجر می‌شوند. صدها مورد خرابی کوچک و بزرگ ناشی از نقص کلاف‌های قائم و افقی در ساختمان‌های با مصالح بنایی، ناپیوستگی سطوح واریز در نتیجه تمیز و آماده نکردن آنها قبل از بتن ریزی، عدم تکافوی تنگ‌ها در مناطق بحرانی تیرها و ستون‌های بتن آرمه، معیوب بودن جوش درزها، تابیدگی ورق‌های تقویتی ستون‌های فولادی در نتیجه عدم رعایت ضخامت‌های حداقل و نظایر آنها، در هر قدم که در منطقه زلزله زده جلو برویم، این درس را تکرار می‌کنند.

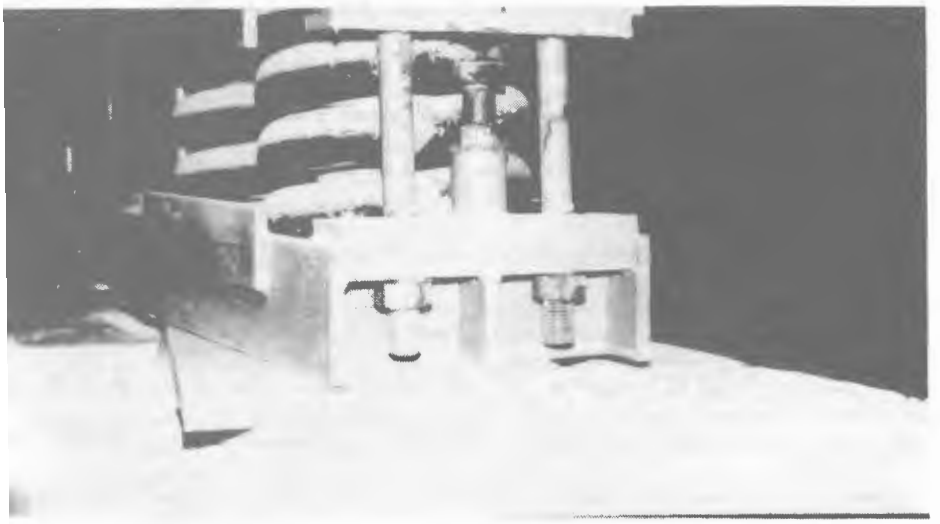
مواردی از عدول از موازین و اصول فنی شناخته شده نیز در منطقه زلزله زده دیده می‌شوند که طبعاً به لطمات جبران ناپذیر و تاسف‌آور منجر شده‌اند. بیمارستان رودبار بارزترین نمونه این موارد است که علی‌رغم اهمیت ویژه آن برای منطقه، در انتخاب زمین آن دقت لازم به عمل نیامده، سیستم سازه‌ای آن نامناسب اختیار گردیده و در چارچوب این سیستم سازه‌ای نامناسب هم، تمام ضوابط آیین‌نامه‌ای نادیده گرفته شده‌اند.

به نظر من بر طراحان و سازندگان فرض است که بازدیدی از منطقه داشته باشند و از نزدیک ملاحظه نمایند که چگونه عدم توجه‌های کوچک و ناچیز می‌توانند به فاجعه منجر شوند و چه سان پیش‌بینی‌های ساده و کم هزینه قادرند جان و مال مردم را از خطر مصون دارند.

درس سیزدهم

بعد از زلزله نباید به اقدامات عجولانه و انفعالی متوسل شد و بویژه نباید بدون مطالعه هر دیوار ترک خورده، هر سازه آسیب دیده و بطور کلی هر آنچه را که پس از زلزله علی‌رغم لطمات وارده سرپا مانده است، تخریب کرد. بلکه باید تخریب را فقط به بناها و اجزای آنها که وضع خطرناک و ناامن دارند و با صرف وقت و هزینه معقول قابل بهسازی نیستند محدود کرده و در بقیه موارد، تا جایی که میسر است به بهسازی مبادرت نمود. باید توجه داشت که:

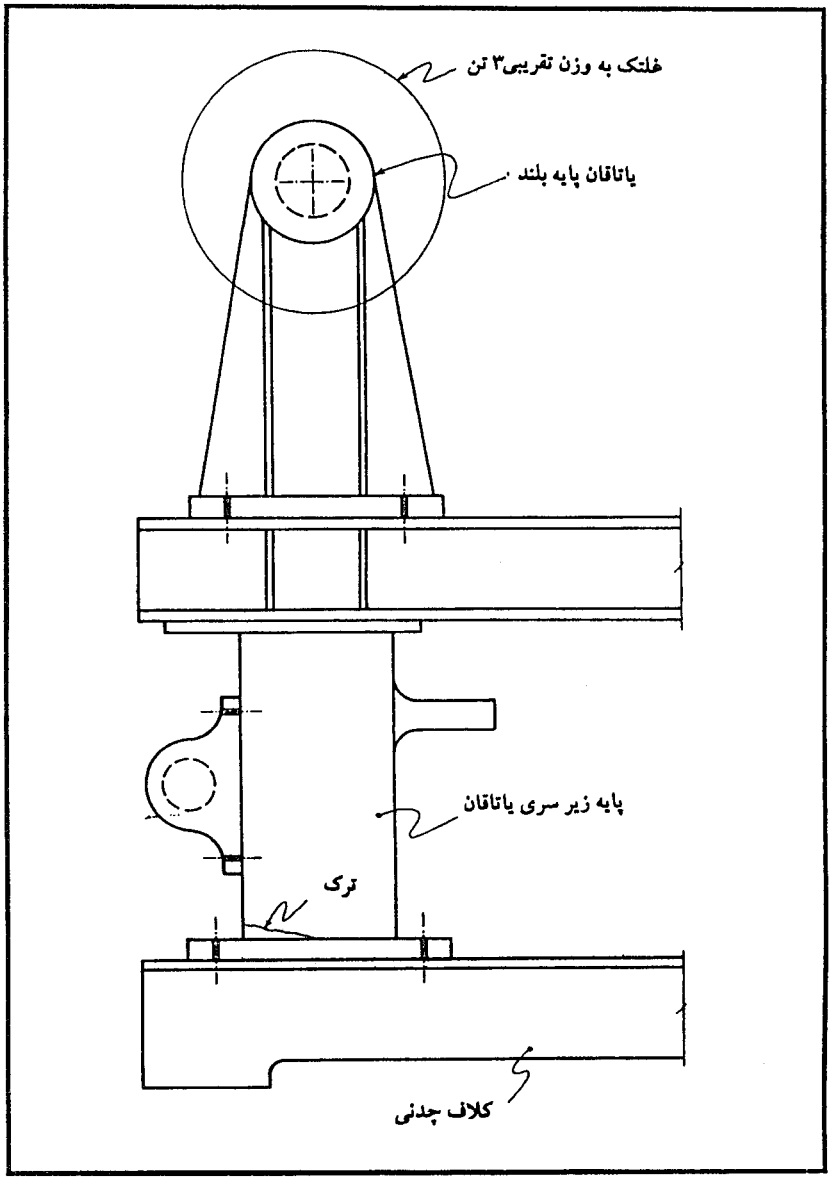
تصویر شماره ۲۲ـ آسیب دیدن دیوار
ساختمان انبار پاکت کارخانه سیمان خزر



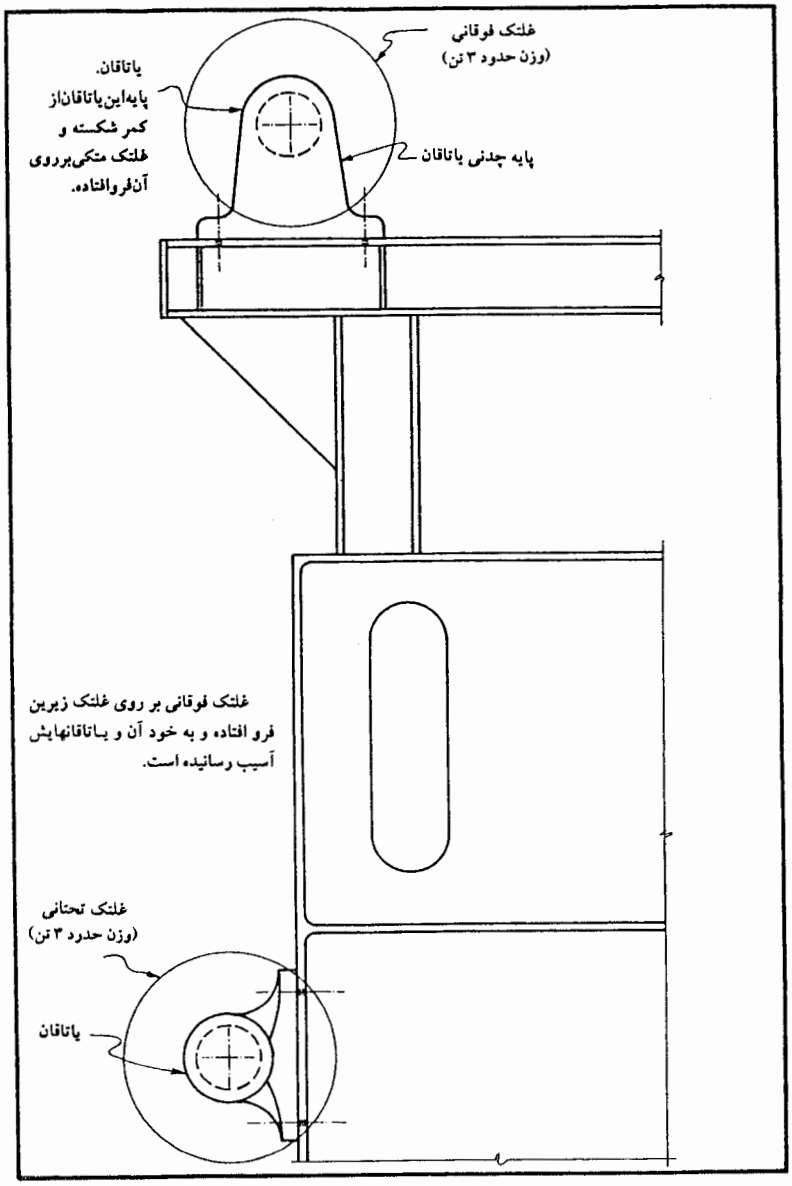
تصویر شماره ۲۳ـ جابجا شدن ورق زیرسری کندانسور نیروگاه لوشان

- تخریب کامل و بازسازی معمولاً به زمانی بیشتر از بهسازی نیاز دارد.
- تخریب هر جز کوچک بنا مستلزم جمع‌آوری، حمل و انبار کردن مواد حاصل از تخریب و بازسازی آن جز با مصالح جانشین است . این کار نیازمند بازوی کار، ابزار، ماشین‌آلات، مصالح و امکانات دیگر است که از سویی مورد درخواست تمام منطقه زلزله زده و از سوی دیگر محدود می‌باشند.

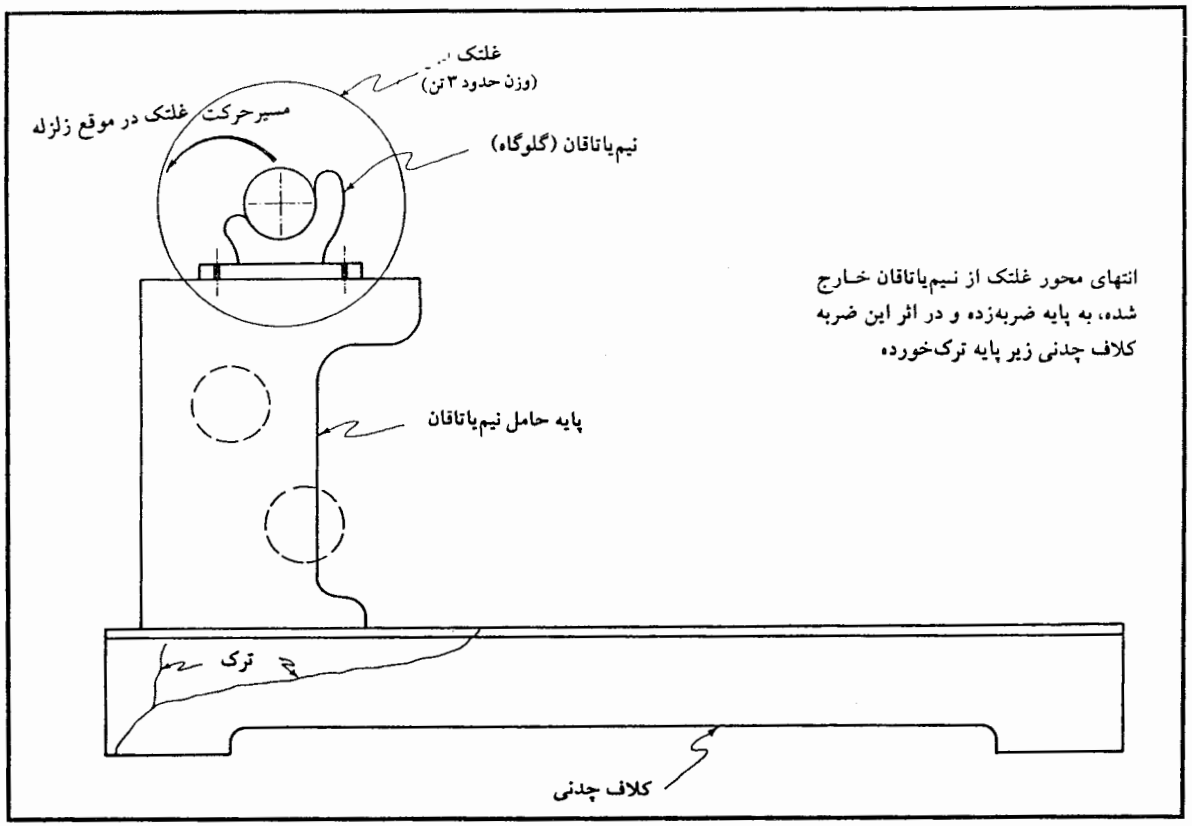
محدود کردن تخریب و صرفه‌جویی در مصرف مصالح، از دیدگاه حفظ محیط زیست نیز ضروری است. زیرا انبار کردن مواد حاصل از تخریب در طبیعت، از یک سو و برداشت مصالح از طبیعت، از سوی دیگر، به محیط زیست لطمه می‌زنند. از این دیدگاه آوار برداری و تمیز کردن مناطق زلزله زده هم نباید بی‌مطالعه و تنها به ابتکار رانندگان ماشین‌آلات سنگین انجام پذیرد، بلکه باید همزمان با برنامه‌ریزی "بازمصرف" هرچه بیشتر مواد و مصالح آوار شده و به موازات جدا و دسته کردن مصالح قابل بازمصرف، ارایه طریق برای مصرف آنها صورت گیرد.



کروکی شماره ۲



کروکی شماره ۳



کروکی شماره ۴

رفتار سازه‌های آجری در زلزله منجیل*

دکتر حسن مقدم

چکیده

زلزله خرداد ۱۳۶۹ منجیل منجر به خرابی‌ها و تلفات سنگینی شد که در قرن اخیر در کشورمان کم سابقه بوده است. سهم اصلی این تلفات را همانند زلزله‌های قبلی ساختمان‌های خشتی و آجری در شهر و روستا به عهده داشتند. شدت خسارت سازه‌های آجری از یکسو به نزدیکی به مرکز زلزله و از سویی دیگر به مرغوبیت مصالح و کیفیت ساخت بستگی دارد. در این گفتار با دسته‌بندی کردن سازه‌های آجری، رفتار هر دسته در مقابل زلزله تشریح شده و حالات مختلف شکست مورد بحث قرار می‌گیرد. پایداری سازه‌های آجری در ناحیه مرکزی زلزله را می‌توان با تمهیداتی که بعضاً در آیین‌نامه جدید زلزله ایران (۲۸۰۰) آمده افزایش داد تا فروپاشی کلی رخ ندهد. این روش‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و روش‌هایی برای تقویت ساختمان‌های آسیب دیده و برآورد مقاومت آنها ارایه می‌گردد. همچنین روش تحلیل ساختمان‌های آجری شناژبندی شده، بحث شده و در مورد تغییراتی که می‌باید در بارگذاری لرزه‌ای سازه‌های آجری داده شود سخن خواهد رفت.

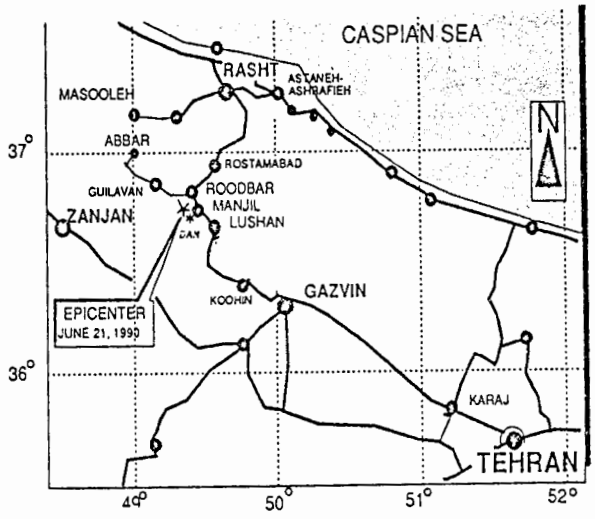
---

* مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد سوم، تهران خرداد ماه ۱۳۷۰

مقدمه

زلزله ۳۱ خرداد ۶۹ منجیل از حیث تلفات جانی و مالی جزو سهمگین‌ترین زلزله‌های کشورمان در قرن حاضر بوده است. بزرگی این زلزله توسط ژئوفیزیک دانشگاه تهران ۳ر۷ و مطالعات زمین‌شناسی امریکا ۶ر۷ اعلام شده است. مرکز زلزله براساس میزان خرابی‌های حاصل از زلزله، در نزدیکی شهر منجیل می‌باشد [۱]. بیشترین شتاب به دست آمده مربوط است به ایستگاه آب برکه که در ۴۴ کیلومتری منجیل قرار دارد. شتاب‌های طولی، عرضی و قائم این ایستگاه نسبت به شتاب ثقل برابر است با ۶۵ر۰، ۱۵ر۰ و ۲۳ر۰. وسعت زلزله به حدی بود که در شهرهایی همچون رشت و آستانه اشرفیه به فواصل تقریبی ۶۳ و ۷۵ کیلومتر از منجیل خسارات عمده‌ای آفرید و در اصفهان احساس شد. متاسفانه دستگاه شتابنگار منجیل نتوانست حادثه را ثبت کند و ظاهراً آب‌بر نزدیکترین نقطه به ناحیه مرکزی زلزله است که شتاب زلزله در آن ثبت شده است. همچنین در نقاط حساسی همچون رشت که سازه‌های متنوع و بعضاً مهمی آسیب‌های کلی و جزئی دیده‌اند و رفتار لرزه‌ای آنها از روی شواهد موجود قابل تعقیب است شتابنگاشتی موجود نیست و لذا کار پژوهش‌ها و تحلیل‌های دقیق دینامیکی را با مشکل مواجه می‌سازد. مقدار شتاب اوج این زلزله در منجیل برابر ۷۱ر۰ شتاب ثقل تخمین زده شده است (در بخش بعدی مقاله).

شدت بالای این زلزله، شتاب نسبتاً قوی و تراکم بالای جمعیت در شهرها و روستاها و ساعت وقوع زلزله که لختی پس از نیمه شب رخ‌داد موجب تلفات سنگین و بی‌سابقه‌ای گردید و در میان انواع سازه‌ها و ابنیه‌ها، ساختمان‌های سنگی و آجری روستایی و شهری بیشترین آسیب را دیدند. در گذشته جوامع علمی و دانشگاهی کشور کمتر توجهی به تدوین اصول محاسبه و طراحی این گونه سازه‌ها داشته‌اند و در حالی که ساختمان‌های آجری غیر مسلح و نیمه‌مسلح بیشترین سهم را در معماری شهری و روستایی کشورمان دارند هیچ‌گونه مجموعه مدونی جهت محاسبه و طراحی آنها در مقابل زلزله در دسترس مهندسین قرار ندارد و لذا است که این نگارنده چندی است معرفی رفتار لرزه‌ای سازه‌های آجری و نیز نحوه محاسبه و طراحی آنها را به مهندسین کشور وجهه همت خویش ساخته است و در این



شکل ۱ـ مرکز زلزله و نواحی مجاور آن

مقاله ضمن تشریح عملکرد آنها در زلزله منجیل حتی‌المقدور به چگونگی محاسبه و تقویت آنها اشاره خواهد رفت.

مشاهدات کلی

با توجه به خسارت شدید شهرهای رودبار و منجیل که مجاور هم‌اند می‌توان گفت که این دو در ناحیه مرکزی[1] قرار داشته‌اند (ناحیه‌ای که در آن شدت زلزله تقریباً یکنواخت و در منتهای قوت قرار دارد). البته عدم حضور شهر بزرگ دیگری در این ناحیه که دارای سازه‌های مهندسی باشد تعیین محدوده کامل ناحیه مرکزی را مشکل می‌سازد. رشت و قزوین تقریباً به یک فاصله از منجیل واقع شده‌اند اما رشت خسارت بیشتری از قزوین دید. در قزوین ساختمان‌ها ترک‌هایی برداشته اما در رشت تقریباً اکثر ساختمان‌های ۳و۴ طبقه به بالا ترک خوردند و در موارد متعددی انهدام کامل رخ‌داد. در مجموع تونل‌ها، پل‌ها، سیلوها، برج‌های آب و سایر تاسیسات مهندسی سنگین عملکرد بسیار خوبی داشته‌اند و بجز برج

1- Meizoseismal

بتنی شهرهای رشت و آستانه اشرفیه کمتر نشانی از انهدام این سازه‌ها می‌توان یافت.

شاید قریب ۹۰٪ منازل آجری یک یا دو طبقه در شهرهای منجیل و رودبار منهدم گردید. این شدت و نحوه تخریب حاکی از قدرت طیف انرژی زلزله در فرکانس‌های بالا می‌باشد که با توجه به نزدیکی این دو شهر به مرکز زلزله از یکسو و سخت بودن جنس زمین (کوهستانی) که بطور طبیعی مشدد فرکانس‌های بالا است از سوی دیگر، و نیز بزرگی مقدار انرژی آزاد شده (این زلزله حتی در نقاط دوری چون اصفهان حس شد) قابل توجیه می‌باشد.

در منجیل بیشتر ساختمان‌ها یک طبقه بوده‌اند، اما در رودبار تعداد زیادی ساختمان‌های ۲ و ۳ طبقه هم وجود داشته است که نسبتاً خسارات کمتری از ساختمان‌های یک طبقه دیده‌اند، به‌ویژه آنهایی که دارای اسکلت فلزی یا بتنی بوده‌اند. از منجیل که دور می‌شویم از شدت خسارات شهری به سرعت کاسته می‌شود و مثلاً در لوشان به فاصله حدود ۵۰ کیلومتری منجیل از میزان ساختمان‌های فرو ریخته به مقدار زیادی کاسته می‌شود و خانه‌های آجری فراوانی را می‌بینیم که علی‌رغم خسارات جزئی و کلی سر پا ایستاده‌اند و در این میان تعداد زیادی ساختمان‌های ۳ و ۴ طبقه اسکلت فلزی وجود دارند که فاقد هر نوع سیستم رسمی لرزه‌بر بوده و صرفاً به مدد میانقاب‌ها از خطر انهدام رسته‌اند.

توزیع شتاب در سطح منطقه

شتاب ثبت شده توسط تعدادی شتابنگار که در شهرهای دور و نزدیک، زلزله منجیل را ثبت کرده‌اند توسط سازمان تحقیقات ساختمان و مسکن [۱] داده شده است. نزدیکترین آن آب‌بر به فاصله ۴۴ کیلومتر و با شتاب‌های ۶۵ر۰، ۱۵ر۰ و ۲۳ر۰ برابر شتاب ثقل (طولی، عرضی و قائم) و دورترین آن رباط کریم به فاصله ۲۰۸ کیلومتر با شتاب‌های ۰۴ر۰، ۰۵ر۰ و ۰۲ر۰ برابر شتاب ثقل می‌باشد. برای به دست آوردن توزیع شتاب می‌توان از رابطه میرایی مناسبی استفاده کرد و آنگاه با داشتن شتاب در تعدادی از ایستگاه‌ها می‌توان پارامترهای رابطه میرایی را به کمک روش خطای کمترین به دست آورد. برای این کار از رابطه زیر

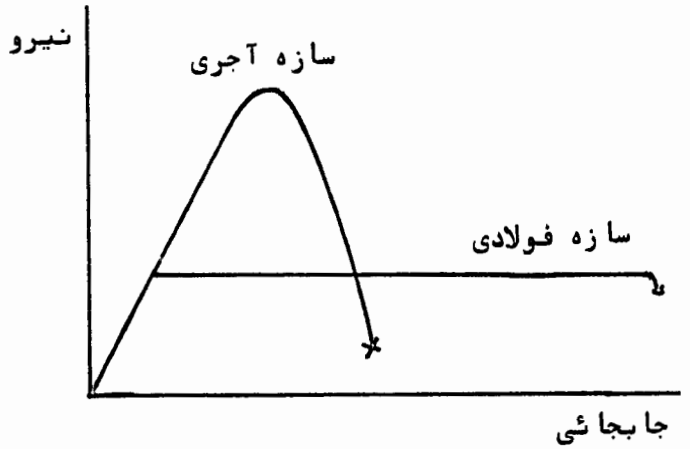
استفاده شده است:

$$a_D=a_o\ (1.25\ /\ (1+D/76.8))^n \qquad (۱)$$

در این رابطه n بستگی به پریود غالب زلزله داشته و برای نقاطی که فاصله‌شان از مرکز زلزله تا ۵۰ کیلومتر باشد برابر ۲ر۶ و تا ۱۰۰ کیلومتر برابر ۲ر۳۳ و تا ۲۰۰ کیلومتر برابر ۲ می‌باشد. a_o و a_D شتاب‌های اوج در مرکز زلزله و در فاصله D کیلومتر از آن می‌باشد. با استفاده از شتاب ایستگاه‌های موجود که در [۱] آمده است و به کارگیری روش حداقل ساختن مجموع مربعات خطاها، مقدار شتاب اوج زلزله در ناحیه مرکزی یعنی a_o مساوی ۰ر۷۱ برابر شتاب ثقل به دست می‌آید. پس می‌توان نتیجه گرفت که در منجیل و رودبار شتاب اوج زلزله برابر ۰ر۷۱g بوده است. با داشتن a_o و با استفاده از رابطه (۱) می‌توان شتاب هر نقطه دلخواه را محاسبه نمود مثلاً شتاب اوج رشت به فاصله ۶۳ کیلومتر و آستانه اشرفیه به فاصله ۷۵ کیلومتر از منجیل بترتیب مساوی ۰ر۳۰ و ۰ر۲۴ برابر شتاب ثقل به دست می‌آیند.

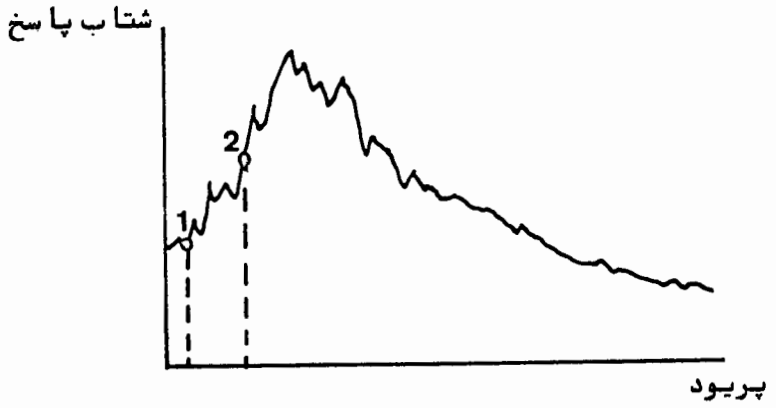
عملکرد ساختمان‌های آجری غیر مسلح

تاثیر عدم قابلیت تغییر شکل‌پذیری: غالباً ضعف سازه‌های آجری در مقابل زلزله را ناشی از کمبود مقاومت جانبی می‌دانند در حالی که این طور نیست و ساختمان‌های آجری اکثراً از مقاومت بالایی برخوردارند و مثلاً مقاومت جانبی یک ساختمان آجری یک طبقه می‌تواند به مراتب بیش از یک سوله فولادی باشد اما سوله می‌تواند زلزله را به راحتی از سر بگذراند در حالی که ساختمان آجری فرو می‌ریزد. رمز پایداری سوله در قابلیت تغییر شکل‌پذیری آن است زیرا هنگامی که نیروی زلزله می‌خواهد از حد مقاومت سازه فراتر رود، تسلیم رخ داده و سوله بدون از دست دادن پایداری مقداری جابجایی خمیری را تحمل می‌کند و از آنجا که جهت نیروی زلزله به سرعت عوض می‌شود لذا جهت جابجایی نیز عوض شده و نهایتاً در پایان زلزله ممکن است مقداری جابجایی پسماند حاصل شود در حالی که در مورد ساختمان آجری غیر مسلح قضیه طور دیگری است و به محض رسیدن نیروی زلزله به حد مقاومت سازه، سازه شروع به درهم شکستن کرده و چنانچه حرکات شدید زلزله تداوم یابد خیلی زود سازه از پا می‌افتد.



شکل ۲ ـ مقایسه رفتار سازه‌های نرم و ترد

رسیدن به نقطه اولیه تسلیم موجب ایجاد ترک‌ها و خردشدگی‌هایی می‌شود که با کاهش سختی اولیه همراهند. از آنجاکه پریود اولیه سازه‌های یک یا دو طبقه آجری بسیار پایین و چیزی در حدود ۱ر۰ ثانیه و کمتر است لذا آنها در ناحیه سخت طیف پاسخ قرار می‌گیرند و ضریب بازتابی نزدیک به ۱ دارند (نقطه ۱ در شکل ۳) اما با کاهش سختی به سمت راست



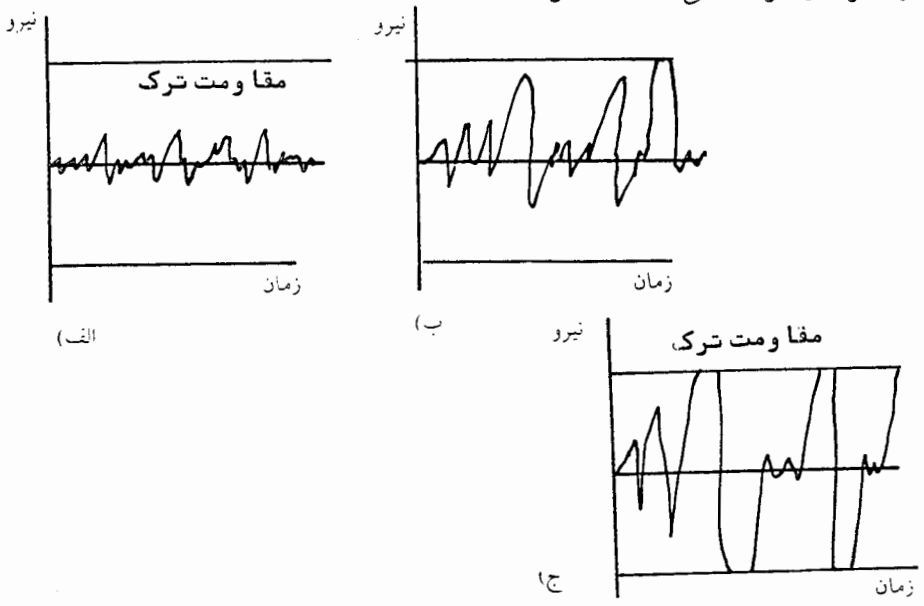
شکل ۳ـ تاثیر کاهش سختی در افزایش نیروهای زلزله

منتقل شده (نقطه ۲) و ضریب باز تاب می‌تواند به میزان قابل توجهی افزوده گردد که نتیجه قهری آن افزایش نیروهای زلزله است.

پس رفتار یک ساختمان آجری در مقابل زلزه را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

الف) شدت زلزله از مقاومت سازه کمتر است در این صورت ضریب بازتاب برابر ۱ بوده و نیروی زلزله برابر است با شتاب زلزله ضربدر جرم سازه. این نیرو برای ایجاد ترک و درهم شکستن سازه کافی نیست و بنابراین سازه هیچگونه آسیبی از زلزله نمی‌بیند.

ب) شدت زلزله در لحظات واپسین آن از حد مقاومت سازه عبور می‌کند و ترک‌ها و خردشدگی آغاز می‌شود، سختی کاهش یافته و پریود افزایش می‌یابد و در نتیجه ضریب بازتاب افزایش می‌یابد و موجب بالا رفتن نیروی زلزله می‌شود، اما چون این تحولات در لحظات واپسین اتفاق می‌افتد و زلزله ادامه نمی‌یابد سازه پایدار می‌ماند و در پایان زلزله فقط مقداری ترک و خردشدگی ملاحظه خواهد شد.



الف ـ نقاط نسبتاً دور، شدت زلزله برای ایجاد ترک کافی نیست.

ب ـ نقاط مجاور ناحیه مرکزی، ترک در لحظات واپسین رخ می‌دهد.

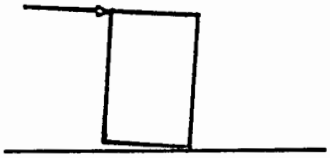
ج ـ ناحیه مرکزی، ترک‌ها در لحظات آغازین رخ داده و خیلی زود سازه فرو می‌ریزد.

شکل ۴ـ رفتار سازه‌های آجری برحسب فاصله از مرکز زلزله

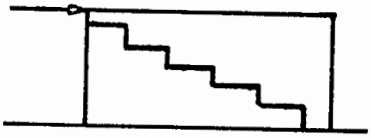
ج) شدت زلزله در همان لحظات آغازین از حد مقاومت سازه عبور می‌کند و در نتیجه کاهش سختی و افزایش ضریب بازتاب، سازه در معرض نیروهای بزرگتری قرار می‌گیرد به گونه‌ای که خیلی زود درهم می‌شکند و با خاک یکسان می‌شود.
مراحل سه‌گانه فوق از یکسو تابعی از بزرگی زلزله هستند و معمولاً در زلزله‌های با بزرگی بیش از ۶ حالت (ج) اتفاق می‌افتد. غالباً در نواحی مرکزی زلزله ساختمان‌های آجری غیر مسلح با خاک یکسان می‌گردند [۲]. از سوی دیگر با توجه به میرایی امواج زلزله، ساختمان‌های آجری برحسب فاصله‌شان از مرکز زلزله می‌توانند مطابق یکی از حالات فوق عمل کنند.

ناحیه آستانه ترک: گفته شد که در زلزله‌های با بزرگی بیش از ۶، ساختمان‌های آجری که در ناحیه مرکزی واقعند فرو می‌ریزند و با دور شدن از ناحیه و کاهش شدت زلزله به ناحیه‌ای می‌رسیم که می‌توان آن را ناحیه آستانه ترک نامید زیرا در آنجا شدت زلزله آن‌قدر کم می‌شود که حالت سازه از (ج) به (ب) تبدیل می‌شود (مطابق تقسیم فوق). ساختمان‌هایی که در آن سوی این ناحیه واقعند ایستایی خود را حفظ کرده و حداکثر ممکن است ترک‌هایی را متحمل شوند. برای ناظرینی که با مبانی فوق ناآشنا هستند هضم این پدیده قدری مشکل است زیرا بناگاه از منطقه‌ای که ساختمان‌ها همگی بی‌آسیب یا کم آسیب مانده‌اند وارد منطقه‌ای می‌شوند که ساختمان‌ها با خاک یکسان شده‌اند.

در زلزله منجیل آستانه ترک را در کوهین در ۴۸ کیلومتری منجیل یافتیم که مطابق رابطه (۱) شتاب اوج در این منطقه ۳۶ر۰ برابر شتاب ثقل بوده است و بنابر آنچه قبلاً گفته شد نیروی زلزله برابر ۳۶ر۰ برابر وزن ساختمان بوده است. ملاحظه می‌گردد که ساختمان‌های آجری می‌توانند نیروهایی به‌مراتب بزرگتر از نیروهای آیین‌نامه‌ای را تحمل کنند و مشکل اساسی آنها کمبود نرمی است نه مقاومت. در این ده یکی دو خانه فرو ریخته بودند اما با دور شدن از این ناحیه دیگر اثری از تخریب ساختمان‌های آجری دیده نمی‌شود گرچه حتی در قزوین هم آثاری از ترک دیده می‌شود. شتاب اوج در قزوین ۱۶ر۰ برابر شتاب ثقل بوده است.



الف)



ب)

الف) شکست خمشی که در پایه‌های باریک اتفاق می‌افتد.

ب) شکست برشی که در پایه‌های پهن اتفاق می‌افتد.

شکل ۵ـ حالات شکست دیوارهای برشی

حالات شکست: مهمترین این حالات، شکست دیوارهای برشی است که می‌تواند به صورت خمشی یا برشی اتفاق بیفتد.

حالت‌های دیگری هم وجود دارد: جدا شدن دیوار از سقف، پرتاب دیوار به خارج از صفحه خود، شکست خمشی دیوارها تحت اثر مؤلفه‌های عرضی زلزله و جدا شدن دیوارهای متعامد. در عمل ممکن است تعدادی از حالات فوق را همزمان مشاهده کنید. شناخت حالات شکست از آن جهت مهم است که در طراحی و ساخت ساختمان‌های آجری می‌باید سازه را در مقابل کلیه این حالات تقویت نمود.

عملکرد ساختمان‌های روستایی

خانه‌های روستایی مناطق زلزله زده نوعاً از دیوارهای ضخیمی تشکیل شده است که با سنگ‌های رودخانه‌ای گرد و صاف و ملات گِل چیده شده‌اند و سقف از تیرهای چوبی که به وسیله نی‌های بلند پوشانده شده و گل اندود شده است. در این نوع سازه گرچه وزن سقف

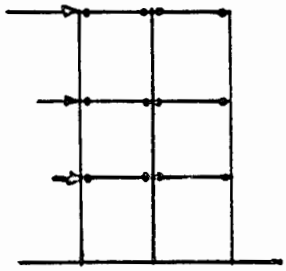
خیلی زیاد نیست اما وزن دیوارها زیاد بوده و مقاومتشان در مقابل نیروهای صفحه‌ای و عرضی بسیار کم است و به راحتی در مقابل نیروهای زلزله فرو می‌ریزند. تاریخ زلزله‌های کشورمان گواه است که ساختمان‌های روستایی می‌توانند در زلزله‌های با بزرگی بیش از ۵ فرو ریزند [۲] و تعجب‌آور نیست که حتی در حوالی قزوین که شتاب اوج تقریباً به میزان ۷۰٪ کاهش یافته خانه‌های روستایی را ویران شده بیابیم. ضعف ذاتی دیوارهای سنگی با اصلاح ملات و نوع سنگ قابل رفع نیست، چه در محل تاسیسات سد سفیدرود دیوارهای یک انبار را با سنگ‌های شکسته و ملات ماسه سیمان خوب چیده بودند و سقف هم از نوع شیروانی سبک بود اما علی‌هذا سازه تاب نیاورده و فرو ریخته بود. در بعضی از نقاط از سقف‌های سبک شیروانی استفاده شده بود که به نظر نمی‌رسد نقش چندانی در جلوگیری از انهدام خانه‌های روستایی داشته است زیرا همان طوری که بیان شد وزن سنگین خود دیوارها بر مقاومت آن فایق شده و موجب فرو ریختن ساختمان می‌گردد. حالات شکست ساختمان‌های روستایی کم و بیش مانند ساختمان‌های آجری است که قبلاً بیان شد.

عملکرد قاب‌های مرکب

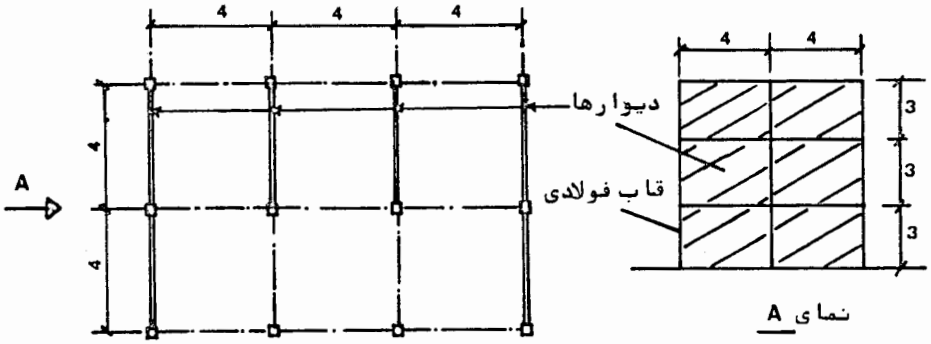
چنانچه در ساختمان‌های آجری، اسکلت فولادی یا بتنی وجود داشته باشد، بین اسکلت و دیوارهای آجری اندرکنش سازه‌ای رخ می‌دهد و لذا این گونه قاب‌ها که توسط دیوارهای آجری پر شده‌اند قاب مرکب نامیده می‌شوند زیرا دیوار و قاب رفتاری مرکب دارند که با رفتار هریک از آنها به تنهایی متفاوت است. مبانی رفتار سازه‌ای و لرزه‌ای این گونه قاب‌ها قبلا توسط نگارنده بررسی شده است [۳و۴] و نحوه طراحی لرزه‌ای آن بیان گردیده است [۵و۶]. مساله مهم این است که ساختمان‌های نوع معمارساز کشورمان غالباً فاقد اجزای کلاسیک لرزه‌بر نظیر دیوارهای برشی، بادبند یا اتصالات گیردار هستند و روی گیرداری اتصالات خورجینی هم نمی‌توان چندان حساب کرد. بنابراین مدل چنین ساختمان‌هایی مطابق شکل ۶ تقریباً فاقد ظرفیت لرزه‌ای است.

غالب ساختمان‌های ۳ تا ۸ طبقه شهر رشت از این گونه‌اند و با توجه به شتاب زلزله در رشت که قبلاً حدود ۳ر۰ برابر شتاب ثقل برآورد شد این ساختمان‌ها می‌باید نیرویی بیش از ۳ر۰ وزن خود را تحمل کرده باشند که با توجه به مدل فوق محال است و می‌باید شهر رشت با

خاک یکسان می‌شد، اما صرفاً به مدد رفتار مرکب قاب و دیوار از گزند زلزله رسته‌اند. محاسبات نشان می‌دهد که اگر اسکلت نشان داده شده در شکل ۷ با دیوارهای ۲۰ سانتیمتری حداقل در دهانه‌های مشخص شده پر شود این ساختمان قادر خواهد بود در جهت دیوارها زلزله‌های مخرب را بدون گزند سازه‌ای از سر بگذرند [۷].



شکل ۶ـ مدل سازه‌ای ساختمان‌های معمارساز در مقابل بارهای جانبی



شکل ۷ـ یک ساختمان سه طبقه فرضی با اسکلت فلزی و دیوارهای آجری که به کمک رفتار مرکب قاب و دیوار قادر است نیروی زلزله را تحمل کند.

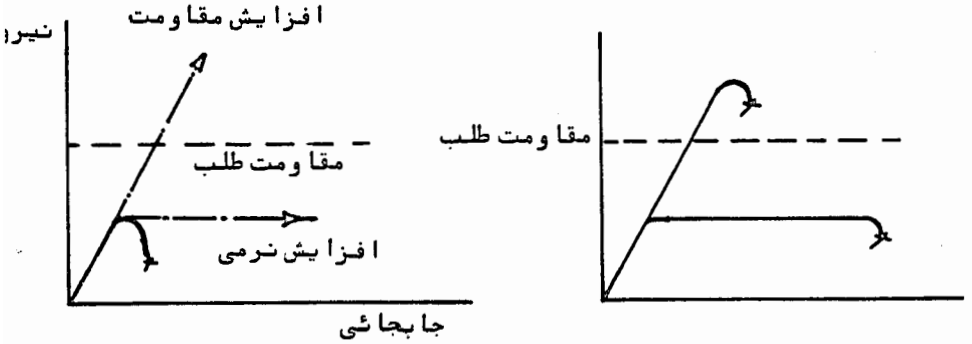
نحوه محاسبه اجمالی مقاومت لرزه‌ای قاب‌های مرکب در [۵] و مشروح آن همراه با مثال‌هایی در [۷] آمده است.

تقویت ساختمان‌های آجری در مقابل زلزله

با توجه به مقدماتی که بیان شد تقویت یک سازه آجری می‌تواند در دو جهت صورت پذیرد:

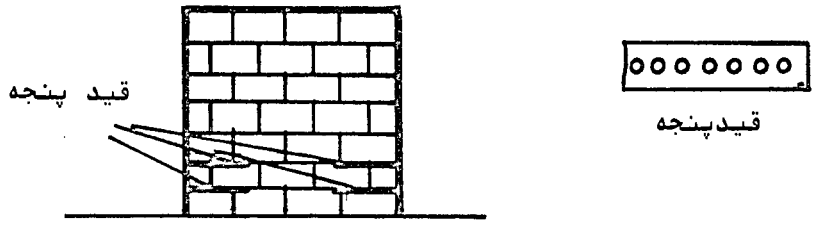
الف) افزایش مقاومت

ب) افزایش نرمی



شکل ۸ـ افزایش نرمی و مقاومت، دو روش متفاوت برای تقویت لرزه‌ای سازه‌های آجری

تکنیک‌هایی که برای تقویت یک ساختمان آجری درنظر گرفته می‌شود می‌تواند در جهت افزایش نرمی یا مقاومت و یا ترکیبی از این دو عمل کند. مثلاً پهن نمودن پایه‌ها (دیوارهای برشی) بر مقاومت می‌افزاید در حالی که به کارگیری قیدپنجه بر نرمی می‌افزاید زیرا این قید را در پنجه دیوار قرار می‌دهند تا ملات راکه می‌رود تا در اثر تناوب بارگذاری خرد شده و از میان درز بیرون ریزد مقید ساخته و در نتیجه از افت مقاومت جلوگیری کرده و بدین وسیله بر نرمی افزوده گردد.



شکل ۹ـ به کارگیری قیدپنجه، وسیله‌ای برای افزایش نرمی.

مهمترین روش تقویت ساختمان‌های آجری، قاب بندی دیوارها به وسیله کلاف‌های افقی و قائم است. این عمل در واقع استفاده از خاصیت مرکب قاب و دیوار است که هم موجب افزایش چشمگیر مقاومت و هم نرمی است و خوشبختانه در آیین‌نامه اخیر زلزله ایران موسوم به ۲۸۰۰ نیز توصیه شده است. مبانی محاسباتی این کلاف‌ها در این آیین‌نامه مورد اشاره قرار نگرفته است لذا برای آشنایی با این مبانی توصیه می‌گردد به مراجع [۴و۷] مراجعه شود. سایر انواع تقویت فهرست‌وار بدین قرار هستند:
به کارگیری میلگردهای افقی و قائم، استقرار تیرچوبی یا بتنی در میان دیوار آجری (کش میانی)، کلاف‌های افقی و قائم، روکش بتنی با استفاده از بتن پاش، نهادن پشت بند برای کل ساختمان. برای شرح بیشتر بعضی از این روش‌ها می‌توان به مراجع [۷و۸] مراجعه نمود.

بارگذاری لرزه‌ای سازه‌های آجری

سکوت آیین‌نامه ۲۸۰۰ پیرامون بارگذاری لرزه‌ای سازه‌های آجری و عدم تفکیک میان این سازه‌ها و سازه‌های فولادی و بتنی در آیین‌نامه قبلی (۵۱۹) و سایر آیین‌نامه ها ممکن است این تلقی را به وجود آورد که می‌توان سازه‌های آجری را تحت بارهایی مشابه سازه‌های فولادی یا بتنی طراحی نمود، در حالی که نیروهای آیین‌نامه‌ای به مراتب کوچکتر از نیروهای واقعی زلزله‌اند و این تخفیف صرفاً به مدد رفتار خمیری سازه‌ها جایز است و لذا

در مورد سازه‌های تردی همچون ساختمان‌های آجری هیچگونه تخفیفی پذیرفته نیست، به همین جهت باید بار واقعی زلزله را ملاک قرار داد. اگر در چارچوب آیین‌نامه ۲۸۰۰ بحث کنیم می‌باید ضریب رفتار R را برای سازه‌های آجری برابر ۱ قرار داد. در مورد سازه‌های آجری مسلح و یا قاب‌های مرکب، این نگارنده ثابت کرده است که می‌باید R برابر ۲٫۸ فرض شود [۴و۵]. در ضوابط ATC[9] که مورد اقتباس آیین‌نامه ۲۸۰۰ بوده است این مقدار برابر ۴ توصیه شده است که به نظر این نگارنده در خلاف جهت اطمینان است و بهتر است همان ۲٫۸ مبنا قرار گیرد. برای سازه‌های نیمه مسلح تعیین بارگذاری لرزه‌ای بسیار مشکل بوده و به تحقیقات علمی بیشتری نیاز می‌باشد.

نتیجه

۱ـ ساختمان‌های آجری و سنگی در زلزله‌های مخرب و نیمه مخرب فرو می‌ریزند و مایه اصلی تلفات جانی و مالی هستند و مادام که از روش‌های تسلیح و تقویت برای آنها استفاده نشود، نمی‌توان از این تلفات جلوگیری کرد.

۲ـ ضعف عمده ساختمان‌های آجری کمبود مقاومت نیست بلکه فقدان نرمی است.

۳ـ قاب‌بندی یک سازه آجری مقاومت و نرمی را قویاً افزایش می‌دهد و از بهترین روش‌های تقویت به شمار می‌رود.

۴ـ طرح و محاسبه سازه‌های آجری مسلح و نیمه مسلح در مقابل زلزله می‌باید براساس بارگذاری ویژه‌ای انجام شود که فعلاً در آیین‌نامه زلزله ایران مورد بحث قرار نگرفته است. در این مورد پیشنهادهایی صورت گرفته است.

قدردانی

تسهیلات سفر به مناطق زلزله زده توسط مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تامین گردید که بدین وسیله مورد سپاس قرار می‌گیرد.

مراجع

۱- معین فر، ع، نادرزاده، ا (۱۳۶۹)، گزارش فنی مقدماتی و فوری زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل، مرکز تحقیقات مسکن، شماره ۱۱۹

2- Ambraseys, N. N., Melville, C.P. (1982), A History of Persian Earthquakes, University of Cambridge Press.

3- Moghaddam, H.A., Dowling, P.J. (1987), The State of the Art in Infilled Frames, ESEE Report No 87-2. Imperial College, London.

4- Moghaddam, H.A., et al. (1988), Shaking Table Study of Brick Masonry Infilled Frames Subjected to Seismic Excitaions, Proc 9th WCEE, Tokyo.

۵- مقدم، ح (۱۳۶۹)، طرح قاب‌های مرکب در مقابل زلزله، سومین کنگره بین‌المللی راه و ساختمان، دانشگاه شیراز.

6- Moghaddam, H.A. (1990), Seismic Design of Infilled Frames, 9th European Conf. on Earthquake Eng., Moscow.

۷- مقدم، ح (۱۳۶۹)، جزوه درس طرح لرزه‌ای سازه‌های آجری، دوره‌های مهندسی زلزله در مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

۸- مقدم، ح (۱۳۷۰)، بررسی عملکرد ساختمان‌ها، فصل چهارم، گزارش تحلیلی زلزله رودبار - منجیل، موسسهٔ بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ص‌ص ۱۶۳-۲۱۱.

9- ATC-3 - Applied Technology Council - (1978), Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, Nat. Bur. Stand. Spec. Publ. , 510, Washington.

رفتار ساختمان‌ها در زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل*

مهندس امیر پیمان زندی

معرفی

زلزله شدیدی که ۳۰ دقیقه پس از نیمه شب ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ هجری شمسی در شمال کشور به‌وقوع پیوست، توسط نیمی از جمعیت ایران احساس گردید. این زلزله یکی از پرقدرت‌ترین زلزله‌های دهه گذشته جهان و یکی از مخربترین زلزله‌های ۵۰ سال اخیر ایران بوده‌است. طبق گزارش‌هایی که تاکنون منتشر شده‌اند، بزرگی این زلزله حدود ۷٫۶ درجه ریشتر و شدت آن در مرکز زلزله، که حوالی شهرهای منجیل و رودبار گزارش گردیده‌است معادل ۱۰ MSK تخمین زده‌می‌شود.

در نتیجه این زلزله مخرب حدود ۵۰ هزار نفر جان خویش را از دست دادند، صدها هزار نفر مجروح و بیش از یک میلیون نفر بی‌خانمان شدند. ابعاد اقتصادی خسارت‌های وارد شده هنوز دقیقاً برآورد نگردیده است، ولی تمرکز خسارت‌ها در دو استان پرجمعیت و قطب‌های کشاورزی و صنعتی گیلان و زنجان بخصوص مناطق مولد روستایی این دو استان، خود مؤید حجم بالای خسارت‌هاست.

---

* کنفرانس آزاد زلزله ۳۱ خردادماه ۱۳۶۹ منجیل، ۲۰و۲۱ مردادماه ۱۳۶۹، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان‌ومسکن

وقوع زمین‌لرزه‌ای شدید در مناطق پرجمعیت و آباد، ویژگی خاصی برای زلزله اخیر استان‌های گیلان و زنجان ایجاد نموده‌است. شاید این اولین زلزله بزرگی در ایران باشد که طی آن سازه‌های مهمی از قبیل سدها، نیروگاه‌ها، سیلوها، ساختمان‌های صنعتی و منابع بزرگ آب را تحت آزمون قرار می‌دهد. به‌علاوه، در این زمین‌لرزه، برای اولین بار در ایران تعداد زیادی از ساختمان‌های ساخته شده از مصالح جدید در مناطق شهری، بسته به موقعیت خود در معرض لرزش‌های یک زلزله ویرانگر قرار گرفته و رفتارهای متنوعی از خود به نمایش گذارده‌اند. تنوع این ساختمان‌ها و دوری و نزدیکی آنها به مرکز زلزله، آن‌چنان طیف وسیعی را برای بررسی می‌سازد که از دیدگاه مهندسی ساختمان، از کنار این آزمایشگاه طبیعی پرهزینه و آلوده به اشک و خون نمی‌توان با بی‌اعتنایی گذشت. حداقل حاصلی که می‌توان از این همه خسارت‌ها گرفت، ثبت تجربه‌های موفق و ناموفق ساختمانی و سرمشق قراردادن آنها برای آینده است. گزارش حاضر با همین دید و در همین راستا تهیه گردیده است.

بازدید از مناطق زلزله‌زده

در تاریخ ۴ الی ۷ تیر ۱۳۶۹، چهار روز پس از وقوع زلزله، هیأتی به دعوت **دفتر تحقیقات و معیارهای فنی وزارت برنامه و بودجه** متشکل از کارشناسان این دفتر و اعضای **انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان** با هدف بازدید از بناهای شهری مناطق زلزله‌زده به محل اعزام شدند. هیأت در مدت سه روز رفتار ساختان‌های شهرهای لوشان، منجیل، رودبار، رشت، آستانه اشرفیه و ماسوله را مورد بررسی قرار داد. گزارش حاضر بازگویی خام و ناپرداخته این بررسی‌هاست. گزارش‌های تحلیلی و دقیق این بازدید به صورت نشریات وزارت برنامه و بودجه یا مقالاتی در نشریه انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان منتشر خواهد گردید.

اگر از دید مهندسی ساختمان بخواهیم رفتار ساختمان‌های مناطق زلزله‌زده را مورد بررسی قرار دهیم، رفتار ساختمان‌های روستایی را می‌توان از قبل قابل پیش‌بینی دانست. تاکنون زلزله‌های متعددی در مناطق روستایی ایران رخ داده‌اند و تجربه ما از خرابی روستاهای

کشورمان در مقابل لرزش‌های کوچک و بزرگ زمین زیاد است. درس‌هایی که از مناطق زلزله‌زده روستایی می‌توان گرفت همان درس‌هایی است که قبلاً آموخته‌ایم و آن را می‌توان در یک جمله خلاصه کرد: "ساختمان‌های سنگین خشت و گلی که انسجام کافی بین دیوارها، سقف و پی آنها وجود ندارد، براثر چند تکان نه چندان شدید زمین فرو خواهند ریخت و جان و مال ساکنان خود را به ورطه نابودی خواهند کشاند."

رفتار ساختمان‌های شهری از نوع ساختمان‌هایی که در تهران و تمام شهرهای ایران هر روز مانند قارچ از زمین می‌رویند، شایان توجه بیشتری است. در این زلزله صدها هزار ساختمان شهری اعم از مسکونی، تجاری، اداری یا صنعتی با شدت‌ها و ضعف‌های مختلف در معرض لرزش‌های زمین قرار گرفتند. بسیاری از این ساختمان‌ها فرو ریختند،تعدادی خسارت‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای شدید دیدند، اما برپای ایستادند و جان ساکنان خود را نجات دادند، تعدادی کمی حتی در مقابل شدیدترین لرزه‌ها سالم ماندند. بررسی علت این رفتارهای گوناگون جز با یک تقسیم‌بندی از ساختمان‌های مورد نظر امکان‌پذیر نمی‌باشد.

تقسیم‌بندی ساختمان‌های شهری مناطق زلزله‌زده

ساختمان‌های زلزله زده در مناطق شهری مورد بازدید را می‌توان در یک تقسیم‌بندی کلی به دو گروه تقسیم نمود:

الف) ساختمان‌های سنتی، که عمدتاً از انواع ساختمان‌های بنایی بدون اسکلت تشکیل می‌گردند. سقف این ساختمان‌ها در بعضی مناطق از نوع سقف‌های سنگین بنایی با تیرهای چوبی و پوشش کاهگلی و در بعضی مناطق از سقف‌های سبکتر طاق ضربی یا سقف‌های سبک خرپایی با پوشش ورق شیروانی تشکیل گردیده‌اند. این ساختمان‌ها غالباً معمارساز یا بنّاساز هستند.

ب) ساختمان‌های مهندسی، که انواع ساختمان‌های دارای اسکلت کامل، نیمه اسکلت و ساختمان‌های بنایی مسلح را شامل می‌گردند. این ساختمان‌ها بعضاً مطابق ضوابط مهندسی و بسیاری بدون رعایت این ضوابط به صورت تجربی (معمارسازی) ساخته می‌شوند.

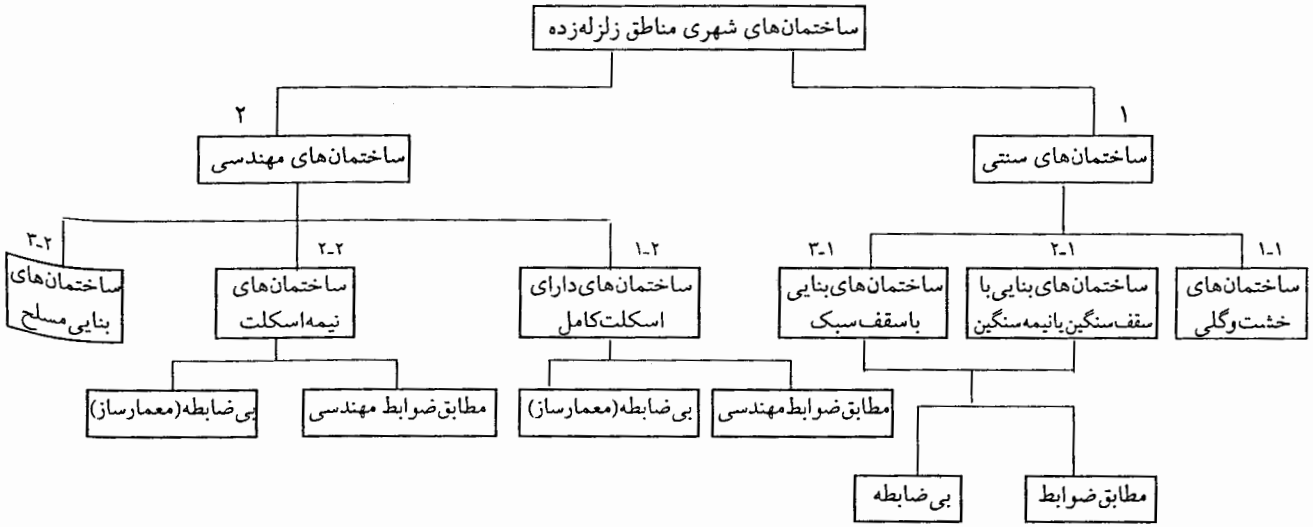
هر یک از تقسیم‌بندی‌های کلی پیش‌گفته به زیر گروه‌هایی قابل تقسیم هستند. در اینجا سعی شده است که تقسیمات جزئی‌تر را براساس سیستم سازه‌ای هر گروه از ساختمان‌ها به انجام رسانیم. این همان برخوردی است که آیین نامه زلزله ایران (استاندارد شماره ۲۸۰۰)برای طبقه بندی ساختمان‌ها و تعریف ضوابط پایداری هر گروه در پیش گرفته است.
چنین برخوردی امکان آن را فراهم می‌سازد که هر ساختمان یا هر گروه از ساختمان‌های تحت بررسی را با ضوابط آیین‌نامه‌ای بسنجیم و رفتاری را که در مقابل لرزش‌های زلزله از آن انتظار می‌رود با رفتار واقعی آنها مقایسه کنیم.

در شکل ۱ نحوه تقسیم بندی ساختمان‌های شهری مناطق زلزله زده به نمایش در آمده است. در ادامه این گزارش سعی می‌گردد در برخورد با هر ساختمان یا هر گروه از ساختمان‌های مورد بررسی، آن را در یکی از تقسیم بندی‌های شکل ۱ طبقه بندی نماییم و سپس به ذکر مشاهدات و نتیجه‌گیری‌های لازم بپردازیم.

ساختمان‌های سنتی رودبار، منجیل و لوشان

منجیل و رودبار به دلیل نزدیکی این شهرها به مرکز زلزله، بیشترین خسارت‌ها را دیده‌اند. شدت زلزله در منجیل برابر ۱۰ و در رودبار برابر ۹ MSK برآورد گردیده‌است. شهر لوشان با وجود تشابهات ساختمانی نسبت به رودبار و منجیل و به دلیل فاصله از مرکز و شدت کمتر زلزله، آسیب کمتری دیده‌است. ساختمان‌های رودبار به علت واقع شدن در شیب دامنه کوه، براثر لغزش خاک نیز آسیب دیده‌اند.

در مراکز شهرهای منجیل و رودبار ساختمان‌های مسکونی غالباً از نوع ساختمان‌های سنتی با دیوارهای باربرآجری و سقف طاق ضربی یا تیرچه بلوک هستند. در طبقه‌بندی شکل ۱ اغلب این ساختمان‌ها در **گروه ۱-۲** قرار می‌گیرند. ساختمان‌ها یک یا دو طبقه بوده و سقف آنها بدون شیب اجرا شده‌است. غالب این ساختمان‌ها نسبتاً نوساز هستند. این ساختمان‌ها را می‌توان نمونه کامل ساختمان‌های مسکونی کوچک محله‌های جدید و شهرک‌های اقماری شهرهای بزرگ دانست که اغلب اقشارکم درآمد راساً به ساختن آنها اقدام نموده‌اند.



شکل ۱ـ طبقه‌بندی ساختمان‌های شهری مناطق زلزله‌زده

برخی از این نوع ساختمان‌ها در مقابل زلزله نسبتاً خوب مقاومت کرده‌اند و برخی دیگر خسارات شدیدی از زلزله دیده‌اند. در شکل ۲ نمونه‌ای از یک ساختمان سنتی شهر منجیل که خسارت شدیدی از زلزله دیده است، به نمایش در آمده است.

در شکل ۳ یکی از محله‌های مرکزی شهر منجیل که ساختمان‌های آن شدیداً دچار خرابی شده‌اند به نمایش درآمده‌است. غالب این ساختمان‌ها دیوار باربر و سقف نیمه سنگین طاق ضربی دارند.

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ برای مقاوم سازی این سیستم ساختمانی در برابر زلزله، انتخاب پلان مناسب، تعبیه بازشوهای کم در دیوارها و اجرای کلاف افقی در تراز زیر دیوارها و تراز سقف لازم است. همچنین برای حفظ یکپارچگی سقف باید تدابیر خاصی اتخاذ نمود (استاندارد ۲۸۰۰، بخش ۳-۱۱-۳). **به کارگیری کلاف‌های قائم برای ساختمان‌های زیر ۲ طبقه (بدون احتساب زیر زمین) الزامی نیست.**

شکل ۲- یکی از ساختمان‌های سنتی شهر منجیل که خسارت شدیدی از زلزله دیده‌است.

شکل ۳ـ یکی از محله‌های مرکزی شهر منجیل با ساختمان‌های سنتی

بسیاری از ساختمان‌های سنتی منجیل و رودبار دارای کلاف‌های افقی بوده‌اند لذا ظاهراً آنها را می‌توان مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ دانست. در هیچ یک از ساختمان‌های مورد نظر، کلاف‌بندی قائم به چشم نمی‌خورد. به رغم این موضوع، گاهی به نمونه‌های موفقی از این نوع ساختمان‌ها در شهر منجیل برخورد شده است که در مواردی رفتار آنها حتی با وجود بازشوهای بزرگ، مناسب و قابل توجه بوده و با وجود خسارت‌های شدید سازه‌ای که براین دسته از ساختمان‌ها وارد گردیده است، به علت انسجام کلی سقف و دیوارها، ساختمان‌ها از خرابی مصون مانده و ساکنان آن نجات یافته‌اند. در یک زلزله شدید مانند زلزله منجیل، این بالاترین حد انتظاری است که می‌توان از یک ساختمان سنتی داشت. ولی بسیاری از ساختمان‌های مشابه عملکرد مطلوبی نداشته‌اند. شدت زلزله، کیفیت پایین اجرای ساختمان‌ها و عدم یکپارچگی سقف موجب خرابی بسیاری از ساختمان‌ها گردیده

است. شکل ۲ نمونه‌ای از این ساختمان‌ها را نشان می‌دهد که کیفیت پایین آجرچینی، عدم پیوستگی آرماتورهای کلاف و جداشدن آن از بتن و عدم یکپارچگی سقف موجب خرابی و خسارت گردیده است. نمونه‌های بیشتری از این ساختمان‌ها را می‌توان در شکل ۳ ملاحظه کرد. شکل ۴ فروریختن یک سقف طاق ضربی مهار نشده را در شهر منجیل به نمایش می‌گذارد. خرابی این نوع ساختمان‌ها با خرابی دیوار باربر بخصوص در گوشه‌های ساختمان شروع شده و به سرعت گسترش می‌یابد. بنابراین کیفیت دیوارها و ملات به کار رفته در آجرچینی، بخصوص تدابیر تقویتی گوشهٔ ساختمان در مقاومت آن بسیار موثرند.

ساختمان‌های سنتی شهر ماسوله

شهر ماسوله به فاصله تقریبی ۱۰۰ کیلومتر از مرکز زلزله در دامنه پرشیب دره‌ای کوهستانیَ بنا شده‌است. این شهر به خاطر قدمت ۴۰۰۰ ساله و معماری خاص آن از شهرت خاصی برخورداراست.بسیاری‌از خانه‌های مسکونی این‌شهر هم‌اکنون قدمتی بیش‌ازصدسال‌دارند.

شکل ۴- فروریختن طاق ضربی بدون انسجام

ساختمان‌های شهر ماسوله غالباً از دیوارهای ضخیم خشتی و یا ترکیبی از دیوارهای خشتی و ستونهای چوبی ساخته شده‌اند و در طبقه بندی شکل ۱ در **گروه ساختمانی ۱-۱** قرار می‌گیرند. به علت شرایط خاص کوهستانی، سقف ساختمان‌ها که اغلب حیاط خانه‌های مجاور یا معبر همگانی است، سنگین‌تر و قطورتر از ساختمان‌های مشابه خود در مناطق دیگر ساخته شده‌اند. تیرهای اصلی سقف معمولاً تنه‌های قطور درختان هستند که به فاصله کمی از یکدیگر قرار گرفته‌اند و فاصله آنها را پوشش چوبی و سپس کاهگل پر می‌کند. ساختمان‌های ماسوله غالباً دو یا سه طبقه‌اند.

شدت زلزله در ماسوله ۵ الی ۶ MSK برآورد می‌گردد که برای درهم کوبیدن ساختمان‌های خشت و گلی کافی به نظر می‌رسد. ولی چهره شهر ماسوله پس از زلزله حکایت از مقاومت نسبی اکثر ساختمان‌ها می‌نماید.

آنچه در ساختمان‌های سنتی شهر ماسوله قابل توجه و تدبر است سنت کلاف بندی دقیق در تقریباً تمامی ساختمان‌هاست. ستون‌های چوبی جلو ساختمان‌ها در بالا و پایین به وسیله کلاف‌های چوبی به یکدیگر بسته شده‌اند. در تراز طبقات و در فواصل مناسب در ارتفاع ساختمان، دیوارهای خشت و گلی به وسیله کلاف‌های چوبی افقی تقویت گردیده‌اند. کلاف‌های قائم چوبی نیز در گوشه‌های تعداد زیادی از ساختمان‌ها به چشم می‌خورند. این کلاف‌ها با جزئیات موثر و دقیقی که نمودار درک فنی بالای سازندگان آنهاست به یکدیگر متصل شده‌اند.

زلزله، به شهر ماسوله آسیب‌های زیادی وارد آورده است. ریزش سنگ از کوه موجب خرابی چند خانه و تلفات جانی شده است. لغزش زمین در امتداد شیب دامنه نیز موجب حرکت بیشتر ساختمان‌ها و ترک برداشتن دیوارها و سقف‌ها گردیده است. کنج اغلب ساختمان‌های خشت و گلی آسیب دیده و به علت حرکت دیوارها بسیاری از تیرهای سقف تمام یا بخشی از تکیه‌گاه خود را از دست داده‌اند. ولی از دیده‌گاه مهندسی زلزله،

ساختمان‌های سنتی ماسوله به دلیل انسجام بین دیوارها و کیفیت بالای اجرایی خود توانسته‌اند وظیفه خود را به خوبی در مقابل یک زلزله نسبتاً شدید به انجام رسانده و جان ساکنان خود را محفوظ دارند. حتی یک مورد خرابی کلی براثر زمین لرزه در شهر ماسوله مشاهده نمی‌شود و ساختمان‌ها عموماً رفتار خوبی از خود نشان داده‌اند.

ساختمان‌های سنتی در دیگر شهرها

در شهرها و روستاهای دیگر مناطق زلزله زده، ساختمان‌های سنتی زیادی وجود دارند. ساختمان‌های نوساز را غالباً می‌توان همشکل و همنوع ساختمان‌های منجیل و رودبار دانست و با نمونه‌هایی که از رفتار ساختمان‌های سنتی این دو شهر ارائه گردید از ذکر نمونه‌های بیشتر خودداری کرد.

شهر رشت، مرکز استان گیلان در فاصله ۶۰ کیلومتری از مرکز زلزله، دارای تعداد زیادی ساختمان‌های سنتی است که بعضی از آنها بناهای دولتی نسبتاً قدیمی هستند. ساختمان شهرداری در میدان اصلی شهر یکی از این بناهاست که دیوارهای آجری سنگین آن بر اثر زلزله، خسارت‌های شدیدی متحمل گردیدند. ولی بطور کلی ساختمان‌های سنتی قدیمی شهر رشت، که در طبقه‌بندی شکل ۱ غالباً در **گروه ۱-۳** قرار می‌گیرند با اینکه ضوابط کلاف‌بندی و تعداد طبقات در مورد آنها دقیقاً به اجرا در نیامده بود، در مقابل زلزله از خود مقاومت نشان داده و با وجود خسارت‌های وارد برآنها، جان ساکنان خود را حفظ نمودند. البته شدت کمتر زلزله در شهر رشت (حدود ۶ MSK) را نباید از خاطر دور داشت.

ساختمان سه طبقه دارایی قدیم شهر رشت نیز از زمره این نوع بناها است. این ساختمان قدیمی با دیوارها و ستون‌های آجری و تعداد طبقات بالای آن برای یک ساختمان سنتی، بر اثر زلزله، کمترین آسیبی ندیده است. درست در مجاورت این ساختمان قدیمی، ساختمان ۴ طبقه بتن آرمه جدید دارایی قرار دارد که آسیب‌های سازه‌ای و ناسازه‌ای در آن کاملاً مشهود است.

نتیجه گیری از رفتار ساختمان‌های سنتی

رفتار ساختمان‌های سنتی، در زلزله اخیر را می‌توان مهر تأییدی بر تجربیات و دانسته‌های گذشته مهندسی زلزله در مورد این گروه ساختمان‌ها دانست. بطورکلی هر چه انسجام و پیوستگی این ساختمان‌ها بیشتر باشد ایمنی آنها در مقابل خطر زلزله افزایش می‌یابد. از آنجا که مصالح بنایی ذاتاً ناپیوسته هستند، در مناطقی که امکان این ناپیوستگی بطور طبیعی زیادتر است، مانند گوشه‌های ساختمان، ترازپی و محل اتصال سقف به دیوار، ساختمان به نوعی کلاف بندی نیاز دارد تا انسجام سیستم سازه‌ای را تا حدی حفظ نماید.

تأثیر این کلاف‌ها را در رفتار مطلوب ساختمان‌های ماسوله و بعضی از ساختمان‌های رودبار و منجیل به خوبی می‌توان ملاحظه کرد. اما بحث پیوستگی و انسجام اجزای ساختمان به کلاف بندی محدود نمی‌گردد. چه بسیار ساختمان‌های نوساز رودبار و منجیل که با وجود کلاف‌های افقی، به دلیل کیفیت پایین اجرا در زلزله اخیر فرو ریخت. استفاده از مصالح مناسب بنایی، ملات خوب و پرعیار سیمان، جزئیات اجرایی صحیح بخصوص در محل کنج‌ها و گوشه‌های ساختمان، در کنار کلاف بندی از لازمه‌های مقاوم سازی ساختمان‌های سنتی در برابر زلزله است. چنانکه کیفیت خوب اجرای تعدادی از ساختمان‌های شهر رشت و رعایت این جزئیات، آنها را علی‌رغم نداشتن کلاف بندی محفوظ نگاه داشته است. انسجام کلی سقف و دارا بودن طول تکیه گاه کافی تیرهای سقف بر روی دیوارهای باربر از دیگر عوامل موثر در پایداری این دسته ساختمان‌هاست، اثر این عامل را جابجامی‌توان ملاحظه و بررسی نمود.

ساختمان‌های فلزی

سیستم ساختمان‌های اسکلت فلزی متداول و پدید آمده در ایران، با شکل و ترکیب‌های حاضر در هیچ منطقه دیگری از دنیا بخصوص نقاط زلزله خیز با این وسعت مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. به کارگیری ستون‌های دوبل و تیرهای باربر دولنگه که به صورت یکسره از

برستون‌ها می‌گذرند و به وسیله نبشی‌های بالا و پایین به آنها اتصال می‌یابند، مشخصه این ساختمان‌هاست. این سیستم‌های ساختمانی که بیشتر براساس نیمرخ‌های موجود در ایران و سهولت اجرایی شکل گرفته و متداول گشته‌اند علی‌رغم ضعف‌ها و ابهاماتی که در رفتار آنها به چشم می‌خورد، به آسانی قابل نفی و حذف از صحنه فعالیت‌های ساختمانی نمی‌باشند. بنابراین، مطالعه رفتار این گروه از ساختمان‌ها در زلزله اخیر که تعداد زیادی از آنها را در معرض آزمایش واقعی قرار داد، در کسب درک صحیح از رفتار مورد انتظار از ساختمان‌های مشابه در دیگر نقاط ایران، از دیدگاه صنعت ساختمان می‌تواند بسیار با ارزش باشد.

ساختمان‌های فلزی منجیل و رودبار

در مناطق مرکزی شهرهای منجیل و رودبار که نزدیکترین شهرها به مرکز زلزله محسوب می‌گردند، تعدادی ساختمان‌های ۲ تا ۳ طبقه با اسکلت‌های فلزی به چشم می‌خورد. از طبقه همکف این ساختمان‌ها اغلب استفاده تجاری به عمل می‌آید و از این نظر هیچ گونه دیوار جداگر یا مهار بندی موثری بین قاب‌ها در این طبقه تعبیه نگردیده است. در طبقات بالاتر، قاب‌ها غالباً با دیوارهای ساخته شده از مصالح بنایی پرشده‌اند. سقف این ساختمان‌ها عمدتاً از نوع طاق ضربی است.

اتصالات و کیفیت اجرای ساختمان‌های اسکلت فلزی در شهرهای منجیل و رودبار چندان تفاوتی با ساختمان‌های مشابه خود در دیگر نقاط کشور ندارند. تیرها با یک نبشی در بالا و یک نبشی در پایین به هر ستون با جوش منصل گردیده‌اند. جوشکاری در ارتفاع و وضعیت نامناسب، بدون اعمال کنترلی بر کیفیت کار انجام گردیده است. این اتصالات در فرضیات محاسباتی عموماً مفصلی در نظر گرفته می‌شوند، ولی در واقع مقداری گیرداری نامشخص در گره ایجاد می‌نمایند.

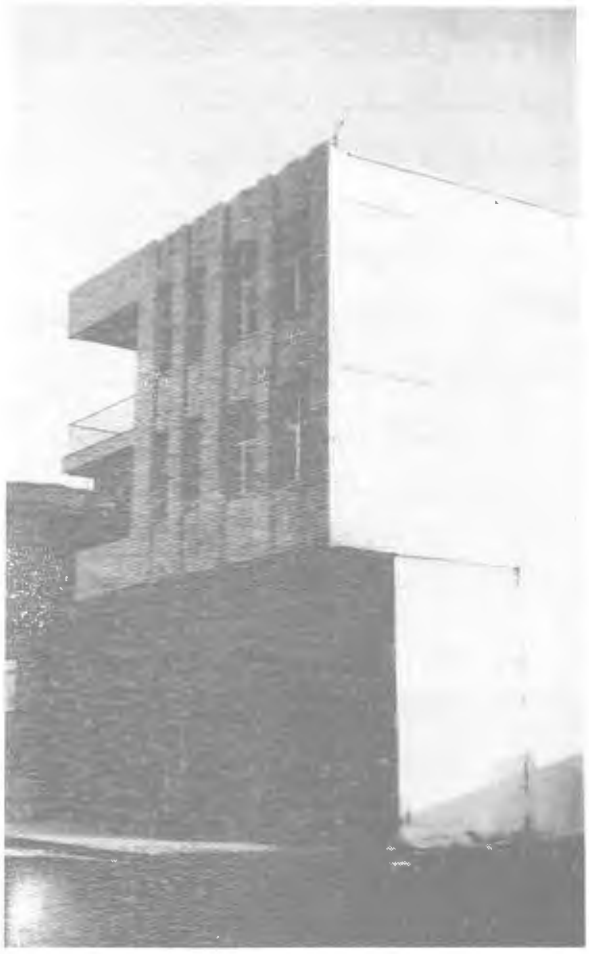
شکل ۵ـ ساختمان اسکلت فلزی در شهر منجیل نمونه‌ای از رفتار ساختمان‌های مشابه را ارایه می‌دهد.

اتصال پایه ستون‌ها به پی با صفحات زیر ستون کارگذاری شده در بتن شالوده و به کمک جوشکاری برقرار می‌گردد. این اتصالات در تئوری و عمل مفصلی هستند. نمونه‌هایی از ساختمانهای فوق در شکل‌های ۵ و ۶ به نمایش در آمده است. در طبقه‌بندی شکل ۱ این ساختمان‌ها در گروه ۲ـ۱ قرار گرفته و از ساختمان‌های بی‌ضابطه محسوب می‌گردند.

توجه به شکل‌های مورد اشاره مشخص می‌سازد که ساختمان‌های تحت بررسی حداقل انتظاری را که در مقابل یک زلزله شدید از ساختمان انتظار می‌رود و آن حفظ جان ساکنان ساختمان است برآورده ساخته است. به علت شکل پذیری بالای فولاد به عنوان یکی از مصالح ساختمانی، با وجود تغییر شکل‌های بزرگی که در اعضا و چرخش‌های شدیدی که در اتصالات ساختمان رخ داده است سازه توانسته‌است پایداری و ظرفیت باربری خود را بالنسبه حفظ نماید.

دیوارهای پرکننده بین قاب‌ها در طبقات بالاتر تغییرشکل‌های این طبقات را تا حدودی کاهش داده‌اند. در عوض اغلب تغییرشکل‌ها در تراز همکف که انعطاف پذیرتر بوده متمرکز گردیده‌اند. در این طبقه ستون‌ها از پایه چرخیده و از راستای قائم خارج شده‌اند. براثر ترکیب لنگر خمشی و نیروی فشاری نامتعادل در ستون‌ها، همگی این اعضا که از دو جهت برای کمانش آزاد هستند دچار تغییرشکل‌های خمیری قابل توجه و کمانش‌های غیرالاستیک گردیده‌اند. همین خسارت‌های سازه‌ای گسترده، استفاده بعدی از این ساختمان‌ها را ناممکن ساخته است. طیف دیگری از ساختمان‌های فلزی شهرهای منجیل و رودبار را اسکلت‌های فلزی با مهار بندی یا قاب‌های پرشده با مصالح آجری تشکیل می‌دهد. کیفیت اجرای این ساختمان‌ها تفاوتی با ساختمان‌هایی که قبلاً بررسی شد ندارد. تنها تفاوت، وجود تعدادی مهاربند یا دهانه‌های پرشده با دیوار آجری در قاب‌هاست. مهاربندی‌ها بعضاً ناقص، نامتقارن، غیر منطقی و قطعاً طراحی نشده‌اند. دیوارهای پرکننده را نیز هیچ اتصال موثری مانند شاخک‌های فلزی به اسکلت ساختمان متصل نمی‌سازد.

شکل ۶ـ ساختمان اسکلت فلزی در شهر منجیل



شکل ۷ـ ساختمان اسکلت فلزی دارای بادبند و باقاب‌های‌پرشده با دیوار آجری در شهر منجیل

لیکن تاثیر همین مهاربندی‌های ناقص بر روی رفتار ساختمان قابل ملاحظه است. به عنوان نمونه می‌توان به چندین مورد ساختمان ۲ و ۳ طبقه در محلات مرکزی شهر منجیل اشاره کرد. یکی از این ساختمان‌ها، یک کارگاه تراشکاری دو طبقه است که علی‌رغم پلان نامتقارن، وجود منبع سنگین آب برروی بام، به‌دلیل قاب فلزی پرشده با دیوارهای آجری به‌خوبی در برابر نیروهای زلزله مقاومت نموده و خسارات وارد بر آن تماماً غیرسازه‌ای و جبران پذیرند. مورد دیگر یک ساختمان فلزی سه طبقه است. با وجود آنکه بخشی از طبقه همکف این ساختمان به دلیل ایجاد مغازه بدون دیوار پرکننده و مهاربندی رها شده است

ولی همین مهاربندی ناقص، نامنظم و غیر منطقی، خسارت‌های وارد به ساختمان را تا حدود زیادی محدود ساخته است. خسارت‌های وارد به این ساختمان عمدتاً غیر سازه‌ای و قابل جبران هستند. در شکل ۷ یک ساختمان اسکلت فلزی با قاب‌های پرشده از مصالح بنایی و دارای بادبند در شهر منجیل به نمایش در آمده است. خسارت‌های وارد به این ساختمان جزئی بوده و حتی شیشه پنجره‌ها سالم مانده‌اند.

ساختمان‌های فلزی شهر رشت

شهر رشت، مرکز استان گیلان بزرگترین و مهمترین شهر ناحیه زلزله زده است. فاصله رشت از مرکز زلزله در حدود ۶۰ کیلومتر و شدت زلزله در این شهر حدود ۶ تا ۷ MSK برآورد گردیده است. بنابراین ساختمان‌های شهر رشت در معرض لرزش‌های زلزله‌ای به مراتب خفیف‌تر از زلزله منجیل و رودبار قرار داشته‌اند.

چهره شهر رشت روزهای پس از زلزله، چندان آسیب دیده نبود. محله‌های قدیمی و مرکزی شهر نسبتاً سالم به نظر می‌رسیدند. تنها در گوشه و کنار، تعدادی ساختمان‌های جدید و نوساز دچار خسارت‌های شدید شده بودند. به نظر می‌رسید که زلزله از میان انبوهی از ساختمان‌ها، تنها تعدادی را دستچین نموده و آنها را در هم کوبیده است. متاسفانه اغلب ساختمان‌های مزبور دارای استخوان‌بندی فولادی بوده و ظاهراً توسط یا با دخالت مهندسین ساخته شده‌اند. غالب ساختمان‌های آسیب دیده بین ۵ تا ۸ طبقه است.

نظر به دوری شهر رشت از مرکز زلزله و پریود بالای امواجی که از طریق زمین به این شهر رسیده‌اند و نوع خاک شهر که از لایه‌های ضخیم و سست ریزدانه با سطح آب زیرزمینی بالا تشکیل شده است، می‌توان انتظار داشت که نوعی تشدید بین ارتعاشات زمین و ارتعاش بعضی از سازه‌ها در شهر رشت اتفاق افتاده باشد. بسیاری از گزارش های منتشر شده تا این تاریخ نیز به این احتمال اشاره نموده‌اند. خصوصاً آنکه پریود طبیعی اغلب ساختمان‌های آسیب دیده در حدود ۰٫۶ تا ۰٫۸ ثانیه است.

حداقل در سه مورد ساختمان‌های ۸ طبقه کاملاً فروریخته‌اند و ساختمان‌های زیادی از این دست آسیب‌های جدی را تحمل نموده‌اند. شکل ۸ آوارهای به جامانده از ساختمان خوابگاه مخابرات را در میدان گاز شهر رشت به نمایش می‌گذارد. خوشبختانه در این خوابگاه به هنگام وقوع زلزله کسی اقامت نداشته است.

در مجاورت این ساختمان تعدادی ساختمان مسکونی ۷ طبقه قرار داشته‌اند که بر اثر زلزله خسارت سازه‌ای و غیر سازه‌ای زیادی را متحمل شده‌اند. نمایی از این ساختمان‌ها در شکل ۸ دیده می‌شود. از جمله ساختمان‌های اسکلت فلزی کاملاً منهدم شده شهر رشت می‌توان به یک ساختمان ۸ طبقه مسکونی که ۴۹ خانواده در آن سکونت داشتند اشاره کرد. اکثر تلفات جانی شهر رشت به همین ساختمان مربوط می‌گردد. در هنگام بازدید از این ساختمان هنوز عملیات امداد ادامه داشت. ساختمان فلزی دیگری نیز در خیابان منتهی به میدان توشیبا دچار تخریب کامل شده‌بود. این ساختمان با اضافه کردن ۲ طبقه جدید به یک ساختمان ۵ طبقه ساخته شده‌بود.

شکل ۸ـ آوارهای به‌جامانده‌از ساختمان ۸ طبقه مخابرات شهر رشت و ساختمانِ‌های‌مسکونی‌مجاور آن

تمام این ساختمان‌ها دچار ضعف سیستم ساختمانی و ضعف‌های اجرایی بوده‌اند. سقف تمامی این ساختمان‌ها از نوع تیرچه بلوک و تیرهای اصلی آنها لانه زنبوری بوده‌است. جزئیات ساختمانی در تمام موارد مطالعه از نوع ساختمان‌های متداول در ایران بوده‌اند. ستون‌های دوبل، تیرهای باربر دولنگه و اتصال به نبشی‌های بالا و پایین، مشخصه این ساختمان‌هاست. هیچ کدام از این ساختمان‌ها مهاربندی موثری نداشته‌اند. در طبقه‌بندی مندرج در شکل ۱ این ساختمان‌ها در گروه ۲-۱ قرار می‌گیرند و در طراحی و ساخت آنها ضوابط مهندسی رعایت نگردیده‌است. این ساختمان‌ها همگی در محوطه باز یا در نبش قرار داشته و به ساختمان‌های دیگر تکیه نکرده‌بودند. پنجره‌های متعددی در وجوه مختلف این ساختمان‌ها وجود داشته که از تأثیر پرکنندگی دیوارها کاسته‌است.

ساختمان‌های میدان توشیبا و میدان گاز از کیفیت اجرایی نسبتاً نازلی برخوردار بوده‌اند. در ساختمان ۷ طبقه میدان توشیبا از مقاطع مورد استفاده در یک ساختمان حداکثر ۳ طبقه استفاده شده‌بود. در ساختمان مخابرات واقع در میدان گاز نیز ضعف‌های قابل توجهی در اعضا و اتصالات به چشم می‌خورد. تقویت لانه زنبوری‌ها صحیح انجام نگرفته‌بود، وصله ستون‌ها درست در مجاورت تیرها انجام پذیرفته‌بود، و بست ستون‌ها با فاصله و اتصال مناسب اجرا نگردیده‌بود.

ساختمان ۸ طبقه مسکونی مجاور شهر بازی رشت علاوه بر سیستم بد و اجرای ضعیف از نظر تدابیر معماری ضعف‌های عدیده‌ای در بطن خود داشته‌است. پلان ساختمان به شکل L طراحی شده و هیچ درز جدایی میان دو شاخه ساختمان درنظر گرفته‌نشده‌بود. طبقه همکف ساختمان به پارکینگ اتومبیل‌ها اختصاص یافته و طبعاً دیوارهای پرکننده بین قاب‌ها بطور ناگهانی در این طبقه قطع شده و طبقه‌ای نرم را تشکیل داده‌بودند. تأسف‌آورتر از همه، استخر سرپوشیده‌ای در بالاترین طبقه ساختمان تعبیه گردیده‌بود که به هنگام وقوع زلزله از آب پر بوده‌است.

دیگر ساختمان فلزی شهر رشت که بکلی ویران گردیده‌است، ساختمانی مسکونی ۴ طبقه در مرکز شهر است. از این ساختمان که توسط یکی از ساکنان آن که جوشکار بوده ساخته شده‌بود، جز خرابی براثر کوچکترین تکان زمین، انتظار دیگری نمی‌شد داشت. اعضای ضعیف، اتصالات نامناسب و بی‌توجهی کامل به جزئیات اجرایی، سرنوشتی را برای این ساختمان رقم زده‌بود که دیر یا زود قطعی به نظر می‌رسید. فاصله بست‌های بالای یک متر برای مرکب کردن نیمرخ‌های ستون، چشم‌پوشی از نبشی بالایی در اتصال تیر به ستون، خالجوش کردن تمام اتصالات به جای جوش کامل و پیچ‌های مهاری ضعیف و غیرقرینه در پای ستون‌ها، همه و همه در خرابی این ساختمان و کشته شدن ساکنان آن مؤثر بوده‌اند. ولی باید دید کدام ضابطه و قانونی به سازنده این ساختمان که خود نیز قربانی اشتباهات خود شده‌است، اجازه داده است تا جان عده زیادی را این چنین در معرض فنا قرار دهد. در شکل ۹ آوارهای به جا مانده از این ساختمان به نمایش درآمده‌است.

شکل ۹ـ آوارهای به جامانده از یک ساختمان مسکونی ۴ طبقه با اسکلت فلزی در شهر رشت

باآنچه تا این مرحله در مورد سیستم سازه‌ای و کیفیت اجرای ساختمان‌های فلزی ویران شده در شهر رشت گفته‌شد، می‌توان نتیجه گرفت که تئوری تشدید امواج ارتعاش در صورت صحت تنها می‌تواند جزئی از علل خرابی‌های گسترده در ساختمان‌های مشابه بااسکلت فولادی را تشکیل دهد و علت عمده را می‌باید در خود ساختمان‌ها جستجو کرد. سنگینی ساختمان و تعداد طبقات بالنسبه زیاد آن، همچنین موقعیت جدا افتاده این ساختمان‌ها، موجب‌گردیده‌اند تا حساسیت ساختمان‌ها درمقابل ضعف‌هابیشتر بوده‌باشد و آنچه درموردساختمان‌های‌کوچکتر موجب آسیب گردیده‌است،اینجاباعث‌خرابی‌کلی شود.

به علاوه، خرابی ساختمان‌های بلند در شهر رشت عمومیت ندارد. ساختمان‌هایی دارای همین اجزای سازه‌ای که کمی منطقی‌تر و اصولی‌تر به کار گرفته‌شده‌اند، مقاومت خوبی در مقابل لرزش‌های زلزله نشان داده‌اند. ساختمان ۹ طبقه مشترک نیروهای مسلح و نهادها یکی از این ساختمان‌هاست. این ساختمان اسکلت فلزی، که پلان و ارتفاع نامنظمی هم دارد در برابر زلزله مقاومت خوبی از خود نشان داده‌است و تنها بعضی از ناسازه‌ها و دیوارهای جداگر داخلی آن تا حدودی آسیب دیده‌اند. نمای ساختمان کاملاً سالم است. این ساختمان فلزی دارای اعضا و اتصالات متداول بوده‌است و سقف‌های آن از نوع تیرچه و بلوک سیمانی هستند. سه چیز، ساختمان را از دیگر ساختمان‌هایی که تاکنون بررسی نمودیم متمایز می‌سازد. اول آنکه اسکلت در هر دو راستای اصلی دارای مهاربندی است. این مهاربندی‌ها از جنس قوطی‌های ساخته‌شده از نبشی هستند که به فشار نیز کار می‌کنند. به علت محدودیت معماری این مهاربندی‌ها در بعضی طبقات جابجا یا قطع شده‌اند ولی کاملاً مهاربندی قائم تا تراز روی پی امتداد دارد. دوم آنکه ساختمان برروی یک پی گسترده بنا شده است و سوم کیفیت بالنسبه قابل قبول اجرایی جزئیات سازه‌ای است.

ساختمان ۷ طبقه علوم پزشکی شهر رشت نیز بالنسبه مقاومت خوبی از خود نشان داده‌است. این ساختمان که فقط در یک جهت مهاربندی شده‌است عمدتاً خرابی‌های غیر سازه‌ای را متحمل شده است.

ساختمان‌های بررسی‌شده تا این مرحله در دو سر طیف رفتار ساختمان‌های فلزی شهر رشت قرار گرفته‌اند. تعداد زیادی از ساختمان‌های فلزی، که غالباً در همان محدوده ۶ تا ۸ طبقه هستند براثر زلزله آسیب‌های جدی سازه‌ای دیده‌اند ولی با حفظ ایستایی خود، جان ساکنانشان را حفظ نموده‌اند. چنین رفتاری شاید در یک زلزله شدید رفتار مطلوبی برای ساختمان به شمار آید، ولی در شهر رشت شدت زلزله نسبتاً پایین بوده‌است و نیروی جانبی که ساختمان‌ها در عمل با آن مواجه گردیده‌اند باتوجه به عوامل تخفیف دهنده‌ای مانند میرایی و شکل‌پذیری، کمتر از نیروهایی است که بطور معمول، ساختمان‌ها برای آن طراحی می‌شوند. به‌این ترتیب خرابی‌های گسترده سازه‌ای دور از انتظار و توجیه‌ناپذیر می‌نماید.

ساختمان‌های ۷ طبقه مسکونی میدان گاز که در مجاورت خوابگاه مخابرات قرار گرفته‌بودند نمونه‌ای از این رفتار به شمار می‌آیند. این ساختمان‌های فاقد مهاربندی مؤثر، بخصوص در طبقات پایین خسارت‌های سازه‌ای فراوانی را در محل گره‌های اتصال و در ستون‌ها متحمل گردیده‌اند. خسارت‌های غیرسازه‌ای نیز در طبقات پایین‌تر بسیار وسیع است. این خسارت‌ها در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تا حدودی به‌نمایش درآمده‌اند. از داخل ساختمان‌ها، جاری شدن اتصالات و خسارت‌های ناسازه‌ای شدید بهتر مشخص می‌گردند.

یکی از رایج‌ترین علل وارد آمدن خسارت به ساختمان‌های فلزی شهر رشت، مجاورت بناهای نابرابر از لحاظ بلندی بوده‌است. این ساختمان‌ها که معمولاً بدون در نظر گرفتن هیچ فاصله‌ای درکنار هم ساخته شده‌اند در هنگام وقوع زلزله به دلیل ناهمگونی ارتعاشاتشان به یکدیگر ضربه می‌زنند. تجربه نشان می‌دهد که در این ضربه زدن غالباً ساختمان بلندتر آسیب خواهد دید. نمونه‌ای از این قبیل آسیب‌ها در شکل ۱۲ به نمایش درآمده‌است. در این شکل، با وجود اینکه ارتفاع ساختمان‌های مجاور به هم نزدیک است، باز هم ضربه‌های ناشی از وقوع زلزله، خارج‌شدن از امتداد شاقولی و باز شدن درز را موجب گردیده‌است.

شکل ۱۰ـ ساختمان‌های اسکلت فلزی در میدان گاز که به علت چرخش ستون‌ها و اتصالات در طبقات پایین از شاقول خارج شده‌اند.

ساختمان بنیاد مسکن انقلاب اسلامی با اسکلت فلزی ۸ طبقه در یکی از میدان‌های شهر رشت واقع شده‌است. ساختمان نیمه کاره بوده و سه طرف آن آزاد است. سقف‌ها طاق ضربی و دیوارهای جداگر از بلوک سفالی هستند. قاب و اتصالات آن از نوع متداول در ایران است. قاب و مهاربندی اصلی هر دو در جهت عرضی قرار گرفته‌اند. در جهت طولی تنها یک مهاربندی ناقص در مرکز ساختمان وجود داشته که در تراز همکف قطع شده‌است. وزن

شکل ۱۱ـ ساختمان‌های مسکونی ۷ طبقه در میدان گاز. تمرکز خرابی‌ها در طبقات پایین‌تر به چشم می‌خورد.

مرده ساختمان در اصل کم و به هنگام وقوع زلزله به خاطر عدم تکمیل سفت کاری کمتر از حالت سرویس ساختمان بوده‌است ولی اثر زلزله برهمین وزن مرده کم، موجب گسیختگی مهاربندی‌های طولی و خروج ساختمان از امتداد شاقولی گردیده‌است. در بالاترین تراز، انحراف حدود ۲۵ سانتیمتر از امتداد قائم است. به‌علاوه ضربه‌زدن به ساختمان مجاور در ستون‌های طبقه پنجم مقداری انحراف ایجاد نموده‌است. در شکل ۱۳ نمایی از این ساختمان و ساختمان مجاور آن به تصویر آمده است.

شکل ۱۲- ضربه‌زدن ساختان‌های مجاور، تغییر شکلهای غیرارتجاعی و چرخش اتصالات ساختمان بلندتر موجب باز شدن درز بین دو ساختمان گردیده‌است.

قاب‌های فولادی یک طبقه صنعتی

در شهرهای منجیل، رودبار، گنجه و لوشان، ساختمان‌ها و سالن‌های صنعتی متعددی از نوع قاب‌های فولادی یک طبقه با سقف شیبدار (معروف به سوله) وجود دارند. این ساختمان‌ها که معمولاً با اتصالات گیردار در صفحه قاب و اتصالات مفصلی همراه با مهاربندی در راستای طولی اجرا می‌شوند، در طبقه‌بندی شکل ۱ در رده ۲-۱ قرار می‌گیرند و غالباً مطابق ضوابط مهندسی ساخته می‌شوند.

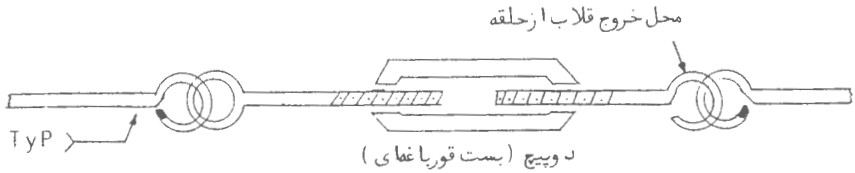
قاب‌های صلب شکل‌پذیر این ساختمان‌ها در مقابل زلزله شدید این مناطق که بین ۸ تا ۱۰ MSK بوده‌است، مقاومت خوبی از خود نشان داده‌اند. تنها در بعضی موارد ضعف‌های موضعی از نوع کمانش و تغییرشکل خمیری بال فشاری در محل گوشه این قاب‌ها به چشم می‌خورد.

شکل ۱۳ـ ساختمان نیمه تمام بنیادمسکن‌انقلاب‌اسلامی رشت در ۸ طبقه‌وساختمان ۵ طبقه مجاور آن

در راستای طولی، دیوارهای آجری که بین قاب‌های فلزی را پرکرده‌اند بعضاً دچار آسیب‌دیدگی و ترک‌های شدید شده‌اند. در مهاربندی‌های قائم که اغلب داخل این دیوارهای آجری قرار گرفته‌اند ضعف عمده‌ای به چشم نمی‌خورد ولی مهاربندی‌های افقی سقف از هم گسیخته و به صورت رشته‌های آویزان از سقف درآمده‌اند، نمونه این نوع آسیب‌ها را می‌توان در شکل ۱۴ ملاحظه کرد.

شکل ۱۴ـ داخل یک ساختمان صنعتی که مهاربندی‌های سقفی آن براثر زلزله گسیخته شده‌اند.

در بسیاری از موارد مهاربندها از محل اتصال دوپیچ و اتصالات پیچی انتهایی بریده‌اند، ولی یک نحوه معمول خرابی مهاربندها خارج شدن قلاب از حلقه دو پیچ یک نوع اتصال تیپ شرکت‌های سازنده سوله است. این اتصالات تیپ در شکل ۱۵ به نمایش درآمده‌است. استفاده از این نوع اتصال در نواحی زلزله‌خیز باید مورد تجدیدنظر قرارگیرد. به‌نظر می‌رسد که پس از خرابی مهاربندهای افقی، پوشش سقف به صورت یک دیافراگم نقش آن را به عهده گرفته و یکپارچگی سقف را برقرار نموده‌است.



شکل ۱۵ـ اتصال تیپ مهاربندی‌های کارخانه‌های سازنده سوله که در زلزله عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌است.

یکی از وجوه تمایز ساختمان‌های صنعتی در نواحی زلزله‌زده، رفتار دیوارهای آجری این ساختمان‌ها براثر زمین‌لرزه است. در ساختمان‌هایی که دیوار آجری با قاب اتصال موثری نداشته است، دیوارهای آجری فروریخته و بعضاً خسارت‌های شدیدی وارد نموده‌اند. اتصال موثر بین قاب و دیوارها باعث حفظ دیوار می‌شود ولی براثر نیروی وارد براین دیوارها قاب فلزی تحت تنش‌های بیشتری قرار گرفته و احیاناً آسیب‌های موضعی یا کلی خواهد دید. به‌هرحال در حالتی که اتصال موثر بین قاب و دیوار آجری برقرار گردد به حساب آوردن نیروی زلزله موثر بر دیوار در طراحی قاب امری الزامی به‌نظر می‌رسد.

درکل ساختمان‌های صنعتی با قاب فلزی که جزء ساختمان‌های سبک به‌شمار می‌روند، در زلزله اخیر رفتار خوبی از خود نشان داده‌اند. جالب توجه اینکه تعدادی از این ساختمان‌ها که در بادگیرترین مناطق ایران واقع شده‌اند، شدیدترین توفان‌ها نیز نمی‌توانستند خسارت‌هایی مشابه آنچه براثر زلزله اخیر به ساختمان‌ها وارد گردیده‌است، به بار آورند.

نتیجه‌گیری از رفتار ساختمان‌های فلزی

طیف وسیع ساختمان‌های فولادی در مناطق زلزله‌زده و تشابه روش، جزئیات و کیفیت اجرای این ساختمان‌ها می‌تواند راهنمای بسیار باارزشی برای مهندسان در انتخاب و طراحی یک سیستم کارآ برای مناطق زلزله‌خیز باشد.

بطور کلی ساختمان‌های دارای اسکلت فولادی را در مناطق زلزله‌زده می‌توان چنانکه در نمودار شکل ۱ آمده است از نظر سیستم سازه‌ای به‌دو گروه تقسیم نمود. از لحاظ تیپ و جزئیات اجرایی، این دو گروه تقریباً مشابه یکدیگرند و از نوع اسکلت‌های فلزی متداول در ایران به حساب می‌آیند.

گروه الف) ساختمان‌های دارای سیستم سازه‌ای منطبق با استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران که شامل ساختمان‌های دارای قاب صلب شکل پذیر یا قاب مفصلی با مهاربندی می‌شوند.

گروه ب) ساختمان‌های غیر منطبق با شرایط و ضوابط مهندسی که عمدتاً شامل ساختمان‌های با اتصالات غیر گیردار بین تیروستون و بدون مهاربندی می‌گردند.

ساختمانهای **گروه الف** در زلزله اخیر رفتار خوبی از خود نشان داده‌اند. بخصوص قاب‌های فلزی مهاربندی شده چه در مورد ساختمان‌های کوچک و سبک شهرهای رودبار و منجیل و چه در مورد ساختمان‌های نسبتاً بلند و سنگین شهر رشت کمترین آسیب‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای را متحمل گردیده‌اند.

قاب‌های شکل پذیر با اتصالات گیردار نیز از خود مقاومت خوبی نشان داده‌اند،رفتار سوله‌های شهرک گنجه نمونه‌ای از این عملکرد تحت شدیدترین لرزش‌های زمین‌لرزه است. ولی ناهمسازی تغییرمکان‌های قاب و تغییرشکل‌های قابل تحمل توسط مصالح بنایی در تعدادی از موارد موجب خرابی وسیع دیوارها دراین گونه ساختمان‌ها گردیده است.

رفتار ساختمان‌های گروه ب که غالب ساختمان‌های فلزی مناطق زلزله زده را تشکیل می‌داده‌اند تا حدی پیچیده و شایان بررسی دقیقتر است. در رودبار و منجیل که شدت زلزله بسیار زیاد بوده است (۷ تا ۱۰ MSK) بسیاری از این ساختمان‌ها با تکیه برگیرداری نسبی تعدادی از اتصالات خود یا بر اثر پرکنندگی مصالح بنایی در داخل قاب‌ها، از خود مقاومت نشان داده و با وجود خسارت‌های شدید، که بر آنها وارد آمده جان ساکنان خود را نجات داده‌اند. (آیین نامه‌های ساختمانی نیز در یک زلزله شدید انتظاری بیش از این ساختمان ندارند). ولی در شهر رشت که در ۶۰ کیلومتری مرکز زلزله قرار گرفته است نمونه‌هایی از همین ساختمان‌ها منتها با تعداد طبقات بیشتر، در مقابل لرزه‌های زمین از خود ضعف شدید نشان داده و بکلی ویران گردیده‌اند. آنچه در اولین نگاه قابل نتیجه‌گیری به نظر می‌رسد آن است که ساختمان‌های فلزی متداول با کیفیت اجرایی معمول آنها در ایران را، وقتی که تعداد طبقات آنها از دو یا سه تجاوز نکند می‌توان برای تحمل نیروهای جانبی، از نوع قابی با اتصالات گیردار محسوب نمود و فرض کرد که اتصالات متداول این قاب‌ها در حد خمیری لنگرها و تلاش‌های ناشی از زلزله را تحمل می‌کنند. البته عواملی مانند سطح اشغال شده توسط دیوارها و نحوه درگیری آنها با قاب‌های فلزی، وجود یا عدم وجود پیلوتی یا فضای تجاری در طبقه همکف، یا... بر روی رفتار این ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارند، ولی در جمع، نتیجه‌گیری فوق را با توجه به مشاهدات به عمل آمده می‌توان قابل قبول دانست.

در ساختمان‌های بیش از ۴ طبقه که نسبتاً سنگین محسوب می‌گردند رفتار قاب‌های فلزی متداول تا حد فوق قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. میزان گیرداری واقعی اتصالات، کیفیت اجرای کار، دیوارهای پرکننده بین قاب‌ها و سطح، جنس و نحوه درگیری آن با قاب، وجود یا عدم وجود طبقه پیلوتی یا تجاری،... همه وهمه عواملی هستند که تأثیر تعیین کننده‌ای بر رفتار سازه می‌گذارند. در هر صورت ضعف سیستم سازه‌ای در این نوع ساختمان‌ها چشمگیر و نگران‌کننده است. فرض معمول مفصلی بودن اتصالات متداول و به کارگیری مهاربندی در هر دو جهت تنها راه ایمن سازی این نوع ساختمان‌ها در مقابل نیروهای زلزله به نظر می‌رسد.

بررسی عملکرد تاسیسات و شریان‌های حیاتی در زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل*

دکتر ساسان عشقی

چکیده

زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل با بزرگی ۷٫۷ علاوه بر صدمات جانی و خرابی‌های سازه‌ای فراوان، آسیب‌های سنگین و گسترده‌ای بر تأسیسات و شریان‌های حیاتی و صنعتی منطقه وارد کرد. منطقه آسیب دیده در این زلزله که بخش بزرگی از استان‌های گیلان و زنجان را دربر می‌گیرد با جمعیتی بیش از سه میلیون نفر از اهمیت ویژه‌ای در بخش‌های کشاورزی و صنعت و بطور کلی اقتصاد ملی کشور برخوردار است. از تاسیسات و شریان‌های حیاتی آسیب دیده در این زلزله سیستم‌های حمل و نقل، سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی و الکتریکی، سیستم‌های تامین و انتقال و توزیع آب دارای اهمیت بیشتری بوده و صدمات وارده بر آنها مشکلات فراوانی را در امر نجات، امداد و همین‌طور کمک رسانی به مجروحان و نجات یافتگان از این سانحه ایجاد نمود. در این مقاله حدود خسارات وارد بر این تأسیسات و شریان‌های حیاتی در زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل بررسی شده و آموخته‌ها و بازآموخته‌های این زلزله بیان گردیده است.

---

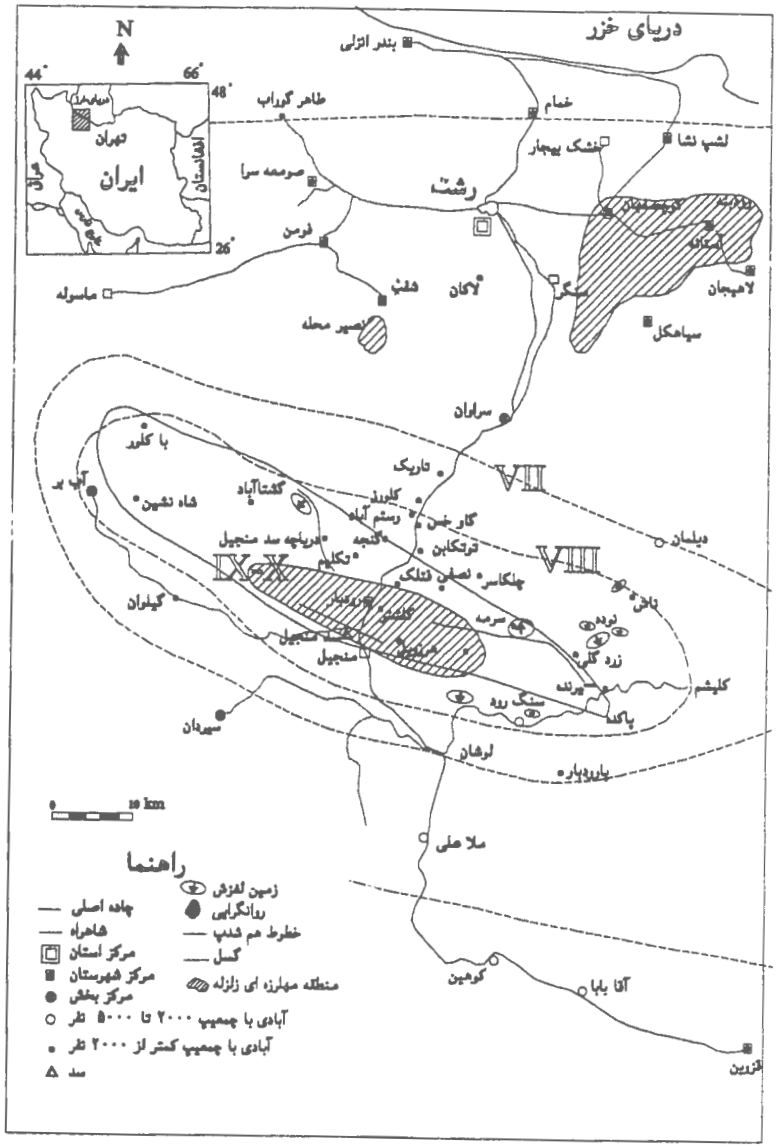
* مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد سوم، تهران خرداد ماه ۱۳۷۰

مقدمه

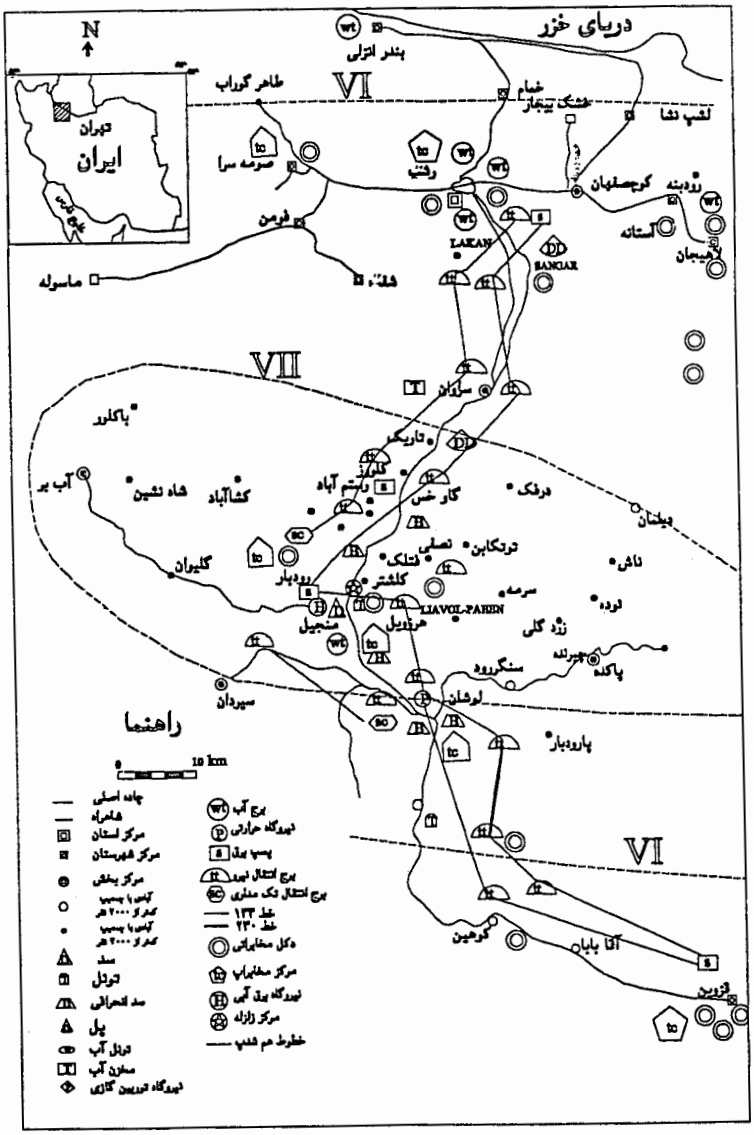
زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ با بزرگی ۳ر۷ در مقیاس امواج حجمی و ۷ر۷ در مقیاس امواج سطحی در منطقه وسیعی از استان‌های گیلان و زنجان قربانیان و خرابی‌های فراوانی بر جای گذاشت. بررسی دقیق مشخصات زلزله و ابعاد صدمات و خرابی‌های سازه‌ای و ژئوتکنیکی ناشی از آن تا به حال در مقالات و گزارش‌های مختلفی عرضه گردیده است [۱ و ۲]. در زلزله منجیل به تاسیسات و شریان‌های حیاتی و صنعتی منطقه زلزله زده آسیب‌های قابل توجهی وارد شد. شریان‌های حیاتی نظیر سیستم‌های حمل و نقل، برق، آب، سوخت و مخابرات، سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که در تامین نیازهای اساسی هر جامعه نقش تعیین کننده‌ای را به عهده دارند. علاوه بر آن، شریان‌های حیاتی سیستم‌هایی به هم پیوسته بوده و معمولاً قسمتی از یک شبکه گسترده را، که منطقه بزرگی را پوشش می‌دهند، شامل می‌شوند. عملکرد نامناسب قسمت کوچکی از شبکه ممکن است باعث اختلال در ناحیه بسیار وسیعی گردد. در این زلزله نیز مانند دیگر زلزله‌های بزرگ دنیا صدمه به شریان‌های حیاتی غالباً در اثر گسیختگی زمین[1] بوده است.

در این مقاله حدود خسارت‌های وارده به شریان‌های حیاتی مهم شامل سیستم‌های حمل و نقل، سیستم‌های تولید و انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و سیستم‌های تامین و انتقال و توزیع آب بررسی گردیده و توصیه‌هایی در زمینه برنامه‌ریزی اضطراری و همین‌طور بازسازی آنها ارایه می‌گردد، علاوه بر بررسی عملکرد بد شریان‌های حیاتی در منطقه زلزله زده، نمونه‌هایی نیز از عملکرد خوب این شریان‌ها بیان شده است. در تصویر ۱، نقشه همشدت زلزله و مناطق مهلرزه‌ای نشان داده شده است و در تصویر ۲، محل تاسیسات آسیب دیده مورد مطالعه بر روی نقشه‌ای مشابه منعکس شده است. بررسی تحلیلی عملکرد تاسیسات و شریان‌های حیاتی و صنعتی در زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل توسط مؤلف در مرجع ۳ انجام گرفته است.

1- Ground failure



تصویر ۱ ـ نقشه همشدت زلزله و مناطق مهلرزه‌ای



تصویر ۲ ـ محل تاسیسات و شریان‌های حیاتی آسیب‌دیده

سیستم‌های حمل و نقل

سیستم‌های حمل و نقل بعد از هر زلزله بزرگ می‌توانند به صورت شبکه‌ای جهت حمل و نقل اضطراری امدادگران و همین‌طور نیازهای اولیه، وسایل و تجهیزات اولیه مفید واقع گشته و علاوه بر آن به عنوان راه فراری برای نجات یافتگان از زلزله مورد استفاده قرار گیرند. عملکرد سیستم‌های حمل و نقل شامل راه‌های اصلی و فرعی، پل‌ها و تونل‌ها را در این زلزله می‌توان در مجموع نسبتاً رضایتبخش ارزیابی کرد.

راه‌ها

سنگ‌ریزش‌ها و زمین‌لغزش‌های گسترده‌ای که در راه‌های اصلی و فرعی تحت اثر شوک اصلی و پسلرزه‌های زلزله در منطقه وسیعی اتفاق افتاد، موجب انهدام تعداد زیادی وسایل نقلیه سبک و سنگین و از بین رفتن سرنشینان آنها و همین‌طور راه‌بندان‌های طولانی و در مجموع باعث کندی و وقفه در کار امدادرسانی بعد از زلزله بویژه با توجه به زمان وقوع زلزله (نیم ساعت بعد از نیمه شب) گردید. علاوه بر آن ترک‌ها و نشست‌های ایجاد شده در رویه آسفالتی و شانه‌های راه‌ها در اثر زلزله مشکلاتی را در امر حمل و نقل ایجاد کرد.

در محور راه اصلی قزوین ـ رشت از گردنه کوهین (۱۴۰ کیلومتری رشت) تا نزدیکی رستم آباد (۵۰ کیلومتری رشت) سنگ‌ریزش‌های بزرگ و کوچک فراوانی در دامنه کوه‌های دو سمت راه در اثر شوک اصلی و پسلرزه ها متناوباً ایجاد گردیدند. ابعاد تخته سنگ‌های فروافتاده در حدودی بود که برای کنار زدن آنها و بازکردن راه مکرراً عملیات آتشباری صورت گرفت. زمین‌لغزه‌های بزرگی در محور این راه در فاصله بین رستم‌آباد و امامزاده‌هاشم (۳۰ کیلومتری رشت) در اثر زلزله متناوباً ایجاد گردید. یکی از بزرگترین آنها در محل سد انحرافی تاریک تا چند ماه بعد از زلزله مکرراً اتفاق می‌افتاد و به وسیله ماشین‌آلات راه‌سازی مستقر در محل نسبت به جمع‌آوری آن اقدام می‌گردید. خسارت‌های ناشی از زلزله در بستر راه ناشی از صدمات وارده به قسمت خاکریز راه بود که شامل

گسیختگی شیروانی[1]، ترک‌های طولی شکست و نشست بود. این خسارت‌ها بطور عمده در این محور در فاصله‌ای بین کوه‌گیر (۹۰ کیلومتری رشت) تا امامزاده هاشم در سطح راه و شانه‌های خاکی آن ایجاد شده بود. اکثر این ترک‌ها توسط اداره کل راه و ترابری استان گیلان در حدود یک هفته بعد از وقوع زلزله ترمیم گردید(تصاویر ۳و۴).

راه‌های فرعی

اکثر راه‌های فرعی در منطقه زلزله زده کوهستانی و صعب‌العبور می‌باشد. بعد از زلزله در اثر وقوع سنگ‌ریزش‌ها و زمین‌لغزه‌های بزرگ عملاً برای مدت نسبتاً طولانی این راه‌ها بطور کلی مسدود گردید و عملیات امدادرسانی بطور محدود از طریق هلیکوپتر صورت می‌گرفت. سنگ‌ریزش‌های بزرگی در محور راه فرعی لوشان به جیرنده و کلیشم به وقوع پیوسته بود که عملیات پاکسازی این محور با کوشش مدیریت و کارکنان معدن ذغال سنگ سنگرود و با کمک ماشین‌آلات سنگین راه‌سازی معدن در طول شب و تنها چند ساعت بعد از وقوع زلزله انجام گرفت. در منطقه عمارلو سنگ‌ریزش‌های بزرگی نیز در راه فرعی بین لیاول سفلی و دردشت موجب مسدود شدن این راه شده بود. در محور راه فرعی سیاهکل به دیلمان زمین‌لرزه‌های متعددی موجب قطع ارتباط این محور گردیده بود. در راه فرعی بین پاکده و جیرنده لغزش زمین در اثر زلزله باعث تغییر مکان قائمی در حدود ۲ر۵ متر گردیده بود. در ابتدای راه دسترسی سد سفیدرود نیز یک ترک عرضی با تغییر مکان قائم قابل ملاحظه در اثر زلزله ایجاد شد. موارد بسیاری از این قبیل در منطقه آسیب دیده موجود است که نیاز به بررسی‌های جامعتر و دقیقتر دارد.

پل‌ها

در منطقه زلزله زده پل‌های زیادی از انواع بتن مسلح، فولادی و همین‌طور پل‌هایی با مصالح بنایی وجود دارد که در مجموع عملکرد آنها تحت اثر زلزله، علی‌رغم آسیب‌های وارد شده، مطلوب بوده است. **پل قدیم لوشان** که از مصالح بنایی ساخته شده و مربوط به دوران

1- Slope failure

قاجاریه بوده و قبل از احداث پل خرپایی فولادی لوشان، مسیر راه اصلی قزوین ـ رشت از روی آن عبور می‌کرد، آسیب زیادی دیده بود. **پل باستانی انبوه** که مربوط به دوران قبل از صفویه بوده و در روستای انبوه در نزدیکی کلیشم قرار داشت در اثر زلزله صدمه دید.

پل لوشان در ۱۰۰ کیلومتری رشت و در شهر لوشان قرار گرفته و از نوع خرپای فولادی و دارای یک دهانه است. این پل در روی کوله[1] سمت تهران بر روی تکیه‌گاه ثابت قرار گرفته است. در اثر زلزله کوله سمت تهران با تابلیه (عرشه) پل به شدت برخورد نموده و ترک‌هایی در قسمت بالای کوله ایجاد شده و در قسمت غربی کوله سمت رشت نیز جابجایی قابل ملاحظه‌ای همراه با نشست خاک پشت کوله به وجود آمد.

پل بالا بالا در ۸۵ کیلومتری رشت قرار گرفته و دارای ۲۴ دهانه حدود ۳۰ متری است. هر دهانه بر روی تکیه‌گاه‌های مفصلی قرار گرفته است. ۴۴ ستون بتن مسلح با مقطع دایره و دو کوله در جناحین آن تابلیه را حمل می‌نمایند. شالوده پل شمعی است، کف رودخانه بر روی رسوبات سیلتی ـ رسی قرار داشته و در اثر زلزله در آنها روانگونگی[2] ایجاد گردیده بود و در اثر روانگونگی به علت شیب کم یک زمین‌لغزه سرتاسری در رسوبات ایجاد گردید که در نتیجه آن حفره‌هایی در رسوبات در مجاورت ستون‌ها به وجود آمده بود. ترک‌های جزئی نیز در محل اتصال چند ستون به تابلیه پل مشاهده گردید. خاک پشت کوله تهران نشست کرده بود. در مجموع عملکرد پل تحت اثر زلزله با توجه به نزدیکی آن به مرکز زلزله بسیار خوب بوده است.

پل رودبار در شهر رودبار در ۷۵ کیلومتری رشت قرار گرفته و در حدود ۳۰ سال پیش (۱۳۳۹) ساخته شده است. این پل دارای ۶ دهانه ۳۰ متری با تابلیه مرکب از تیرهای پیش‌تنیده ودال بتن مسلح است. در اثر زلزله ۳۱ خرداد جابجایی قابل ملاحظه‌ای در کوله‌های این پل ایجاد شده و در حدود ۳۰ سانتیمتر دو کوله به یکدیگر نزدیک شده بودند.

1- Abutment

2- Liquefaction

تصویر ۳ـ صدمات وارد بر راه اصلی قزوین رشت

تصویر ۴ـ صدمات وارد بر خیابان داخل شهر رودبار

در زیر تکیه‌گاه سمت رشت نئوپرین تقویت شده‌ای با ورق فولادی قرار داشته که از وسط بریده شده بود. در اثر فشار شدیدی که در طول پل در حین زلزله ایجاد گردید، بلوک‌های بتنی پیاده‌رو پل از جای خود خارج شده و به صورت مایل قرارگرفته بودند.

پل توتکابن در توتکابن در شرق گنجه قرار داشته و تابلیه آن مرکب از تیرهای پیش تنیده ودال بتن مسلح بوده و مرکب از دهانه‌های متعددی هریک به طول تقریبی ۳۰ متر می‌باشد. در اثر زلزله تابلیه بر روی تکیه‌گاه‌ها جابجا شده بود؛ برای مثال در اولین دهانه، تابلیه در حدود ۶ سانتیمتر عمود بر محور طولی پل و حدود ۸ سانتیمتر در امتداد محور طولی پل جابجا گردیده بود. در سطح پل نیز در روی اکثر تکیه‌گاه‌ها فرورفتگی در سطح آسفالت ایجاد شده که نمایانگر باز شدن درزهای انبساط در اثر جابجا شدن تابلیه بود.

پل‌های دالی وطاقی متعددی در منطقه زلزله زده مورد استفاده قرار داشت که در اکثر آنها خاک پشت کوله‌ها نشست کرده بود و در بعضی موارد این نشست‌ها همراه با ترک‌هایی در امتداد عمود بر محور راه در قسمت فوقانی کوله‌های جانبی پل‌ها بود. به عنوان مثال پل دالی با دهانه ۷ متری در کیلومتر ۷۰۰+۵۵ از رشت که دارای پایه‌های سنگی بوده و در اثر افزایش فشار خاک پشت کوله کلاف بتنی زیر تکیه‌گاه تابلیه و بالای پایه سنگی آن شکسته و تغییر مکان افقی داده بود.

تونل‌ها

در مسیر راه اصلی قزوین ـ رشت چندین تونل قرار دارد که تحت اثر زلزله عملکرد مناسبی داشته‌اند. در این مسیر از طرف قزوین، ۳ تونل اول که به ترتیب طول‌هایی در حدود ۶۰، ۶۰ و ۸۵ متر دارند و دارای پوشش سنگی هستند، سالم بوده و در چهارمین تونل موسوم به **شیرین‌سو** که در فاصله حدود ۱۱۵ کیلومتری رشت واقع بوده و دارای طولی در حدود ۹۵۰ متر می‌باشد، در فاصله ۶۰۰ متری از ابتدای تونل در تیرهای فولادی سیستم نگهداری در اثر زلزله تغییر شکل ایجاد شده و در فاصله ۸۰۰ متری در قسمت بتن پاشی شده[1] ریزش

1- Shotcreted

سنگ اتفاق افتاده بود. در آخرین تونل این مسیر که در مجاورت سد سفیدرود در ۷۵ کیلومتری رشت قرار داشته و از ۳ تونل مجزا و در امتداد هم به طول کلی حدود ۸۰۰ متر تشکیل شده و پوشش دیوار داخلی آن بنایی با سنگ می‌باشد، سردر یا گالری دو طرف تونل در اثر ریزش تخته سنگ‌ها تخریب شده و در حدود ۶۰۰ متری از ابتدای ورود اولین تونل یک زون خرد شده تکتونیکی در صفحه‌ای مایل نسبت به محور طولی تونل در دیواره‌ها و کف آن در اثر زلزله ایجاد شده و تغییر مکان قائم قابل ملاحظه‌ای در حدود ۲۰ سانتیمتر به وجود آمده بود. این تونل در مرکز زلزله قرار داشته و عملکرد آن تحت اثر زلزله بسیار خوب بوده است.

سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

در منطقه زلزله زده یک نیروگاه بخاری، یک نیروگاه برق‌آبی و دو نیروگاه گازی و چندین پست فشار قوی و خطوط انتقال نیرو و همین‌طور شبکه وسیع توزیع برق شهری و روستایی مستقر بوده که در اثر وقوع زلزله آسیب‌های نسبتاً زیادی به آنها وارد شده بود. آسیب‌های وارده به تجهیزات از گستردگی قابل توجهی برخوردار بوده و توجه همه جانبه‌ای را به مسئله مقاومت آنها تحت اثر زلزله‌های شدید در هنگام سفارش و نصب ایجاب می‌کند.

نیروگاه‌ها

نیروگاه حرارتی شهید بهشتی (لوشان) در ۷۰کلیومتری لوشان و ۹۲کیلومتری رشت در کنار جاده اصلی واقع گردیده است و دارای واحدهای بخاری و گازی است. توان تولیدی واحدهای بخاری ۲×۱۲۰ مگاوات و توان تولیدی واحدهای گازی ۲×۶۰ مگاوات می‌باشد. این نیروگاه دارای یک پست فشاری قوی ۲۳۰کیلوولت نیز می‌باشد. بهره‌برداری از این نیروگاه از سال ۱۳۵۰ شروع شده است. در اثر زلزله به قسمت‌های مختلف نیروگاه خسارات سنگینی وارد شد.

ساختمان سالن توربین بخاری متشکل از ستون‌ها و کلاف‌های بتن مسلح در پیرامون و خرپای فولادی در سقف با پوشش تیرچه و بلوک است و دیوارها از مصالح بنایی غیر مسلح می‌باشد. قسمتی از انتهای فوقانی ستون‌های بتن مسلح در اطراف سالن توربین به صورت

تصویر ۵ ـ سقوط قطعات‌الحاقی بتن مسلح گسیخته شده بر روی شریان اصلی نیروگاه و تخریب آن

تصویر ۶ـ نشست کف سالن توربین نیروگاه حرارتی شهید بهشتی (لوشان)

کنسولی و الحاقی بوده و به علت اتصال نامناسب با سازه اصلی حین زلزله در اثر ارتعاشات وارده دچار شکست شده بود. سقوط این قطعات موجب قطع شریان اصلی[1] نیروگاه و همین‌طور ترانسفورماتورهای واحدها گردیده و نیروگاه را از شبکه سراسری خارج نموده بود (تصویر ۵). شالوده توربوژنراتورهای واحد یک حدود ۲ سانتیمتر نشست نسبی غیر یکنواخت داشت (تصویر ۶). تعدادی از ستون‌های شالوده واحدهای یک و دو نیز در نزدیکی محل اتصال با دال فوقانی ترک خورده بود.

ساختمان تصفیه خانه آب نیروگاه دارای اسکلت بتن مسلح بوده و ستون‌ها در محل اتصال به تیرها و نیز در محل‌هایی که تکیه‌گاه تجهیزات روی آنها قرار گرفته، آسیب دیده و بتن دراین محل‌ها کاملا خرد شده بود. علاوه بر آن به علت وجود بازشوها و دیوارهای پرکننده خارجی برای ستون‌ها، پدیده ستون کوتاه[2] اتفاق افتاده و تحت اثر برش دچار شکست شده بودند.

سازه برج‌های خنک‌کن نیروگاه از نوع چوبی و بدنه آنها از آزبست سیمانی بوده و در اثر تغییر محل لوله‌های ورودی[3]، در زیر آنها نشست نامتقارن به وجود آمده و همین‌طور به اعضا و اتصالات آنها صدماتی وارد شده بود.

سالن واحدهای گازی در بخش محیطی دارای اسکلت فولادی و در قسمت میانی دارای اسکلت بتن مسلح می‌باشد. دیوارهای جانبی، بخشی به صورت پوشش‌های سبک فلزی است که در اثر زلزله هیچگونه آسیبی ندیده و بخشی به صورت دیوارهای آجری غیر مسلح بودند. اکثر دیوارهای با مصالح آجری دچار شکستگی و خرابی شد. مهاربندی ضلع جنوبی سالن در طبقات همکف و اول به دلیل عدم رعایت ضوابط فنی دچار کمانش گردید. واحدهای نیروگاه گازی در حدود ۱۰ میلیمتر بر روی شالوده‌های خود جابجا شدند. در تعداد قابل ملاحظه‌ای از تجهیزات به علت عدم توجه به ضوابط طراحی تحت اثر زلزله در مورد جزییات اتصالات تکیه‌گاه‌ها دچار اشکال گردیده ودر نتیجه تجهیزات از محل خود حرکت نموده و جابجا شده بودند. زمین در اطراف بعضی تجهیزات نشست کرده و کف‌سازی‌ها دچار خرابی گردیده بودند.

1- Bus - duct
2- Short column
3- Headers

پـایه‌های تـجهیزات پست از نـوع سـازه‌های فـولادی بـوده و مـقره‌های چـینی بـر روی تکیه‌گاه‌های چدنی قرار داشته‌اند. متاسفانه حین زلزله مقره‌ها یا ازکمر و یا در محل تکیه‌گاه دچار شکستگی شده و کلیه تجهیزات از قبیل ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ[1] کلیدها و سکسیونرها دچار آسیب شدند.

نیروگاه برق‌آبی سد سفیدرود با توان تولیدی ۵ر۱۷×۵ مگاوات می‌باشد که دو واحد آن از سال ۱۳۴۲ و سه واحد آن از سال ۱۳۴۶ بهره‌برداری می‌شده‌اند. در اثر زلزله به سازه بتنی شالوده قابی شکل توربین‌ها صدماتی وارد شـده و دریـچه فـولادی یکـی از ورودی‌هـای نیروگاه شدیداً تغییر شکل داده بود. اطاق کنترل نیروگاه دارای سازه بتن مسلح بـوده و بـه علت فرو ریختن دیوارهای پرکننده آجری در اثر زلزله شدیداً صدمه دیده بود. در محوطه کلیدخانه، ترانسفورماتورهای سنگین به علت عدم اتصال با تکیه‌گاه‌ها از روی ریل‌ها بلند شده و در حدود ۲۵ سانتیمتر تغییرمکان افقی نموده بـودند. لازم بـه تـذکر است کـه ایـن موضوع نمایانگر اثر قابل تـوجه مـولفه قـائم زلزله ۳۱ خـرداد نـیز مـی‌باشد. در اثـر زلزله خساراتی به تجهیزات پست فشار قوی نیروگاه وارد آمده بـود. ایـن پست تـرانسـفورماتور نبدیل ۱۳۲/۲۳۰ و به قدرت ۹۰ هزار کیلو ولت آمپر می‌باشد.

پست‌های فشار قوی

در اثر زلزله علاوه بر صدماتی که بر پست‌های فشار قوی در محل نیروگاه حرارتی لوشان و برق‌آبی سد سفیدرود وارد شـد، خسـارت‌های زیـادی بـر پست فشـار قـوی رسـتم‌آباد و هـمین‌طور خسـارت‌هایی بـر پست‌هـای فشـار قـوی طـالقانی و آسـتانه وارد گـردید. ایـن خسارت‌ها بطور عمده بر تجهیزات پست‌ها وارد شده بود.

در پست فشار قوی رستم‌آباد ترانسفورماتورها بر روی ریل حرکت کرده و یا از آن به پایین فتاده بـودند و بـوشینگ‌های آنـها شکسـته بـودند. تـرانسـفورماتورهای جـریان و ولتـاژ و سکسیونرها در محل پایه و کلیدهای Y شکل در زیر دو شاخه شکسته بودند. دیوارهـای

1- CVT , CT

اطاق کنترل فروریخته ولی خوشبختانه سقف و ستون‌ها پا برجا بودند.

خطوط انتقال نیرو

یکی از سه راه ارتباطی استان گیلان با شبکه سراسری برق، خط موسوم به خط جنوب گیلان می‌باشد. این خط متشکل از یک خط ۲۳۰ کیلو ولت و یک خط ۱۳۲ کیلو ولت بوده که متاسفانه در این زلزله به علت ایجاد زمین لغزه‌ها، سنگ‌ریزش‌ها، تکان‌ها و جابجایی‌های ایجاد شده در زمین تعدادی از برج‌های انتقال نیرو سقوط نموده بود و یا به علت تغییر شکل‌های ایجاد شده در آنها قابل استفاده نبودند.

عملکرد برج‌های انتقال نیرو تحت اثر زلزله مجموعاً خوب بوده است. از جمله برج‌های آسیب دیده می‌توان به برجی که در نزدیکی تاج سد سفیدرود قرار داشته و در اثر سقوط قطعه سنگ عظیمی از کوه واژگون و منهدم گردیده بود، اشاره نمود. برج تک مداره شماره ۲۰ نیز در فاصله بین لوشان و کلج در کیلومتر ۷ به علت زمین‌لغزه آسیب دیده بود. در نزدیکی سرمزار گنجه، برج شماره ۲۵ از خط ۱۳۲ کیلو ولت تحت اثر ارتعاشات ناشی از زلزله دچار شکست[1] گردیده بود. در شهر منجیل در یکی از برج‌های انتقال نیرو، دو شالوده بتنی در اثر ناپایداری شیروانی خاک زیر آن کاملاً از خاک بیرون آمده، ولی علی‌رغم آن پایداری کلی برج بطور نسبی محفوظ مانده بود.

شبکه توزیع انرژی الکتریکی

غیر از خسارات شدید وارده به ساختمان‌های ادارات برق در رودبار، منجیل و لوشان، طبق گزارش شرکت سهامی برق منطقه‌ای گیلان به بیش از ۳۰۰ پست فشار متوسط هوایی و زمینی و بطور تقریبی به حدود ۳۸۰ کیلومتر خط ۲۰ کیلو ولت هوایی، ۷۰۰ کیلومتر خطوط فشار ضعیف معابر و ۱۸۰۰۰۰ دستگاه کنتور فشار ضعیف تک فاز و ۴۰۰۰ کنتور فشار ضعیف سه فازه مشترکین در شهرها آسیب وارد شده بود. اکثر تیرهای چراغ برق حین زلزله در شهر منجیل سقوط کرده یا آسیب کلی دیده بودند.

1- Failure

سیستم‌های تامین، انتقال و توزیع آب

در منطقه گیلان سد مخزنی سفیدرود (منجیل)، سدهای انحرافی سنگر، تاریک، پسیخان و شاخرز و تونل آب بر فومن بعلاوه شبکه گسترده کانال‌های آبیاری بخش عمده‌ای از سیستم تامین و انتقال آب مورد نیاز کشاورزی، صنعتی، بهداشتی و آشامیدنی را تشکیل می‌دهند. همراه آنها استفاده از سفره‌های آب زیرزمینی به صورت چاه و چشمه بطور گسترده‌ای معمول می‌باشد.

در زلزله ۳۱ خرداد صدمات شدیدی به سد سفیدرود، خساراتی به تجهیزات مکانیکی سد انحرافی سنگر و صدمات جزئی به سد انحرافی تاریک وارد شد. علاوه بر آنها برج‌های آب شهرهای رشت و آستانه اشرفیه کاملاً تخریب گردید و صدماتی به برج آب بندرانزلی و دو برج آب جدید رشت وارد شد. کور شدن چشمه‌ها و پر شدن چاه‌ها از ماسه، صدمات وارده به لوله‌های انتقال آب و کانال‌های آبیاری از دیگر خسارات گسترده این زلزله می‌باشد. بدیهی است برای آگاهی از چگونگی و گستردگی خسارت‌های وارده در اثر زلزله، بررسی‌های جامعتر و دقیقتری مورد نیاز می‌باشد.

سدها

سد سفیدرود (منجیل) از نوع سد بتنی پشت بنددار با طول تاج ۴۲۵ متر، ارتفاع ۱۰۶ متر (رقوم تاج سد ۲۷۶)، گنجایش کل ۱٫۸ میلیارد مترمکعب بوده و ساختمان آن از ۱۳۳۶ شروع و در سال ۱۳۴۰ به پایان رسیده است. ضریب زلزله در نظر گرفته شده برای طراحی سد ۰٫۲۵ بوده است. بدیهی است با توجه به اهمیت فوق العاده این سازه بررسی جامع و دقیق با کمک اطلاعات به دست آمده از ابزارهای دقیق نصب شده در روی سد برای رفتارسنجی و دسترسی به مدارک و اسناد فنی مربوطه، بعد از تجزیه و تحلیل‌های مفصل امکان پذیر خواهد بود. در بررسی‌های مقدماتی به عمل آمده صدمات وارده بر سد در اثر زلزله عبارتند از:

۱- در اثر زلزله ترک‌هایی طولی سرتاسری، در بدنه سد در فاصله‌ای حدود ۴+۱۸ متر (تراز ۴+۲۶۰) از تاج سد در محل درزهای افقی بتن‌ریزی ایجاد گردیده بود. در هنگام وقوع

زلزله رقوم آب ۲۶۵ بوده و تا چند روز بعد از زلزله نشت آب از این ترک‌ها ادامه داشت. جابجایی مختصری نیز در بلوک‌های فوقانی ترک‌ها مشاهده شد.

۲ـ ترک‌هایی در بلوک‌های قسمت وسط سد ایجاد شده و از بالا دست تا پایین‌دست امتداد داشته و علاوه بر آنها در ناحیه سر پشت‌بند شماره ۱۵ هم ترکی ایجاد گردیده و بلوک فوقانی آن حدود یک سانتیمتر جابجا شده بود.

۳ـ جان پناه بتن آرمه سد در روی تاج سد در دو ناحیه به طول‌های تقریبی ۲ و ۴ متر در بالای پشت بندهای شماره ۱۷ و ۱۸ تخریب شده بودند. تخریب آنها می‌تواند نمایانگر تغییر مکان شدید تاج سد و همین‌طور حاکمیت فرکانس‌های بالا در زلزله باشد.

۴ـ یکی از دریچه‌های قطاعی فولادی سرریز سد در اثر زلزله تغییر شکل داده و آب با دبی قابل ملاحظه‌ای از آن خارج می‌شد.

۵ـ در اثر زلزله صدماتی به قسمت‌های مختلف دیگر سد وارد شد.

۶ـ در اثر سقوط قطعات عظیم سنگ از کوه، ساختمان بتن مسلح نگهبانی نزدیک تاج سد تخریب و یک نگهبان کشته شد. قطعه سنگ‌های فرو ریخته جاده دسترسی سد را بعد از زلزله مسدود نموده بودند. در اثر این سنگ‌ریزش‌ها، سازه سرریز و قیف‌های آبگیر سد در معرض خطر قرار داشتند، ولی خوشبختانه آسیبی ندیدند. بطور کلی عملکرد سد از نظر پایداری تحت اثر زلزله با توجه به شدت زیاد زلزله در ساختگاه سد رضایتبخش بوده و آسیب‌های به وجود آمده قابل ترمیم بودند. نکته قابل ذکر آن‌که وجود رسوبات در کف مخزن سد عملاً در حین زلزله میرایی[1] قابل توجهی ایجاد کرده و احتمالاً در حفظ پایداری سد نقش مهمی را ایفا نموده است (تصویر ۷).

سد انحرافی سنگر در ۶۰ کیلومتری پایاب سد سفیدرود قرار داشته و از سال ۱۳۴۳ بهره‌برداری می‌گردد و آب زراعی بخش‌های مرکزی و شرقی استان گیلان را از طریق کانال‌های چپ و راست تامین می‌نماید. طول کانال سمت چپ ۲۵ کیلومتر و ظرفیت آن

1- Damping

تصویر ۷ـ نشت آب از ترک‌های ایجاد شده در بدنه سد سفیدرود (منجیل)

تصویر ۸ـ انهدام برج آب بتنی ۱۵۰۰ متر مکعبی شهر رشت

۱۱۴ مترمکعب در ثانیه و طول کانال سمت راست ۱۹ کیلومتر و ظرفیت آن ۶۷ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. سد دارای ۱۳ دریچه قطاعی است که ظرفیت تخلیه هریک ۴۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. در اثر زلزله ۷ دریچه قطاعی سد از جای خود کنده شده و به بیرون پرتاب گردیدند. کوپلینگ‌ها و محورهای گردان ۶ دریچه به شدت صدمه دیدند. حدود ۵۰۰ متر از پوشش کانال‌های سمت راست صدمه دید و حدود ۱٫۸ کیلومتر از پوشش کانال‌های سمت چپ که در سال ۱۳۶۸ اجرا گردیده بود، کاملاً تخریب شد.

سد انحرافی تاریک در ۳۵ کیلومتری پایاب سد سفیدرود قرار داشته و به منظور انحراف ۳۲ مترمکعب در ثانیه آب از طریق تونل آب‌بر فومن به طول ۱۶٫۶ کیلومتر و تامین آب کشاورزی غرب گیلان از سال ۱۳۴۷ بهره‌برداری می‌گردد. در اثر زلزله خسارت کمی به این سد واد شد.

مخازن آب

در منطقه زلزله زده مخازن آب فولادی و بتنی متعددی وجود داشته است. عملکرد برج‌های آب فولادی بسیار خوب بوده است و در مواردی از قبیل برج آب منجیل مهاربندی‌ها پاره شده ولی پایداری کلی برج حفظ گردیده بود. برج‌های آب بتنی شهرهای رشت، بندرانزلی و آستانه اشرفیه، متاسفانه عملکرد مناسبی نداشتند. گزارشی از صدمات وارد به مخازن آب بتنی زمینی نرسیده است. لازم به یادآوری است که مخزن آب بتنی ۵۰۰۰۰ متر مکعبی سراوان در زمان وقوع زلزله در مرحله اجرا بوده است.

برج آب ۱۵۰۰ متر مکعبی رشت که در سال ۱۳۴۳ اجرا شده بود از یک منبع استوانه‌ای پیش تنیده و پایه استوانه‌ای[1] بتن مسلح که در قسمت فوقانی شالوده به مخروط ناقصی تبدیل شده، تشکیل گردیده بود. شالوده برج از نوع پی گسترده و ارتفاع کلی برج از روی شالوده تا بالای منبع ۴۶٫۵ متر بود. مطابق گزارش رسیده، در ساعت ۱۲ یعنی نیم ساعت

1- Shaft

قبل از وقوع زلزله حدود دو سوم ظرفیت طراحی منبع از آب پر بوده است. فرم سازه‌ای خاص به‌کار رفته برای این برج آب عملاً باعث می‌گردیده است که رفتار این نوع سازه تحت اثر زلزله لزوماً الاستیک بوده و در عمل هیچ امکانی برای در نظرگرفتن رفتاری غیرالاستیک وجود نداشته باشد. این قبیل سازه‌ها لزوماً باید برای زلزله مبنای طرح[1] و براساس رفتار الاستیک مصالح طراحی گردیده و تحت اثر بزرگترین زلزله محتمل،[2] خدمت پذیری[3] خود را حفظ نمایند [۶].

متاسفانه علاوه بر اینکه سازه برج آب رشت تحت اثر بارهای ناشی از زلزله فاقد مقاومت لازم بوده و به علت استفاده از جزییات نامناسب برای طراحی تحت اثر زلزله در مورد اتصال استوانه پیش تنیده فوقانی و پایه[4]، سازه فاقد یکپارچگی[5] لازم نیز برای تحمل عکس‌العمل‌های ناشی از زلزله بوده است. این مخزن در حین وقوع زلزله بر اثر گشتاور واژگونی دچارفروپاشی کامل‌گردید و درنتیجه آب‌مشروب شهررشت قطع‌گردید(تصویر۸). بعد از گذشت ۴۸ ساعت از زمان وقوع زلزله آب مصرفی شهر رشت به میزان ۵۰ درصد و بعد از ۷۲ ساعت به میزان ۱۰۰ درصد به صورت آب جهت مصارف بهداشتی (و نه آشامیدنی) وصل گردید.

دو برج آب بتنی ۲۵۰۰ متر مکعبی دیگر نیز در شهر رشت اخیراً ساخته شده‌اند که به برج‌های ۲ و ۳ موسومند. این برج‌ها دارای یک منبع استوانه‌ای پیش تنیده است و پایه استوانه‌ای بتن مسلح در قسمت فوقانی شالوده به مخروط ناقصی تبدیل می‌گردد. ارتفاع کلی برج از روی شالوده تا بالای منبع ۴۶٫۵ متر می‌باشد. شالوده برج از یک مجموعه ۲۴ واحدی شمع‌های بتنی با کلاهک تشکیل گردیده است. برج‌ها در هنگام وقوع زلزله خالی بودند. منبع پیش فشرده بتنی در هریک از این دو برج بدون اتصالات مکانیکی و بطور ساده بر روی پایه استوانه‌ای برج نشسته است. بتن پایه استوانه‌ای برج‌های مذکور تحت اثر زلزله در ارتفاعی در حدود ۶٫۶۰ متر بالاتر از سطح شالوده در داخل و خارج و دور تا دور ترک

1- Design Basis Earthquake - DBE
2- Maximum Credible Earthquake - MCE
3- Serviceability
4- Shaft
5- Integrity

خورده بود. علاوه بر آن در تراز بالای درهای ورودی برج‌ها نیز بطور موضعی در بتن ترک‌هایی مشاهده گردید. در این برج‌ها نیز مانند برج آب ۱۵۰۰ متر مکعبی، طراحی تحت اثر زلزله انجام نگرفته بود.

در شهر آستانه اشرفیه یک برج آب بتنی ۲۵۰ متر مکعبی با ارتفاع کلی حدود ۲۰ متر از حدود ۲۸ سال پیش بهره‌برداری می‌شده است. منبع بتنی برج به شکل استوانه‌ای با کف عدسی شکل بوده که بر روی هشت ستون بتنی مربع شکل تکیه نموده بود. این برج تحت اثر زلزله کاملاً تخریب شد. با بررسی‌های اولیه به عمل آمده و با توجه به محل احداث این برج آب، خرابی آن ناشی از عدم طراحی آن برای نیروهای ناشی از زلزله و اندرکنش خاک و سازه می‌باشد (تصویر ۹).

برج‌های فولادی آب، که در منطقه گیلان به علت جلگه‌ای بودن در سطح وسیعی مورد استفاده قرار گرفته اند، در مجموع در این زلزله عملکرد مناسبی داشته‌اند. به عنوان مثال برج آب فولادی ۶۰ متر مکعبی منجیل را می‌توان ذکر نمود که علی‌رغم گسیخته شدن بادبندها، پایداری کلی خود را حفظ کرده بود(تصویر ۱۰). لازم به ذکر است که در اکثر برج‌های فولادی، آب بندی لوله‌های آب و محل اتصال لوله‌های عمودی[1] به لوله‌های افقی مختل گردیده بود.

لوله‌های انتقال آب

لوله‌های اصلی انتقال آب به قطرهای ۷۰۰ و ۵۰۰ میلیمتر بوده و به صورت بتنی پیش‌ساخته می‌باشند. این لوله‌ها در اثر زلزله در چند نقطه دچار شکستگی شده بودند. اکثر لوله‌های شبکه توزیع شهری آزبست سیمانی بوده و عملکرد آنها تحت اثر زلزله بسیار نامناسب بوده و در اکثر نقاط دچار صدمات شدید گردیدند.

1- Risers

تصویر ۹- برج آب بتنی ۲۵۰ متر مکعبی آستانه اشرفیه **که کاملاً منهدم شده است.**

آموخته‌ها

سیستم‌های حمل و نقل

الف) یکی از مشکلات اساسی بعد از وقوع زلزله منجیل عدم امکان دسترسی به شهرها و روستاهای کوهستانی آسیب دیده به علت صعب‌العبور بودن راه‌های ارتباطی بود. این راه‌ها در اثر سنگ‌ریزش‌ها و زمین‌لرزه‌ها دچار مشکلات مضاعف شده و در نتیجه ارتباط بطور کلی قطع گردیده بود و حتی بعد از باز شدن راه‌ها نیز هفته‌های بعد از زلزله عملاً امدادرسانی با مشکلات فراوانی روبرو بود. با توجه به اهمیتی که این شریان‌های حیاتی در برنامه‌ریزی‌های مربوط به امداد در بعد از زلزله دارند، لزوم توسعه و بهسازی راه‌ها و ابنیه فنی مربوط برای مناطقی از کشور که شرایط مشابهی دارند بدیهی به نظر می‌رسد.

ب) با استفاده از تجربیات زلزله‌های بزرگ دنیا و زلزله منجیل توصیه می‌گردد یک برنامه‌ریزی مدون جهت مدیریت صحیح سیستم‌های حمل و نقل به منظور هماهنگی و حداکثر بهره‌گیری از نیروهای امداد و تجهیزات و ماشین‌آلات تهیه گردد و در این ارتباط

تصویر ۱۰ـ رفتار مناسب یک برج فولادی آب درمنطقه زلزله‌زده. فقط مهاربندی‌های متشکل از میلگرد و بست دوپیچه بریده شده‌اند

لزوم وجود یک آرشیو فنی منظم جهت بایگانی و ضبط مدارک فنی سازه‌های مهمی نظیر پل بالا بالا و یا سایر پل‌ها و دیگر ابنیه فنی، ضروری به نظر می‌رسد تا در صورت وارد شدن صدمات قابل ملاحظه عملیات بازسازی و ترمیم به سرعت صورت گیرد.

ج) آموزش‌های همگانی برای مقابله با سوانحی از قبیل زلزله کمک بسیاری در کاهش بار ترافیکی جاده‌ها و در نهایت تسهیل امر امداد رسانی در ساعات و در روزهای بعد از وقوع زلزله خواهد نمود.

د) علی‌رغم عملکرد نسبتاً خوب پل‌ها و تونل‌ها دراین زلزله، لزوم بازرسی فنی و تجدید نظر لازم در طراحی آنها تحت اثر زلزله، بعد از تطبیق با آخرین ویرایش آیین‌نامه‌ها و دستاوردهای مهندسی زلزله و همین‌طور بررسی دقیقتر لرزه‌زمین‌ساخت ساختگاه این سازه‌های خاص و مهم، ضروری به نظر می‌رسد.

سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

الف) دراین زلزله نقش حیاتی و فوق العاده‌ای که انرژی الکتریکی در علمیات امداد رسانی و نجات مصدومین و بازماندگان زلزله از زیر آوار می‌تواند داشته باشد به اثبات رسید. تمام منطقه آسیب دیده در ساعات اولیه بعد از وقوع زلزله دچار خاموشی سراسری گردیده بود و فرصت‌های بسیار با ارزشی که می‌توانست صرف نجات جان هزاران انسان گردد از دست رفت. در صورت عملکرد مناسب سیستم‌های تولید و توزیع و انتقال انرژی الکتریکی و یا حداقل وجود یک سیستم برق اضطراری در هر منطقه مسکونی از ابعاد فاجعه تا حدودی کاسته می‌شد.

ب) طراحی سازه ساختمان‌های نیروگاه‌های بخاری، برق‌آبی و گازی باید براساس مطالعات ریسک زلزله و بر مبنای لرزه‌زمین‌ساخت ساختگاه هر نیروگاه صورت گیرد. لوازم و تجهیزات مورد استفاده در نیروگاه‌ها و پست‌های فشار قوی باید از مقاومت کافی تحت اثر زلزله برخوردار بوده و ملاحظات لازم در مورد نصب آنها به عمل آمده باشد. معیارهای فوق در مورد نیروگاه‌ها و پست‌های در دست طراحی و ساخت باید رعایت شده و در مورد نیروگاه‌ها و پست‌های در حال بهره برداری در سراسر کشور نیز در فواصل زمانی معین بازرسی فنی دقیق صورت گرفته و تجدید نظرهای لازم براساس آخرین اطلاعات و یافته‌های مهندسی زلزله در طراحی آنها به عمل آید.

ج) در جزییات اجرایی قسمت‌های مختلف حتماً باید ملاحظات خاصی برای زلزله در نظر گرفته شود مثلا باز و بسته شدن درزهای اجرایی بین پدستال[1] توربین و سازه نیروگاه شتاب‌های بزرگ و فرکانس‌های بالا تولید می‌نماید که به تجهیزات صدمه می‌زند و یا مهار

1- Pedestal

کردن محفظه‌های باطری‌های مربوط به برق اضطراری و همین‌طور ژنراتورهای اضطراری می‌تواند از سقوط آنها در حین زلزله جلوگیری به عمل آورد.

د) محافظت قسمت‌های حیاتی و مهم نیروگاه نظیر شریان خروجی[1] نیروگاه از سقوط اشیا و اجسام و همین‌طور در نظر گرفتن ملاحظات لازم برای نصب قطعات الحاقی نظیر کانال‌های هواساز و چراغ‌های سقفی برای جلوگیری از سقوط آنها بعد از زلزله بخصوص در قسمت‌های بسیار مهمی نظیر اتاق کنترل می‌تواند کمک موثری به عملکرد بهتر نیروگاه تحت اثر زلزله بنماید.

ه) در پست فشار قوی استفاده از وسایل میراساز[2] در کلیدهای قطع[3] و همین‌طور مهار کردن کلیه ترانسفورماتورها، کلیدهای قطع، باطری‌ها و محفظه‌ها و سایر تجهیزات پست به شالوده‌های بتنی در عملکرد مناسب آنها نقش موثری دارد.

و) مقره‌های چینی ولتاژ بالا (۲۲۰ ولت یا بیشتر)، بوشینگ‌ها و تکیه‌گاه‌های مربوط تحت اثر زلزله بسیار آسیب پذیر می‌باشند. در مناطق زلزله خیز لازم است از قطعات سرامیکی که برای زلزله طراحی شده‌اند به جای آنها استفاده نمود.

ز) برج‌ها و خطوط فشار قوی انتقال نیرو در مجموع عملکرد مناسبی در زلزله داشته‌اند.

ح) در ساختمان‌های عمومی نظیر مراکز درمانی، بهداشتی، آموزشی و انتظامی باید سیستم برق اضطراری مناسبی وجود داشته باشد تا بعد از وقوع زلزله بخصوص در شب بتوان از آنها جهت امداد رسانی استفاده نمود.

ط) آموزش‌های خاص به کارکنان بهره‌برداری سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی برای مقابله با سوانحی نظیر زلزله از اهمیت خاصی برخوردار بوده و کمک موثری در برقراری هرچه سریعتر سیستم‌های مورد نظر خواهد بود. در مجموع عملکرد کارکنان سازمان‌های ذیربط بعد از این زلزله با وجود مشکلات گوناگون خوب بوده است.

ی) بعد از هر زلزله زمان لازم برای بازرسی فنی کلیه خطوط تغذیه، تجهیزات و اتصالات مربوط به مشرکین در نواحی شهری آسیب دیده می‌تواند باعث تاخیر قابل ملاحظه‌ای در برقراری مجدد سیستم برق رسانی شهری گردد.

1- Bus-duct
2- Damping devices
3- Circuit breakers

سیستم‌های تامین، انتقال و توزیع آب

الف) در این زلزله نیز مانند زلزله‌های گذشته دنیا عملکرد خوب سدهای بتنی در سد سفیدرود تجربه گردید ولی با توجه به اهمیت این نوع سازه‌های خاص و فاجعه‌ای که در اثر خرابی آنها ممکن است به وجود آید، لزوم استفاده هرچه بیشتر از کمیته‌های فنی و سازمان‌های ملی فعال در زمینه سد برای بازرسی فنی خسارت‌های وارده و چاره‌جویی‌های لازم در ساعات و روزهای اولیه بعد از وقوع زلزله حیاتی است و علاوه بر آن تا هنگام رفع خطر کاملاً باید از اسکان موقت زلزله زدگان در پایین دست سد تحت هر شرایطی خودداری گردد.

ب) سازه‌های مهمی نظیر برج‌های بتنی آب در مناطق زلزله خیز حتماً باید براساس آیین‌نامه و دستورالعمل‌های خاص و همین‌طور آخرین یافته‌های مهندسی زلزله طراحی، محاسبه و اجرا گردند و در این زمینه مسئولیت بزرگی بر عهده مهندسان مشاور، پیمانکاران و دستگاه‌های اجرایی این گونه طرح‌ها می‌باشد.

ج) صدمه زیادی به خطوط لوله در نقاطی که زمین در اثر عواملی نظیر لغزش و یا روانگونگی ناپایدار شده و یا شکاف‌هایی در زمین ایجاد گردیده، وارد آمده است. لوله‌هایی که از مصالح شکل‌پذیر ساخته شده و یا از اتصالات قابل انعطاف در آنها استفاده شده بود عملکرد بهتری داشته‌اند. اکثر لوله‌هایی که به برج‌های فولادی آب متصل بودند در اثر زلزله به علت عدم وجود اتصالات انعطاف‌پذیر، بریده شده بودند. توجه کافی به محل استقرار لوله‌ها و همین‌طور عدم کاربرد لوله‌هایی از مصالح ترد نظیر آزبست سیمان و استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر از شدت صدمات وارده به تاسیسات آبی در حین زلزله خواهد کاست.

قدردانی

بدین وسیله از همکاری‌های صمیمانه کارکنان محترم اداره کل راه و ترابری استان گیلان، شرکت توانیر، شرکت برق منطقه‌ای گیلان، شرکت آب منطقه‌ای گیلان در ارایه اطلاعات لازم و کوشش‌های بی‌دریغ همکاران ارجمند، سرکار خانم توران ابراهیمی و آقای مهندس بهروز توکلی در پردازش متن این مقاله سپاسگزاری می‌نماید.

مراجع

۱- عشقی ساسان، طبقه‌بندی سازه‌های آسیب دیده و ویران شده در زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل (گیلان، زنجان)، مجموعه مقالات کنفرانس آزاد زلزله منجیل، دانشگاه تهران، ۲۰-۲۱ مرداد ۱۳۶۹.

۲- عشقی ساسان، بررسی خسارات وارده بر تاسیسات و شریان‌های حیاتی و صنعتی در زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل (گیلان - زنجان)، مجموعه مقالات سمینار مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی، دانشگاه تبریز ۹-۱۰ آبان ۱۳۶۹.

۳- عشقی ساسان، عملکرد تاسیسات و شریان‌های حیاتی و صنعتی، فصل سوم، گزارش تحلیلی زلزله رودبار - منجیل، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، ۱۳۷۰، ص‌ص ۱۵۶-۱۰۶.

4- **Eshghi S., Geotechnical and Structural Failures Due To The Northern** Iran Earthquake of June 20, 1990. Proceedings of International Seminar on Rescue Operations in Catastrophic Earthquakes, Athens, Greece, Nov. 12-14, 1990.

5- Okamoto S., Introduction to Earthquake Engineering, Second Edition, University of Tokyo Press, 1984.

6- Dowrick D.J., Earthquake Resistant Design, Second Edition, John Wiley, 1987.

7- ICOLD, Inspection of Dams Following Earthquakes Guidelines, Bulletin 62, International Commission Of Large Dams, 1988.

مروری بر بررسی های زمین شناسی مهندسی و زلزله شناسی مهندسی بر روی پهنه زلزله زدهٔ سال ۱۳۶۹ منجیل.

خلاصهٔ نتایج ۹ سال مطالعه

دکتر مهدی زارع

۱ـ مقدمه

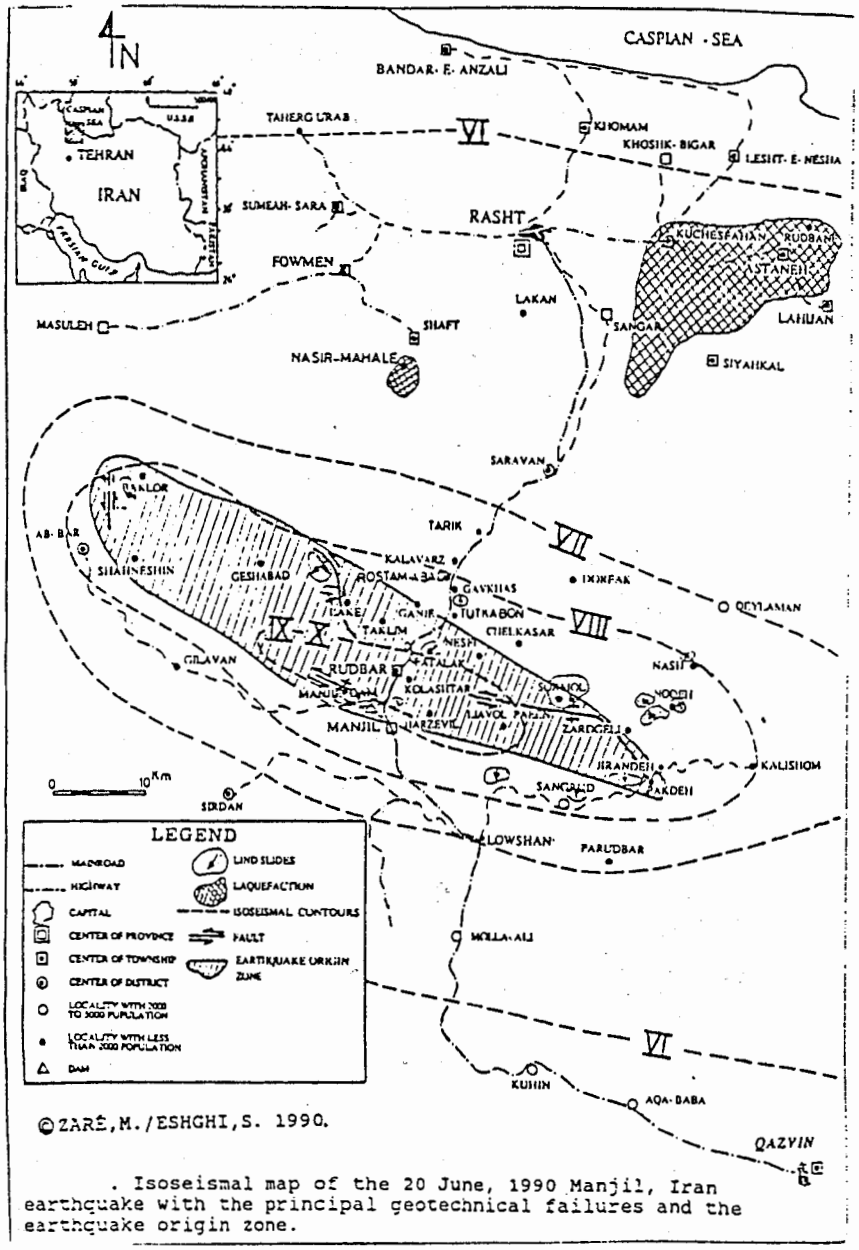
پهنه شمال باختری کشور در زمین‌لرزه بامداد ۳۱ خردادماه سال ۱۳۶۹ منجیل دچار آسیب جدّی گردید. در این زمین‌لرزه طبق آمار رسمی حدود ۱۵۰۰۰ نفر کشته و طبق آمارهای غیر رسمی بیش از ۳۵۰۰۰ نفر جان خویش را از دست دادند. از آنجا که این زمین‌لرزه پهنهٔ مهمی از کشور را از نقطه نظر جمعیتی و صنعتی تحت تأثیر قرار داد، مطالعات نسبتاً زیادی روی آن انجام شد. نگارنده این مقاله ابتدا در سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۱ به بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و مطالعه روی گسل‌های فعال و گسیختگی زمین‌لرزه‌ای این زمین‌لرزه و همچنین بررسی‌های زمین‌لغزش‌ها در این زمین‌لرزه پرداخت. از سال ۱۳۷۱ تا اکنون ۱۳۷۸ نگارنده ابتدا در رساله کارشناسی ارشد و سپس در رساله دکتری خویش به بررسی‌های زلزله‌شناسی مهندسی بر روی زلزله منجیل پرداخت. بررسی‌های زلزله‌شناسی مهندسی به مسأله اثرهای ساختگاه و همچنین مطالعه شتابنگاشت‌های جنبش شدید زمین که در این زلزله به دست آمده بود متمرکز گردید. در مقاله حاضر ابتدا نتایج بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت و زمین‌شناسی مهندسی مربوط به گسیختگی‌های سطحی زمین‌لرزه

منجیل و همچنین رابطه پدیده زمین‌لغزش با گسیختگی‌های زمین‌ساختی ارایه می‌شود و سپس نتایج بررسی‌های اثر ساختگاه ارایه می‌گردد. در نهایت نتایج مربوط به آزمایش‌های ژئوفیزیکی در چند ساختگاه شتابنگاری که نگاشت زلزله منجیل در آن مکان‌ها به دست آمده بود ارایه شده است. نتایج اخیر مربوط به رساله دکتری نگارنده می‌باشد.

۱-۱ زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ (۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ میلادی) منجیل

در اولین ساعت پس از نیمه شب (۳۰ دقیقه بامداد) روز ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ هجری شمسی مخربترین و هولناک‌ترین زمین‌لرزه سده اخیر، منطقه وسیعی از شمال‌غربی ایران واقع در استان‌های گیلان و زنجان را به شدت تکان داد. این زمین‌لرزه که بیشترین خسارات خود را در استان‌های یاد شده برجای گذاشت، در محدوده وسیعی از شمال، مرکز و غرب ایران احساس شد، به نحوی که محدوده تحت تأثیر با چهار درجه مرکالی شهرهایی همچون بهشهر در استان مازندران، لنکران (جمهوری آذربایجان)، شمال غرب تبریز، ارومیه، جنوب سقز (استان کردستان) و جنوب قم (استان تهران) را در بر گرفت. این زمین‌لرزه شهر منجیل را با شدت ۱۰ درجه در مقیاس MSK بطور کامل منهدم و ویران نمود. زلزله به شهرهای رودبار، لوشان، گنجه خسارات کلی وارد کرد و بیش از هزار پارچه از دهات و آبادی‌های پرجمعیت شمال ایران بکلی ویران شد. بغیر از تأثیری که خود زمین‌لرزه بر روی مناطق ویران شده گذاشت، زمین‌لغزش‌هایی که در اثر این زلزله به وقوع پیوست بسیاری از روستاهای محدوده تحت تاثیر را بکلی منهدم ساخت.

شدت این زمین‌لرزه به حدی بود که حتی در تهران در فاصله حدود ۲۰۰ کیلومتری محل مرکز بیرونی زمین‌لرزه با ضربات متوالی با فاصله حدود ۵ دقیقه احساس گردید، به نحوی که بسیاری از مردم شهر از خواب بیدار شدند و در جنوب شهر نیز شیشه‌های بعضی از منازل شکست. این زمین‌لرزه در یک پهنه برخورد و دگرشکل شده و برخاسته از البرز باختری ـ تالش روی داد. منطقه منشا زلزله که با محدوده شدت ۹ MMI تقریباً منطبق است، محدوده‌ای به وسعت حدود ۱۰۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شود (شکل ۱).



. Isoseismal map of the 20 June, 1990 Manjil, Iran earthquake with the principal geotechnical failures and the earthquake origin zone.

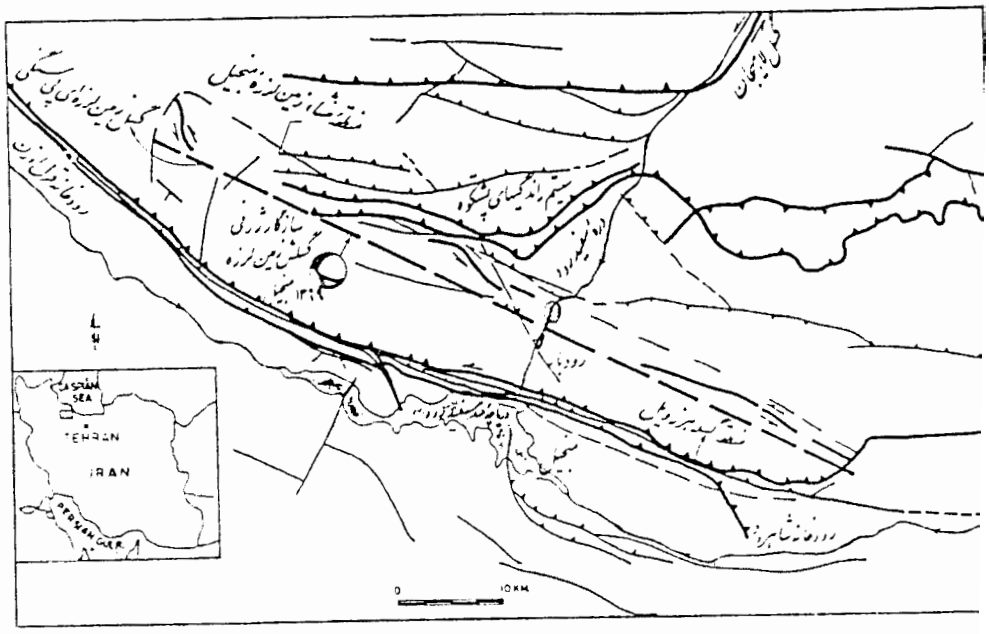
شکل ۱ـ نقشه خط‌های هملرز زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل

زمین‌لرزه منجیل در ناحیه‌ای روی داد که در سده بیستم هیچ زلزله‌ای با بزرگی بیش از ۶ ریشتر را به خود ندیده بود (زمین‌لرزه ۱۳۶۲ چرزه M_S 5.0 , mb 5.6). حل سازوکار ژرفی گسل‌های زمین‌لرزه‌ای در این ناحیه نشان می‌دهد که اکثر رویدادها دارای سازوکار فشاری بوده‌اند و این در حالی است که زمین‌لرزه‌های منجیل و چرزه سازوکاری امتداد لغز ـ فشاری داشته‌اند. سازوکار ژرفی زلزله منجیل امتداد لغز چپگرد ـ فشاری است که با موقعیت ساختاری منطقه منشا زلزله منطبق است. منطقه منشا زلزله بر یک ساختار بالا آمده[1] منطبق است. این ناحیه برخاسته در حد فاصل فروافتادگی خزر[2] و دره قزل‌اوزن ـ شاهرود واقع است. اطلاعات حاصل از بررسی‌های نقشه‌برداری در طول جاده قزوین ـ رشت، نشان داد که این جاده که دقیقاً از میان منطقه منشا زلزله عبور می‌کند، پس از زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل حدود ۶۰ سانتیمتر بالا آمده است. با توجه به حالت قراگیری اناشلان[3] (نردبانی) قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای منجیل، نحوه قراگیری ترک‌های کششی با روند شمال خاوری ـ جنوب باختری و جابجایی امتداد لغز چپگرد در امتداد بعضی از قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای، مشخص می‌شود که منطقه منشا زلزله (که در این مدل حالت ساختار گلی یا نخلی دارد)، ضمن بالا آمدن به صورت چپگرد بریده شده است. قطعات گسلش در نواحی باختر ساختگاه سد سفیدرود، باکلور، کتبه، بره‌بن، جنوب بره سر و خاور رودبار و پاکده مشاهده شده‌اند. با توجه به مدل فشاری ـ مماسی چپگرد[4] به نظر می‌رسد که در عمق ۱۹ کیلومتری (ژرفای کانونی) یک گسل پی سنگی[5] به طول حدود ۷۵ کیلومتر (قطر اطول بیضوی دگرشکلی ایجاد شده) در زمین‌لرزه منجیل جابجا شده است و تظاهرات سطحی این بریده‌شدن[6] در روی زمین، قطعات گسلش، بالا آمدگی منطقه و ترک‌های کششی بوده است.

۲ـ ویژگی‌های زمین شناختی و زمین‌ساختی ناحیه‌ای گسترهٔ مورد مطالعه

پهنه زلزله‌زده ۱۳۶۹ منجیل در مرز ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی تالش (در شمال و شمال خاور) و ایران مرکزی (در جنوب و جنوب باختر) واقع شده است. شکل ۲ پهنه مورد

1- Uplifted structure
2- Khazar depression
3- En-echelon
4- Left-hand transpression
5- Basement
6 - Rupture



شکل ـ ۲ نقشه لرزه‌زمین‌ساخت و پهنهٔ رومرکزی زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۶۹ منجیل

قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای زلزله منجیل در محدوده مرکزی نقشه و در درون منطقه مشخص شده با خط چین، نشان داده شده است. (پهنه منشا زلزله، نمایانگر پهنه‌ای است که در هر نقطه از آن احتمال یافته شدن قطعه گسل زمین‌لرزه‌ای دیگری وابسته به زلزله منجیل وجود دارد). گسل زمین‌لرزه‌ای پی‌سنگی زلزله منجیل به صورت خط چین مستقیم و قطر اطول بیضوی دگرشکلی منطقه منشا زلزله نمایش داده شده است.

مطالعه را نشان می‌دهد. این ناحیه در بخش باختری منطقه مرکزی دوران سوم[1] قرار دارد و با تروف‌های پالئوژن و ولکانیک‌های شمال قزوین که به طرف رشته کوه‌های طارم در شمال باختر گسترده می‌شوند، مشخص می‌گردد.

1- Tertiary central zone

منطقه مرکزی دوران سوم، دره قزل‌اوزن را در خاور شهرستان میانه قطع می‌کند، و به سمت فروافتادگی اردبیل[1] با امتداد شمال ـ شمال خاوری ادامه می‌یابد. رشته توف و تراکی آندزیتی، در شمال قزوین حاوی سنگ‌هایی به سن پالئوزوئیک، مزوزوئیک بوده و در ناحیه طارم همراه با حجم عظیمی از گرانودیوریت‌های پالئوژن پسین تزریق شده‌اند. بخشی از دره الموت شاهرود ـ قزوین، به وسیله لایه‌های قرمز، نهشته‌های آواری و تبخیری نئوژن پر شده است که در یک گودی بین کوهستانی به شکل گرابن، قرار گرفته‌اند. بخش اصلی رشته مرکزی سیستم البرز گسله می‌باشد. پلاتفرم پالئوزوییک ـ تریاسیک و نهشته‌های آواری ژوراسیک کرتاسه به وسیله ولکانیک‌های پالئوژن ـ کرتاسه پوشیده می‌شوند و در کوه درفک با ۲۱۷۲ متر ارتفاع، سنگ آهک‌های کرتاسه، یک شکل ژئومورفولوژیک مرتفع را در محل مشخص می‌سازند.

۳ـ لرزه زمین‌ساخت گسترهٔ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ناحیه‌ای از فلات ایران واقع شده است که در سال ۱۳۶۹ مخرب‌ترین زمین‌لرزه این سرزمین در سده بیستم را تجربه نمود. این ناحیه در بخش جنوبی کوه‌های تالش و باختر بلندی‌های ماسوله‌داغ واقع شده است. در جنوب این ناحیه دره قزل‌اوزن با راستایی شمال‌باختری ـ جنوب‌خاوری قرار گرفته است که در بخش شمالی آن منطقه گسله هرزویل حدبین دو ایالت لرزه‌زمین‌ساختی تالش (در شمال) و ایران مرکزی (در جنوب) را مشخص می‌نماید.

با توجه به روند قرارگیری مرزهای اصلی ساختاری ناحیه و همچنین جنس نهشته‌های سازندهای مختلف و ویژگی‌های نوزمین‌ساختی ناحیه، می‌توان ۳ ایالت لرزه‌زمین‌ساختی در این ناحیه در نظر گرفت که در ابتدای دره سفیدرود (محل سد سفیدرود) به هم می‌رسند و زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل در نقطه سه‌گانه[2] حاصل از برخورد این سه ایالت (البرز در شمال خاوری، تالش در شمال باختری و ایران مرکزی در جنوب) روی داده است.

1- Ardebil depression

2- Triple point

۴ـ مشخصات ریخت‌زمین‌ساختی گسترهٔ مورد مطالعه

امتداد دره سفیدرود به طرف شمال به وسیله گسله جنوب رودبار و گسله رودبار تحت تأثیر واقع شده و در نهایت در ادامه گسله لاهیجان امتداد یافته و به طرف شمال شرق تغییر مسیر می‌دهد. راستای کلی دره قزل‌اوزن به طرف غرب با امتداد منطقه گسله هرزویل مشخص شده ولی همان‌طور که در ادامه مقاله مفصل‌تر بحث خواهد گردید، عملکرد گسله‌های کوچک و فرعی که روندی مخالف با روند منطقه گسله هرزویل دارند، باعث تغییر شکل‌های مهم تا تغییرمکان‌های وسیع در امتداد این دره گردیده است.

بطور کلی تغییر رقوم توپوگرافی در امتداد منطقه گسله هرزویل از حدود رقوم ۸۰۰ متر به حدود ۴۰۰ متر نمایانگر مشخصه این گسله‌های بنیادی در گستره مورد مطالعه از دیدگاه ریخت‌زمین‌ساختی می‌باشد.

۵ـ گسله‌های بنیادی گسترهٔ طرح

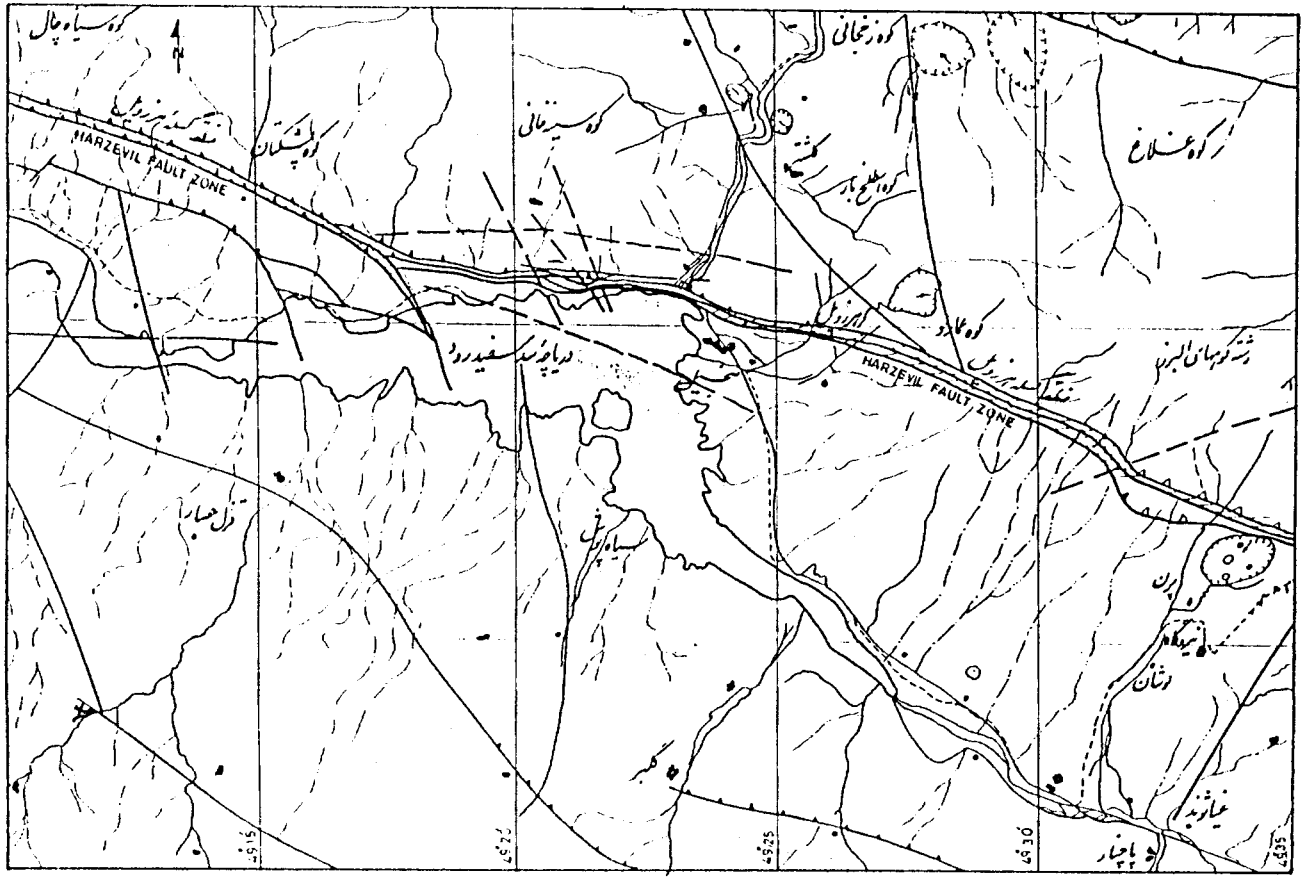
گستره مورد مطالعه، منطقه‌ای بسیار گسله و از نظر لرزه‌زمین‌ساختی بسیار فعال است و بطوری که گفته شد زلزله مخرب منجیل در این گستره اتفاق افتاده است.

در این منطقه بطور کلی دو روند اصلی گسلی مشاهده می‌شود، که یکی شمال‌باختری ـ جنوب‌خاوری بوده (در امتداد روند منطقه گسله هرزویل) و دیگری شمال‌خاوری ـ جنوب باختری (در امتداد روند گسل لاهیجان و دره سفیدرود) می‌باشد. در امتداد و در نزدیکی منطقه گسله هرزویل پس از زمین‌لرزه ۱۳۶۹، قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای مشاهده شده است. همچنین در نزدیکی منطقه گسله پشتکوه که در شکل ۲ نشان داده شده است و در شمال گسل رودبار نیز قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای مشاهده گردیده است. از سوی دیگر و با توجه به روند قرارگیری قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای و سازوکار زلزله منجیل، چنین استنباط گردید که یک گسل پی‌سنگی به طول حدود ۷۵ کیلومتر در زمان زمین‌لرزه منجیل فعالیت نموده باشد.

۵ـ۱ـ منطقه گسله هرزویل

این منطقه یک پهنه گسلی است که روندی باختر شمال باختری و خاور جنوب خاوری دارد که در شکل ۲ ارایه شده است. طول این گسله، حدود ۲۰۰ کیلومتر می‌باشد. این گسله از جنوب ماسوله، به طرف آب‌بر در استان زنجان و محل روستای خرم‌آباد، به سمت گیلوان ادامه یافته و در طول مسیر خود رودخانه گیلوان چای را نیز قطع می‌کند. در این محدوده، پهنه گسله مزبور حد جنوبی رشته کوه‌های تالش (کوه‌های خشکه پی، سیاه چال و قرق تپه) را در حد فاصل این بلندی‌ها و دره قزل‌اوزن مشخص می‌نماید.

در این محل، امتداد این منطقه گسلی از N66W به N72W می‌رسد. بطور کلی امتداد این گسله، محدوده شمالی دره قزل‌اوزن را مشخص می‌نماید. در اثر عملکرد این گسله که از معکوس تا راندگی بزرگ زاویه (و حتی تا سفره رورانده) مشخص می‌شود، نهشته‌های توف و آندزیت پالئوژن (سازند کرج) بر روی نهشته‌های نئوژن (لایه‌های قرمز و قهوه‌ای رنگ ماسه سنگی و کنگلومرایی متناوب با نهشته‌های تبخیری و کلوئیدی سبزرنگ مربوط به سازند قرمز بالایی) رانده شده و محدوده‌ای خرد شده به ضخامت ۵۰ تا ۱۵۰۰ متر را در محل بالادست سد سفیدرود ایجاد نموده است که در شکل ۳ ارایه شده است. اطلاق عبارت "منطقه گسله" به این روند به علت وجود چندین گسله اصلی به موازات یکدیگر و با امتداد مشابه می‌باشد. این امتداد در خاور گیلوان از جنوب کوه‌های قرق‌تپه و سیاه‌چال و پشکستان عبور نموده و با امتداد N85W و شیب ۳ تا ۱۰ درجه به سمت شمال، به جناح چپ ساختگاه سد سفیدرود می‌رسد. عملکرد این گسله‌ها در جناحین سد سفیدرود متفاوت است به این نحو که از رفتار راندگی در جناح باختری ساختگاه سد سفیدرود، به حالت گسله‌های معکوس در جناح خاوری و در شمال شهر منجیل و محل روستای هرزویل تبدیل می‌شوند که در شکل ۲ نشان داده شده است. در این محل (هرزویل) مشخصات عمومی این گسله‌ها به صورت N83W و شیب ۵۶ درجه به طرف جنوب تا S89W و شیب ۶۱ درجه به طرف جنوب می‌باشد. ایجاد حالت سفره رورانده در جناح چپ محل سد سفیدرود با حالت توام راندگی و بهمن‌های سنگ مشخص است، به نحوی که حالت تناوب لایه‌ها در نهشته‌های تخریبی عهد حاضر که از نواحی بالاتر به پایین سقوط نموده‌اند، دیده می‌شود.



شکل ۳ـ منطقهٔ گسله هرزویل در ابتدای دره سفیدرود

تغییر سازوکار در منطقه گسله هرزویل از راندگی (با شیب به سمت شمال) در باختر دره سفیدرود تا معکوس (با شیب به سوی جنوب) در خاور دره مزبور، نمایانگر کاری و بنیادی بودن گسله لاهیجان (در شمال دره سفیدرود) و خطواره دره سفیدرود، می‌باشد که در شکل ۲ ارایه شده است، به نحوی که عملکرد راستالغز چپگرد عمومی حاکم بر راستای دره سفیدرود موجب یک تغییر روند کلی در روند قرارگیری منطقه گسله هرزویل و دره قزل‌اوزن ـ شاهرود و همچنین تغییر در سازوکار این پهنه گسله می‌گردد.

امتداد منطقه گسله هرزویل در شرق روستای هرزویل از جنوب کوه‌های عمارلو عبور می‌نماید و در ادامه نیز، حد جنوبی کوه‌های چرمکش را مشخص می‌کند. مشخصه زمین‌ریخت‌شناختی این گسله تشکیل حد شمالی دره قزل‌اوزن و قرار دادن نهشته‌های مرتفع‌تر پالئوژن در کنار و بر روی نهشته‌های دامنه‌ای نئوژن می‌باشد، به نحوی که ناودیس دره قزل‌اوزن در حد شمالی خود به وسیله این منطقه گسلی محدود می‌گردد. در امتداد این گسله تفاوت در سطوح تراز توپوگرافی از حداکثر رقوم ۸۰۰ متر در شمال، تا حدود رقوم ۴۲۰ متر در جنوب این محدوده، قابل مشاهده است.

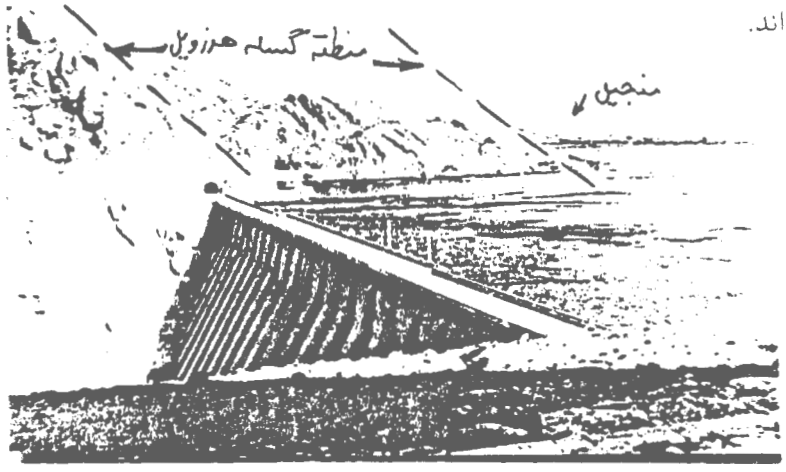
از مهمترین مشخصه‌هایی که در امتداد این منطقه گسلی می‌توان مشاهده نمود، تغییر رنگ نهشته‌های رانده شده نسبت به نهشته‌های زیرین و ایجاد یک محدوده مشخص خرد شده می‌باشد.

در اثر فعالیت این روند گسله (در یک زمین‌لرزه تاریخی) در منطقه شمال لوشان (روستای بیورزن) بهمن‌سنگ عظیمی مشاهده گردید. در این مسیر شکستگی‌هایی با روند N35W مشاهده می‌شود، که احتمالاً ناشی از ترک‌های کششی[1] می‌باشند. به طرف غرب و دره قزل‌اوزن، روند منطقه گسله هرزویل به بخش طارم علیا می‌رسد و از روستای آب‌بر عبور می‌نماید.

1- Tension cracks

در سده اخیر مهمترین زلزله‌ای که در امتداد این منطقه گسلی رخ داده است، زلزله ۳۱ خردادماه ۶۹ منجیل می‌باشد. مهمترین شاهد فعالیت مجدد منطقه گسله هرزویل در جریان زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل، ایجاد یک بریدگی گسل زمین‌لرزه‌ای به طول حدود ۵ کیلومتر، در جناح چپ ساختگاه سد سفیدرود است، که در شکل ۴ مشاهده می‌شود و بخش جنوبی آن به پایین فتاده و جابجایی حدود ۱۰ تا ۷۰ سانتیمتر در این امتداد ایجاد شده است. امتداد ین گسل زلزله‌ای از باختر محل معدن‌سنگ‌های ساختمانی به طرف ساختگاه سد (در خاور) دیده می‌شود.

امتداد این گسله N80W و صفحه آن تقریباً عمودی است. بهمن‌های سنگی که در اثر این زلزله در غرب ساختگاه سد سفیدرود اتفاق افتاده است و پدیده زمین‌لغزش در تکیه‌گاه چپ محل سد، وابسته به این گسله می‌باشد. همچنین فرو افتادن بلوک‌های سنگی در قسمت‌های بالایی "سرریز نیلوفری" سد سفیدرود وابسته به این روند است. درست در امتداد این گسله پس از زمین‌لرزه منجیل در جناح راست ساختگاه سد، چندین لغزش سنگ مشخص بود به نحوی که بلوک‌های سنگی به ابعاد تقریبی ۱۰×۱۰×۱۵ متر، درست در بالای ساختگاه سد، با مقداری خردشدگی و ترک خوردگی و حرکات محدود نسبت به هم دیده شده‌اند.



شکل ۴ـ منطقه گسله هرزویل از بالا دست (جنوب) ساختگاه سد سفیدرود (شمال باخترمنجیل) عبور می‌کند. در تصویر این پهنه گسلی به صورت حد بین بلندی و قعر دره مشخص است.

۵-۲-گسلش سطحی وابسته به زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل

با توجه به پیچیده بودن سازوکار زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۶۹، بریدگی‌های سطحی متعددی بر اثر رویداد این زمین‌لرزه، رخ داده است. این بریدگی‌ها که قسمت وسیعی از آنها متعلق به شکاف‌های کششی، ادامه روند زمین‌لغزش‌های بزرگ و ترک‌های منفک از هم و با طول‌های متفاوت می‌باشند، در محدوده وسیعی از جنوب کوچصفهان و جنوب باختر لاهیجان تا لوشان و همچنین در بخش طارم علیا زنجان در شمال، آب‌بر در باختر و پاکده در خاور مشاهده می‌گردند. با توجه به بررسی‌های صحرایی به عمل آمده، چندین شکستگی در سطح که در قطعات مختلف ولی در یک روند کلی مشاهده گردید، بیشترین مشخصات را جهت ارتباط با رویداد اصلی دارا می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

روند گسلش، از خاور روستای پاکده در شمال منطقه گسله هرزویل آغاز شده و ضمن عبور از جاده پاکده ـ جیرنده به طرف باختر گسترش می‌یابد. لازم به تذکر است که این روند در باختر پاکده و در تپه مجاور این روستا، به طرف سنگرود، یک زمین‌لغزش بزرگ ایجاد نموده است.

پراکندگی گسلش‌های سطحی حاصل از زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل، به سازوکار پیچیده این رویداد وابسته است. منطقه تحت تاثیر، در ناحیه‌ای از بلند البرز واقع بود که غیر قابل دسترس بوده، یا به سختی قابل دسترس است. یک سازوکار فشاری به همراه عملکرد امتداد لغز چپگرد در اکثر قطعات گسلش دیده شده است. گسل‌های حاصل از زمین‌لرزه در مناطق پاکده، جنوب بربن، باختر ساختگاه سد سفیدرود، باختر رودبار و شمال خاور روستاهای کتبه بالا و کلاس و باختر باکلور، مورد مشاهده و بررسی واقع گردید که در شکل ۲ مکان این قطعات مشخص شده‌است. قطعات پاکده تا جنوب بربن دارای سازوکار امتداد لغز چپگرد و تا یک متر جابجایی افقی و یک سازوکار فشاری (حدود ۴۰ سانتیمتر جابجایی قائم) بوده است. امتداد کلی N60-70W در مورد این قطعه قابل تشخیص بوده است. امتداد این قطعه که در روستای پاکده با شکستگی در سنگ کف آغاز می‌شود، حدود N60W بوده

که به طرف تپه باختری پاکده گسترده می‌شود، همچنین دنباله این قطعه در جاده معدن سنگرود به روستای لیاول واقع در بخش عمارلو، در جنوب روستای بربن به صورت گسلش با پهنای منطقه تحت تأثیر از حدود ۱ تا ۴۰ متر و با مشخصات فوق به طرف باختر گسترده می‌گردد.

گسل زمین‌لرزه‌ای سد سفیدرود در خطالراس تپه جناح چپ ساختگاه سد سفیدرود با حدود ۳۰ سانتیمتر جابجایی مولفه امتداد لغز چپگرد و تا ۵۰ سانتیمتر جابجایی قائم (حرکت به طرف بالا، در بخش شمالی) مشخص بود. گسلش زمین‌لرزه‌ای در این قسمت با شکاف‌های عمیق در سنگ کف و همچنین زمین‌لغزش‌های متعدد در بخش‌های شمالی و جنوبی و همچنین شکستگی‌های کششی فراوان در محدوده معدن سنگ‌های ساختمانی در منطقه سد سفیدرود، قابل مشاهده است. این قطعه گسل زمین‌لرزه‌ای با گسل‌های کوچک متعددی همراه می‌باشد که در جاده دسترسی به محل سد و داخل تونل (در پایین دست ساختگاه سد) با مشخصات کلی مشابه فوق تعیین محل گردید. این خصوصیات، بطور کلی موید فعالیت دوباره منطقه گسله هرزویل می‌باشند. امتداد کلی این قطعه N75W و طول آن حدود ۵ کیلومتر است.

یک قطعه گسله با امتداد شمالی-جنوبی در باختر روستای باکلور و شمال روستای آب‌بر، در بخش طارم علیا مورد بررسی واقع گردید. این قطعه حدود ۳ کیلومتر طول داشته و حدود ۴۰ سانتیمتر جابجایی افقی چپگرد و ۵۰ سانتیمتر جابجایی قائم بخش باختری در آن مشاهده شده است. به طرف خاور و یا در باختر روستاهای کتبه و کلاس، دو قطعه گسل زمین‌لرزه‌ای امتداد لغز چپگرد با طول کلی حدود ۱۰ کیلومتر و امتداد N45W و حدود ۳۰ سانتیمتر جابجایی افقی چپگرد و ۵۰ سانتیمتر جابجایی قائم که بخش جنوبی، به طرف بالا حرکت نموده قابل مشاهده بود. سازوکار ژرفی[1] گسلش این زمین‌لرزه که به وسیله استاکه، تیو و کانااموری (Stake, Thio & Kanamori, 1990) محاسبه گردیده است، دو صفحه گسلش مطابق شکل ۵ را نشان می‌دهد. از این دو صفحه و با توجه به مشاهدات صحرایی

1- Focal mechanism

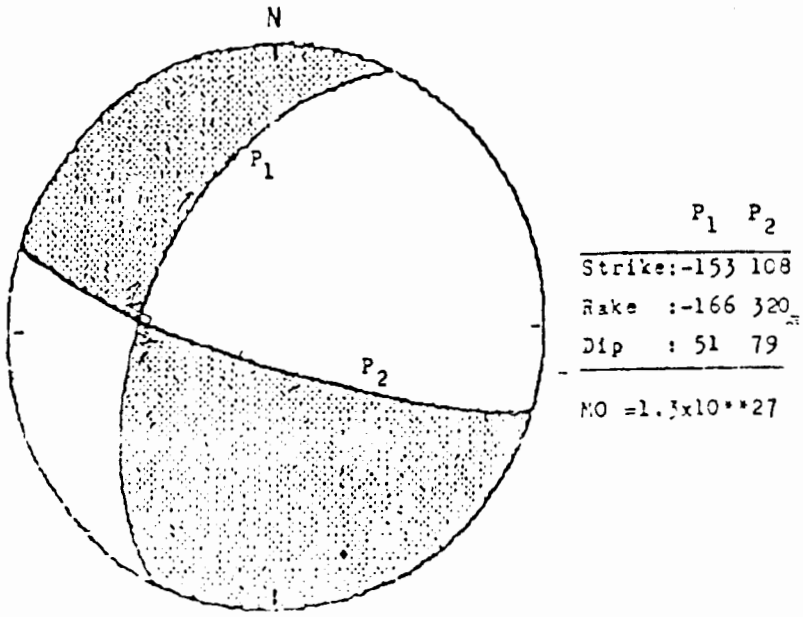
روی راستای گسیختگی‌های سطحی مشاهده شده و روندهای زمین‌ساختی بنیادی در ناحیه، صحت صفحه P_2 در مورد این زمین‌لرزه تایید می‌گردد. بنابراین سازوکار ژرفی این زمین‌لرزه از نوع امتداد لغز چپگرد و فشاری می‌باشد.

در پهنه زلزله زده منجیل در سال ۱۳۶۹ روندهای ترک‌های کششی متعددی مشاهده گردید. این شکاف‌های سطحی نیز از جمله شواهد سازوکار زلزله مزبور می‌باشند. (روند آنها بطور عرضی و متقاطع با روند اصلی فشاری ـ برشی قرار گرفته بود که مؤید حرکت یاد شده بودند). در منطقه طارم علیا در شمال بخش آب‌بر شکاف‌هایی در زمین و در مسیر جاده خاکی به طرف روستاهای باکلور و جمال‌آباد با راستاهای N40E تا N55E در اطراف جاده خاکی مشخص بود. این شکاف‌ها در محدوده منطقه گسله هرزویل (که این قسمت، امتداد غربی آن می‌باشد) قرار دارند. هر یک از این شکاف‌ها حدود ۱۰ تا ۵۰ متر طول داشته و بازشدگی‌هایی از چند سانتیمتر تا حدود ۵ر۰ متر دارند و بعضاً محل آب شستگی‌های بعدی واقع شده و در طی زمان وسیعتر شده‌اند و باعث خرابی و بریده شدن جاده خاکی مسیر گردیده‌اند.

در باختر باکلور و بر روی ستیغ تپه مجاور این روستا، یک شکستگی به طول حدود ۳ کیلومتر و با راستای تقریباً شمالی ـ جنوبی (NO) مشخص می‌باشد. در راستای این بریدگی، جابجایی و بعضاً باز شدگی تا حدود ۱ متر دیده شده است. این روندها با حالتی ان ـ اشلان و با روندی مخالف نسبت به روند اصلی ساختاری فعال (منطقه گسله هرزویل) قرار گرفته است. به هر حال به نظر می‌رسد که با توجه به نحوه عملکرد روند اصلی گسلش و حل سازوکار ژرفی آن، روند مشاهده شده در غرب باکلور به صورت یک روند رده دوم، در سیستم گسل‌های رنج[1]، نسبت به روند اصلی و اولیه[2] قرار گرفته و سازوکار و توزیع آنها در منطقه با توجه به وجود شکستگی‌های کششی در سیستم‌های فشاری ـ مماسی قابل توجیه می‌باشد.

1- Wrench Faults

2- First Order Wrench



شکل ۵ـ سازوکار ژرفی زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل (نقل از استاکه، تیو، کانامورى، ۱۹۹۰).
دو صفحه P_1 و P_2 با مشخصات آنها در شکل نشان داده شده است، که صفحه P_2 با توجه به شواهد صحرایی به عنوان صفحه گسلش انتخاب می‌شود.

۵ـ۳ـ گسل زمین‌لرزه‌ای پی سنگی

بررسی لرزه زمین ساختی منطقه تحت تاثیر زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۶۹ نشان داد که در اثر این زلزله، گسلش‌های متعددی در ۲ روند مشخص و اصلی رخ داده است که در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

براساس عملکرد این دو سری قطعات گسلش اصلی (قطعات پاکده، جنوب بربن، کتبه و باکلور به عنوان خطواره شمالی و قطعه سد سفیدرود به عنوان قطعه جنوبی) به نظر می‌رسد که منطقه حد واسط بین این دو خطواره بطوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود ضمن بالا

آمدن، حرکتی در جهت عقربه‌های ساعت نیز نموده است. به این ترتیب که سازوکار زمین‌لرزه از نوع فشاری مماسی چپگرد می‌باشد. شواهد مستدل جهت این نوع سازوکار عبارتند از:

- حرکات مشاهده شده امتداد لغز چپگرد در قطعات گسلش.
- حرکت به طرف بالا در بخش جنوبی که در قطعات جنوب بربن، کتبه دیده می‌شود.
- حرکت به طرف بالا در بخش شمالی در قطعه سد سفیدرود.
- ترتیب قرارگیری ترک‌های کششی در کل منطقه که با روند حدود N35E تا N70E دیده می‌شوند و شاهد بسیار مهمی جهت حرکت امتداد لغز چپگرد می‌باشند.

۶ـ رابطه بین شدت زمین‌لرزه منجیل و موقعیت زمین‌لغزه‌ها

امکان منطبق نمودن محدوده اصلی وقوع زمین‌لغزه‌های بزرگ سرچشمه‌های خطی لرزه‌زا، منطقه منشا زلزله‌ها[1] و منطقه‌بندی شدت زمین‌لرزه[2] براساس شواهد به دست آمده در زمین‌لرزه ویرانگر منجیل و همچنین راستای گسل‌های کواترنر و فعال ناحیه در این قسمت بررسی شده است.

رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ ایران، به دلیل وجود رشته کوه‌های وسیع و گسترده در کشور، همواره با وقوع زمین‌لغزش‌های بزرگ همراه بوده است. در این قسمت سعی شده است براساس مطالعه گسل‌های کواترنر ایران، بررسی زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل، رابطهٔ بین شدت زمین‌لرزه‌ها و زمین‌لغزش‌ها در زمین‌لرزه منجیل بررسی شود.

بررسی مجدد شدت زمین‌لرزه، خسارات و آسیب‌های واردهٔ سازه‌ای و ژئوتکنیکی از مرکز مهلرزه‌ای زمین‌لرزه منجیل به سوی مناطقی که آسیب‌های کمتری را متحمل شده‌اند، نشان داد که با توجه به خصوصیات زمین‌شناختی‌مهندسی وسازه‌ای ارتباط مشخصی بین محدوده خسارات جدی (شدت بیش از MSK ۸، I = VIII)، محدوده وقوع ناپایداری‌های

1- Earthquake Origin Zone

2- Earthquake intensity

اصلی شیب‌ها (زمین‌لغزه‌های بزرگ) و منطقه اصلی منشا زلزله (با توجه به ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و نحوه قرارگیری قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای) مشاهده می‌شود (شکل ۶). مطالعه لرزه‌زمین‌ساختی، موقعیت‌های دقیق قطعات گسلش زمین‌لرزه‌ای را مشخص نمود که با حالتی ان ـ اشلان در محدود وسیعی از بلند البرز و رشته‌کوه طارم، در حد فاصل پاکده (در خاور)، تا آب‌بر و باکلور (در باختر) و از منجیل (در جنوب) تا شمال رودبار (در شمال) پراکنده شده‌اند.

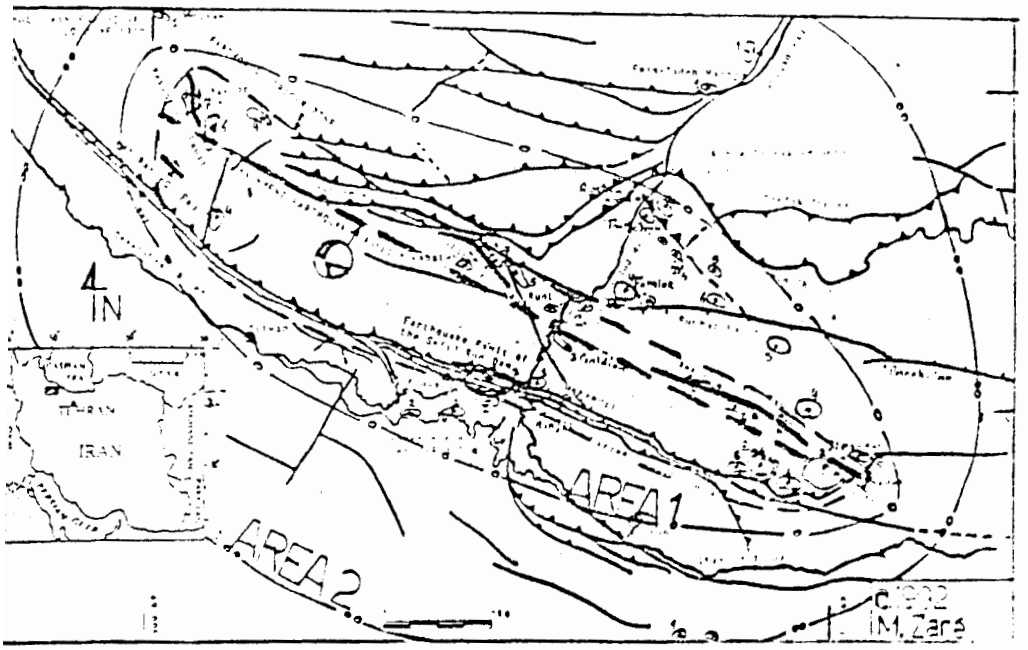
این قطعات نمایانگر سازوکاری فشاری مماسی چپگرد می‌باشند، بر این اساس مشخص گردید که منطقه منشا زلزله (شکل ۶) در ضمن بالا آمدن (حدود ۶۰ سانتیمتر) تحت برش[1] واقع شده است.

محدوده گسلش و منطقه بالا آمده به عنوان منطقه منشا زلزله معرفی می‌شود. همچنین مشاهده گردیده است که محدوده یاد شده به طرز مناسبی با محدوده زمین‌لغزه‌های بزرگ (زمین‌لغزش‌های جناح چپ سد سفیدرود، شاه‌نشین باکلور، لاکه، توتکلابن، فتلک، گیاش، پاکده و معدن سنگرود) همگی در محدوده‌ای واقعند که انطباق جالبی با منطقه منشا زلزله دارد. از سوی دیگر آسیب‌ها و خسارات سازه‌ای و ژئوتکنیکی در محدوده یاد شده (که مرکز مهلرزه‌ای زمین‌لرزه در منطقه میانی آن واقع می‌شود)، در بیشترین حد خود بوده و با شدت زمین‌لرزه بیش از VIII در مقیاس مرکالی منطبق است.

بنابراین مشخص گردید که منطقه منشا زلزله ۳۱ خرداد ۶۹ منجیل با محدوده درونی خط همشدت ۸(VIII = I) و همچنین محدوده زمین‌لغزه‌های اصلی منطبق است. محدوده زمین‌لغزش‌های بزرگ در زمین‌لرزه منجیل با علامت AREA 1 در شکل ۶ مشخص شده است. از سوی دیگر محدودهٔ زمین‌لغزش‌های از نوع سنگ افت[2] در شکل ۶ با علامت AREA 2 به صورت یک خط‌چین بزرگ مشخص است. در بررسی شدت خرابی‌ها در

1- Shear

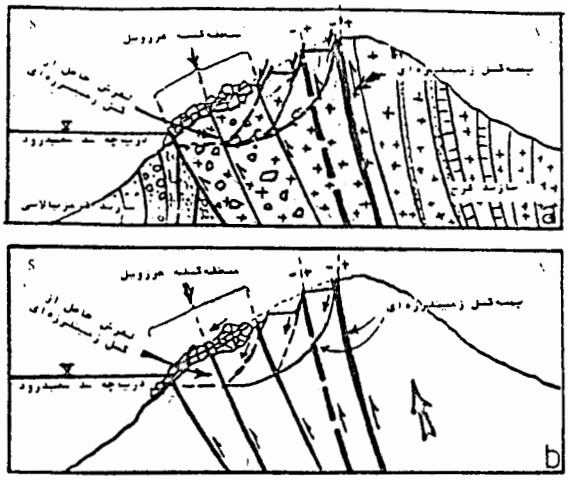
2- Rockfall



شکل ۶-رابطهٔ بین پهنه منشا زمین‌لرزه و پهنه زمین‌لغزش‌ها (AREA 2 , AREA1) در زمین‌لرزه منجیل (نقل از زارع ۱۹۹۳)

زمین‌لرزهٔ منجیل معلوم گشت که این ناحیه حدوداً با شدت ۶ MSK (I = VI) منطبق می‌گردد، و اکثر سنگ افت‌ها در درون این ناحیه (با شدت بیش از ۶) واقع می‌شوند.

از نقطه نظر قرارگیری لغزش‌های بزرگ بطور مستقیم در اثر گسیختگی گسل زمین‌لرزه‌ای می‌توان به بهمن‌سنگ عظیم واقع بر روی منطقه گسله هرزویل در ناحیه منجیل (زارع ۱۹۹۱) و همچنین رویداد زمین‌لغزه‌های اخیر بر روی و در کنار گسل زمین‌لرزه‌ای سد سفیدرود (شکل ۷) و گسل‌های زمین‌لرزه‌ای باکلور، کتبه و بره‌بن، در منطقه زلزله زده ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل اشاره نمود (زارع ۱۹۹۱ و زارع، معین‌فر ۱۹۹۳).



شکل ۷ـ مقطع شماتیک از وقوع زمین‌لغزه بر روی گسل زمین‌لرزه‌ای سدسفیدرود(نقل‌از زارع و معین‌فر ۱۹۹۳)

۷ـ اثرهای ساختگاه بر جنبش شدید زمین در زمین‌لرزه منجیل، مقایسه جایگاه‌های آب‌بر و ابهر

در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها معمولاً اثرهای ساختگاه[1] طبق آیین‌نامه‌های ساختمانی در نظر گرفته می‌شود. این کار با وارد کردن ضریب ساختگاه S ، در محاسبه برش پایه انجام می‌گیرد. مقادیر ضریب ساختگاه به شماره رده‌بندی‌های[2] فراگیر شرایط خاک بستگی دارد. آیین‌نامهٔ UBC شامل چهار رده است که مقدار ضریب ساختگاه وابسته به آنها از یک تا دو تغییر می‌کند (جدول ۱). این ضرایب براساس نتایج تحلیل‌های ویژه ساختگاه، جنبش‌های نگاشته شدهٔ زمین و میزان خسارت‌های وارده به ساختمان‌ها بر روی نیمرخ‌های مختلف خاک، تعیین گردیده است.

1- Site effects

2- Category

طبقه‌بندی انواع زمین در آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز مطابق با همین شیوه تهیه گردیده است. همان طورکه در این آیین‌نامه مشخص می‌باشد، نوع زمین با ضریبی به نام B (ضریب بازتاب ساختمان)، در محاسبه نیروی برشی پایه ساختمان وارد می‌گردد.
استفاده از طبقه‌بندی‌های خاک‌های مختلف این امتیاز را دارد که با تعیین نوع زمین در هر محل و اطلاق آن به یک دسته از این طبقه‌بندی‌ها، امکان استفاده از طیف‌های پاسخ زمین فراهم می‌شود. این طیف‌ها با استفاده نگاشت‌های به دست آمده از زمین‌لرزه‌های گذشته تهیه و در نهایت برای انواع مختلف زمین‌ها دسته‌بندی شده‌اند.

۷ـ۱ـ نظریهٔ مسأله

از آنجاکه در ایران بطورکلی و بویژه در ناحیه زلزله زدهٔ منجیل نگاشت‌های ثبت شده روی سنگ بستر یا بیرون زدگی سنگی گزارش نشده است، در این مطالعه (پایان نامه کارشناسی ارشد، زارع ۱۳۷۲) تحلیل رفتار خاک، براساس عمل بازیابی[1] صورت گرفته است. برای به دست آوردن تاریخچه زمانی محاسبه شده در سنگ کف (که موجود نیست) از روش بازیابی در جایگاه‌های آبرفتی که نگاشت آنها موجود بوده استفاده گردیده است. به این ترتیب طیف نگاشت در سنگ کف و همچنین در بیرون زدگی سنگی به دست آمده است و از این طریق امکان مقایسه طیف‌های مربوط به سنگ کف و سطح زمین فراهم شده است.
روش بازیابی علی‌رغم محاسنش، موجب می‌شود که هنگام به دست آوردن نگاشت در سنگ کف، جنبش‌های فرکانس بالا از دست برود، چراکه جنبش‌های فرکانس بالا هنگام صعود از سنگ کف به سطح زمین، توسط خاک فیلتر می‌گردند؛ ولی به هر حال در هنگامی که نگاشت بر روی سنگ کف و یا بیرون زدگی سنگی موجود نباشد، برای تحلیل رفتار دینامیکی خاک استفاده از این روش اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر، این روش موجب می‌شود که امکان مقایسه جنبش شدید زمین در سطح، با جنبش در سنگ کف در حالتی که هر دو جنبش حاوی ویژگی‌های زلزله‌شناختی و لرزه‌زمین‌ساختی یکسان بوده و هر دو متعلق به یک منطقه مثلاً ایران هستند، فراهم آید. در این روش میزان خطاهای احتمالی

1- Deconvolution

بسیار کمتر از هنگامی است که از نگاشت با شرایط لرزه‌زمین‌ساختی ایران استفاده شود (مثلاً باختر یا خاور آمریکا) که ویژگی‌های چشمه[1] آنها با ویژگی‌های چشمه زمین‌لرزه و مشخصات لرزه‌زمین‌ساختی ناحیه مورد نظر کاملاً متفاوت است.

در این مقاله تحلیل‌های انجام شده به روش مذکور در دو جایگاه آب‌بر و ابهر ارایه شده و با هم مقایسه می‌شوند.

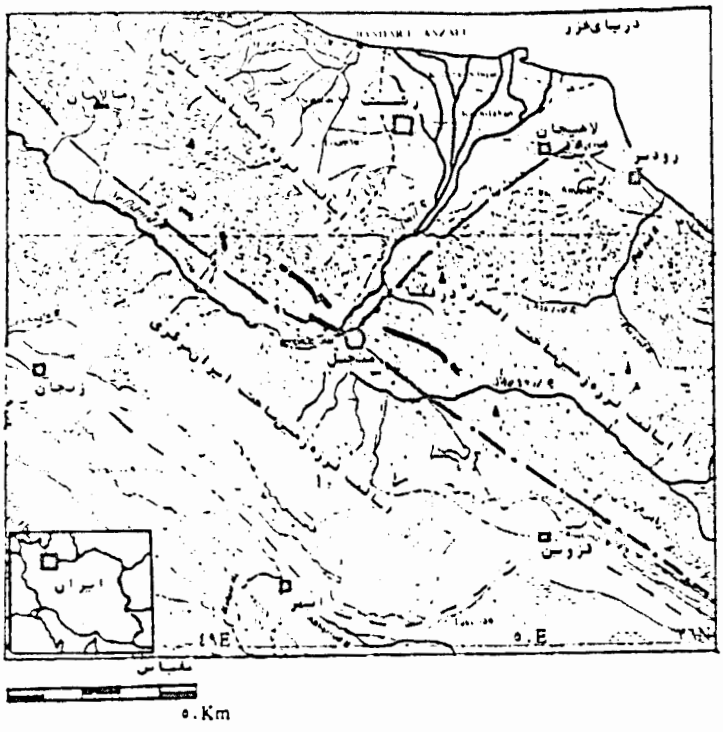
۷-۲- جایگاه آب‌بر

شتابنگاشت آب‌بر در فاصله حدود هشت کیلومتری پهنه آزادی انرژی به دست آمده است (شکل ۸). به منظور تحلیل رفتار دینامیکی خاک در این جایگاه، از نیمرخ ارایه شده در شکل ۹ استفاده گردید. دانه‌بندی نمونه‌های دستی گرفته شده در ژرفاهای مختلف در جایگاه آب‌بر در شکل ۱۰ مشخص است. تاریخچه‌های زمانی[2] به دست آمده در این ایستگاه با روش بازیابی به سنگ کف برده شد تا طیف‌های مربوطه حاصل شود. طیف پاسخ شتاب برای هر دو مؤلفه طولی و عرضی جنبش برای نگاشت‌های اصلاح شده در شکل ۱۱ (الف و ب) ارایه شده است. این دو شکل نشان می‌دهند که طیف پاسخ آب‌بر، علی‌رغم اینکه در محدودهٔ رفتار کاملاً غیر خطی و ارتجاعی ـ خمیری[3] قرار دارد، بسیار به طیف سنگی شبیه است. در این شکل‌ها، علاوه بر پریود غالبی که در حدود ۱ر۰ تا ۲ر۰ ثانیه دیده می‌شود، اوج‌های دیگری نیز در طیف‌های مربوطه در حدود ۷ر۰ و ۳ر۲ ثانیه در مؤلفه‌های طولی و ۶ر۰ ثانیه در مؤلفه عرضی اصلاح شده ملاحظه می‌گردد. نسبت طیفی[4] یا تابع تشدید[5] که نسبت بین طیف‌های دامنه فوریه در سطح زمین به همین مقدار در سنگ بستر است، نمایانگر تابع تشدید در هر ساختگاه می‌باشد و برای مؤلفه‌های طولی و عرضی ایستگاه آب‌بر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

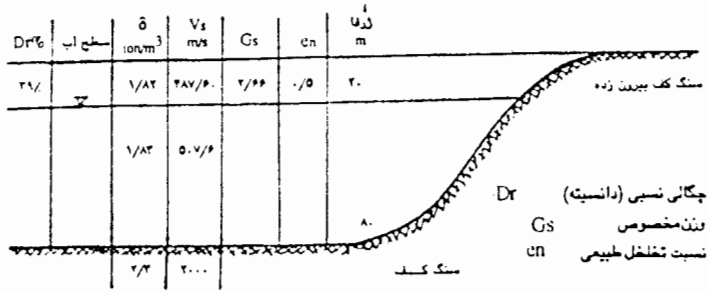
1- Source
2- Time histories
3- Elastoplastic
4 - Spectral ratio
5 - Amplification function

جدول ۱ـ ضریب‌های ساختگاه (UBC 1989)

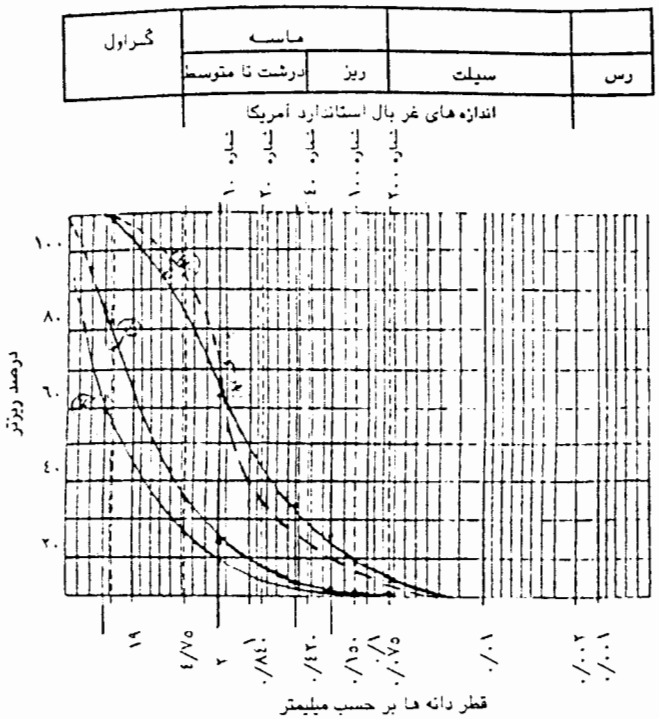
نوع	توصیف	ضریب S
S1	پروفیل خاکی با الف: مواد شبه سنگی با سرعت موج برشی بیش از ۷۶۰ متر بر ثانیه و سایر ویژگی‌های مشابه آن ب: شرایط خاکی چگال یا سخت به نحوی که ژرفای خاک کمتر از ۶۰ متر باشد	۱٫۰
S2	پروفیل خاکی با شرایط چگال یا سخت به نحوی که ژرفای خاک بیش از ۶۰ متر باشد	۱٫۲
S3	پروفیل خاکی با ژرفای بیش از ۱۲ متر و شامل بیش از ۶ متر رس نرم تا نیمه سخت، ولی کمتر از ۶ متر رس نرم	۱٫۵
S4	پروفیل خاکی شامل بیش از ۱۲ متر رس نرم	۲٫۰



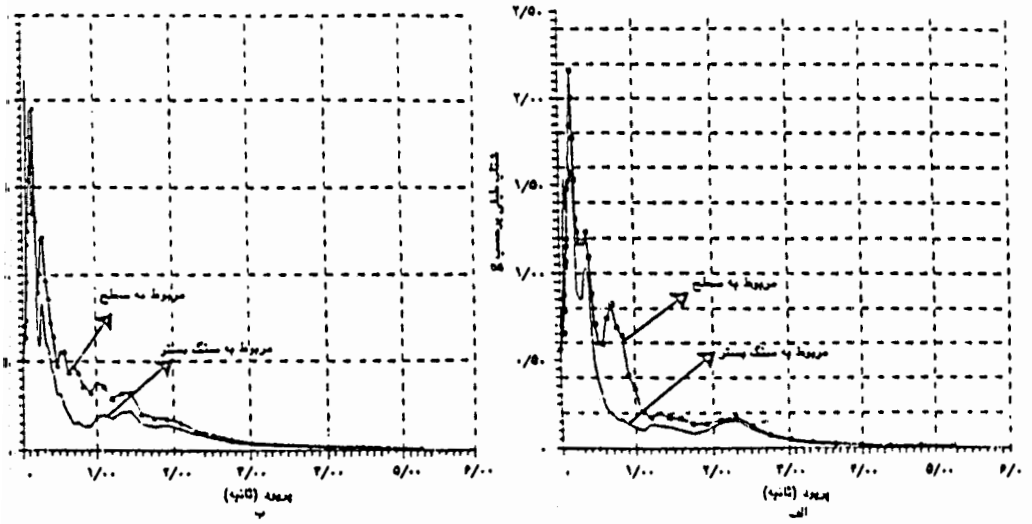
شکل ۸ـنقشه موقعیت محل بررسی‌های انجام شده و محل گسیختگی سطحی ایجاد شده در زمان زلزله اصلی ۱۳۶۹ منجیل (خط‌های ضخیم)



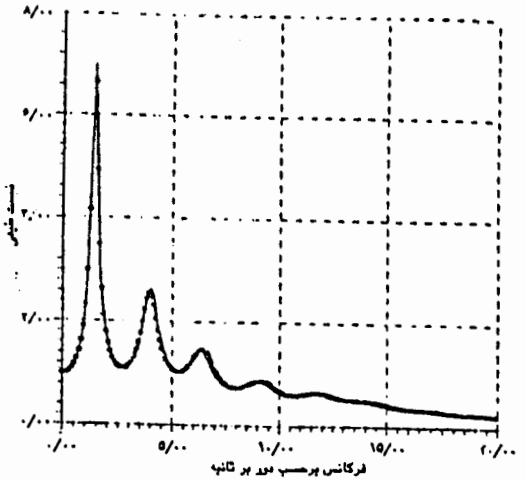
شکل ۹ـمدل یک بعدی ایجاد شده در ساختگاه آب‌بر، مشخصات ژئوتکنیکی و سرعت موج برشی برای هر لایه و سنگ کف به دست آمده است



شکل ۱۰ـ منحنی‌های دانه‌بندی مربوط به نمونه‌های گرفته شده از ساختگاه‌های شتابنگاری آب‌بر و ابهر



شکل ۱۱ـ طیف‌های پاسخ‌شتاب برای نگاشت‌های اصلاح شدهٔ جایگاه آب‌بر
الف) مؤلفه طولی، ب) مؤلفه عرضی جنبش

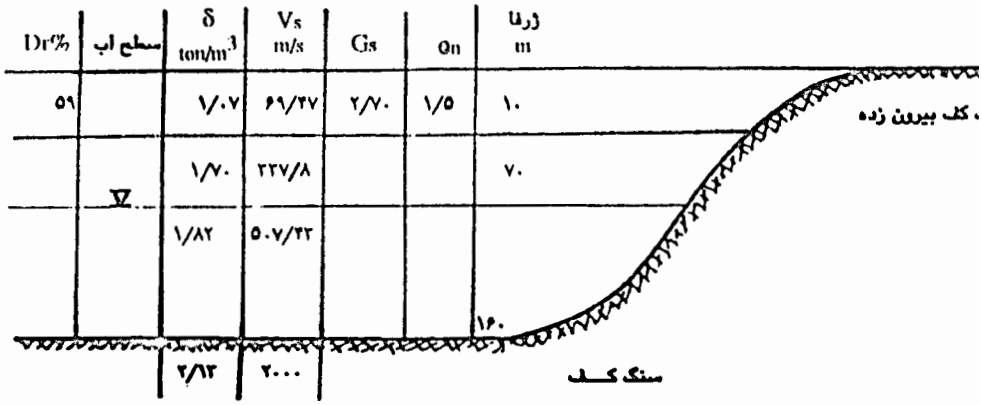


شکل ۱۲ـ نسبت‌طیفی (تابع‌تشدید) برای‌نگاشت اصلاح‌شده (□ طولی و ــ عرضی) در جایگاه آب‌بر

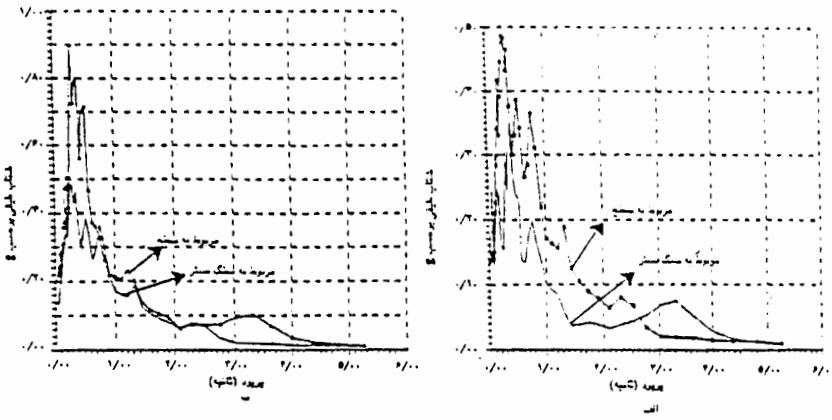
۷ـ۳ـ جایگاه ابهر

جایگاه شتابنگاری ابهر در فاصله ۶۹ کیلومتری پهنه آزادی انرژی بر روی نهشته‌های ریزدانه، واقع است. در این جایگاه با استفاده از مدل یک بعدی پیشنهاد شده تحلیل دینامیکی رفتار خاک به عمل آمد (شکل ۱۳).

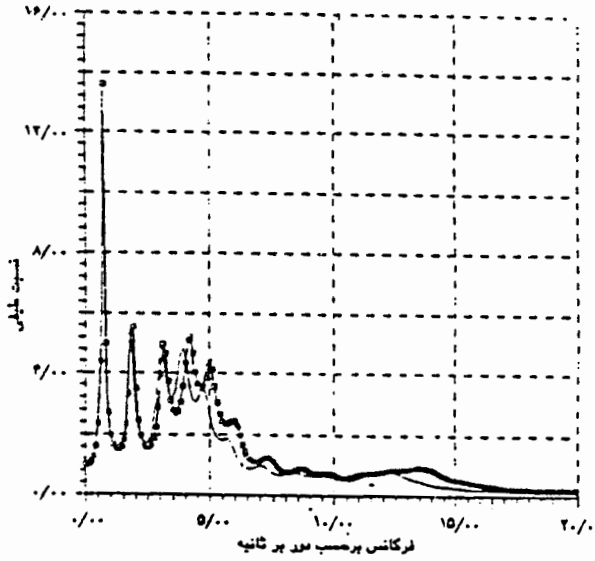
طیف‌های پاسخ شتاب در این جایگاه، کاملاً مؤید طیف مربوط به خاک نرم می‌باشند. شکل ۱۴ طیف‌های پاسخ را برای نگاشت‌های اصلاح شده در این ساختگاه به ترتیب در مؤلفه طولی (الف) و عرضی (ب) نشان می‌دهد. در این شکل طیف‌های پاسخ شتاب در سطح زمین در اولین اوج خود از حدود صفر تا ۱ر۳ ثانیه گستردگی نشان می‌دهد. این طیف‌ها روی مؤلفه طولی در ۲ر۳ ثانیه و روی مولفه عرضی در ۳ر۳ ثانیه اوج دیگری را مشخص می‌سازند. در شکل ۱۵ نسبت‌های طیفی برای نگاشت اصلاح شده مشخص شده است. در این شکل، محدوده فرکانسی اوج‌های تابع تشدید، در فرکانس‌های حدود ۳ تا ۵ر۰ هرتز (پریودهای ۳۳ر۰ تا ۲ ثانیه) نمایان‌تر است.



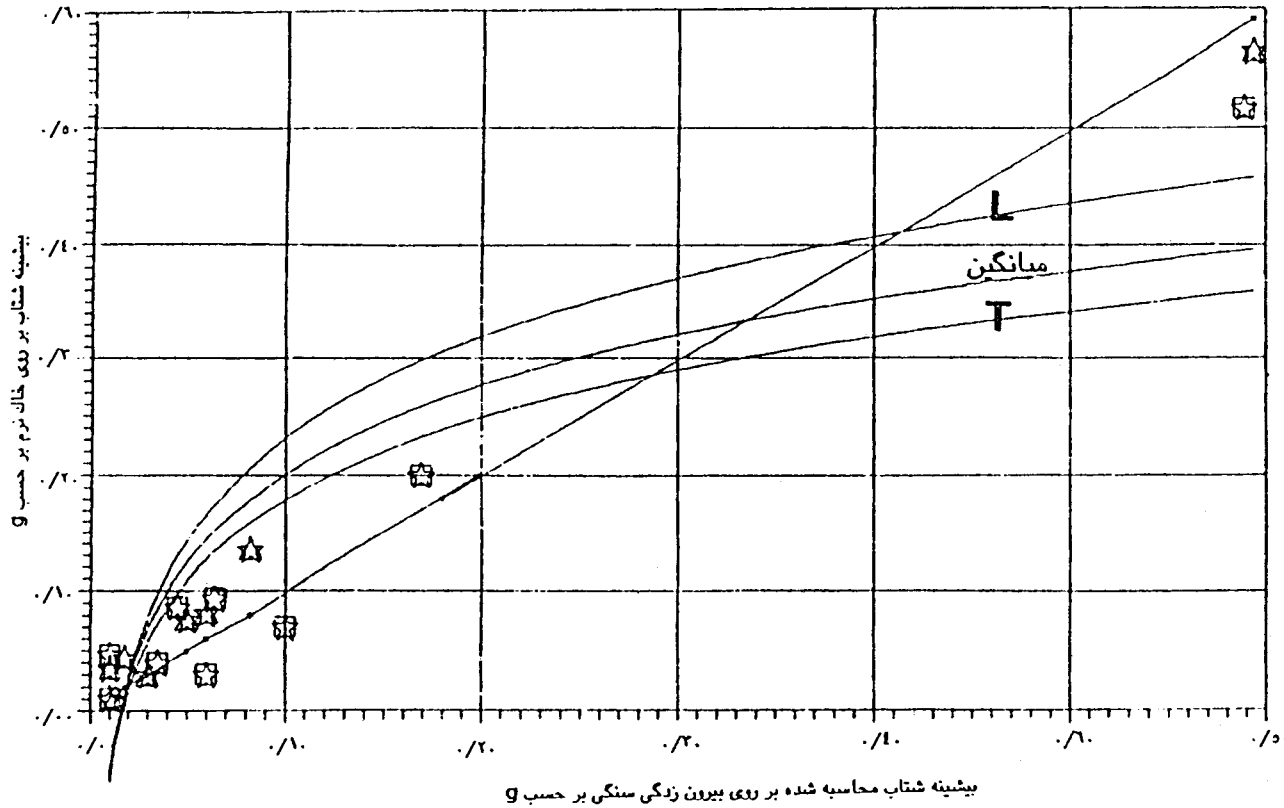
شکل ۱۳ـ مدل ایجاد شده در ایستگاه شتابنگاری ابهر



شکل ۱۴ـ طیف‌های پاسخ شتاب برای نگاشت‌های اصلاح شده جایگاه ابهر
الف) مؤلفه طولی، ب) مؤلفه عرضی، در سطح زمین و سنگ کف



شکل ۱۵ـ نسبت‌های طیفی برای نگاشت‌های اصلاح شده (□ طولی و ــ عرضی) در جایگاه ابهر



شکل ۱۶ـ تغییرات بیشینه شتاب بر روی ساختگاه‌های خاک نرم با شتاب محاسبه شده بر روی بیرون زدگی سنگی (روش بازیابی)، خم‌های مربوط به مؤلفه‌های طولی(L)، عرضی (T) و میانگین (Mean) مشخص است، حد اشباع تشدید و شروع رفتار غیر خطی، PHA = 0.335g می‌باشد.

۷ـ۴ـ بحث

بررسی اثرهای ساختگاه در زمین‌لرزه منجیل، نحوه رفتار دینامیکی خاک و پاسخ لرزه‌ای محل‌های مختلف را در شمال و شمال باختری کشور نشان می‌دهد. ملاحظه طیف‌های مربوط به آب‌بر، اهمیت مطالعات حوزه نزدیک[1] را مشخص می‌دارد. زیرا همان طور که در طیف‌های پاسخ شتاب به دست آمده برای سطح زمین و سنگ کف آب‌بر مشخص است، در حوزه نزدیک احتمالاً پاسخ لرزه‌ای مستقل از جنبش زمین[2] بوده و به صورت کاملاً غیرخطی عمل می‌نماید. در حالی که در حوزه دور (جایگاه ابهر) رفتار خاک نرم با پهن شدن طیف پاسخ شتاب در سطح زمین مشخص می‌گردد. در اینجا بر اهمیت مطالعه در حوزه نزدیک و مقایسه پاسخ‌های غیر خطی ساختگاه در زمین‌لرزه‌های گذشته که شتابنگاشت آنها موجود است تأکید می‌گردد. اهمیت مسأله رفتار غیر خطی ساختگاه در حوزه نزدیک در مطالعات آکی و همکاران (Aki et al 1992) نیز نشان داده شده است.

محاسبه بیشینه شتاب بر روی بیرون زدگی سنگی در جایگاه‌های مختلف و مقایسه آن با شتاب‌های ثبت شده بر روی خاک نرم نشان داد که نقطه اشباع تشدید (تبدیل رفتار خطی به غیر خطی خاک) در زمین‌لرزه منجیل حدود ۰٫۳۳g بوده است (شکل ۱۶) که انطباق مناسبی با نتایج زمین‌لرزه‌های مکزیک (۱۹۸۵) و لوماپریتا (۱۹۸۹) نشان می‌دهد.

۸ـ پریود طبیعی دینامیکی خاک و مقایسه آن در حوزه نزدیک و دور (ارایه نتایج زمین‌لرزه منجیل)

در این قسمت پریود طبیعی[3] یا پریود ساختگاه[4] مورد بحث قرار می‌گیرد و تغییرات آن در حوزه‌های نزدیک و دور بررسی می‌شود.به این منظور بررسی‌های انجام شده در ایران (زلزله ۱۳۶۹ منجیل) برای مطالعه پریود غالب[5] و پریود طبیعی ارایه می‌شود.

1- Near-field
2- Site independent
3- Natural period
4- Site period
5- Predominant period

۸ـ۱ تغییرات پریود طبیعی دینامیکی خاک در جنبش شدید

ابتدا با توجه به تعریف‌های متفاوتی که از پریود غالب و پریود طبیعی در مقالات مختلف ارایه می‌شود وحتی بعضاً مشاهده شده است که در مقالات ژاپنی، این پارامترها به صورت عکس آنچه که سایر پژوهشگران به کار برده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته (Sugimara et al 1991 , Elton & Martin 1989)، لازم است یک تعریف مقدماتی از پریود طبیعی و پریود غالب ارایه شود.

پریود طبیعی یا پریود ساختگاه، بر حسب ثانیه، پریودی است که در آن، نیمرخ خاک تحت جنبش زمین‌لرزه، مرتعش می‌شود. این پریود را می‌توان از تحلیل دینامیکی به دست آورد، ولی برای هر نیمرخ خاک مقدار ثابتی نیست. چرا که پریود طبیعی با جنبش زمین تغییر می‌کند (که می‌توان آن را پریود طبیعی دینامیکی نامید)، به دلیل آن که مدول برشی دینامیکی خاک با افزایش کرنش (ε) حاصل از جنبش تغییر می‌نماید:

$$G_d = \rho v_s^2 = \frac{Ed}{2(1+\upsilon)} \qquad (۱)$$

در این رابطه G_d مدول برشی دینامیکی خاک، ρ وزن واحد حجم، V_s سرعت موج برشی، Ed مدول الاستیسیته دینامیک و υ مدول پواسون می‌باشد. مدول پواسون (υ) برابر است با نسبت کرنش محوری (ε_a) به کرنش جانبی (ε_d):

$$\upsilon = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_d} \qquad (۲)$$

در برنامه SHAKE (Schnabel et al 1972) می‌توان با به حساب آوردن اثرهای غیر خطی خاک، پریود طبیعی دینامیکی زمین را باتوجه به تابع تشدید (نسبت طیفی[1]) در جایی که شکل طیف به اوج خود می‌رسد، محاسبه نمود. از سوی دیگر، پریود طبیعی زمین را با روش خطی تقریبی (Dobry 1976) نیز، بر اساس برآیند رابطه ژرفا با سرعت موج برشی، برای یک لایه می‌توان به دست آورد:

1- Spectral ratio

$$T_N = \frac{4H}{V_s} \qquad (۳)$$

در این رابطه H ضخامت لایه و V_s سرعت موج برشی در آن لایه می‌باشد. در روش اخیر رفتار غیرخطی خاک تحت بارگذاری زمین‌لرزه (در جنبش شدید) و یا ویژگی‌های جنبش در یک زمین‌لرزه خاص در نظر گرفته نمی‌شود. بعلاوه، از آنجا که مدول برشی خاک ثابت نیست و با ژرفا تغییر می‌کند و احتمال اینکه نیمرخ خاکی با یک نوع خاک موجود باشد بسیار کم است، بنابراین فرمول‌بندی‌های پیچیده‌تر از محاسبه با روش خطی، مورد نیاز است تا بتوان پریود طبیعی دینامیکی خاک را محاسبه نمود.

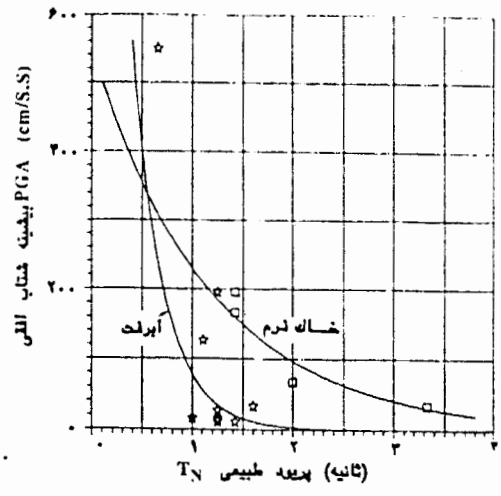
در حوزه نزدیک اثر جنس زمین به کمترین میزان خود می‌رسد و با توجه به جنبش بسیار شدید در این حوزه، پریود طبیعی دینامیکی زمین نیز تابع پریود غالب جنبش ورودی می‌گردد. این مسأله به خوبی در زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل نشان داده شد که

جدول ۲- مقادیر پارامترهای جنبش شدید زمین، بیشینه شتاب افقی، شدت، پریود غالب و پریود طبیعی زمین، با نگرشی ویژه به جنس زمین ساختگاه (براساس زارع ۱۳۷۲)

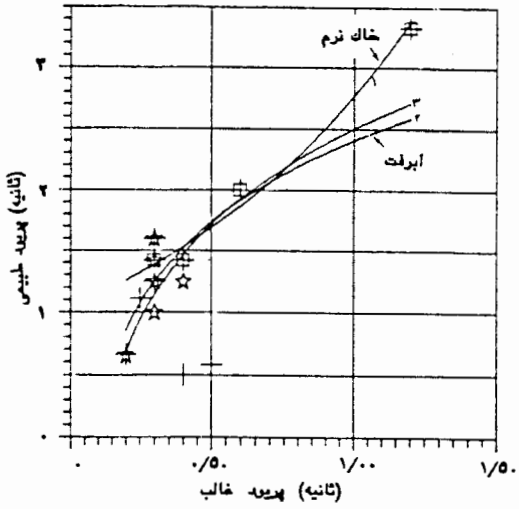
زمین لرزه ۱۳۶۹/۳/۳۱ منجیل با بزرگای ۷/۳							
ردیف	جایگاه شتابنگاری	PHA بیشینه شتاب افقی cm/s2	پریود غالب (sec) T_G	پریود طبیعی زمین (sec) T_N	شدت (MSK)	طبقه بندی نوع زمین	فاصله از پهنه آزادی انرژی (km)
۱	آب بر	۵۵۰	./۲	./۶۶	VIII+	۳	۸
۲	قزوین	۱۹۶	./۳	۱/۲۵	VI+	۲	۵۲
۳	زنجان	۱۲۷	./۲۵	۱/۱۱	VI+ -VII	۳	۵۷
۴	لاهیجان	۱۶۶	./۳	۱/۲۲	VI+	۲	۶۱
۵	اهر	۱۹۶	./۲	۱/۲۲	VI+	۲	۶۹
۶	رودسر	۸۸	./۲	/۵	VI+	۳	۷۰
۷	تکابن	۸۸	./۵	./۵۸	VI+	۳	۱۰۵
۸	اشتهارد	۶۸	./۶	۲	VI+ -VII	۲	۱۲۲
۹	کرج	۳۴	./۳	۱/۶	V+	۲	۱۵۱
۱۰	اردبیل	۴۸	./۳	۱/۲۵	IV+	۲	۱۵۵
۱۱	رباط کریم	۱۷	./۳	۱/۶	IV+	۲	۱۸۵
۱۲	مؤسسه زمین شناسی (تهران)	۱۲	./۳	۱/۲۲	IV+	۲	۱۸۸
۱۳	مرکز تحقیقات ساختمان						
	وسکی (تهران)	۱۲	./۳	۱/۲۲	IV+	۲	۱۸۹
۱۴	دانشگاه شریف (تهران)	۱۲	./۳	۱/۲۲	IV+	۲	۱۸۹
۱۵	چیذر (تهران)	۱۶	./۳	۱/۲۵	IV+	۳	۱۸۹
۱۶	کهریزک	۳۲	۱/۲	۳/۳۳	V	۴	۲۰۲

جدول ۳ـ تغییرات پریود غالب براساس انواع زمین‌های مختلف در آیین‌نامه ژاپن
(Sugimura et al 1991)

نوع زمین	پریود غالب T_G (ثانیه)	گروه خاک
خاک سخت ۱	$T_G \leq$ ۰ر۲	۱
خاک متوسط ۲	۰ر۲ < $T_G \leq$ ۰ر۳۵	۲
	۰ر۳۵ < $T_G \leq$ ۰ر۵۵	۳
	۰ر۵۵ < $T_G \leq$ ۰ر۷۵	۴
خاک نرم ۳	۰ر۷۵ < $T_G \leq$ ۱	۵
	۱ < T_G	۶



شکل ۱۷ـ تغییرات پریود طبیعی با بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه در ساختگاه‌های مختلف، در زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل (توسعه داده‌شده براساس زارع ۱۳۷۲)

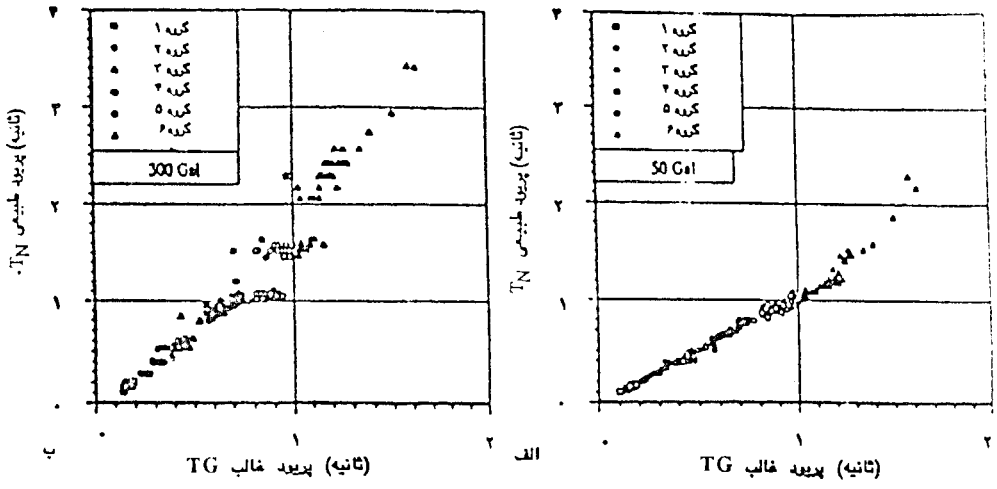


شکل ۱۸ـ تغییرات پریود طبیعی زمین برای خاک‌های مختلف (۱: خاک سخت، ۲: خاک نرم و ۳: بطور کلی) در زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل (توسعه داده شده بر اساس زارع ۱۳۷۲)

تغییرات پریود طبیعی دینامیکی زمین (جدول ۲) در جنبش‌های خیلی شدید (شتاب‌های خیلی زیاد) دیگر تابع نوع زمین نبوده، بلکه تابعی از میزان جنبش ورودی است. در شتاب‌های کمتر، پریودهای طبیعی خاک بیشتر است. این موضوع در زمین‌لرزه منجیل با بررسی بر روی دو نوع خاک آبرفتی و خاک نرم براساس شتاب‌های مختلف (تغییر فاصله از پهنهٔ آزادی انرژی) بررسی گردید (شکل ۱۷). در این شکل مشخص است که در محدوده حوزه نزدیک (شتاب‌های بالا)، پریود طبیعی دینامیکی زمین کاهش می‌یابد و دیگر به جنس زمین وابسته نمی‌باشد و تقریباً برای هر نوع جنس زمین یکسان و معادل با پریود غالب جنبش ورودی، که در حوزه نزدیک کوتاه است، تغییر می‌نماید. از سوی دیگر، وابستگی پریود در حوزه نزدیک به پریود غالب، در مورد خاک‌های نرم‌تر شدیدتر است (شکل ۱۷)، به نحوی که در مورد خاک‌های نرم‌تر پریود طبیعی بیشتر کوتاه می‌شود. این مسأله بویژه در مورد شتاب‌های بالای ۳gر۰ مشاهده می‌گردد.

پریود غالب پریودی است که براساس طیف‌های پاسخ شتاب[1] در هر مکان (در زمین آزاد بر روی خاک‌های مختلف و همچنین در محل‌ها و طبقات مختلف در ساختمان‌ها) به دست آمده باشد. معمولاً پریود معادل با اولین نقطه اوج بر روی طیف شتاب را به عنوان پریود غالب در نظر می‌گیرند. تغییرات پریود غالب جنبش شدید زمین بر روی خاک‌های مختلف در آیین‌نامه ژاپن در جدول ۳ نشان داده شده است (Sugimura et al, 1991). با بررسی‌های انجام شده بر روی زمین‌لرزه منجیل در ایران، تغییرات پریود غالب با پریود طبیعی زمین مشخص شد(شکل ۱۸). این مسئله در مورد زمین‌لرزه‌های کشور ژاپن به صورت تجربی در ناحیه توکیو بررسی شده است (شکل ۱۹)، (Sugimura et al , 1991). در این شکل‌ها نیز مشخص‌است که هر چه سطح جنبش زمین از ضعیف به شدید افزایش یابد، افزایش پریود طبیعی دینامیکی بیش‌از افزایش پریود غالب خواهدگردید. به‌نحوی که در حدود ۵۰cm/s^2 با افزایش پریود غالب، پریود طبیعی نیز به همان میزان افزایش می‌یابد، که این حالت نماینده رفتارخطی و جنبش ضعیف‌زمین‌است (شکل۱۹ الف).ازسوی‌دیگر،باافزایش سطح جنبش ورودی و شروع رفتار غیر خطی (حدود ۳۰۰cm/s^2) (زارع ۱۳۷۲ و Sugimura et al 1991)

1- Acceleration response spectra



شکل ۱۹- تغییرات پریود غالب با پریود طبیعی زمین، بررسی شده در ناحیه توکیو (Sugimura et al 1991) الف، برای جنبش ورودی $۵۰cm/s^۲$، ب، برای جنبش ورودی $۳۰۰cm/s^۲$، گروه‌های خاک ۱ تا ۶ (۱ خاک سخت، ۲، ۳ و ۴ خاک متوسط، ۵ و ۶ خاک نرم)

میزان افزایش پریود طبیعی سریعتر از افزایش پریود غالب می‌شود، (شکل ۱۹ ب، جنبش ورودی $۳۰۰cm/s^۲$).

همین حالت در زمین‌لرزه منجیل که در پهنه رومرکزی (آب‌بر) جنبش ورودی حدود $۵۵۰cm/s^۲$ بوده است، نیز مشاهده گردید، به نحوی که با نرم شدن خاک و افزایش پریود غالب، پریود طبیعی دینامیکی سریعتر اضافه می‌گردد، تا اینکه با ورود جنبش نسبتاً ضعیف‌تر نحوه تغییرات پریود طبیعی به پریود غالب نزدیک گردد، (منحنی‌های ۱ و ۲ و ۳، در شکل ۱۸). از مطالب بالا به‌ویژه شکل ۱۷ چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در حدود $۳۳۰cm/s^۲$، خاک در زلزله منجیل در آستانه جنبش شدید، شروع به رفتار غیر خطی کرده است.

۸ـ۲ـ بحث

۱ـ پریود طبیعی دینامیکی ساختگاه واقع بر روی زمین نرم و خاک دستی در حوزه نزدیک (جنبش خیلی شدید زمین) براساس ویژگی‌های سرچشمه[1] زمین‌لرزه به پریود غالب جنبش ورودی وابسته می‌گردد. این وابستگی که در زلزله منجیل به صورت کاهش پریود طبیعی تجربه شده است (به دلیل اینکه پریود غالب در حوزه نزدیک بسیار کوتاه می‌شود)، با ظهور رفتار غیر خطی بروز می‌کند.

در جنبش ضعیف رفتار غیر خطی برای پریودهای غالب (ثانیه) $T_G \geq$ ۱ر۲ قابل انتظار است (کهریزک PGA = ۳۴cm/s^2 و T_G = ۱ر۲ S). این مسأله در ناحیه توکیو برای بیشینه شتاب‌های بیش از ۵۰cm/s^2 نشان داده شده است. در جنبش شدید، در پریودهای غالب بیش از ۶ر۰ ثانیه (تجربه زلزله منجیل) احتمال وقوع رفتار غیر خطی وجود دارد ($T_G \geq$ ۷۵ر۰S برای توکیو). نزدیکی یا انطباق پریود طبیعی کوتاه با پریود غالب (که آن هم در حوزه نزدیک بسیار کوتاه است) موجب می‌شود که در حوزه نزدیک ضرایب تشدید (نسبت‌های طیفی) بالایی حاصل شود (آب‌بر T_G = ۲ر۰S ، T_N = ۶۶ر۰S و یا احتمالاً رودسر T_G = ۴ر۰S ، T_N=۵ر۰S). وابستگی پریود طبیعی دینامیکی خاک در حوزه نزدیک به پریود غالب در مورد خاک‌های نرم‌تر شدیدتر است، به نحوی که بر روی خاک‌های نرم‌تر پریود طبیعی در حوزه نزدیک بیشتر کوتاه می‌شود (شکل ۱۷). همچنین در این حالت افزایش شدت جنبش با افزایش محدودهٔ پریودی تشدید همراه است (نظیر آنچه در مورد آب‌بر دیده می‌شود).

۲ـ جنبش در حدود ۳ر۰g را به عنوان حد اشباع تشدید می‌توان در نظر گرفت، به نحوی که از این حد بیشتر رفتار خاک کاملاً غیر خطی می‌گردد. این موضوع به خوبی در شکل ۱۷ در محل تلاقی دو خم مربوط به خاک نرم و آبرفت مشخص است.

1- Source

۳ـ در جنبش ضعیف با افزایش پریود غالب، پریود طبیعی نیز به صورت خطی با آن افزایش می‌یابد (اشتهارد $PGA=۶۸cm/s^۲$، $T_G = ۲S$، کهریزک $PGA =۳۴cm/s^۲$، $T_G = ۳٫۳۳S$)، ولی در جنبش شدید این تغییرات دیگر خطی نیست، بلکه در مورد خاک‌های نرم‌تر، افزایش پریود غالب با افزایش بیشتر پریود طبیعی دینامیکی همراه است.

۹ـ بررسی‌های اخیر ساختگاه و زلزله‌شناسی مهندسی در پهنه زلزله‌زدهٔ منجیل

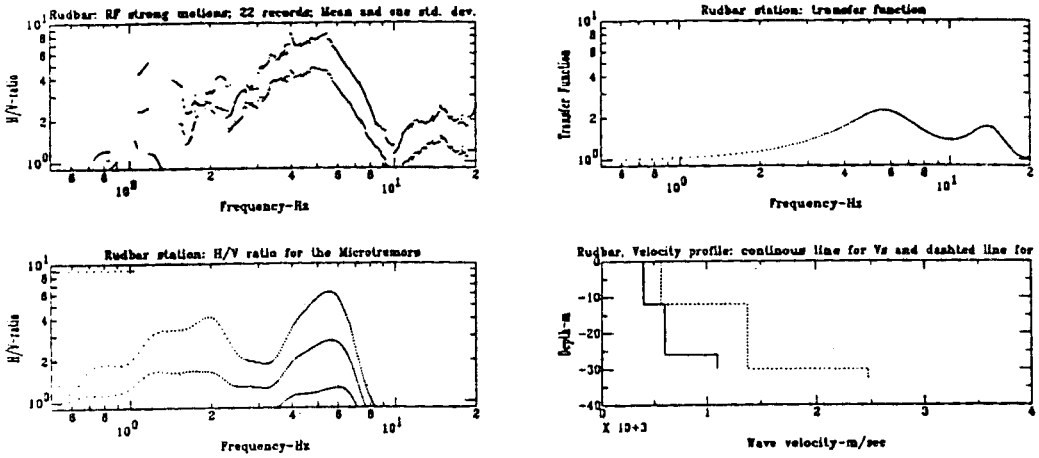
بررسی‌های خطر زمین‌لرزه در ساختگاه‌های مهندسی به ویژه هنگامی که سازه‌هایی با اهمیت بالا در حالت مطالعه باشند، هم اکنون با بهره‌گیری از تحلیل‌های جنبش شدید زمین و توسعه طیف‌های طراحی براساس ویژگی‌های طیف‌های پاسخ هر منطقه صورت می‌گیرد. در ایران با توجه به وجود شبکه‌های شتابنگاری که از حدود ۲۵ سال قبل داده‌های جنبش شدید زمین در ایران را ثبت می‌کند، امکان توسعه طیف‌های طراحی براساس داده‌های مناطق مختلف ایران وجود دارد. اهمیت چنین کاری در این است که ویژگی‌های زلزله‌شناختی‌مهندسی (ابعاد و مشخصات سرچمه‌های لرزه‌زا، مشخصات پوسته زمین، فاکتورهای کاهندگی در ژرفا و در نزدیکی سطح زمین، محتوای فرکانسی و دوام جنبش، افت تنش، همگنی یا ناهمگنی پوسته و میزان تأثیر تکتونیک در منطقه ...) هر منطقه از کشور خاص همان ناحیه می‌باشد و برای تعیین خطر زمین‌لرزه به صورت بهینه لازم است تا مشخصات همان ناحیه برای تعیین خطر لحاظ گردد. تا هنگامی که داده‌های شتابنگاری مربوط به یک ناحیه خاص در دسترس نباشد، تلاش می‌شود تا از مدل‌های کاهندگی و داده‌های ثبت شده در ناحیه‌هایی با ویژگی‌های مشابه استفاده گردد. بنابراین واضح است که هر چه میزان داده‌های در دسترس بیشتر باشد، امکان تفکیک و تقسیم‌بندی بیشتر فراهم می‌گردد. در ایران تاکنون (پایان تابستان ۱۳۷۸) حدود ۲۱۰۰ شتابنگاشت، ۱۴۰۰ نگاشت رقمی (SSA-2) سه مؤلفه‌ای و ۷۰۰ نگاشت آنالوگ (SMA-1) به دست آمده است. مطالعاتی که در مقالهٔ حاضر بخشی از آن ارایه می‌گردد براساس ۴۶۸ نگاشت مؤلفه شتابنگاری است که توسط مؤلف این مقاله (Zare 1995) تصحیح شده است و از جنبه‌های مختلف زلزله‌شناسی مهندسی (تهیه کاتالوگ، تعیین پارامترهای سرچشمه برای هر نگاشت، بررسی اثر ساختگاه برای هر نگاشت، تعیین انرژی و دوام جنبش شدید زمین و

توسعه مدل‌های کاهندگی) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مسئولیت نگهداری این شبکه هم اکنون با مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن می‌باشد.

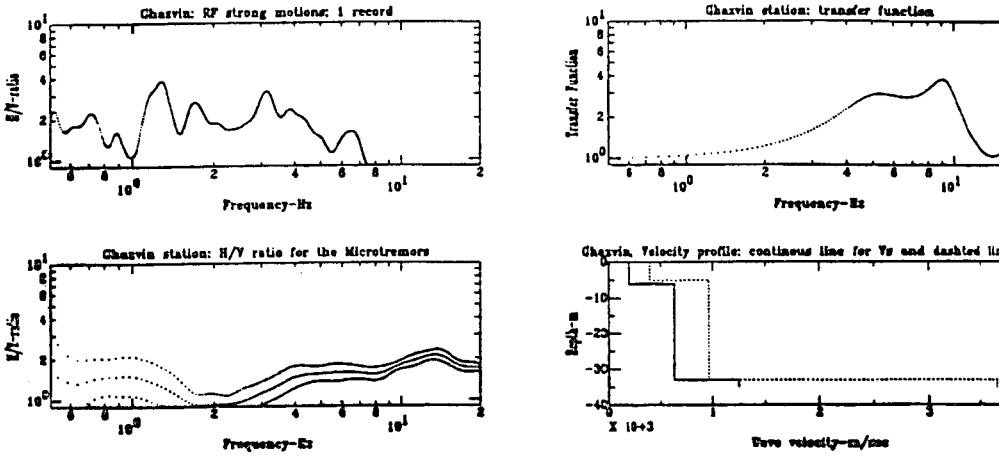
۴۶۸ نگاشت مربوط ۱۳۸ ایستگاه شتابنگاری (مرکز تحقیقات مسکن ۱۳۷۲) در تحلیل‌های زارع (۱۹۹۹) به کار رفته است. ۳۰۴ نگاشت در زاگرس و ۱۶۴ نگاشت مربوط به سایر نقاط کشور بوده است. این مسأله نمایانگر افزونی داده‌های زاگرس نسبت به سایر داده‌هاست که به دلیل لرزه‌خیزی بالای این ناحیه از کشور است. از سوی دیگر مطالعات اخیر (Zare 1999) نشان می‌دهد که افت تنش، دوام جنبش و کاهندگی شدید زمین در زاگرس با البرز ـ ایران مرکزی متفاوت است.

در این مقاله با بهره‌گیری از رساله دکتری نگارنده (Zare 1999)، نتایج مربوط به بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه‌های شتابنگاری مستقر در ناحیه منجیل ارایه می‌شود.

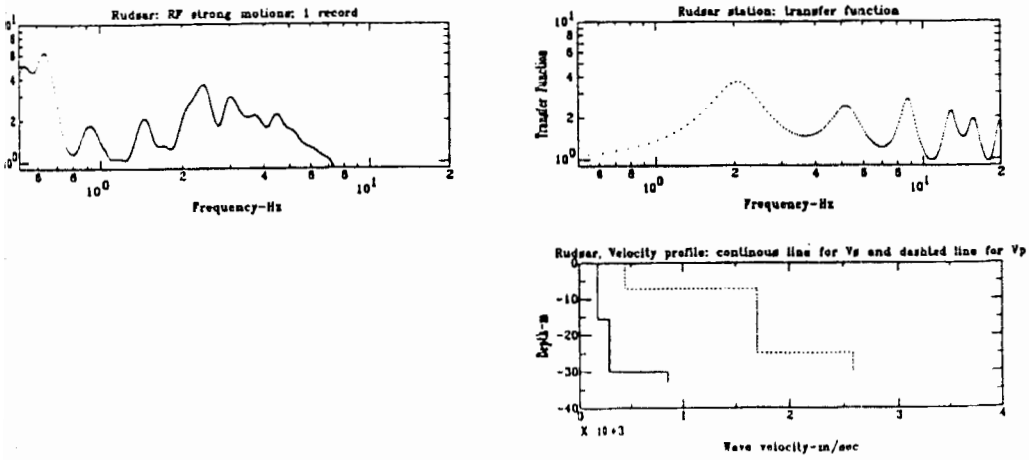
ایستگاه‌هایی که در مقاله حاضر نتایج بررسی‌های ساختگاه در مورد آنها ارایه می‌گردد عبارتند از ایستگاه‌های قزوین، رودسر، رودبار، منجیل، لاهیجان و تالش. در این ایستگاه‌ها مطالعات ژئوسایزمیک (مربوط به تعیین سرعت موج‌های S , P در ۳۰ متر اول پروفیل خاک) و همچنین اندازه‌گیری نسبت طیفی H/V برای جنبش‌های شدید (نگاشت‌های زمین‌لرزه ۱۳۶۹ منجیل) و میکروترمورها (خرد لرزه‌هایی که معمولاً وجود دارند)، صورت گرفته است. شکل‌های ۲۰ تا ۲۵ نتایج یاد شده را در ساختگاه‌های مهم که شدیدترین جنبش‌ها در این زمین‌لرزه در آنها به دست آمدند، مشخص می‌سازد.
در این بررسی‌ها مقایسه نتایج مربوط به جنبش‌های شدید و جنبش‌های ضعیف (میکرو ترمورها) نشان داد که در ساختگاه‌های نظیر رودبار، رودسر، تالش و لاهیجان که بر روی خاک نرم واقعند، تشدید در جنبش شدید و ضعیف در زمین‌لرزه منجیل نسبتاً به هم شبیه بوده است. در ساختگاه‌های سخت‌تر نظیر قزوین انطباق این نتایج با هم کمتر است.



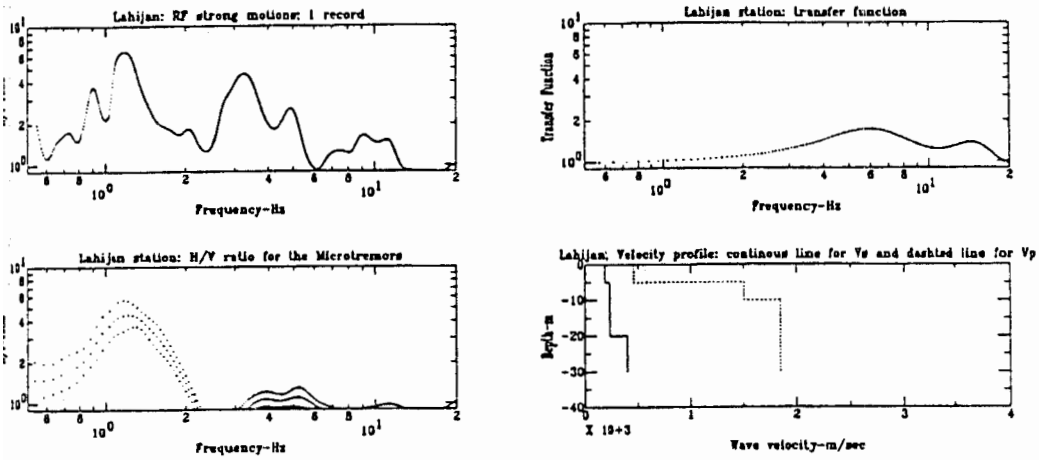
شکل ۲۰- بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه شتابنگاری رودبار (بالا چپ طیف H/V جنبش شدید، پایین چپ طیف H/V میکرو ترمور، بالا راست تابع انتقال، پایین راست پروفیل سرعت موج‌های P و S)



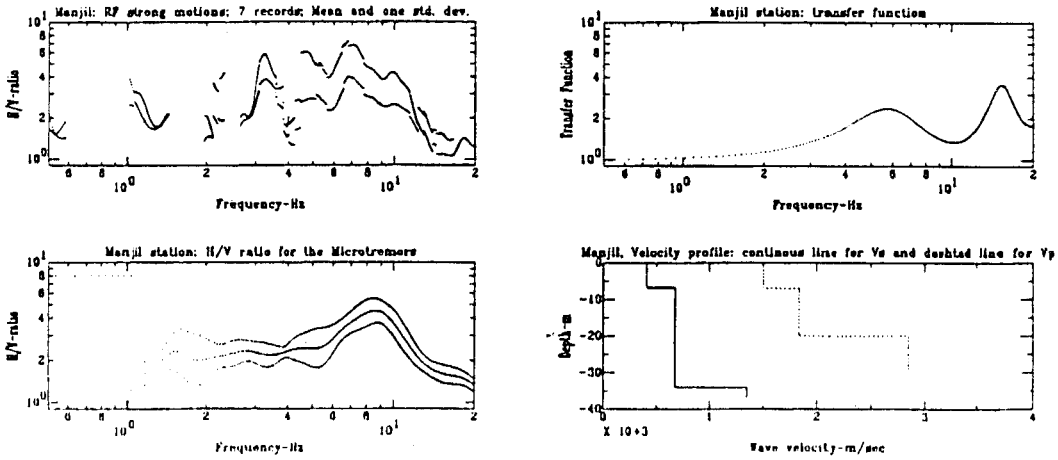
شکل ۲۱-بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه شتابنگاری قزوین (ترتیب ارایهٔ نتایج مطابق شکل ۲۰)



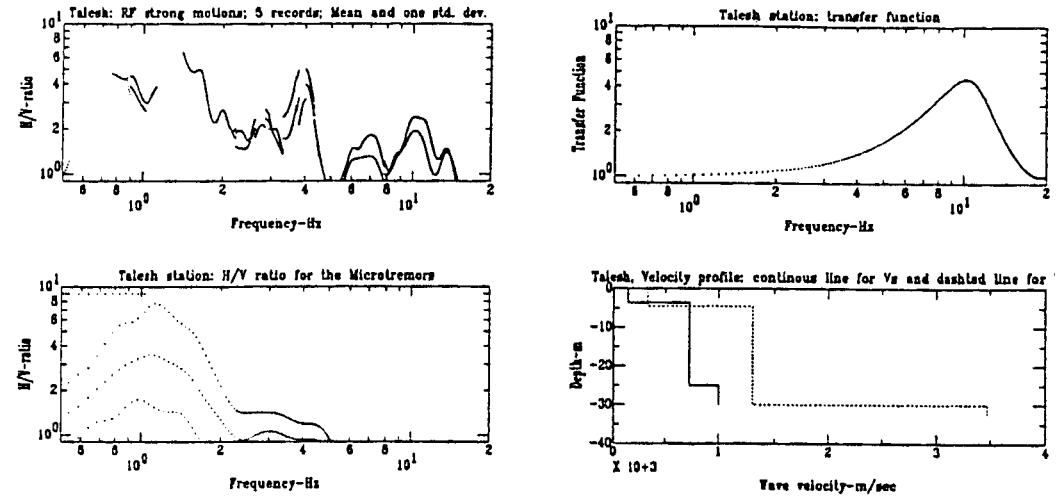
شکل ۲۲- بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه شتابنگاری رودسر (ترتیب ارایه نتایج مطابق شکل ۲۰)



شکل ۲۳- بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه شتابنگاری لاهیجان (ترتیب ارایه نتایج مطابق شکل ۲۰)



شکل ۲۴ـ بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه شتابنگاری منجیل (ترتیب ارایه نتایج مطابق شکل ۲۰)



شکل ۲۵ـ بررسی‌های ساختگاه در ایستگاه شتابنگاری تالش (ترتیب ارایه نتایج مطابق شکل ۲۰)

براساس مطالعه H/V، ژئوسایزمیک و میکروترمورها (و در بعضی از مناطق لوگ‌های حفاری، در صورت در دسترس بودن)، زارع (۱۹۹۹) پاسخ ساختگاه در مقابل جنبش شدید زمین در ایران را به چهار دسته تقسیم نموده است:

- دسته ۱) ساختگاه سنگی، با نسبت H/V بیش از ۳ در بیش از ۱۵ هرتز (فرکانس بالا) و یا H/V کمتر از ۳ در فرکانس‌های کمتر از ۱۵ هرتز، و سرعت موج برشی متوسط در ۳۰ متر اول (Vs30) بیش از ۷۰۰ متر بر ثانیه،
- دسته ۲) ساختگاه آبرفت سخت، با نسبت H/V بیش از ۳ در محدودهٔ فرکانسی ۵ تا ۱۲ هرتز و Vs30 بین ۵۰۰ و ۷۰۰ متر بر ثانیه،
- دسته ۳) ساختگاه آبرفت نرم با نسبت H/V بیش از ۳ در محدودهٔ فرکانسی ۲ تا ۵ هرتز و Vs30 بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر بر ثانیه،
- دسته ۴) ساختگاه خاک نرم با نسبت H/V بیش از ۳ در محدوده فرکانسی کمتر از ۲ هرتز و Vs30 کمتر از ۳۰۰ متر بر ثانیه.

۱۰ـ جمع‌بندی نهایی

نتایج ارایه شده در این مقاله مربوط به مطالعات ۹ سال گذشته نگارنده در پهنهٔ زلزله زدهٔ منجیل بوده است. این بررسی‌ها اهمیت توجه به پهنه‌های زلزله زده و مطالعه دقیق آنها را جهت بهره‌برداری از درس‌هایی که می‌توان گرفت، نشان می‌دهد. زمین‌لرزه منجیل با چنان بزرگایی رخ داد که به منطقه‌ای نسبتاً پر جمعیت و صنعتی از کشور خسارت‌های مهمی وارد نمود. این خسارت‌ها در ابعاد ملی علاوه بر کشتار هموطنانمان، موجب هدر رفتن سرمایه‌های عظیم ملی گردید، به نحوی که مدت‌ها طول کشید تا آن خسارت‌ها جبران گردد. واضح است که اگر چنین زمین‌لرزه‌ای در کنار شهرهای پرجمعیتی نظیر تهران یا تبریز رخ دهد، ابعاد خسارت‌ها بسیار گسترده‌تر خواهد بود. امید است تا قبل از زمین‌لرزه مهم دیگری که احتمالاً در کنار پهنه‌های مهم جمعیتی و صنعتی کشور رخ دهد، ایمنی این مناطق تا جایی که ممکن است افزایش یافته باشد.

مراجع

۱. زارع، مهدی. "مقدمه‌ای بر پاسخ ساختگاه بر جنبش شدید زمین در هنگام زمین‌لرزه". سمینار کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی. تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دی ۱۳۷۲.

۲. زارع، مهدی. "پژوهش و بررسی اثرهای ساختگاه بر جنبش شدید زمین در هنگام زمین‌لرزه، مطالعه موردی زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی. تهران، گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، اسفند ۱۳۷۲.

3. Aki K, Chin B.H. and Kato K., Seismological and Geotechnical Studies of Local Site Effect on Strong and Weak Motions, Int. Symp. on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, ESG1992, Proc. Vol. 1, pp. 97 - 110, Odawara, Japan, 1992.
4. Finn W.D.L., Site Conditions and Seismic Response, Int. Symp. on the Effects of Surface Geol. on Seismic Motion, ESG 1992, Proc. Vol. 1, pp. 3-31, Odawara Japan, 1992.
5. Idriss I.M., Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, H.B. Seed Memorial Symp., Vol. 2, Edi. J.M. Duncan, Bitech Pub. Ltd, 1990.
6. Schnable P.B., Lysmer J. and Seed H.B., SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontaly Layered Sites, Report No· EERC 72-12, U.C. Berkeley, 78p. 1972.
7. Schnable P., Seed H.B. and Lysmer J., Modification of Seismograph Records for Effects of Local Soil Conditions, Bul. Seis Soc. of Amr., V. 62, No. 6, pp. 1649 - 1664, 1972.
8. Elton D.J. و Martin II J.R., Dynamic Site Periods in Charlston, S.C., Earthquake Spectra, Vol. 5, N.4, EERI, pp. 703-734, 1989.
9. Sugimura Y. et al., Dependence of Free Field Ground Response on Intensity of Excitation considering Nonlinear Behavior, 4th Int. Conf. on Seismic Zonation, Stanford, EERI pub., Proc. Vol. 1. pp. 213-220, 1991.
10. Dobry et al., Simplified Procedures for Estimating the Fundamental Period of a Soil Profile, Bul. Seis. Soc. of America (BSSA), Vol. 66, N.4, pp. 1293-1321, 1976.
11. Zare M., The Seismotectonic and Neotectonic Analysis of the Reconstruction Operation of the Sefid-Rud Dam, with Special Reference to the Earthquake of 20

th. June 1990, Manjil, NW Iran. Proc. 5th Int. Conf. Soil Dyn. & Eq. Eng. (SDEE 91) Vol 2. 12.P. , 1991.

12. Zare M., Macrozonation of Landslides for the Manjil, Iran 1990 Earthquake, Proc. 3rd Int. Conf. Case Histories on Geotechnical Eng. Vol 1, 6p, Missouri-Rolla, 1993.
13. Zare M., and Moinfar A.A., Earthquake Fault Induced Slides during the Manjil, Iran, 1990 Earthquake, 8th Int. Sem. on Eq. Prognostics, 14p. Tehran, 1993.
14. Zare M., Contribution a l'etude des mouvements forts en Iran; du catalogue aux lois d'attenuations, PhD thesis, Universite Joseph-Fourier, Grenoble, France, 237 pages, 1999.
15. Zare M., Bard P.Y., Ghafory-Ashtiany M., Site Characterizations for the Iranian Strong Motion Network, Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 18, no. 2, pp. 101-123, 1999.
16. Bard P.Y., Zare M. and Ghafory-Ashtiany M., The Iranian Accelerometric Data Bank, A Revision and Data Correction, Journal of Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 1-22, 1998.

جنبه‌های ژئوتکنیکی زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل*

دکتر کنجی ایشی‌هارا، دکتر سید محسن حائری، مهندس علی اکبر معین‌فر
دکتر ایکیو تووهاتا و مهندس شویجی چوجینو
ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

در این مقاله، مشخصات کلی زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل و تاثیرات آن بر روی گسیختگی زمین، تشریح شده و ضمن آن تاکید اصلی بر روی روانگرایی نهشته‌های ماسه‌ای و زمین‌لغزش‌های شیب‌های طبیعی گذاشته شده است. در طی مقاله، نشان داده می‌شود که روانگرایی اتفاق افتاده در دشت آبرفتی سواحل پایین دست سفیدرود همسان آبگونگی‌هایی است که تحت شرایطی مشابه در سایر مناطق زلزله‌زده روی داده است. زمین لغزش‌هایی که در دامنه کوهستان و در منطقه رومرکزی زلزله اتفاق افتاده‌اند، ویژگی‌های جدیدی را درباب مکانیسم لغزش‌ها که جزو مشخصات ذاتی مناطق زلزله‌خیز هستند، مطرح کرده‌اند.

---

* Kenji ISHIHARA , S. Mohsein HAERI , Ali A. MOINFAR, IKuo TOWHATA and Shuichi TSUJINO "Geotechnical Aspects of the June 20, 1990 Manjil Earthquake in IRAN". SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32 , No.3, 61-78, Sept. 1992. Japanese Society of SMFE.

مقدمه

روانگرایی خاک و زمین لغزش در شیب‌ها و دامنه تپه‌ها و کوه‌ها، دو پدیده طبیعی عمده و مهم ژئوتکنیکی به شمار می‌روند که در حین زلزله‌ها موجب خسارات و صدمات می‌شوند. در واقع، در اکثر زلزله‌های بزرگ سال‌های اخیر که بزرگایی بیش از ۶٫۵ داشته‌اند، بخشی از تلفات جانبی و خسارت‌های مالی کم و بیش وابسته به پدیده‌هایی بودند که تحت عنوان گسیختگی زمین[1] مشخص می‌شوند و معرف و نماینده آنها روانگرایی و زمین لغزش می‌باشند.

امروزه به درستی مشخص شده‌است که در زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا، بخش وسیعی از صدمات وارد شده به خانه‌ها و تاسیسات عمومی که در روی رسوبات ماسه‌ای احیا شده در منطقه خلیج سانفرانسیسکو و به فاصله ۹۰ کیلومتری از رو مرکز زلزله واقع شده‌بودند، مربوط به پدیده روانگرایی است.

در زلزله اخیر فیلیپین نیز معلوم شده‌است که وقوع گستردهٔ روانگرایی در شهر داگوپان[2]، دلیل منحصربه فرد خساراتی است که بر ساختمان‌ها، پل‌ها و شریان‌های حیاتی و غیره وارد شده‌است. در این زلزله، زمین لغزش‌هایی در منطقه کوهستانی روی داد که رفت وآمد خودروها را مختل کرد و برخی از شهرهای بزرگ را به کلی غیرقابل دسترس ساخت.

این دو زلزله به عنوان یادآوری ناگوار وقایعی که در گذشته به دفعات زیاد روی داده و نیز برای تاکید مجدد بر اهمیت این دو پدیده در مهندسی ژئوتکنیک، ذکر گردید.

باتوجه به موارد فوق‌الذکر، شناسایی دقیق زمین در منطقه آسیب دیده از زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ ایران و ارایه کتبی نتایج حاصل از کاوش‌های سر محل، مدنظر نگارندگان این مقاله

---

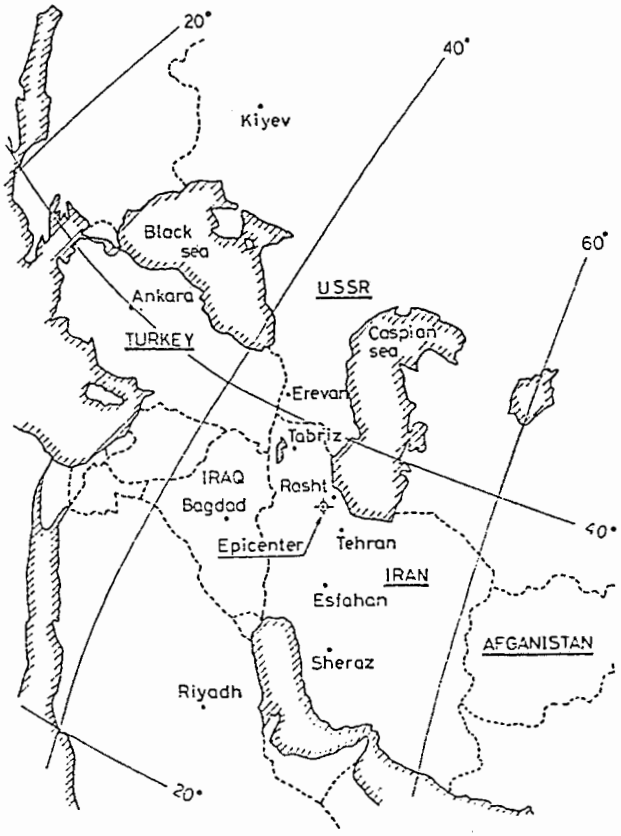
1 - Ground failure

2 - Dagupan

قرار گرفت. با چنین انگیزه‌ای، نگارندگان مقاله سفرهای تحقیقاتی زیادی را به مناطق زلزله‌زدهٔ شمال ایران برنامه‌ریزی و اجرا کردند که طی آنها خسارات ناشی از گسیختگی زمین بررسی و اطلاعات مربوط به شرایط و مشخصات خاک در این مناطق، جمع‌آوری گردید. نتایج این بررسی‌ها و برخی ملاحظات مربوط به اثرات این زلزله در بخش‌های بعدی مقاله آورده می‌شود.

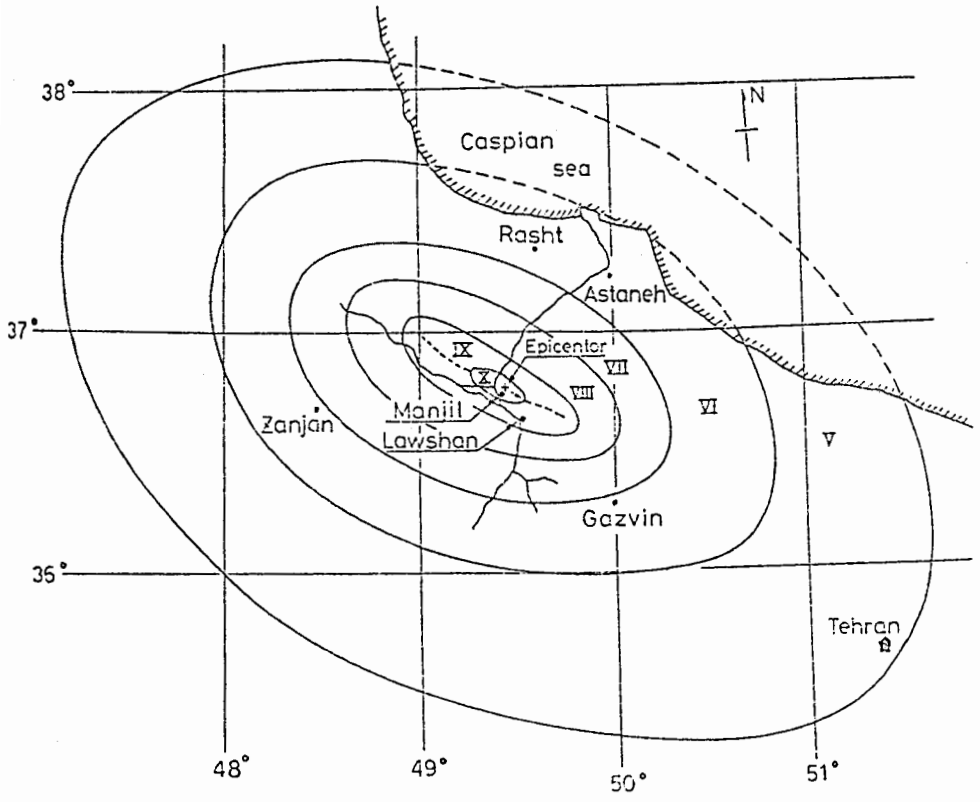
زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل

زلزله مخربی در ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ در استان‌های شمالی گیلان و زنجان با رومرکز واقع در ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب تهران روی داد (شکل ۱). بزرگی زلزله به میزان ۳ر۷، این

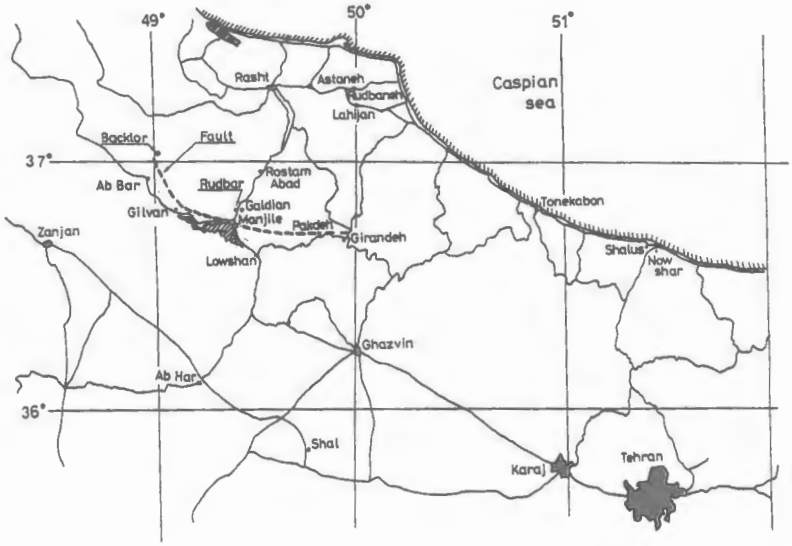


شکل ۱ ـ رو مرکز زلزله منجیل

سانحه را در ردیف زلزله‌های شدیدی قرار داد که در دهه‌های گذشته در مناطق متراکم جمعیتی ایران اتفاق افتاده‌اند (معین‌فر و نادرزاده، ۱۹۹۰). رو مرکز زلزله همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده‌است در فاصله چندین کیلومتری شهر منجیل و در منطقه کوهستانی شمال غرب مشرف به آن شهر واقع شده‌است. این منطقه از مناطق فعال و لرزه‌خیز کوه‌های البرز و بخشی از کمربند آلپ ـ هیمالیا محسوب می‌شود. ژرفای کانونی زلزله بین ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر تخمین زده شده‌است. لرزه در گسترهٔ وسیعی به شعاع ۶۰۰ کیلومتر از تهران تا تبریز واقع در شمال غرب ایران احساس گردید. شدت لرزه در منجیل و رودبار برابر ۱۰ در مقیاس MSK و هم‌ارز مقیاس مرکالی اصلاح شده، بود. شدت تقریبی متناظر به مناطق زلزله‌زده در نقشه خطوط هملرز نشان داده شده است (شکل ۲). نقشهٔ توزیع شدت



شکل ۲ ـ شدت زمین‌لرزه در مقیاس MSK

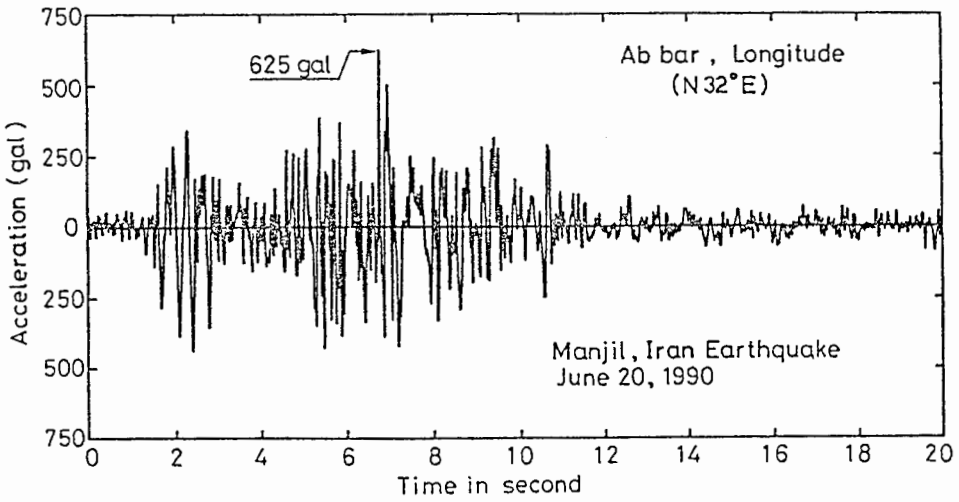


شکل ۳ ـ شهرهای بزرگ منطقه زلزله‌زده

شکل ۴ ـ گسیختگی سطحی در بالای کوهستان مشرف به باکلر

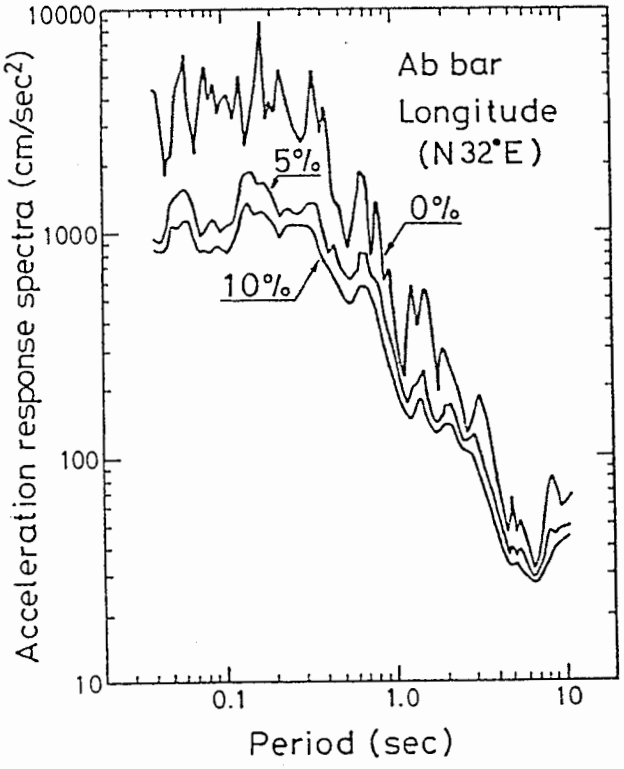
براساس درجه صدمات حاصل و ملاحظه تظاهرات گسلی در سطح زمین، تهیه و ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده‌است، خط گسیختگی زمین در طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر از منتهی‌الیه شمال غربی باکلور تا جنوب شرقی جیرنده ادامه دارد. این گسلش پیوسته نبوده و از چندین پاره گسل پیچیده تشکیل یافته است. گسلش از نوع فشاری راست لغز[1] بوده و بیشینه تغییر مکان افقی در کوه‌های شمالی هرزویل و نیز در منتهی‌الیه جنوبی پاکده حدود ۲۰ سانتیمتر است. بیشینه جابجائی قائم گسلش حدوداً ۵۰ سانتیمتر است. گسیختگی زمین در منطقه کوهستانی شمال باکلور در شکل ۴ نشان داده شده‌است.

در حین زلزله ۱۹۹۰، یک سری شتابنگاشت تکان زمین در ایستگاه‌های مختلف منطقه زلزله‌زده ثبت شد. قوی‌ترین تکان زمین در ساختگاه سنگی آب‌بر ثبت شد که در آن، اوج شتاب‌ها در دو جهت افقی برابر ۶۵ر۰g و ۶۲ر۰g و در راستای قائم معادل ۵۲ر۰g بود.



شکل ۵ ـ شتاب نگاشت آب‌بر

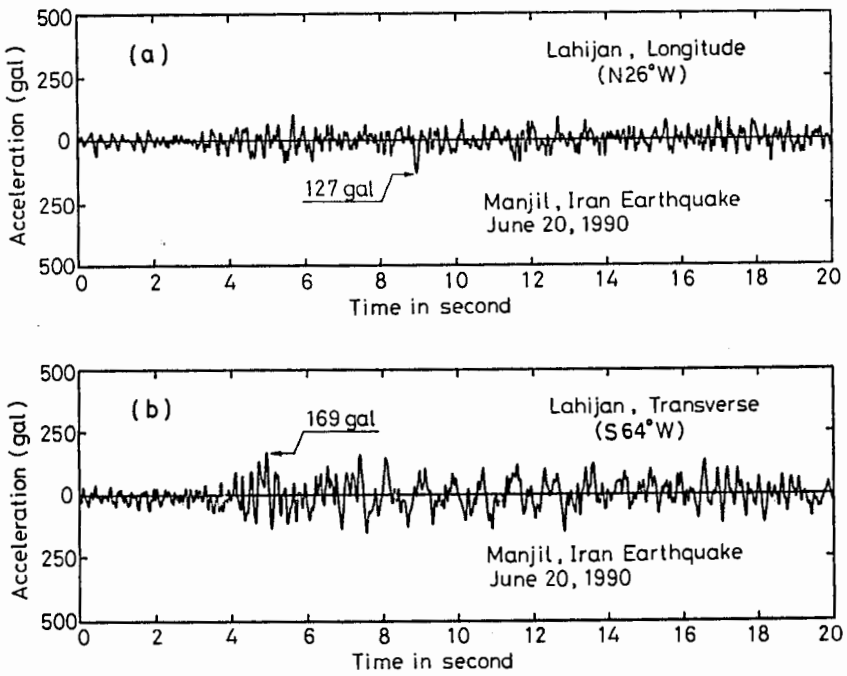
1 - Right-lateral thrust



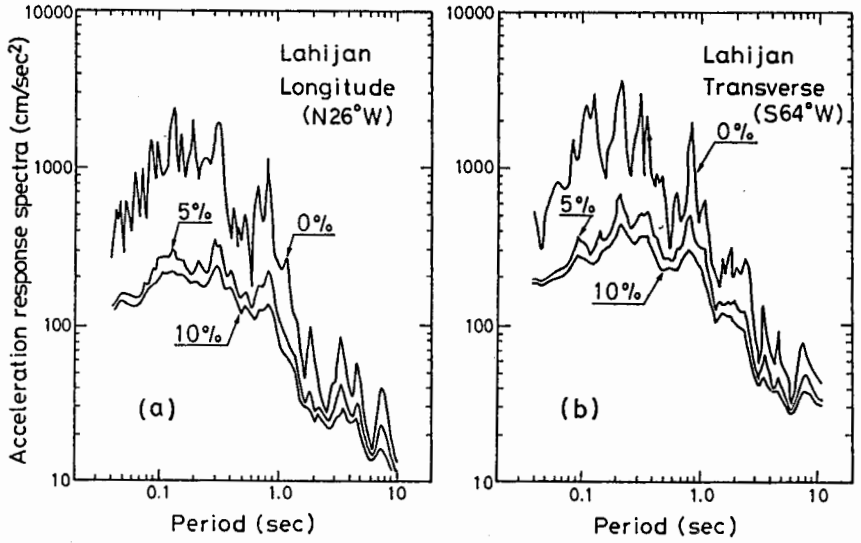
شکل ۶ ـ بازتاب طیف شتاب برای جنبش آب‌بر

متأسفانه نگاشتِ شتاب‌ها روی فیلم دارای کیفیتی نامناسب بوده و امکان قرائت تاریخچه زمانی را در جهات عرضی و قائم نمی‌داد. با توجه به ثبت شتاب در جهت افقی، تلاش‌هایی از سوی پروفسور تی. اوهماچی[1] از انستیتوی تکنولژی توکیو[2] و انستیتوی تحقیقات عمران[3] وابسته به دولت ژاپن در راستای قرائت نگاشت‌های نامشخص اصلی انجام گرفت. قرائت‌های مستقل عملاً به مشخصات طیفی یکسانی منجر شده و طیف‌های حاصل، اساساً در جزئیات اختلافاتی با یکدیگر دارند. شکل ۵ یکی از جنبش‌های افقی آب‌بر را که توسط پروفسور اوهماچی قرائت شده و بخشی از لرزهٔ اصلی را، نشان می‌دهد. طیف شتاب متناظر به جنبش در شکل ۶ نشان داده شده‌است که پریودهای غالب در آن ۱۷ر۰، ۳۵ر۰،

1 - Professor T. Ohmachi
2 - Tokyo Institute of Technology
3 - Public Works Research Institute



شکل ۷ ـ شتاب نگاشت‌های لاهیجان

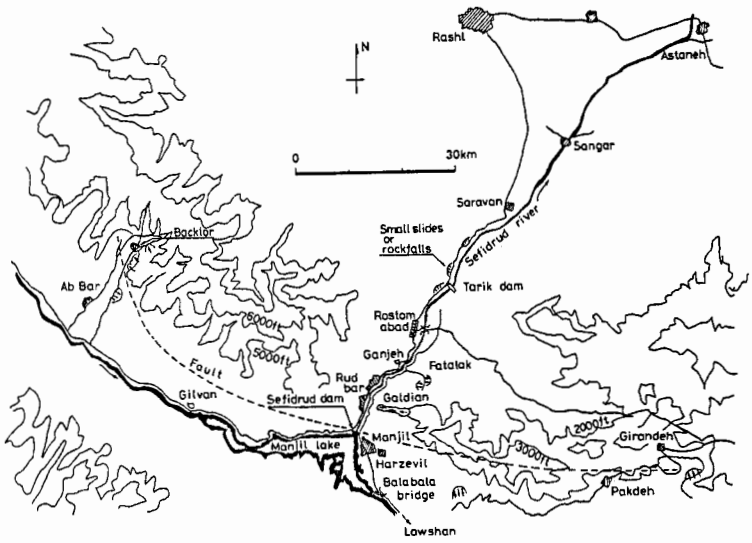


شکل ۸ ـ طیف‌های بازتاب شتاب برای جنبش‌های لاهیجان

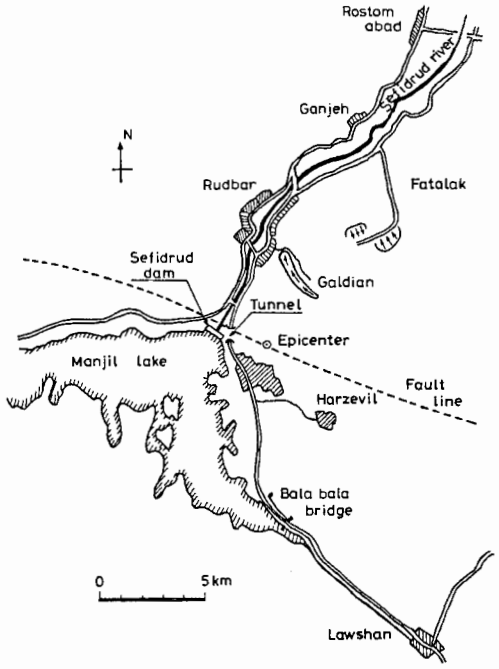
۶۵ر۰، و ۵ر۱ ثانیه است. تاریخچه زمانی دو شتابنگاشت افقی به دست آمده در لاهیجان که منطقه‌ای آبرفتی مشرف به دریای خزر است در شکل ۷ و طیف پاسخ مربوط در شکل ۸ نشان داده شده است. هر دو شتابنگاشت فوق‌الذکر، نتیجهٔ قرائت‌هایی است که پروفسور اوهماچی از فیلم‌های ناروشن و با کیفیت نامطلوب انجام داده‌است. شایان ذکر است که در شکل ۸، پریودهای غالب ۳۲ر۰ و ۸۵ر۰ ثانیه می‌باشند و حرکت با پریود طولانی ۳ر۲ ثانیه فقط در مؤلفهٔ عرضی موجود می‌باشد.

مشخصه اصلی خرابی‌ها

بیشترین خرابی‌ها در شهرهای رودبار، منجیل و هرزویل که در منطقه رومرکزی زلزله قرار داشتند، اتفاق افتاد (شکل‌های ۹ و ۱۰). بخشی از شهر هرزویل که در دامنه کوهستان و در شرق منجیل واقع شده‌است، با خاک یکسان گردید. خانه‌هایی که روی شیب‌ها و با مصالح سنگی یا خشت و گلی با سقف‌های چوبی ساخته شده بودند، فروپاشیدند. خرابی‌های مشابهی در روستاهای کوچک باکلور و جیرنده که به ترتیب در لبه‌های غربی و شرقی خط



شکل ۹ ـ محل گسیختگی‌های سطحی و زمین‌لغزش‌ها



شکل ۱۰ ـ نقشه پیرامون دریاچهٔ سد منجیل

گسل واقع شده بودند، روی داد. در شهرهای رودبار و منجیل، تعداد زیادی ساختمان‌های یک و دو طبقه که با بلوک سیمانی یا دیوارهای سنگی و با سقف طاق ضربی ساخته شده‌بودند، فرو ریختند و مسبب تلفات شدید جانی و خسارات مالی شدند. در شهر رشت در ۶۰ کیلومتری رومرکز زلزله، خرابی‌ها از درجات کم تا متوسط متغیر بود ولی بطور عمده روی ساختمان‌های نیمه مرتفع با بیش از ۴ طبقه سازه‌ای متمرکز شده‌بود. تعدادی از ساختمان‌های با اسکلت فولادی یا بتن آرمه متحمل صدماتی ناشی از ضعف اتصالات یا کیفیت نامرغوب مصالح مصرفی و شرایط نامطلوب اجرایی شدند.

یکی از مشخصه‌های چشمگیر این زلزله، رفتار سد سفیدرود است. این سد به علت نزدیکی به خط گسلش، متحمل لرزش فوق‌العاده شدیدی شده‌است. سد سفید رود از نوع

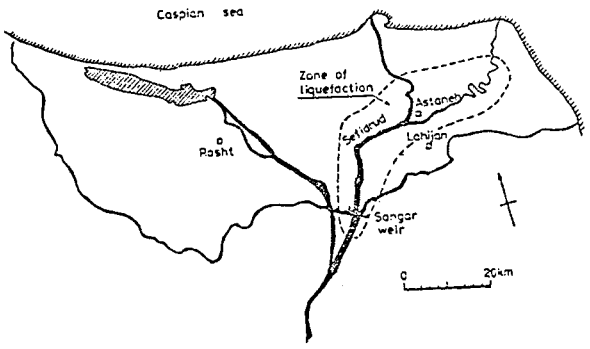
پایه‌دار بتنی است و ساختمان آن در حوالی سال ۱۹۶۳ اجرا شده‌است. ارتفاع سد برابر ۱۰۶ متر، طول تاج ۴۲۵ متر و ظرفیت مخزن حدود $۱٫۸\times۱۰^{۹}$ متر مکعب می‌باشد. ضریب زلزله به کار رفته برای محاسبه سد ۰٫۲۵g می‌باشد. در هنگام وقوع زلزله، سد سفیدرود در فاصله ۳۰۰ متری جنوب خط گسلش اصلی قرار داشته و تقریباً پر از آب و فقط حدود ۵ متر از تراز فوقانی آن خالی بوده‌است.

خوشبختانه، سد تکان قوی زمین را به خوبی تاب آورده و آسیب عمده‌ای متوجه یکپارچگی آن نشده‌است، ولی صدمات جزئی نظیر ترک خوردگی‌های افقی و قطری در قسمت فوقانی برخی از پایه‌ها ایجاد شده‌است. بخشی از دیواره‌های دست‌انداز تاج سد نیز به طرف پایین خمیده‌اند.

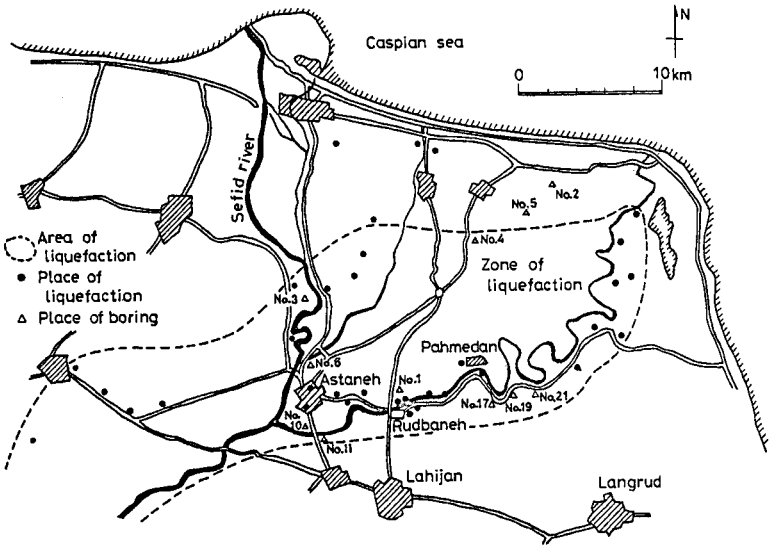
خرابی‌های ناشی از روانگرایی خاک

محدوده وسیعی از توپوگرافی شامل مخروط های افکنه رودخانه‌ای، در راستای سفیدرود که کوه‌های البرز را در تنگه‌ای نزدیک رودبار قطع می‌کند، به طرف دریای خزر گسترده می‌شود. سفید رود، آب را از دره‌های واقع در شیب جنوبی کوه‌های البرز جمع‌آوری کرده و آب لازم را برای آبیاری مزارع واقع در دشت‌های آبرفتی شمال البرز تأمین می‌کند. قطعات زیادی مزارع برنج در روستاهای واقع در مناطق وسیع پایین دست سفیدرود گسترده شده‌اند. مناطق پست و مسطح نزدیک آستانه، لاهیجان و لنگرود با نهشته ضخیمی با منشا رودخانه‌ای شامل لایه‌هایی از رس نرم و ماسه‌های شل پوشیده شده‌اند. روستاها با شبکه پیچیده‌ای از جریان‌های آرام و کند و کانال‌های کوچک آبیاری محصور شده‌اند و تراز آب زیرزمینی عموماً بالا و نزدیک سطح زمین است. به این ترتیب، مشخصات خاک در این مناطق به گونه‌ای است که شرایط وقوع روانگرایی را در صورت رخداد لرزشی قوی منبعث از زلزله، تأمین می‌کند. منطقهٔ شامل رسوبات دلتایی در پایین دست سفیدرود همراه با محدودهٔ تقریبی که در آن نشانه‌های روانگرایی نظیر جوشش ماسه، کج شدن خانه‌های روستایی در حین زلزله مشاهده گردیده‌است، به اجمال در شکل ۱۱ نشان داده شده‌اند. ملاحظه می‌شود که منطقه مستعد روانگرایی محدودهٔ وسیعی را در راستای جریان اصلی

سفیدرود دربرمی‌گیرد. نقشه حاوی جزئیات بیشتر محل‌هایی که در اثر روانگرایی آسیب دیده‌اند در شکل ۱۲ آورده شده‌است. تعداد مزارع در منطقه و وسعت مجموعه آنها به قدری زیاد است که دستیابی به تمامی محل‌ها و ارزیابی کاملی از اثرات تخریبی ناشی از روانگرایی باسطح یکسانی از اعتماد، عملاً غیرممکن است. در شکل ۱۲، نقاطی که با دایرهٔ توپر مشخص شده‌اند، محل‌هایی هستند که در آنها نشانه‌های مشخصی از وقوع روانگرایی



شکل ۱۱ ـ منطقه آبگونه شده در جلگه سفید رود

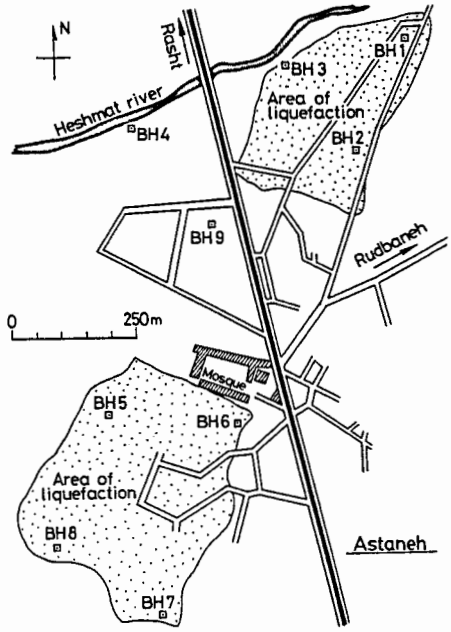


شکل ۱۲ ـ موقعیت مناطق آبگونه شده و گمانه‌های اکتشافی

در حین کاوش‌های محلی توسط نگارندگان مقاله، ملاحظه شده‌است. به نظر می‌رسد احتمالاً نقاط نامکشوف دیگری که مستعد روانگرایی هستند در منطقه موجود باشند، لیکن محتملاً چنین نقاط معدودی در منطقه‌ای قرار دارند که با خطوط خط‌چین در شکل ۱۲ مشخص شده‌است. در همین شکل، ملاحظه می‌شود نقاط اصلی که روانگرایی در آنها موجب تخریب می‌گردد روی نوار کمربندی متمرکز شده‌اند که در راستای کانال متروکه سفیدرود از شرق آستانه تا رودبنه و پهمدان کشیده می‌شود.

آستانه

در شهر مذهبی آستانه، خسارات اساسی ناشی از روانگرایی خاک به ساختمان‌های مسکونی خصوصاً در دو بخش مشخص شده در شکل ۱۳، وارد آمده است. در شمال شرقی شهر در منطقه‌ای به طول ۲۵۰ متر و عرض ۵۰۰ متر، کف خانه‌های آجری با



شکل ۱۳ ـ موقعیت گمانه‌ها و مناطق آبگونه‌شده در آستانه

قاب‌بندی چوبی کج و منحرف شده‌است و در اثر نشست‌های ناهموار و حرکات جانبی زمین، کف‌ها بالا آمده و درهم ریخته شده‌است. حجم بسیار عظیمی از ماسه و آب از داخل ترک‌ها و سوراخ‌هایی که در اثر تغییر شکل‌های سطح زمین ایجاد شده‌اند، به جوشش درآمده‌اند. شکل ۱۴، کج شدگی یک خانه شخصی ساز را در اثر حرکات تفاضلی زمین ناشی از روانگرایی نشان می‌دهد. حدود صدخانه دیگر نیز کم‌وبیش به این صورت خراب شده‌اند. هرخانه در محل حیاط خود دارای چاهی است که از آن برای مصارف خانگی استفاده می‌شود. در بخش آسیب‌دیده در اثر روانگرایی، مردم محلی شاهد بودند که ماسه آغشته به آب از ته چاه بالا آمده و چاه را تماماً پرکرده‌است. همه چاه‌ها در منطقه آسیب‌دیده با ماسه پرشده و غیرقابل استفاده شده‌اند.

بخش جنوب غربی آستانه نیز صدمات عمده‌ای ناشی از حرکات ناهموار زمین منبعث از روانگرایی را تجربه کرده‌است (شکل ۱۳). مشخصه آسیب‌ها در این منطقه نظیر صدماتی بود که به بخش شمال شرقی شهر وارد آمده بود. نمونه‌ای از این نوع آسیب‌ها را که در آن چاهی در اثر جوشش ماسه پرشده‌است در شکل ۱۵ می‌توان دید.

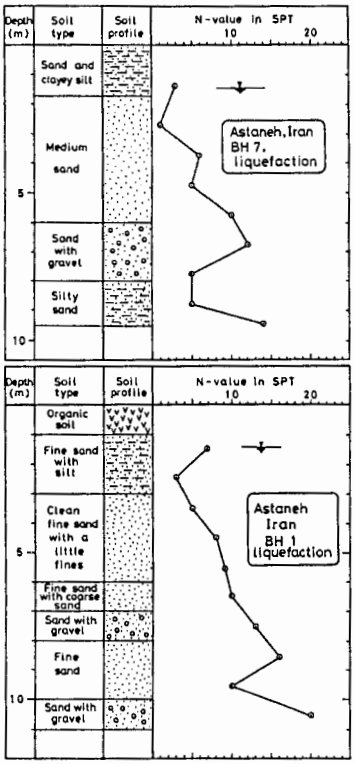
در بقیه قسمت‌های شهر که روانگرایی در آنها اتفاق نیفتاده‌است، عملاً خساراتی به منازل مسکونی که از همان مصالح ساختمانی و با همان شیوه ساخت مناطق آبگونه شده اجرا شده‌اند، وارد نیامده‌است. این، بدان معناست که آسیب‌های سازه‌ای به منازل شخصی ساز واقع در هر دو منطقه مستعد یا غیر مستعد روانگرایی، وارد نیامده‌است. در حقیقت، بسیاری از منازل شخصی ساز، زلزله را با ایمنی تحمل کردند، از این رو به نظر می‌رسد که شدت لرزه چندان قوی نبوده و اوج شتاب در این منطقه احتمالاً در محدودهٔ ۰٫۱۵g تا ۰٫۲۰g قرار داشته‌است. در واقع، همان‌طورکه شکل ۷ نشان می‌دهد، اوج شتاب ثبت شده در لاهیجان در ده کیلومتری جنوب شرقی آستانه ۰٫۱۷g بوده‌است.

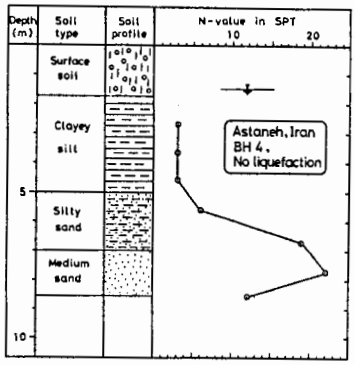
در غرب منطقه شهری آستانه، حفاری‌های بزرگی برای اجرای شبکه فاضلاب در دست انجام بوده و از این رو نیمرخ‌های خاک در شرایط خشک تا عمق ۳ متر معلوم و مشخص

شکل ۱۴ ـ نشست یک خانه روستایی در منطقه آبگونه‌شده شمال شرق آستانه

شکل ۱۵ ـ چاه پر شده با ماسه در آستانه

بوده‌اند. مشاهدات عینی نشان می‌دهد که قشر لای و سیلت با منشا ماسه بادی (لُس) سطح زمین را بین اعماق ۵ر۰ تا یک متر می‌پوشاند. در زیر این قشر، لایه‌های رسوبی ماسه‌ای متراکم تا متوسط با منشا رودخانه‌ای قرار دارند که فشردگی آنها به گونه‌ای است که موجب روانگرایی نمی‌شوند. در مناطقی از آستانه که خساراتی پدید نیامده‌است، نهشته‌های خاکی مشابه نیمرخ پیش گفته‌است ولی در دو بخش ویژه شهر که صدمات شدید بوده‌اند، ماسه تحتانی لایه‌های خاک، شل به نظر می‌رسیدند. این امر با کاوش‌های سرمحل که در مناطق نشان داده شده در شکل ۱۳ انجام گردید، محقق شده‌است. نیمرخ‌های خاک به دست آمده با گمانه زنی در شکل ۱۶ نشان داده شده‌اند و در آنها تعداد ضربه (N) معادل ۳ تا ۱۰ ضربه

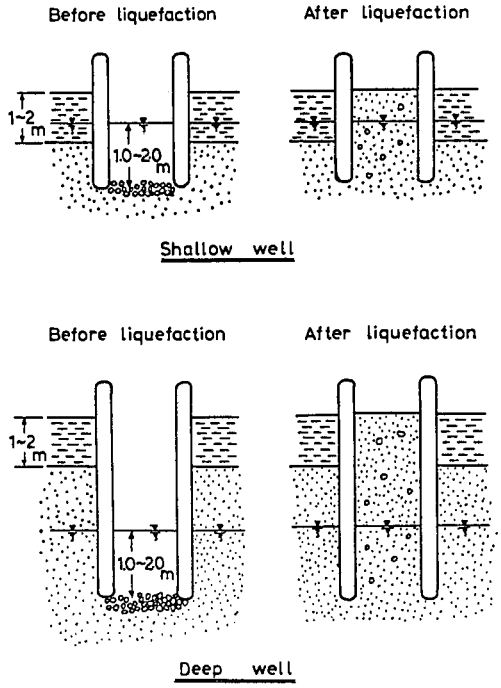




شکل ۱۶ ـ نیمرخ‌های خاک در منطقه شهری آستانه

تا ژرفای ۷ متری در این دو بخش شهر، نشانگر آن است که آسیب‌های ناشی از روانگرایی خاک می‌توانند بسیار شدید باشند. در بقیه مناطقی که در آنها پدیده روانگرایی روی نداده‌است نیمرخ خاک همان‌طور که گمانه BH4 در شکل ۱۶ نشان می‌دهد از سیلت‌های رسی در نزدیکی سطح زمین تشکیل شده‌است. شایان ذکر است که تراز آب زیرزمینی با آنچه که اهالی و ساکنان منطقه در بارهٔ سطح آب تا قبل از پرشدن چاه‌ها با ماسه آبگونه شده اظهار می‌داشتند، کاملاً هماهنگ است. باتوجه به پیچیدگی جریان در شعبات مختلف سفیدرود، این امر قابل تصور است که محل‌های مستعد روانگرایی شدید، شاخه‌های قدیمی رود مزبور هستند که با ماسه پرشده‌اند.

شیوه و مشخصات چاه‌های حفر شده در شهر آستانه در شکل ۱۷ نشان داده شده‌است. حفاری برای چاه‌های خانگی معمولاً یک تا دو متر پایین‌تر از سطح آب زیرزمینی انجام می‌گیرد. از این رو در صورتی که چاه کم عمقی از این دست با ماسه روان شده پرشود،

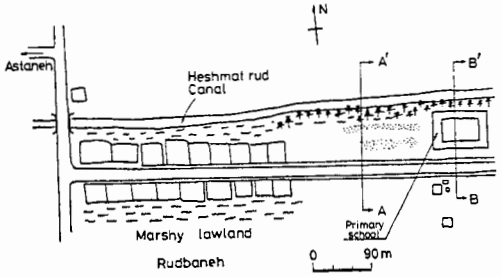


شکل ۱۷ ـ پر شدن چاه‌ها در اثر روانگرایی

تلویحاً بدان مفهوم است که روانگرایی حداقل در همان عمق روی داده است. بنابراین، عملکرد چاه با ژرفای متفاوت بایستی مدنظر قرار گیرد تا عمق خاک روان شده به درستی ارزیابی شود (شکل ۱۷). در مناطق شهری آستانه، اغلب چاه‌ها عمقی بین ۳ تا ۴ متر دارند و با ماسه پر شده‌اند. از این رو با فرض اینکه ضخامت قشر سطحی روان نشده یک متر باشد، احتمال داده می‌شود که روانگرایی در نهشته‌های ماسه‌ای با ضخامت بیش از ۲ یا ۳ متر اتفاق افتاده باشد. این موضوع در واقع با گمانه آزمایشی که نتیجهٔ آن در شکل ۱۶ نشان داده شده‌است به اثبات رسیده‌است و با توجه به شکل مزبور، ضخامت نهشته‌های ماسه‌ای روان شده حدود ۴ تا ۸ متر ارزیابی می‌شود.

رودبنه

رودبنه شهرکی است که در ۷ کیلومتری شرق آستانه واقع شده‌است (شکل ۱۲). جزئیات مختصری از شهر به صورت شماتیک در شکل ۱۸ نشان داده شده‌است. در همین شکل، کانال کوچک و با جریان اندک موسوم به حشمت رود با پهنای تقریبی ۷ متر نیز مشخص شده‌است که از سمت شرق به موازات جاده یا خیابان اصلی شهر جریان دارد. قسمت جنوبی جاده، زمین پست و هموار است. در زمان زلزله، حرکات جانبی[1] در سطح زمین و در محاذات کانال روی داد که با ترک‌های متوازی در ساحل جنوبی کانال همراه شد که طول ترک‌ها از ۲۰ تا ۵۰ متر متغیر بوده و بعضاً تا زیر جاده امتداد داشته‌اند. حرکات جانبی سطح



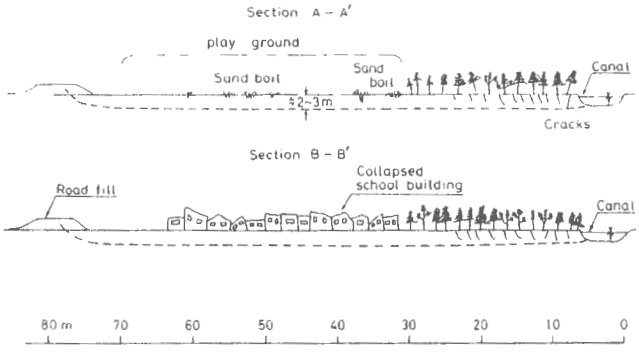
شکل ۱۸ ـ نقشه شماتیک شهر رودبنه

1 - Lateral spreading

زمین در زمین‌های هموار و پست جنوبی نیز روی داد. حرکات جانبی سطح زمین در بخش غربی موجب خرابی خانه‌های واقع در حاشیه جاده گردید. صدمات وارد براین خانه‌ها در شکل ۱۹ نشان داده شده‌است. به نظر می‌رسد که لغزش زمین در بخش شرقی از کانال تجاوز کرده، به محوطه مدرسه ابتدایی رسیده و ساختمان مدرسه را بکلی خراب کرده‌است (شکل ۲۰). همچنین فرونشست [1] بستر جاده در جنوب ساختمان با حرکات لغزشی کلی زمین به طرف کانال همراه بوده‌است. در زمین بازی واقع در غرب ساختمان‌ها، نشانه‌هایی از جوشش ماسه و ترک خوردگی در سطح زمین مشاهده شده‌است. مقاطع A-A′ , B-B′ از این مناطق در شکل ۲۰ نشان داده شده‌اند. میزان حرکت جانبی در ساحل کانال حدوداً ۲ متر ارزیابی می‌شود. باتوجه به گستردگی ظاهری جوشش ماسه و ترک خوردگی‌های سطح زمین، نتیجه‌گیری می‌شود که روانگرایی، علت اصلی حرکات جانبی زمین خصوصاً در مناطقی است که مقاطع A-A′ و B-B′ از آنها ارایه شده‌است و در این مناطق حرکت جانبی به فاصله ۸۰ متر از پشت کانال توسعه پیدا کرده‌است (شکل ۲۰).

شکل ۱۹ ـ کج شدن خانه‌ها به طرف کانال در رودبنه

1 - Slumping



شکل ۲۰ ـ شکل تقریبی گسیختگی زمین در رودبنه

سایر مناطق

صدمات حادث از روانگرایی خاک برروی خانه‌ها و تاسیسات در حین زلزله ۱۹۹۰ منجیل در شهرهای آستانه و رودبنه متمرکز شده‌است. بااین حال نشانه‌های وقوع آبگونگی در سطح زمین در سایر مناطق نیز مشخص و مشهود است (شکل ۱۲). برای نمونه، خاکریزهای جاده بین آستانه و رودبنه در مقاطع مختلفی، احتمالاً تحت اثر آبگونگی لایه‌های زیرین خاک گسیخته شده و فرو نشسته‌اند. کانال آبیاری با پوشش بتنی که جادهٔ بین آستانه و رودبنه را قطع می‌کند، در طول چندین کیلومتر خسارات اساسی دیده‌است. شکل ۲۱، صدمات وارد براین کانال را تحت اثر نیروهای بالارانش[1] ناشی از ماسه روان شده، نشان می‌دهد.

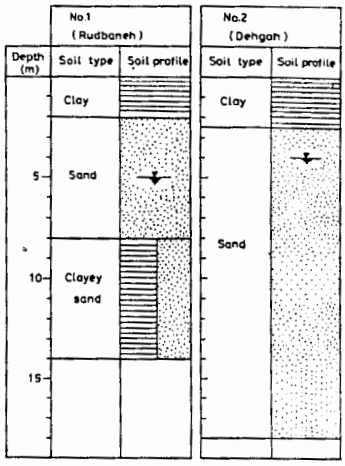
روستاهای پهمدان و تمچال نیز از آسیب‌های ناشی از روانگرایی در امان نماندند، لیکن بسیاری از خرابی‌ها در این دو روستا شامل انحراف شالودهٔ خانه‌های روستایی و پرشدن چاه‌ها با ماسه بود.

1 - Uplift forces

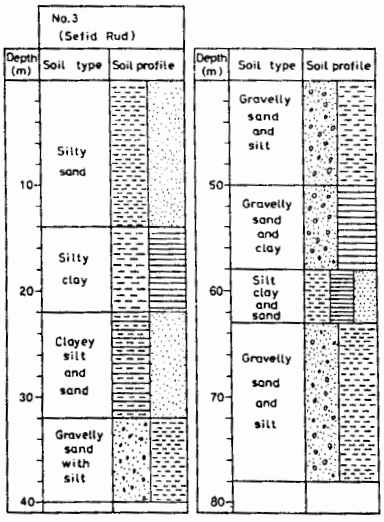
شکل ۲۱ ـ کانال آب بتنی پرشده با ماسه در منطقه آبگونه شده بین آستانه و رودبنه

ملاحظات کلی مربوط به مشخصات خاک و خسارات ناشی از روانگرایی

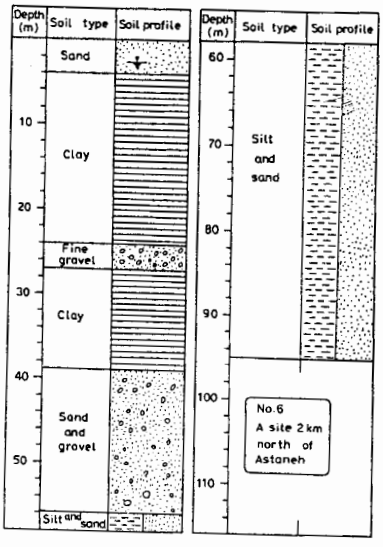
مشخصات خاک زیرین در حوضه آبرفتی سفیدرود توسط موسسات مختلفی در مناسبت‌های گوناگون بررسی شده‌است. محل‌هایی که با شماره ۱ تا شماره ۶ در شکل ۱۲ مشخص شده‌اند، نقاطی هستند که با حفر گمانه‌های نسبتاً عمیق طی کاوش‌های صحرایی بررسی و مطالعه شده‌اند. برخی نیمرخ‌های خاک حاصل از این بررسی‌ها در شکل‌های ۲۲ تا ۲۶ نشان داده شده‌اند. از ملاحظه این نیمرخ‌ها مشخص می‌شود که لایه‌های سطحی بطورکلی از رس به ضخامت حدود ۱ تا ۲ متر تشکیل شده و در زیر آنها نهشته‌هایی شامل مواد درشت‌تر نظیر ماسه رس دار، رس لای دار و یا رس ماسه‌دار قرار گرفته‌اند. ژرف‌ترین نیمرخ خاک در محل‌های شماره ۳ و شماره ۶، حاکی از وجود نهشته‌هایی شامل ماسه و شن از عمق ۳۰ یا ۴۰ متر به بعد است، که این وضعیت عمومی خاک منطقه است. تراز آب زیرزمینی بین ۱ تا ۵ متر پایین‌تر از سطح زمین قرار دارد. این اختلاف بطور عمده منبعث از



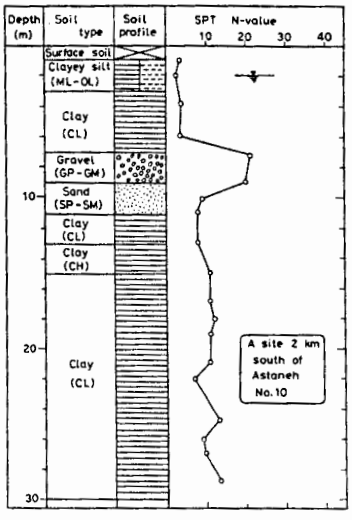
شکل ۲۲ ـ گمانه اکتشافی در جلگه سفید رود



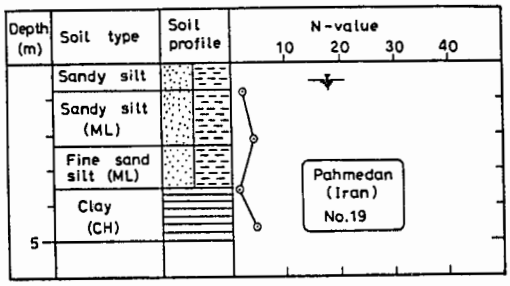
شکل ۲۳ ـ گمانه عمیق در جلگه آبرفتی سفید رود



شکل ۲۴ ـ گمانه عمیق در جلگه آبرفتی سفید رود



شکل ۲۵ ـ گمانه اکتشافی در جلگه سفید رود



شکل ۲۶ ـ گمانه اکتشافی در جلگه سفید رود

عوارض محلی زمینی است که گمانه‌ها در آن حفر شده و نیز ناشی از تغییرات فصلی رژیم آب زیرزمینی است. لوگ حفاری به‌دست آمده در حومه شهر آستانه در ارتباط با بررسی‌های مکانیک خاک برای طراحی یک پل در شکل ۲۵ آورده شده‌است که شامل اطلاعات مربوط به تعداد ضربه N در آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) نیز می‌باشد. در کاربرد SPT در ایران، برای اعمال ضربه، از سقوط آزاد و خودکار و یا دوبار چرخش طناب در اطراف قرقره استفاده می‌شود. در لوگ SPT که در شکل ۲۵ نشان داده شده‌است، روش آزمایش مبتنی بر سقوط آزاد و خودکار بوده و مقدار N به دست آمده از این روش منطبق با روش ژاپنی انجام SPT (یوشیمی و توکیماتسو، ۱۹۸۳) و نیز هماهنگ با شیوه آزمایش با چکش ایمنی در ایالات متحده امریکا است. داده‌های مربوط به آزمایش SPT در شکل ۲۵، نشانگر آن است که در ژرفای ۱ تا ۲ متری سطح زمین، یک لایه سیلتی رس دار و ماسه دار وجود دارد که مقدار ضربه متناظر به آن ۳ می‌باشد. همین شکل نشان می‌دهد که لایه‌های ماسه با میزان N مساوی ۵ الی ۸ تا ژرفای ده متری قرار گرفته‌اند و در زیر آن رس ضخیم با میزان N معادل ۵ تا ۱۰ قرار دارد. ملاحظاتی از این دست، حاکی از آن است که نیمرخ خاک در مجاورت سطح زمین عموماً سرشتی پیچیده دارد و بطور موضعی متفاوت و سختی[1] آن از نرم تا متوسط متغیر است. قشر رسی که از عمق ده متر به پایین وجود دارد، سختی

1 - Stiffness

متوسطی دارد، ولی چون ضخامت آن بیش از ۲۰ متر است، احتمال دارد که مولفهٔ پریود طولانی جنبش را طی زلزله منجیل تقویت کرده‌باشد. در محل ویژه‌ای نظیر نقطه‌ای که گمانه شماره ۱۰ زده شده‌است، دلایل آشکاری برای روانگرایی طی زلزله ملاحظه نشده‌است، ولی در نقاط دیگری در مجاورت همین گمانه که در آن وجود غالب نهشته‌های ماسه‌ای در سطح زمین محرز است، انتظار خسارات ناشی از روانگرایی همان طور که در شهر آستانه اتفاق افتاد، امر شگفت‌آوری نمی‌تواند باشد.

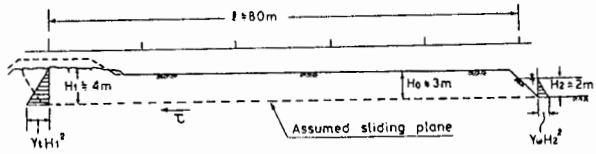
مجموعه دیگری از لوگ‌های حفاری همراه با نتایج SPT در محل‌های شماره ۱۷، ۱۹ و ۲۱، نزدیک روستای پهمدان وجود دارد (شکل ۱۲). این لوگ‌ها در ارتباط با کاوش‌های محلی برای ساخت کانال آبیاری به دست آمده‌اند؛ از این رو عمق گمانه‌ها کم و حدود ۵ متر است. یکی از نیمرخ‌های خاک با مقادیر N مربوط به آزمایش SPT در شکل ۲۶ نشان داده شده‌است. این نیمرخ نشانگر طبیعت پیچیده قشرهای خاک در مجاورت سطح زمین است و همچنین باتوجه به آن، ملاحظه می‌شود که نهشته‌های مجاور سطح زمین دارای مقادیری ماسه و میزان N کمتر از ۵ هستند. به علاوه آزمون‌های آزمایشگاهی برای تعیین میزان سفتی[1] ماسه لای دار حاکی از آن است که ریزدانه‌های موجود در خاک دارای پلاستیسیتهٔ اندکی هستند و شاخص خمیری[2] آنها کمتر از ۱۰ می‌باشد. باتوجه به همه این عوامل و با عنایت به عمق کم آب زیرزمینی دلایل مقتضی برای رخداد روانگرایی و صدمات همراه آن در یک لرزه شدید زلزله وجود دارد. در واقع، قابلیت بالای روانگرایی در مناطقی که پیشتر گفته شد، مشخص شده و خسارات زیادی را به راه‌ها و خانه‌های روستایی در روستای پهمدان در طی زلزله ۱۹۹۰ منجیل وارد آورده است.

حرکت جانبی ناشی از روانگرایی

روشن است که صدمات حاصل از روانگرایی در رودبنه که در بخش قبلی مقاله به آن پرداخته شد، مشخصاتی دارد که وقوع آن را در محدوده‌ای احاطه شده با کانال در شمال و

1 - Consistency
2 - Plasticity Index

زمین باتلاقی در جنوب و بستر جاده در بخش میانی تسهیل کرده‌است (شکل ۱۸). از این رو بسیار محتمل به نظر می‌رسد که خاک‌های آبگونه شده بطور جانبی به طرف کانال و نیز دشت هموار جنوبی حرکت کرده‌باشند. در واقع، ترک‌های طولی زیادی در ساحل جنوبی کانال همراه با حرکت افقی به میزان ۲ متر و نیز نشست بستر جاده به مقدار ۵۰ سانتیمتر ملاحظه شده‌است. با مدنظر قرار دادن همزمان همه این ملاحظات، احتمالاً بتوان سناریویی را تعریف کرد که در آن خاک رسوبی روان شده، در اثر ترکیب عامل‌های ناشی از جنبش زمین‌لرزه و نیروهای ثقلی القا شده به خاطر وجود کانال و جاده، سبب حرکت جانبی نیز باشد. بر مبنای کروکی‌های تقریبی ارایه شده از مقاطع عرضی (شکل ۲۰)، لغزش طولانی‌مدت [1] توده‌های خاک را، که شروع آن بستر جاده و پایان آن محل کانال است، می‌توان به عنوان سناریوی محتمل تغییر مکان جانبی ارایه کرد. باتوجه به دلایل موجود و فرونشست یک متری در یک سمت جاده، صفحه لغزش با ژرفای تقریبی ۳ متر به طرف نهشته‌های ماسه‌ای روان شده، حرکت کرده‌است و طول لغزش جریانی [2] حدوداً ۸۰ = l متر است. بدین ترتیب، زمین در کلیت خود، ضمن آبگونه شدن تغییرات جانبی زیادی را متحمل شده‌است. تنش برشی استاتیک ایجاد شده در راستای صفحهٔ مفروض لغزش را بعد از خاتمهٔ لرزشِ زلزله می‌توان با توجه به نیروهای جانبی که به بستر خاکی جاده و جبهه آب وارد می‌شوند، حساب کرد. بافرض آنکه شکل هندسی حرکت مطابق شکل ۲۷ باشد،



$$\tau = \frac{1}{2l}\left(\gamma_t H_1^2 - \gamma_w H_2^2\right)$$

$$= \frac{1}{160}\left(1.8\times 4^2 - 1.0\times 2^2\right) = 0.155 \ \text{ton/m}^2$$

شکل ۲۷ ـ محاسبه تنش برشی در راستای صفحه گسیختگی‌در منطقه لغزشی رودبنه

1 - Long-stretched slide
2 - Flow slide

تعادل نیروها در جهت افقی به معادله زیر منتج می‌شود:

$$\tau .1 = \frac{1}{2} [\gamma_t H_1^2 - \gamma_w H_2^2] \qquad (۱)$$

که در آن، H_1 , H_2 به ترتیب عمق صفحه لغزش از بالای بستر جادهٔ فرونشسته و سطح آب کانال می‌باشد. γ_w وزن مخصوص آب و γ_t وزن مخصوص ناخالص خاک می‌باشد. با جایگذاری اندازه‌های مشخص شده در شکل ۲۷ و مقدار $\gamma_t = ۱۸ \ KN/m^3$ در معادلهٔ شماره(۱)، مقدار تنش برشی ایجادشده در راستای صفحه لغزش معادل $\tau = ۱ر۵۵ \ KN/m^2$ برآورد می‌شود. شایان ذکر است که تنش برشی مزبور، در واقع تنشی است که بعداً محاسبه شده[1] و به مقدار قابل توجهی کمتر از مقدار مقاومت مانده[2] یا مقاومت حالت پایداری[3] است که از مطالعه سایر لغزش‌های جریانی به‌دست می‌آیند (ایشی‌هارا و همکاران، ۱۹۹۰؛ ایشی‌هارا و تاکوچی، ۱۹۹۱). بنابراین تنش برشی راکه بعداً محاسبه می‌شود باید به سادگی به عنوان تنش برشی که در زمان توقف لرزش زلزله در خاک ایجاد می‌شود، تلقی کرد و تا زمانی که مقدار آن کمتر از مقاومت مانده‌است، با دلایل متقن می‌توان گفت که تغییرشکل‌های متوالی پس از توقف لرزش زمین‌لرزه، اتفاق نیفتاده است. بنابراین پنداشته می‌شود که اغلب تغییر مکان‌های جانبی در رودبنه که در حدود ۲ تا ۳ متر می‌باشند، احتمالاً در زمان لرزش پریود طولانی زلزله که حدود ۳۰ ثانیه طول کشیده، اتفاق افتاده‌است و در نتیجه، تغییر مکان جانبی از نوع لغزش جریانی نبوده‌است.

زمین لغزش‌ها

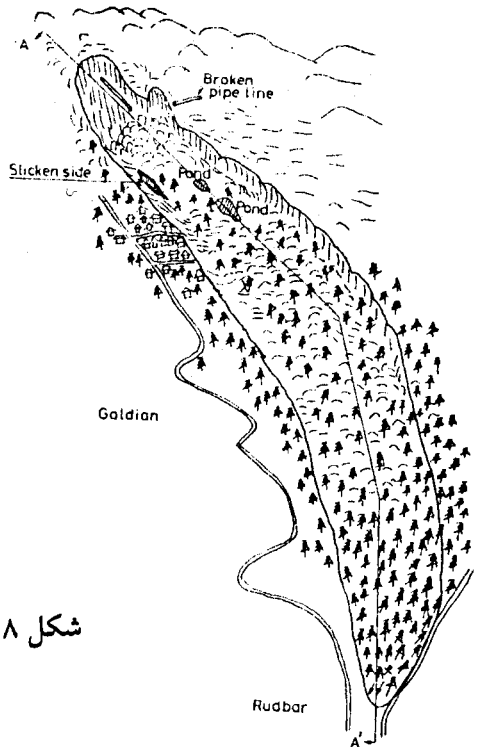
زمین‌لغزش و سنگ‌ریزش، دو نوع دیگر از صدمات مهم ژئوتکنیکی هستند که طی زمین‌لرزه‌ها روی می‌دهند. در زلزله منجیل، زمین‌لغزش و سنگ‌ریزش‌های بسیاری در دو طرف جاده منجیل به رشت اتفاق افتاد و موجب مسدود شدن راه‌ها و گذرگاه‌های مختلف گردید (شکل ۹). زمین لغزش‌های بزرگ دیگری در روی شیب تند نواحی کوهستانی واقع در منطقه رو مرکزی زلزله نیز رخ داد (شکل ۹).

---

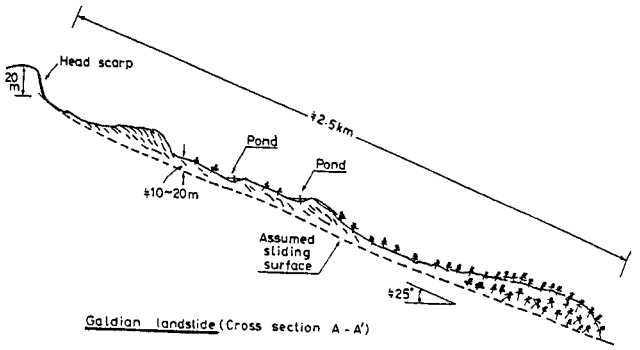
1 - Back-calculated
2 - Residual strength
3 - Steady-state strength

زمین لغزش گلدیان

زمین لغزش وسیعی در نزدیکی روستای گلدیان در شیب‌های کوهستانی شرق رودبار، روی داد (شکل ۹). لغزش، منطقه‌ای به عرض ۳۰۰ متر و طول ۳ کیلومتر را دربرگرفت. بافرض آنکه عمق متوسط صفحه لغزش ۱۵ متر باشد، لغزش تودهٔ عظیمی از خاک را به حجم تقریبی ۲۰ میلیون مترمکعب به حرکت درآورد. نمای روبرویی و مقطع طولی زمین لغزش به صورت تقریبی به ترتیب در شکل‌های ۲۸ و ۲۹ نشان داده شده‌اند. لغزش از قسمت جنوب غربی و در محل فوقانی توده شروع شد و از میانهٔ منطقه لغزش به طرف غرب متمایل گردید. باتوجه به اظهارات شاهدان عینی، لغزش قسمت بالایی بطور تدریجی یک روز پس از زمین‌لرزه آغاز شد. بخش بالایی لغزش با نگاهی به طرف سراشیبی در شکل ۳۰ نشان داده شده‌است. در اثر این لغزش، لولهٔ نفتی که از دره عبور می‌کرد، شکسته‌شد و حجم زیادی نفت منطقه لغزش را فراگرفت. به نظر می‌رسد تودهٔ خاکی که در اولین مرحله لغزش از جبهه فوقانی جدا شده، موجد نیروهای اضافی گشته و نهشته‌های خاک را به طرف



شکل ۲۸ ـ شکل تقریبی نمای روبرویی لغزش گلدیان



شکل ۲۹ ـ مقطع تقریبی لغزش گلدیان

پایین‌رانده است. این نیرو احتمالاً به صورت متوالی و زنجیره‌ای به بلوک‌های مختلف خاک اعمال شده و موجبات لغزشی طولانی مدت را فراهم آورده‌است. حرکت لغزشی در محل دره مانندی در ارتفاع ۵۰ متری شهر رودبار متوقف شد. فشار حاصل از جابجایی توده‌های خاک که باعث ریشه‌کن شدن و خشک شدن درختان گردید، در این منطقه تقریباً معادل ۳۰ متر ارتفاع بود. روستاییانی که در پایین‌دست منطقه لغزش زندگی می‌کردند اظهار می‌داشتند که حرکت لغزشی بسیار آرام بوده و حدوداً ۱۰ روز طول کشیده است تا توده عظیم خاک متورم و فعال شده به‌سوی مناطق زیست آنها پیشروی بکند.

زمین لغزش گلدیان روی تپه‌ای با شیب متوسط و مشرف به دره‌های کم و بیش پوشیده روی داد. منطقه به تعداد زیادی زمین کشاورزی تقسیم شده و قطعات کوچک زمین پوشیده از درختان جنگلی روی تپه‌ها گسترده شده‌اند. این منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک بوده و کوه‌های آن عموماً لم‌یزرع و ناهموار و با میزان پوشش درختی اندک می‌باشند. علت سرسبزی منطقه گلدیان به رغم اقلیم خشک و زمین‌های نامناسب از نظر کشاورزی، مشخصاً وجود آب‌هایی است که از چشمه‌های مختلف واقع در دامنه تپه‌ها تأمین می‌شوند و به مصارف آشامیدنی و زراعی می‌رسند. بعد از وقوع لغزش، دو برکه کوچک در قسمت

شکل ۳۰ ـ لغزش گلدیان ـ نگاه به پایین‌دست از بالای لغزش

بالایی منطقه لغزیده شده تشکیل شد که آب چشمه‌ها را جمع‌آوری می‌کرد. متاسفانه موقعیت دقیق چشمه‌ها و نیز نحوه مهاجرت آب زیرزمینی شناخته نشد. به هرحال این احتمال وجود دارد که شرایط آب زیرزمینی به نوعی در نتیجه اعوجاج[1] یا واپیچش‌های کوچک زمین که در اثر لرزش زلزله منجیل پدیده آمده، تغییر کرده‌باشد. در واقع، منطقه گلدیان بسیار نزدیک به ناحیه رومرکز زلزله بوده و به فاصله ۵ کیلومتری از خط گسل اصلی قرار دارد (شکل ۱۰). یک لرزه شدید با شتابی که حدود ۰٫۷g تخمین زده می‌شود، مناطق روستایی را در هم کوبیده و نتیجه واپیچش‌های زمین که به صورت ترک خوردگی ظاهر شده‌اند، منجر به تغییر جریان آب زیرزمینی شده‌اند و نهایتاً از پایداری شیروانی در حالت قبل از وقوع زلزله کاسته‌اند.

قشرهای زیرین خاک در گلدیان بطور عمده از مارن‌های هوازده تشکیل یافته و آینه گسله[2] بطور وضوح روی صفحه لغزش و در سرتاسر نهشته‌های رسی در قسمت سراشیبی و در مجاورت حاشیه شمالی منطقه لغزش قابل رویت است. دقیقاً مشخص نیست که این رس

1 - Ground distortion
2 - Slickenside

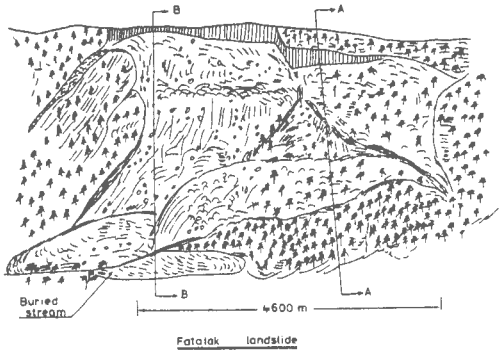
آبی تیره چقدر حاکم بر منطقه لغزش بوده و تا چه اندازه مسئول شروع لغزش است. با این حال ارزیابی تقریبی از مقاومت میانگین خاک درگیر شده با لغزش با استفاده از هندسهٔ مشخص لغزش (شکل ۲۹) امکان‌پذیر است. با توجه به شرایط تعادل و با فرض خط مستقیمی برای صفحه لغزش، مقاومت زهکشی نشده[1] خاک، Su، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Su = \gamma_1 H \times Cos\alpha \times Sin\alpha = 1.7 \times 15 \times Cos\ 25° \times Sin\ 25° = 98\ KN/m^2 \quad (۲)$$

که در آن، H میانگین ضخامت و معادل ۱۵ متر، γ_1 وزن مخصوص خاک و معادل ۱۷ KN/m^2 و α زاویه میانگین شیب است.

زمین لغزش فتلک

یکی از سهمناک‌ترین و ویرانگرترین زمین لغزش‌ها، لغزش وسیع فتلک مشرف به روستای فتلک بود که در جبهه غربی تپه‌ای به فاصله ۱۵ کیلومتری خط گسل اصلی روی داد (شکل ۱۰). توده عظیمی از خاک به حجم تقریبی یک میلیون متر مکعب به یکباره همراه با لرزش اصلی زلزله از شیب تپه سرازیر شد و همه خانه‌ها و ساکنان روستای فتلک را در دامنه تپه مدفون ساخت. قربانیان این زمین لغزش بالغ بر ۱۳۷ نفر شد و تنها ۱۴ نفر توانستند از این سانحه رهایی یابند. کروکی نمای روبرویی زمین لغزش در شکل ۳۱، تصویر دیوارهٔ لغزش



شکل ۳۱ ـ شکل تقریبی نمای روبرویی لغزش فتلک

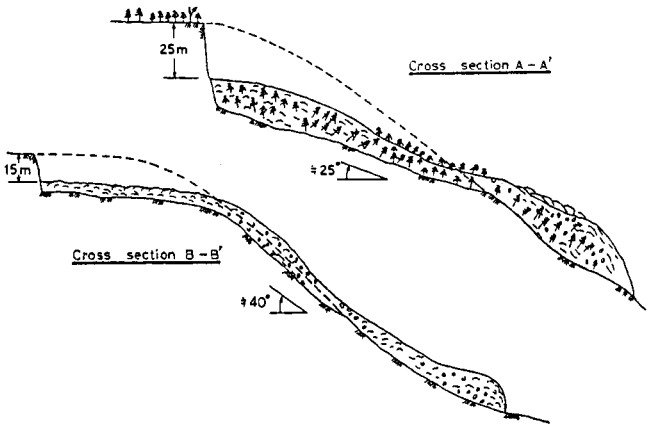
1 - Undrained Strength

در شکل ۳۲ و مقاطع A-A′ و B-B′ از زمین لغزش در شکل ۳۳ نشان داده شده‌اند. موقعیت مقاطع مزبور در شکل ۳۱ مشخص شده‌است.

مطابق بررسی‌های انجام شده، مشخص شده‌است که زمین لغزش از دو قسمت تشکیل یافته: بخش غربی با ارتفاع لغزش حدود ۲۵ متر و بخش شرقی با ارتفاع تقریبی ۱۰ متر کمتر ولی با برآمدگی که از شانهٔ تپه فراتر می‌رود. منبع تأمین آب مورد نیاز روستاییان را جوی‌های روبه شمال روان در پای دامنه و ظاهراً چندین چشمه موجود در منطقه لغزش تشکیل می‌دادند. با این همه، باید گفت که زمین‌لغزش به تنهایی تحت اثر نیروی دینامیکی ناشی از لرزهٔ اصلی پدید آمده و وجود آب تأثیری بر آن نداشته است. در واقع، آوارها و توده‌های خاک جابجا شده، شامل قطعات خشک خاک بوده و مبین این مطلب است که بدون اعمال لرزه‌ای شدید نظیر جنبش زلزله منجیل، زمین لغزش مشرف به روستای فتلک روی نمی‌داد. نهشته‌های خاک درگیر در زمین لغزش، عموماً از هوازدگی سنگ آهک[1]ها حاصل شده و در مواردی شامل سنگ یا قلوه نیز بودند. خاک بطور غالب از لای غیرخمیری تشکیل شده بود. قابل تصور است که در بالای تپه، عمل هوازدگی به صورتی عمیق در داخل سنگ‌ها نفوذ

شکل ۳۲ ـ نمای روبرویی لغزش فتلک

1 - Limestone



شکل ۳۳ ـ مقاطع تقریبی لغزش فتلک

کرده باشد. با توجه به اینکه بخشی از سنگ‌های دیواره پس از لغزش نوعاً سالم و دست نخورده بودند، لذا محتملاً توده سنگ‌های هوازده بالای تپه توسط نیروی کششی ناشی از لرزش فوق العاده شدید زلزله، از جای کنده شده‌اند و خاک توده‌دار روی شیب تپه به طرف پایین لغزیده است. چنین سناریویی برای زمین لغزش، پذیرفتنی‌ترین شرحی است که می‌توان برای نحوهٔ شگفت گسیختگی ملاحظه شده در بالای تپه، ارایه داد.

نتیجه گیری

در طی مقاله شکل عمومی خسارات ژئوتکنیکی در زلزله ۱۹۹۰ منجیل شرح داده شد و چندین موضوع مهم ارایه و مورد بحث قرارگرفت. نخست درباره پدیده روانگرایی که به صورتی گسترده بر روی نهشته‌های دلتایی سواحل سفیدرود و در جلگه‌های پایین‌دست آن، تاثیر گذارده بود، بحث گردید. اگرچه نیمرخ‌های خاک قاعدتاً از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر متغیر است، لیکن نیمرخ خاک در مناطق آبگونه شده از یک قشر لای و یا ماسه در مجاورت سطح زمین تشکیل شده و در زیر آن نهشته‌های عمیق رسی به عمق ۳۰ تا ۴۰ متر قرار گرفته‌اند. تراز آب زیرزمینی حدوداً ۵ر۰ تا ۲ متر زیر سطح طبیعی زمین قرار دارد. منطقه‌ای که روانگرایی در آن روی داده به فاصله ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتر از رومرکز زلزله واقع شده و

شدت متناظر با آن معادل VI درجه در مقیاس MSK است. بیشینه شتاب زمین در منطقه آبگونه شده حدود g۱۷ر۰ ارزیابی شده‌است. حتی با چنین شدتی که در ردهٔ شدت‌های کم یا متوسط قرار دارد، روانگرایی در نهشته‌های نزدیک سطح زمین که متشکل از ماسه و لای با پلاستیسته اندک است، به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی به آسانی اتفاق افتاده است. در واقع این یک وضعیت بحرانی است که تحت آن پدیده روانگرایی با توجه به شدت پائین لرزش، به سختی می‌توانست روی داده و گسترش پیدا کند. شایان ذکر است که شرایط پیش گفته، مشابه شرایطی است که در خلیج سانفرانسیسکو در زمان وقوع زلزله لوماپری‌یتا وجود داشته است (سید و همکاران، ۱۹۹۱). آنالیز جنبش‌های زلزله که در مناطق جلگه‌ای ـ دلتایی ثبت شده‌اند، تمایل مولفه پریود طولانی ارتعاش را به تقویتی قابل ملاحظه و هماهنگ با حضور لایهٔ ضخیم نهشته‌های رسی واقع در این مناطق، نشان می‌دهد. این ویژگی نیز در زلزله‌هایی که در حول و حوش خلیج سانفرانسیسکو روی داده‌اند، دیده شده است. در رودبنه، روانگرایی لغزش‌هایی را در مقیاس کوچک و منبعث از حرکات جانبی زمین پدید آورد. مطابق محاسبات انجام شده، مقدار تنش برشی در خاک روان شده با توجه به عمق کم لغزش‌ها، اندک بود. نشان داده شد که در این مقدار تنش برشی به مراتب کمتر از مقاومت‌های مانده‌ای است که طی بررسی‌های دیگر از شرایط مشابه به دست آمده‌اند. از این رو، این احتمال داده می‌شود که جریان توده خاک[1] قابل ملاحظه‌ای پس از لرزش اصلی زلزله رخ نداده و اغلب حرکات جانبی در محدوده ۲ تا ۳ متر محتملاً در اثر اعمال تنش برشی استاتیک به اضافه تنش دینامیکی در حین لرزش اصلی زلزله منجیل پدید آمده‌اند.

دو زمین لغزش بزرگ مقیاس که در مناطق کوهپایه‌ای نزدیک رومرکز زلزله اتفاق افتاده، تشریح شد و برخی ملاحظات مربوط به آنها و خصوصاً علل احتمالی ایجاد لغزش‌ها ارایه گردید. در مورد زمین لغزش گلدیان به نظر می‌رسد دو عامل تغییرات شرایط آب زمینی و لرزش شدید زلزله به صورت همزمان در جهت کاهش پایداری شیروانی خاکی عمل کرده‌اند.

---

1 - Flow of soil mass

در زمین لغزش فتلک، نهشته‌های سنگ آهک بالای تپه عمیقاً هوازده شده و در حالتی مستعد گسیختگی تحت اثر نیروی کششی منبعث از لرزش شدید یک زمین‌لرزه قوی قرار داشتند.

سپاسگزاری

در شناسایی منطقه زلزله‌زده ایران، همکاری آقای دکتر جمشید فرجودی استادیار دانشکده فنی دانشگاه تهران بسیار موثر بوده است. آقای دکتر تورج امیر سلیمانی از مهندسین مشاور ماندرو و آقای حیدری از کنسرسیوم صنعت ساختمان حمایت‌های فنی و تدارکاتی بی‌دریغی طی مسافرت‌های گوناگون به منطقه زلزله زده به عمل آوردند. موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و بنیاد مسکن انقلاب اسلامی ایران، پشتیبانی‌های مالی لازم را برای انجام کاوش‌های سرمحل بر عهده داشتند. رقمی کردن و آنالیز شتابنگاشت‌های آب‌بر و لاهیجان توسط پرفسور تی اوهماچی و پرفسور اس میدوریکاوا[1] از انستیتوی تکنولژی توکیو انجام گرفت. کمک‌های دکتر وای ساساکی[2] از انستیتوی تحقیقات عمران نیز برای رقمی کردن شتابنگاشت‌های مزبور بسیار موثر بود. دست‌یابی به نیمرخ‌های خاک با استعانت از سازمان آب منطقه‌ای گیلان و آزمایشگاه مکانیک خاک وزارت راه و ترابری مستقر در رشت امکان‌پذیر گشت. نگارندگان مقاله، تشکر و سپاس عمیق خود را به خاطر یاری و همکاری این اشخاص و موسسات ابراز می‌دارند.

1 - Professor S. Midorikawa 2 - Dr. Y. Sasaki

مراجع

1. Ishihara, K., Yasuda, S. and Yoshida, Y.(1990) "Liquefaction - induced flow failure of embankments and residual strength of silty sands", Soils and Foundations, Vol. 30, No. 3, PP. 69 - 80.
2. Ishihara, K. and Takeuchi, M. (1991) "Flow failure of liquefied sand in large - shaking tables", Proc. 2nd International conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Vol. II, PP.1753 - 1766.
3. Moinfar, A. and Naderzadeh, A.(1990) "An immediate and preliminary report on the Manjil, Iran Earthquake of 20 June 1990", Building and Housing Research Center, Tehran.
4. Seed, R.B., Dickenson, S.E. and Idriss, I.M.(1991) "Principal geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta Earthquake", Soils and Foundations, Vol.31, No.1,PP. 1-26.
5. Yoshimi, Y. and Tokimatsu, K.(1993) "SPT practice survey and comparative tests", Soils and Foundations, Vol.23, No.3,PP.105 - 111.

اثرات موضعی ساختگاه در شهر رشت در زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل ایران*

دکتر سید محسن حائری، مهندس مهدی خلفائی
ترجمه مهندس بهنام جعفری

چکیده

در اثر زلزله ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل، تعدادی از ساختمان‌های با ارتفاع متوسط در شهر رشت که در فاصله ۶۰ کیلومتری از رومرکز زلزله قرار داشتند، تخریب شده یا آسیب‌های جدی دیدند. این امر ناشی از شرایط خاک در شهر رشت بود که بر مشخصه‌های ارتعاشی زمین به نحوی اثر گذاشت که یکی از مدهای ارتعاشی زمین با یکی از پریودهای طبیعی ساختمان‌های با بیش از چهار طبقه منطبق گردید.

مطالعه‌ای برای شناسایی اثر شرایط خاک در شهر رشت بر روی مشخصه‌های زلزله طرح صورت گرفته است. تنها شتابنگار مستقر در شهر رشت در زمان وقوع زلزله از رده خارج شده بود، بنابراین برای مطالعه مشخصه‌های ارتعاشی زمین دراین شهر، از تاریخچه زمانی شتاب ثبت شده در آب‌بر استفاده شده است.

---

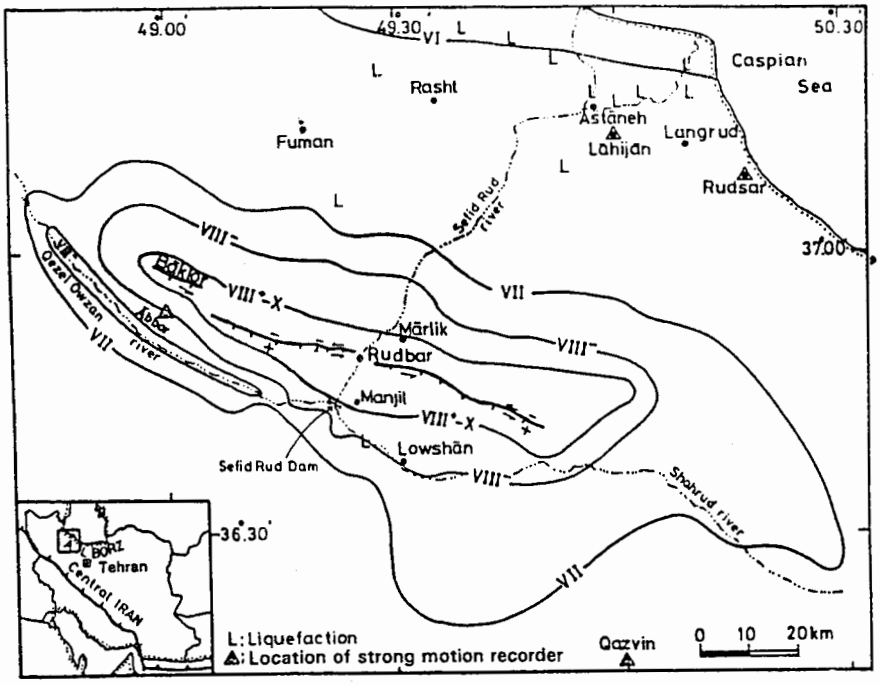
* S. Mohsen HAERI & Mehdi KHOLAFAIE,"Local Site Effects in the City of Rasht During the Manjil Earthquake of June 20,1990, Iran", Proc. of 2nd International Conference on Earthquake Resistant Construction and Design. June 15-17, 1994, Berlin.

ایستگاه آب‌بر که در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب گسل منشاء زلزله قرار دارد، بیشترین شتاب را برای لرزهٔ منجیل ثبت نموده است. شتاب نگار مذکور بر روی یک لایه سفت و کم‌عمق واقع بر روی بستر سنگی قرار گرفته است. بنابراین به این نکته توجه گردید که تاریخچه زمانی شتاب مذکور می‌تواند مشخصه تاریخچه‌های زمین نوع سنگی را برای زمین‌لرزه منجیل دارا باشد.

به منظور مطالعه شرایط موضعی خاک در رشت، داده‌های ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده از ۲۵ گمانه حفر شده در محل‌های مختلف شهر رشت، جهت آنالیز پاسخ غیر خطی این ساختگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. پاسخ سرعت و شتاب در محل‌های مختلف شهر رشت برای ترازهای مختلف شتاب مبنا با استفاده از رکورد آب‌بر محاسبه شده‌اند. برای مطالعه اثرات شرایط خاک برروی مشخصه‌های زمین‌لرزه، طیف پاسخ و شتاب برای ترازهای مختلف شتاب و برای تمام محل‌های گمانه‌ها، محاسبه و رسم گردیدند. در این مقاله، خلاصه‌ای از نتایج این مطالعه ارایه گردیده است. نتایج مطالعه، به روشنی دلایل آسیب‌های رخ داده در شهر رشت را طی زلزله منجیل تشریح می‌نماید.

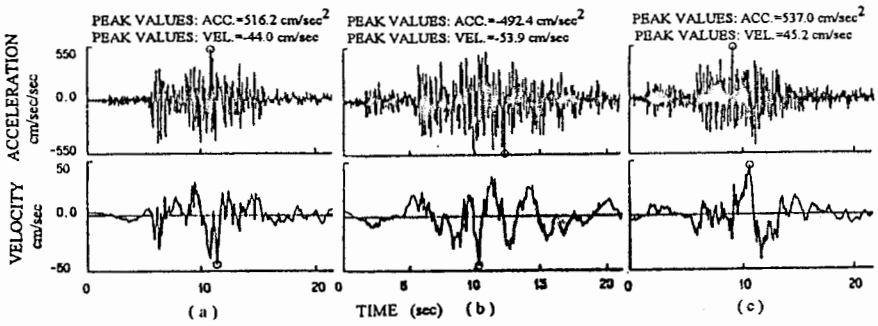
۱ـ زمین‌لرزه ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل

زلزله فاجعه‌بار و ویرانگری در ساعت ۱۱و۹ ثانیه، ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ به وقت جهانی، (ساعت ۳۰ دقیقه و ۳۸ ثانیه بامداد، ۲۱ ژوئن ۱۹۹۰ به وقت محلی) در منطقه شمال غربی ایران رخ داد که تلفات جانی آن بیش از ۲۵۰۰۰ نفر و آسیب دیدگی ساختمان‌ها در حدود ۲۰۰۰۰۰ مورد گزارش گردید. سه شهر منجیل، رودبار و لوشان واقع در ناحیه رومرکزی زلزله، تقریباً با خاک یکسان و تلفات جانی زیادی را متحمل شدند. بزرگی گزارش شده توسط سازمان‌های مختلف یکسان نبود؛ برای مثال سازمان زمین‌شناسی ایالات متحد آمریکا USGS، M_s = ۷٫۷ و M_b = ۶٫۴ را گزارش کرد، در حالی که موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران M_b = ۷٫۳ را گزارش نمود. نظرات مختلفی درباره شدت لرزش و نقشه هملرز وجود دارد. نظرات ارایه شده توسط بربریان و قریشی (۱۹۹۱) پس از اعمال اصلاحاتی توسط نگارندگان مقاله در شکل ۱، نشان داده‌است.



شکل ۱ ـ نقشهٔ همارز زمین‌لرزه منجیل، اصلاح شده براساس کار بربریان و قریشی (۱۹۹۱)

همان گونه که در شکل ۱ مشخص است، حداکثر شدت در ناحیه رومرکز زلزله، برابر ده درجه در مقیاس مرکالی اصلاح شده می‌باشد. شکل مزبور همچنین، موقعیت رومرکز و شهرهای عمده آسیب دیده در اثر زلزله منجیل را نشان می‌دهد. رومرکز این زمین‌لرزه یک مورد بحث‌انگیز دیگر است. از دیدگاه کهلرزه‌ای، شهر منجیل به دلیل بیشترین آسیب‌هایی که به آن وارد شده بود، به عنوان رومرکز زمین‌لرزه اعلام گردید. اما پس‌لرزه‌های ثبت شده در ناحیه رومرکزی نشان داد که رومرکز دستگاهی در چند کیلومتری شمال رودبار قرار دارد. گسلش سطحی در طولی بیش از ۸۰ کیلومتر در پاره‌های مختلف برداشت گردید (بربریان و قریشی، ۱۹۹۱).



شکل ۲ـ تاریخچه‌های زمانی اصلاح شده شدت و سرعت زلزله منجیل، ایستگاه آب‌بر
a) مولفه L b) مولفه T c) مولفه V

تعدادی جنبش نیرومند زمین در این زلزله در منطقه ثبت گردید، ولی دو شتاب‌نگار مهم یکی در سد سفیدرود در مجاورت شهر منجیل و دیگری در شهر رشت، در زمان وقوع زمین‌لرزه از رده خارج بودند. خوشبختانه شتاب‌نگار نصب شده در آب‌بر در حوالی ۴۰ کیلومتری رومرکز و در حدود ۱۰ کیلومتری گسل سرچشمه، ارتعاشات زمین را ثبت نموده‌است (شکل ۱).

بیشینه شتاب ثبت شدهٔ اصلاح شده در ایستگاه آب‌بر توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن معادل ۵۳g٫۰ و ۵۰g٫۰ در دو جهت افقی متعامد و نیز ۵۵g٫۰ در جهت قائم گزارش گردید. شکل ۲، تاریخچه زمانی اصلاح شده را برای سه مولفهٔ سرعت و شتاب زمین که در این ایستگاه ثبت گردیده است، نشان می‌دهد.

زلزله منجیل باعث ناپایداری‌های گسترده و شدید زمین در منطقه زلزله‌زده و در محدودهٔ تقریبی ۹۰ کیلومتری پیرامون رومرکز گردید. ناپایداری‌های زمین شامل روانگرایی، زمین‌لغزش و سنگ‌ریزش می‌باشد. روانگرایی، آسیب‌های زیادی را در شهر آستانه و روستاهای اطراف آن موجب شد. جنبه‌های مختلف روانگرایی ناشی از زلزله منجیل و

نتایج یک بررسی در این زمینه توسط حائری (b ـ ۱۹۹۱) و حائری و ذوالفقاری (۱۹۹۲) ارایه شده‌است.

زمین لغزه‌های متعددی نیز با درجات گوناگون در این زلزله روی دادند. زمین لغزه بزرگ مقیاس با طول بیش از ۱۰۰ متر بالغ بر ۷۶ مورد توسط حائری و ستاری (۱۹۹۲) مورد مطالعه قرارگرفته‌اند. زمین لغزه‌ها در نواحی روستایی بسیار پرجمعیت اتفاق افتادند. برخی از آنها که در نزدیکی شهرها یا روستاها رخ دادند فوق‌العاده ویرانگر بودند. فی‌المثل، زمین‌لغزه گلدیان شهر رودبار را مورد تهدید قرار داد و آسیب‌های گسترده‌ای به درختان بسیار باارزش زیتون وارد آورد و زمین لغزه فتلک روستای فتلک و ساکنان آن را زیر میلیون‌ها تن سنگ و خاک مدفون نمود.

سقوط سنگ باعث مسدود شدن جاده‌های مهم روستایی و در نتیجه تأخیر در عملیات امداد شد و تعدادی از روستاها را ویران ساخت و آسیب‌هایی به شهر تاریخی ماسوله وارد آورد (حائری، a ـ ۱۹۹۱).
علاوه بر ناپایداری‌های زمین در نواحی تحت تاثیر زلزله، اثرات موضعی ساختگاه در شهر رشت، آسیب‌هایی را به تعدادی از ساختمان‌های نیمه بلند بیش از چهار طبقه وارد آورد (حائری، a ـ ۱۹۹۱). در این زمینه، مطالعه جامعی جهت بررسی مشخصه‌های دینامیکی نهشته‌های خاک موجود در شهر رشت و پاسخ نهشته‌های مزبور به ارتعاشات مختلف سنگ بستر صورت گرفته است. ریز پهنه‌بندی شهر رشت برای اثرات ارتعاشی نیز بررسی و نتایج آن توسط حائری و خلفائی ارایه شده است (۱۹۹۴).

در این مقاله، به اجمال اثرات موضعی ساختگاه براساس مشاهدات در زلزله منجیل و تحلیل‌های انجام شده بحث خواهد شد.

۲ـ تخمین بیشینه شتاب زمین در شهر رشت در زمین‌لرزهٔ منجیل

مشخصه‌های حرکت زمین در شهر رشت حین زمین‌لرزه منجیل ثبت نگردیده است، چراکه تنها شتاب نگار مستقر در شهر رشت در زمان زلزله از رده خارج بود. با این حال، بیشینه شتاب زمین در شهر رشت را طی این زلزله در صورت وجود داده‌های کافی ثبت شده در سایر ایستگاه‌ها، می‌توان تخمین زد. داده‌های دستگاهی مختلف ثبت شده در این زلزله، جمع‌آوری شد و یک آنالیز رگرسیون[1] صورت گرفت. براین اساس، یک رابطه کاهیدگی[2] برای ناحیه زلزله زده به صورت زیر به دست آمده است:

$$a = 1360e^{-0.5M}(23 + R)^{-1.41} \qquad (۱)$$

که در آن،

a : بیشینه شتاب زمین (cm/s^2)

M :بزرگی زمین‌لرزه

R : فاصله از گسل سرچشمه (Km)، می‌باشد.

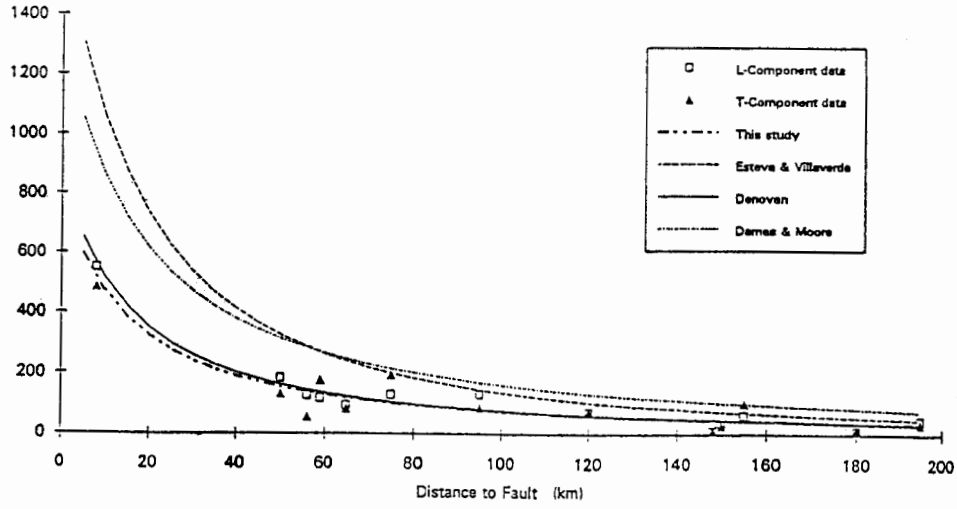
این یافته با روش‌های پیشنهادی سایر محققان مقایسه شده و نتایج بر روی شکل ۳ نشان داده شده‌است. همان گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود، رابطه کاهیدگی پیشنهادی نگارندگان بهترین انطباق را با مقادیر اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد. با استفاده از معادله (۱)، بیشینه شتاب زمین در شهر رشت طی زلزله منجیل $a_{max} = ۰ر۱۵g$ به دست می‌آید.

این مقدار در آنالیز گسترش امواج مورد استفاده قرار گرفته است. رکورد آب‌بر برای این مقدار مقیاس شده و به عنوان سنگ بستر در این مطالعه به کار رفته است.

---

1 - Regression analysis

2 - Attenuation correlation

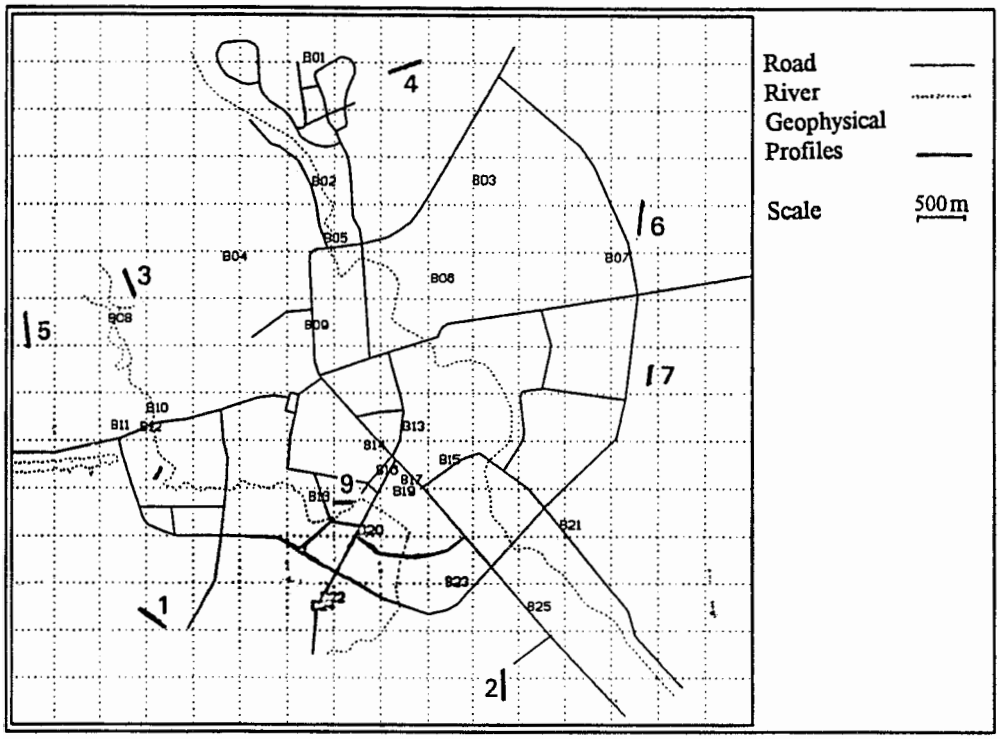


شکل ۳ـ کاهیدگی شتاب در زمین‌لرزه ۲۰ ژوئن ۱۹۹۰ منجیل

۳ـ شرایط خاک در شهر رشت

از نقطه‌نظر زمین‌شناسی، شهر رشت بر روی نهشته‌های کواترنری پلئیستوسن[1] و دوران‌های اخیر با چهار منشا مختلف قرار دارد. داده‌های ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده برای پهنهٔ شهر رشت به ۸۷ گمانه حفر شده در ۲۵ محل یا سایت مربوط می‌شود که بر روی چهارگونه خاک فوق‌الذکر توزیع شده‌اند. بیشینه تمرکز محل گمانه‌ها در بخش جنوبی و مرکزی شهر بوده و بخش شمالی شهر کمتر پوشش داده شده است. در هر محل یا سایت تعداد گمانه‌ها بین ۱ الی ۸ عدد می‌باشد و برای هر سایت یک پروفیل به عنوان نماینده انتخاب گردیده‌است. موقعیت محل‌های حفر گمانه‌ها در شهر رشت همراه با حداکثر عمق گمانه‌ها در هر سایت در شکل ۴ نشان داده شده‌است.

1 - Pleistocene



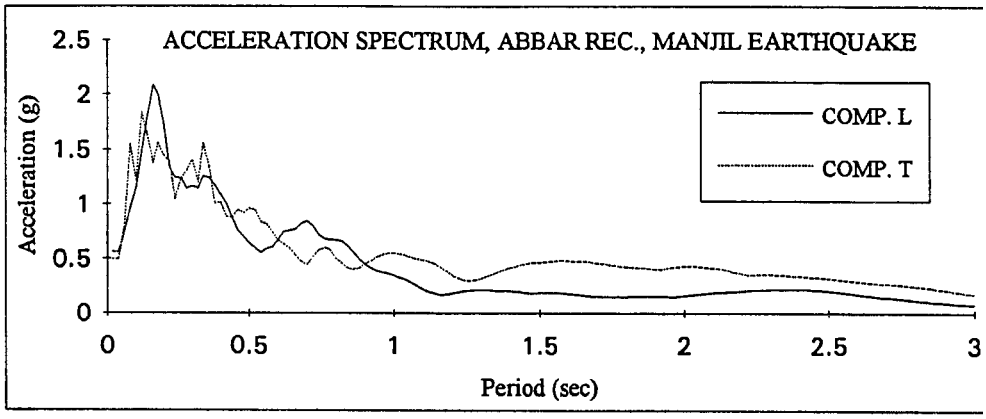
شکل ۴ـ نقشه شهر رشت شامل محل گمانه‌ها و پروفیل‌های ژئوفیزیکی

عمق بستر سنگی در شهر رشت نامعلوم است. یک بررسی ژئوالکتریکی انجام شده در حدود ۳۰ سال قبل که عمقی بیش از ۲۰۰ متر را پوشش می‌داد، نشان می‌دهد که در عمق ۱۵۰ الی ۱۶۰ متری، مقاومت الکتریکی ناگهان افت پیدا می‌کند که علت آن ممکن است ناشی از بستر سنگی و یا وجود لایه ضخیم رس تحکیم یافته باشد. حداقل دو چاه آب نیز قبلاً تا عمق ۱۵۰ الی ۱۶۰ متری در پهنه شهر رشت حفر گردیده است. براین اساس، عمق سنگ بستر برای آنالیز معادل ۱۵۰ الی ۱۶۰ متر ارزیابی گردید.

جهت تخمین مشخصه‌های خاک برای آنالیز پاسخ دینامیکی غیرخطی، داده‌های جمع‌آوری شده از ۲۵ محل حفر گمانه‌ها برای یک عمق ۳۰ متری و پروفیل‌های چاه‌های آب تا عمق ۱۵۰ الی ۱۶۰ متری به علاوه نتایج آزمون تقویت لرزه‌ای[1] به کار گرفته شد. پروفیل‌های تقویت لرزه‌ای نیز در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. این پروفیل‌ها، اطلاعاتی در مورد خواص ارتجاعی لایه‌های خاک نظیر سرعت موج‌های برشی و فشاری ارایه می‌دهند. جدا از این سنجش‌ها، خواص دینامیکی خاک در هر سایت براساس داده‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی موجود و با استفاده از مطالعات آماری اُهتا و گوتو (۱۹۷۸) تخمین زده شده است. تغییرات مدول برشی و میرایی خاک به تبع تنجش در آنالیز با استفاده از منحنی‌های ارایه شده توسط سید و ادریس (۱۹۷۰)، سید و همکاران (۱۹۸۶) و ریچارد و همکاران (۱۹۷۷) برای انواع مصالح، مدنظر قرار گرفته است.

۴ـ آنالیز پاسخ دینامیکی و پتانسیل تقویت دینامیکی

براساس داده‌های ژئوتکنیکی که در بخش قبلی مقاله توضیح داده شد، یک آنالیز خطی هم‌ارز[2] برای ۲۵ محل حفر گمانه‌ها با استفاده از رکورد آب‌بر مقیاس شده برای ۰٫۱۵g صورت پذیرفت. طیف فوریه مولفه‌های T و L این رکورد در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ـ طیف فوریه رکورد آب‌بر، زلزله منجیل

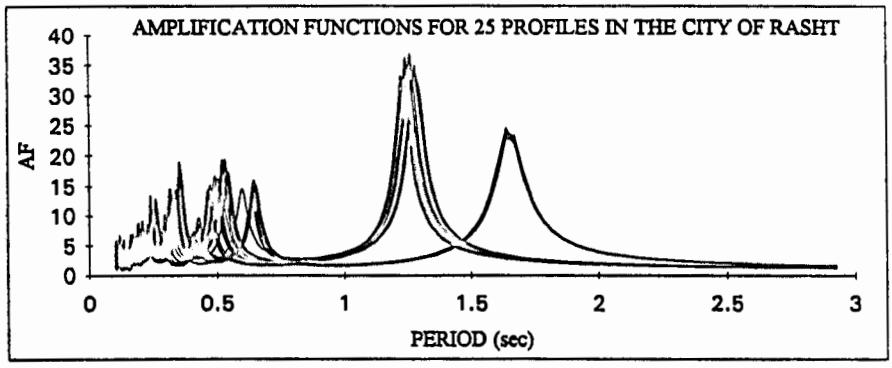
1 - Dynamic amplification

2 - Equivalent linear analysis

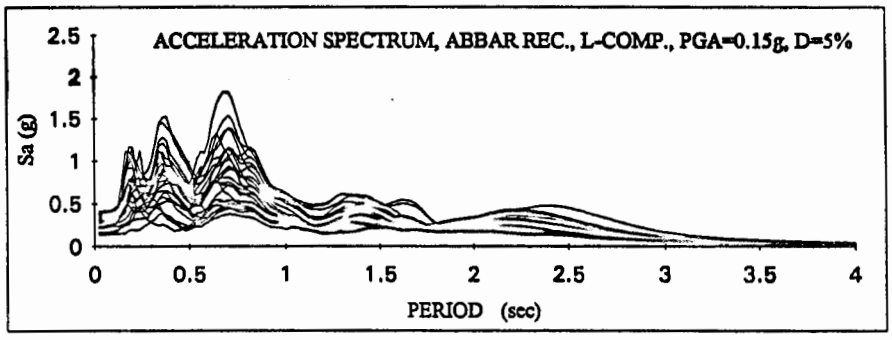
همان طور که در شکل دیده می‌شود، پریودهای غالب رکورد آب‌بر عبارتنداز: ۲ر۰، ۳۵ر۰، ۵ر۰، ۷ر۰، ۷۵ر۰، ۱، ۵ر۱، ۲ و ۳ر۲ ثانیه که البته بیشترین شتاب در محدودهٔ پریودهای ۲ر۰ الی ۷ر۰ ثانیه رخ می‌دهد.

توابع تقویت ارتجاعی مربوط به ۲۵ منطقه حفر گمانه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. پریود اصلی تعدادی از سایت‌ها ۷ر۱ ثانیه و بقیه در محدودهٔ ۳ر۱ ثانیه می‌باشد. با این حال پریودهای غالب دیگری در سایر سایت‌های شهر رشت در محدوده ۲ر۰ تا ۷ر۰ ثانیه وجود دارد که با تعدادی از پریودهای غالب رکورد آب‌بر هماهنگی و انطباق دارند و این امر به معنای تقویت لرزش زمین در چنین مدهای ارتعاشی می‌باشد.

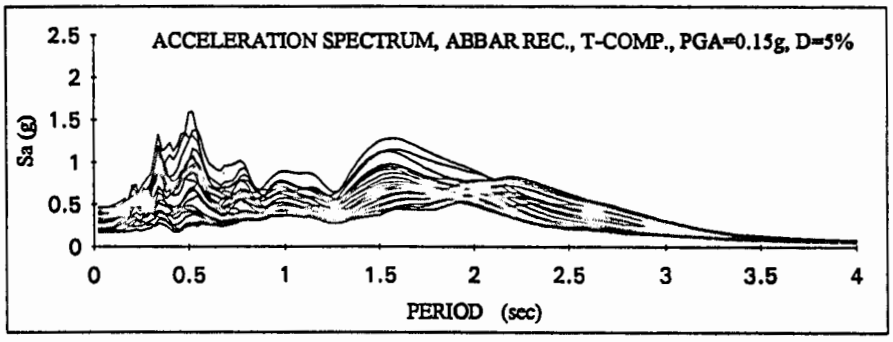
با توجه به اینکه خاک رفتار ارتجاعی ندارد، یک آنالیز غیرخطی با استفاده از روش خطی هم‌ارز انجام گرفت. نتایج این مطالعه برای ۲۵ سایت مذکور در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده‌است. طیف فوریه تاریخچهٔ زمان ـ شتاب برای بازتاب این سایت‌ها نشان می‌دهد که پریود اصلی ارتعاش زمین در تعدادی از سایت‌ها ۲ر۲ و در بقیه ۵ر۱ ثانیه است. بازتاب دارای نقاط اوج دیگری در ۰ر۱، ۸ر۰، ۵ر۰ و ۳۵ر۰ ثانیه برای مولفه T آب‌بر و ۷ر۰، ۴ر۰ و ۲ر۰ ثانیه برای مولفه L آب‌بر می‌باشد. بیشترین شتاب‌ها در پریودهای ۷ر۰،۵ر۰،۴ر۰ و ۳۵ر۰ ثانیه روی می‌دهند. این یافته می‌تواند علت صدمات وارد بر ساختمان‌های با ارتفاع متوسط ۴ تا ۸ طبقه با پریودهای طبیعی ۳۵ر۰ الی ۷ر۰ ثانیه را در شهر رشت به خوبی توجیه نماید. در حال حاضر ساختمان بلندی در شهر رشت موجود نیست، اما ارتعاشات با پریود بالا نظیر ۵ر۱ و ۲ر۲ ثانیه می‌توانست بطور گسترده‌ای برای سازه‌های با پریود اصلی نزدیک به ۵ر۱ و ۲ر۲ ثانیه مخرب باشد.



شکل ۶ـ توابع تقویت برای ۲۵ پروفیل در شهر رشت، پاسخ ارتجاعی



شکل ۷ـ طیف پاسخ شتاب برای ۲۵ پروفیل در شهر رشت



شکل ۸ـ طیف پاسخ شتاب برای ۲۵ پروفیل در شهر رشت

سپاسگزاری

این تحقیق در چارچوب پروژه مشترکی بین بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و دفتر عمران سازمان ملل متحد تحت شماره IR/90/004 انجام گرفته است. از حمایت‌های بی‌دریغ سازمان‌های مذکور برای انجام پروژه تشکر می‌شود.

مراجع

1. Berberian, M.& Qorashi, M.(1991), The June 20, 1990 Rudbar-Tarom (NW Persia) catastrophic earthquake, a preliminary field reconnaissance report. Seismotectonic section, geological survey of Iran, Tehran.
2. Building and Housing Research Center (1992), Accelerograms of the Manjil Iran earthquake of June 20, 1990. Vol. 3, Report no. 143, PP 30-51.
3. Heari, S.M. (1991 - a), Geotechnical aspects of Manjil earthquake of June 20 1990. Report no. 70-1, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology of Iran.
4. Haeri, S.M. (1991-b), Liquefaction associated with 20 June 1990, Manjil earthquake, Iran. Proc. of SDEE-91 Conference, Karlsruhe, Germany, PP 325-339.
5. Haeri, S.M.& Kholafaie, M.(1994), Microzonation of the city of Rasht for vibrational effects. Reports no. 25-27, Natural Disaster Prevention Center, Iran.
6. Haeri, S.M.& Sattari, M.H.(1992), Large landslides induced by Manjil earthquake of June 20, 1990. Report no. 1, Natural Disaster Prevention Center, Iran.
7. Haeiri,S.M.& Zolfaghari, M.R (1992), On the earthquake induced liquefaction in Astaneh, Iran. Proc.of 10 WCEE, Vol.I,PP 129-134.
8. Ohta, Y.& Goto, N. (1978), Empirical shear wave velocity equations. Jr. Eqk. Eng. & Struct. Dyn. Vol. 6, PP 167-187.
9. Richart, F.E., Anderson, D.G. & Stokoe, K.H.(1977), Prediction in situ strain dependent shear moduli of soils. Proc. of 6th WCEE, Vol. I, PP 2310-2315.
10. Seed, H.B. & Idriss, I.M. (1970), Soil moduli & damping factors for dynamic response analysis. Report no. EERC- 70-10, University of California, Berkeley.
11. Seed, H.B., Wong, R.,Idriss, I.& Tokimatsu, K.(1986),Moduli & damping factors for dynamic analysis of cohesionless soils. ASCE Jr. of Geot. Eng. Div. Vol. 112, No. 11, PP 1016 - 1032.

آموختن از دیگر زلزله‌ها

پیش از وقوع زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل، جامعه بین‌المللی مهندسی شاهد دو زلزله مهم و شدید اسپیتاک ارمنستان در سال ۱۹۸۸ و لوماپریتای کالیفرنیا در سال ۱۹۸۹ بود. دو سال بعد از وقوع زمین‌لرزه منجیل و نه چندان دور از مرزهای غربی کشورمان، زمین‌لرزه‌ای در ۱۳ مارس ۱۹۹۲ شهر ارزنجان ترکیه و حومه آن‌را لرزاند. در ماه ژانویه سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ دو زلزله به ترتیب در نورث‌ریج کالیفرنیا و کوبه ژاپن، آسیب‌ها و خرابی‌های زیادی برجای نهادند. همه این زلزله‌ها که در حول و حوش زمانی زلزله منجیل اتفاق افتاده‌اند، به رغم تلفات جانی و صدمات مالی، نکات آموزنده‌ای برای جامعه فنی و مهندسی به همراه آورده‌اند. در مقالاتی که در این بخش از یادمان آورده شده‌اند، این زلزله‌ها از جنبه‌های گوناگون بررسی شده و گاه به‌صورت تطبیقی مطالعه شده‌اند و درس‌هایی از این بررسی‌ها برای جامعه مهندسی ایران متجلی شده است. در انتخاب مقالات سعی شده است ویژگی‌های هر زلزله از دید و برداشت متنوع متخصصان رشته‌های مختلف مهندسی زلزله، مهندسی سازه و زلزله‌شناسی مهندسی ارایه شود، از این رو برای هر یک از زلزله‌های پیش‌گفته حداقل دو مقاله و در موردی تا ۴ مقاله (زلزله ارزنجان) آورده شده است. تنها ذکر یک نکته در باره اولین مقاله این بخش از یادمان ناگزیر می‌نماید و آن اینکه به رغم نظرات عالمانه‌ای که آقای آیزنبرگ در این مقاله ابراز داشته است به نظر می‌رسد در یک مورد خاص اندکی به خطا رفته باشد و آن اشاره به خرابی آن دسته از ساختمان‌های بتن‌آرمه در زلزله ارزنجان است که ضوابط آیین نامه‌ای بطور کامل در طراحی و اجرای آنها ملحوظ شده است. نگارنده این سطور که امکان آن را

داشته است پس از وقوع زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه، از منطقه زلزله زده بازدید کند و نتیجه بازدید را مشترکاً در گزارشی ارایه نماید[۱]، چه در بررسی‌های خویش در سر محل و چه در مقالات و گزارش‌هایی که سایر کارشناسان از این زمین‌لرزه ارایه کرده‌اند به نمونه‌ای از خرابی ساختمان‌های بتن‌آرمه برخورد نکرده است که در آن ضوابط آیین‌نامه‌ای و خصوصاً" تمهیدات مربوط به شکل‌پذیری بطور کامل رعایت شده باشد. اصولاً" عدم رعایت کامل ضوابط آیین‌نامه‌ای یکی از دلایل عمده تخریب ساختمان‌های بتن‌آرمه در زلزله مزبور بوده است. شایان ذکر است چنین تخطئی از آیین‌نامه مختص ساختمان‌های شهر ارزنجان نیست. در زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه نیز عدم رعایت کامل ضوابط آیین‌نامه‌ای، موجبات تخریب و انهدام بسیاری از ساختمان‌های بتن‌آرمه را فراهم آورده است. البته باید توجه داشت که دانش مهندسی زلزله و فن طراحی و اجرای ساختمان‌های پایدار در برابر زلزله فرآیندی دگرگون شونده و ناایستا است. مقررات و آیین‌نامه‌های امروز ممکن است روز دیگر قطعیت و حتی اعتبار خود را از دست بدهند. ضوابط شکل‌پذیری نیز بیرون از دایره چنین تحولی نمی‌تواند باشد ولی در حال حاضر ضوابط مذکور یکی از عوامل اصلی تأمین‌کنندهٔ پایداری ساختمان‌های بتن‌آرمه در برابر نیروهای جانبی ناشی از زلزله و مطمئن‌ترین راه‌حل برای جلوگیری از انهدام فاجعه‌آمیز آنها در زلزله‌ای شدید به شمار می‌روند.

۱- جواد فرید و یوسف رضایی، گزارش زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان‌شرقی، آبان ماه ۱۳۷۱.

آموخته‌هایی از زلزله‌های اخیر از منظر بازنگری برخی مقررات آیین‌نامه‌ای*

جِی. ام. آیزنبرگ
ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

در این مقاله آموخته‌هایی از زلزله‌های مخرب سال‌های اخیر به اجمال بررسی شده و تحلیل‌هایی از دید مهندسی سازه ارایه شده است. نگارنده به آثار آن دسته از زلزله‌ها که خود آنها را بررسی کرده یا محاسبات و تحلیل‌هایی را مشترکاً با دیگران انجام داده، تکیه نموده است. این زلزله‌ها عبارتند از: زلزله سال ۱۹۸۸ اسپیتاک ارمنستان، زلزله سال ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا کالیفرنیا و زلزله سال ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه.

توجه اصلی بر روی یک نکته متمرکز شده است: درک رفتار سازه‌ای ساختمان‌هایی که مطابق آیین‌نامه‌های متداول و مفاهیم جدید مهندسی زلزله، طراحی و اجرا شده‌اند. نتیجه مقاله بر این مطلب استوار است که برخی مقررات آیین‌نامه‌ای و مفاهیم طراحی نیاز به بازنگری، اصلاح یا تغییر دارند.

---

* J.M. EISENBERG "The Lessons of Recent Earthquakes In View of Seismic Building Codes Improvement" Proc. of 17th Regional European Seminar on Earthquake Engineering, 1994, A.A. Balkema, Rotherdam.

۱ـ مقدمه

در زلزله‌های مخرب سال‌های اخیر، سیستم‌های مختلف سازه‌ای که هماهنگ با آیین‌نامه‌های زلزله طراحی شده‌اند، به صورتی ناباورانه، رفتارهای متفاوتی از آنچه که انتظار می‌رفت، از خود نشان داده‌اند. به عنوان نمونه، در این زلزله‌ها، خسارات اساسی به سازه‌های پیش ساخته با پانل‌های بزرگ وارد نیامده و ساکنان این گونه ساختمان‌ها، آسیب‌هایی را تحمل نکرده‌اند. از طرف دیگر، بسیاری از ساختمان‌های چند طبقه متشکل از قاب در زلزله ۷ دسامبر ۱۹۸۸ ارمنستان و زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه و سایر زمین‌لرزه‌های اخیر گسیخته شده و موجب مرگ هزاران نفر شده‌اند. از این دو نوع ساختمان، آنهایی مدنظرند که مقررات آیین‌نامه‌های زلزله را تامین کرده‌اند. هدف این مقاله بررسی رفتارهای لرزه‌ای متفاوت سیستم‌های مختلف سازه‌ای ساختمان‌های مهندسی ساز و نشان دادن ضرورت تغییر یا اصلاح برخی مقررات آیین‌نامه‌ای است.

۲ـ رفتار لرزه‌ای سیستم‌های مختلف سازه‌ای

برخی از مشخصه‌های مشترک رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های دارای سیستم‌های سازه‌ای متفاوت طی زلزله‌های سال ۱۹۸۸ اسپیتاک ارمنستان و سال ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه ذیلاً بررسی شده است.

۲ـ۱ـ زلزله سال ۱۹۸۸ اسپیتاک ارمنستان

رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های شهر لنین‌آکان طی زلزله ۷ دسامبر ۱۹۸۸ در جدول شماره یک خلاصه شده است. در همین جدول خسارات وارد به ساختمان‌های دارای سیستم‌های متفاوت سازه‌ای و همچنین پریود اصلی اولیه ساختمان‌ها ارایه شده است.

بیشترین تشدید تکان زمین به پریودهای ۵ر۰ تا ۵ر۲ ثانیه مربوط می‌شده و این مقدار در مناطق مختلف با توجه به ضخامت لایه‌های نرم خاک متفاوت بوده است. در زمان زلزله و پس از تشکیل ترک‌های اولیه، پریود اصلی ساختمان‌های متشکل از قاب افزایش پیدا کرده و متعاقب آن از مقاومت و سختی قاب‌ها کاسته شده است (جدول شماره ۲).

جدول ۱ـ خسارات وارد به ساختمان‌های دارای سیستم‌های متفاوت سازه‌ای در شهر لینن‌آکان

سیستم سازه‌ای	تعداد طبقات	میانگین پریود اصلی (ثانیه)	تعداد ساختمان قبل از زلزله	تعداد ساختمان‌های منهدم شده	
				تعداد کل	درصد
پیش ساخته با پانل‌های بزرگ	۹	۰ر۳۵	۱۶	۰	٪۰
بتن آرمه متشکل از قاب	۵ تا ۹	۰ر۶	۶۵	۵۸	٪۸۹
بنایی	۴ تا ۵	۰ر۳	۷۸	۴۸	٪۶۲
بنایی	۱ تا ۳	۰ر۱ تا ۰ر۲	۷۶۸	۲۶۴	٪۳۴

با توجه به ملاحظات به عمل آمده و تحلیل‌های انجام شده، علت رفتار لرزه‌ای ضعیف ساختمان‌های بتنی متشکل از قاب را در ۵ نکته زیر خلاصه می‌کنیم:

۱ـ بار ثقلی زیاد ستون‌ها (چه به صورت استاتیک و چه با در نظرگرفتن تاثیر مولفه قائم زلزله). سطح مقطع ستون‌ها در طبقه همکف یک ساختمان ۹ طبقه معادل ۴۰×۴۰ سانتیمتر و بار وارد بر آنها کاملاً نزدیک به ظرفیت باربری نهایی ستون‌ها بوده است. بار قائم زیاد ستون‌ها، مکانیسم گسیختگی ترد را در آنها سبب شده و از شکل پذیری آنها کاسته است.

۲ـ شدت زیاد زمین‌لرزه که غیر قابل پیش‌بینی و دو برابر شدت طرح بود، به عبارتی دیگر، نیروهای برانگیخته شده در المان‌های سازه‌ای ۴ برابر بزرگتر از نیروهای طراحی بودند.

۳ـ سیطره پریودهای بلند شتاب زمین ناشی از وجود لایه‌های ضخیم خاک نرم که دامنه‌ها را در محدوده پریودهای ۰ر۵ تا ۲ ثانیه برانگیخته است.

پس از ایجاد ترک‌های اولیه در قطعات بتن آرمه، از سختی سازه کاسته شده و پریودهای اصلی ضمن همگامی با پریودهای بلند ارتعاش، طولانی‌تر شده‌اند. بر تغییر مکان جانبی مطلق سازه افزوده شده و در نتیجه اثر P-δ و یا پکیدگی و خرد شدن محدوده‌های

فشاری قطعات بتنی خصوصاً ستون‌ها و کمانش میلگردها، انهدام ساختمان‌ها روی داده است.

همین سناریو، طی زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان، تکرار شده است.

۴ـ زمان دوام نسبتاً طولانی تکان زلزله و پسلرزهٔ دومی که به فاصله زمانی ۵ دقیقه، متعاقب لرزهٔ اصلی روی داده است منتج به دامنه‌های بزرگ و تکرار شونده حرکات افقی شده است، به عبارتی دیگر، ساختمان‌ها متوالیاً به ارتعاش با دامنه‌های بزرگ وا داشته شده‌اند. این امر عامل دیگری برای انهدام کامل ساختمان‌های بتن آرمه متشکل از قاب در لنین‌آکان بوده‌است.

۵ـ در بسیاری حالات، اجرای المان‌های اتکایی، خصوصاً اتصالات با تخطئی جدی از تکنولوژی درست، روبرو بوده است. در موارد زیادی، تفاوت‌های اساسی بین اجزای طراحی شده و ساخته شده، جوشکاری در ستون‌ها و تیرها و نیز در دیافراگم‌های قائم مشاهده گردیده است.

دلایل مذکور، برای انهدام ساختمان‌های متشکل از قاب‌های بتن آرمه، کافی بوده است.

در همان منطقه و در مجاورت ساختمان‌های بتن آرمه منهدم شده متشکل از قاب، ساختمان‌های پیش ساخته با پانل‌های بزرگ با ارتفاعی همسان ساختمان‌های مذکور، رفتار بسیار مناسبی طی زلزله ۷ دسامبر ۱۹۸۸ نشان دادند. حتی در مناطق مرکزی زلزله یعنی در

جدول ۲ـ تغییر پریود طبیعی ساختمان‌های متشکل از قاب در شهر لنین‌آکان در زلزله ۱۹۸۸ ارمنستان

سیستم سازه‌ای	تعداد طبقه	پریود اصلی به ثانیه	
		پریود طبیعی قبل از زلزله	پریود بعد از زلزله
قاب بتن آرمه	۹	۰٫۶	۱٫۸
قاب بتن آرمه + دیوارهای برشی	۱۰	۰٫۹۵	۱٫۶
ساختمان با دال بالاکشیده شده	۱۶	۰٫۹	۱٫۳۴

اسپیتاک، ۲ ساختمان ۵ طبقه متشکل از پانل‌های بزرگ، آسیب‌های اساسی ندیدند و کسی از ساکنان آنها زخمی نگردید.

دلایل اصلی رفتار لرزه‌ای مناسب ساختمان‌های پیش ساخته با پانل‌های بزرگ عبارتند از:

۱ـ بارهای قائم در دیوارها بسیار کوچکتر از بارهای قائم ستون‌ها در ساختمان‌های متشکل از قاب بوده‌اند.

۲ـ ساختمان‌ها اساساً صلب می‌باشند و از این رو بارهای طراحی زلزله، مطابق طیف‌های استاندارد آیین‌نامه‌ای، فقط دو برابر بزرگتر از بارهای طراحی برای نرم‌ترین ساختمان قابی‌شکل بوده است.

۳ـ با توجه به جابجایی نسبی اندک بین پانل‌ها در حین زلزله، استهلاک انرژی روی داده از نوع اصطکاکی خشک است و این امر به کاهش نیروهای زلزله و نیز تقلیل تغییرمکان کلی ساختمان کمک می‌کند.

۴ـ ساختمان‌های متشکل از پانل‌های بزرگ پیش ساخته "خطوط دفاعی" ذخیره بسیاری دارند. حتی در صورت آسیب دیدن یکی از چندین پانل تشکیل دهنده سازه این امر منجر به گسیختگی و انهدام کامل ساختمان نمی‌شود. در حالی که گسیختگی یکی از ستون‌ها در طبقه همکف یک ساختمان متشکل از قاب، می‌تواند موجب انهدام تمام یا قسمتی از ساختمان بشود.

۵ـ پانل‌های پیش ساخته در کارخانه تولید می‌شوند که در آن کیفیت بتن معمولاً نسبت به بتن ریخته شده در محل بالاست، به علاوه پانل‌ها با استفاده از جوش در جهات قائم و افقی به یکدیگر متصل می‌شوند.

۲ـ۲ـ زلزله سال ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه

جدول شماره ۳، تعداد ساختمان‌های مسکونی و اداری ـ تجاری آسیب دیده در شهر ارزنجان و نیز شهرها و روستاهای مجاور آن را نشان می‌دهد. دستیابی به یک طبقه‌بندی کاملتر و حاوی جزییات بیشتر از سازه‌های آسیب دیده، تحقیقات دیگری را با توجه به عوامل و شاخص‌های متفاوت می‌طلبد.

جدول ۳ـ تعداد آپارتمان‌های مسکونی و اداری ـ تجاری خسارت دیده در زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان

منطقه و محل	انهدام کامل یا خسارات زیاد		خسارات متوسط		خسارات کم	
	آپارتمان‌های مسکونی	دفاتر و مغازه‌ها	آپارتمان‌های مسکونی	دفاتر و مغازه‌ها	آپارتمان‌های مسکونی	دفاتر و مغازه‌ها
شهر ارزنجان	۱۳۴۴	۸۲۵	۲۸۸۱	۴۰۹	۳۸۳۲	۲۲۹
۷۵روستای مجاور ارزنجان	۱۴۶۹	۲۹	۱۵۴۷	۲۴	۲۳۸۲	۴۴
شهر اوزوملو	۲۳	۰	۳۰	۰	۲۹۴	۱۳
۲۵روستای مجاور اوزوملو	۴۰۶	۰	۳۴۶	۲	۶۲۳	۶
جمع	۳۲۴۲	۸۵۴	۴۸۰۴	۴۳۵	۷۱۳۱	۲۹۲

ساختمان‌های آسیب دیده و منهدم شده در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان را با توجه به سیستم سازه‌ای آنها، تقریباً می‌توان در دو گروه رده‌بندی کرد:

گروه اول: در این گروه، ساختمان‌هایی قرار دارند که دیوار آنها از سنگ لاشه یا خشت خام بوده و دارای سقفی مسطح و سنگین و گلی می‌باشند. در مناطقی که شدت زلزله به ۹ درجه در مقیاس MSK رسیده است، بسیاری از این گونه ساختمان‌ها منهدم شده یا آسیب‌های اساسی دیده‌اند. برای مثال در روستای داوارلی[1] واقع در ۲۵ کیلومتری غرب ارزنجان، ترک‌های گسیختگی در دیوارها در اثر زلزله کاملاً مشهود بودند و حدود ۶۰٪ ساختمان‌ها منهدم شدند. دیوارهای بنایی غیر مسلح و متشکل از آجرهای توخالی که در ترکیه مورد استفاده وسیعی دارند نیز رفتار بسیار ضعیفی از خود نشان دادند.

در شهر اوزوملو[2] در بیست کیلومتری شرق ارزنجان، اکثر ساختمان‌های ۳ طبقه جدیدالاحداث کلاً یا به صورت موضعی تخریب شدند که دیوارهای آنها از آجرهای مجوف تشکیل شده و ضخامت دیوارها ۳۲ سانتیمتر بود. اغلب ساختمان‌های گروه اول توسط افراد فنی اجرا نشده بلکه توسط صاحبان خانه‌ها و با مصالح محلی دم دست ساخته

1 - Davarli 2 - Uzumlu

شده‌اند، لذا استفاده از تحلیل‌های دقیق و پیشرفته در ارزیابی مقاومت سازه‌ای آنها **موردی** ندارد.

گروه دوم: گروه دوم ساختمان‌هایی را **که آسیب‌های** اساسی دیده و یا منهدم شده بودند، ساختمان‌های بتن آرمه متشکل از قاب با انواع مختلف و کیفیت متفاوت المان‌های سازه‌ای تشکیل می‌دادند. در این ساختمان‌ها، در مواردی قاب‌ها کاملاً ریزش کرده و در مواقعی پایدار مانده بودند. متداولترین مصالح پرکننده بین قاب‌ها، آجرهای مجوف بودند. سطح مقطع ستون‌ها متغیر و اندازه اضلاع آنها از ۲۰ تا ۴۰ سانتیمتر بود و ارتفاع تیرها نیز از ۵۵ تا ۷۰ سانتیمتر تغییر می‌کرد.

در محاسبات دینامیکی که بر اساس شتابنگاشت تکان قوی ثبت شده در زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان انجام گرفت، سیطره پریودهای بلند و تغییر مکان‌های زیاد، قابل ملاحظه بود.

بطور کلی، علل اساسی انهدام کامل ساختمان‌های متشکل از قاب‌های بتن آرمه در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان، همان دلایلی است که برای زلزله ۱۹۸۸ لنین آکان شمرده شد.

۳ـ برخی ملاحظات کلی

۱ـ در زلزله‌های اخیر همچنانکه زمین‌لرزه‌های شدید سال‌های گذشته، بسیاری از ساختمان‌های ضعیف با دیوارهای خشتی و گلی و سنگی غیر مسلح و آجری مجوف شدیداً آسیب دیده یا گسیخته شدند. جامعه امروزی در رابطه با این نوع ساختمان‌ها دو موضوع را باید مدنظر قرار دهد: مورد اول اجتماعی و سیاسی و خارج از حرفه مهندسی است. مورد دوم، دقیقاً یک مسئله فنی است و عبارت از ساخت و توسعه یک سیستم مناسب سازه‌ای مقاوم به زلزله است که ارزان قیمت و ساده بود و احداث بنا با آن نیاز چندانی به آموزش یا افراد فنی مجرب نداشته باشد. در این مورد در بندهای بعدی مقاله با ارایه جزییات بیشتری بحث خواهیم کرد.

۲ـ نتیجه‌گیری اصلی و مشترک زلزله‌هایی که در این مقاله بررسی گردیدند مربوط به رفتار ضعیف ساختمان‌های متشکل از قاب بتن آرمه، خصوصاً آن دسته از

ساختمان‌هاست که طراحی آنها مطابق آیین‌نامه‌های رایج زلزله انجام گرفته است. بسیاری از ساختمان‌های متشکل از قاب‌های بتن آرمه در زلزله ۷ دسامبر ۱۹۸۸ لنین آکان [۱ و ۵] و زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان گسیخته شدند [۸ و ۹]. قاب‌های بتن آرمه در زلزله‌های یونان، فیلیپین و سایر مناطق لرزه‌خیز دنیا نیز رفتار ضعیفی نشان داده‌اند.

۳ـ دلایلی عمده و عملی رفتار ضعیف قاب‌های بتن آرمه‌ای که با استفاده از آیین‌نامه‌های متداول طراحی شده‌اند، پیشتر آورده شده است.

۴ـ پریودهای طولانی تکان لرزه‌ای زمین در غالب موارد در اثر تشدید لایه‌های نرم خاک حاصل می‌شوند. این یک مورد بسیار متداول است، زیرا که اکثر شهرها روی دره‌هایی با لایه‌ها آبرفتی نرم ولی با عمق زیاد بنا شده‌اند. در مواقعی، پالس‌های شتاب پریود طولانی در لایه‌های سنگی و در مناطق مجاور به گسل ثبت شده است، برای مثال می‌توان از زلزله ۱۹۸۹ لوماپری‌تیا ـ کالیفرنیا، زلزله ۱۹۹۱ شیلی و دیگر زمین‌لرزه‌ها نام برد [۶ و ۷].

۵ـ مفهوم شکل‌پذیری که در اکثر آیین‌نامه‌های زلزله پذیرفته شده است در مواردی به خوبی عمل نمی‌کند. شکل‌پذیری یک مفهوم جامع و مطلقی نیست و نیاز به بازنگری و اصلاح دارد. یک بیان از مفهوم شکل‌پذیری آن است که تغییر مکان افقی غیر ارتجاعی‌ای که سازه می‌تواند آن را بدون گسیختگی تحمل کند بایستی ۲ تا ۴ برابر و در برخی آیین‌نامه‌ها ۱۰ تا ۱۲ برابر بزرگتر از تغییر مکان ارتجاعی در حالت تسلیم باشد. این بدان معناست که ضریب شکل‌پذیری از ۲ تا ۱۰ متغیر است [۱۰ و ۱۱]. اما در صورتی که کاهندگی سختی را در قاب‌های بتن آرمه در نظر بگیریم، روابط موجود بین تغییر مکان افقی ماگزیمم و تغییر مکان حالت تسلیم حدوداً ۱۲ برابر بالاست، لذا شکل‌پذیری نیز به صورت غیر واقعی بالاست.

شایان ذکر است که فرضیه مقدماتی تساوی پاسخ تغییر مکان‌های ماگزیمم و یا انرژی‌های سیستم‌های خطی و غیر خطی در بسیاری موارد نادرست است [۱ و ۷ و ۸]. از این رو مفهوم شکل‌پذیری باید بازنگری شود. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با استفاده از حلقه‌های هیسترتیک واقعی و تایید شده توسط آزمایش‌ها و شتابنگاشت‌های

ثبت شده یا مصنوعی تکان قوی زمین که عدم قطعیت پارامترهای مربوط به زلزله‌های آتی را در نظر می‌گیرند، بایستی در آیین‌نامه‌ها لحاظ گردد، **خصوصاً** که طراحی سیستم‌های سازه‌ای نظیر قاب‌های بتن آرمه در معرض **اشتباه و اختلاف** ناشی از پیش‌بینی پارامترهای حرکات زلزله قرار دارند.

۶ـ در مناطقی نظیر ارزنجان و لنین‌آکان و مناطق دیگری که روی لایه‌های ضخیمی از خاک نرم قرار دارند، اصولاً باید از احداث ساختمان‌های متشکل از قاب‌های بتن آرمه خصوصاً برای کاربری‌های آپارتمانی و اداری که در آنها وجود ستون‌ها و تیرها با ابعادی بزرگ از نقطه نظر معماری ناخوشایند است، اجتناب کرد. در چنین مواردی استفاده از ساختمان‌های صلب با دیوارهای باربر که قابلیت جذب انرژی زیادی دارند، ارجح است.

۷ـ سیستم‌های سازه‌ای مقاوم به زلزله دیگری، بغیر از قاب‌های بتن آرمه وجود دارند که از نقطه‌نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه‌اند. این سیستم‌ها عبارتند از: ساختمان‌های پیش‌ساخته با پانل‌های بزرگ، ساختمان با دیوارهای یکپارچه بتن آرمه، ساختمان با دیوارهای سه لایه‌ای که جدار داخلی آن از بتن مسلح یا غیر مسلح تشکیل شده و لایه خارجی آن می‌تواند از هر نوع مصالح قابل دسترس محلی نظیر آجرهای مجوف، سنگ‌های ساختمانی و بلوک‌های سیمانی یا حتی خشتی انتخاب شود.

۸ـ برای مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه، دیوار سه لایه پیشنهادی مزایای زیر را در مقایسه با سایر سیستم‌ها دارد:

- **نیاز به** احداث کارخانه برای تولید المان‌های پیش ساخته نظیر پانل‌های بزرگ پیش‌ساخته **وجود** ندارد.
- **نیازی به استفاده** از چوب یا دیگر مصالح قالب‌بندی آن‌طور که برای ساخت جدار **یکپارچه بتن** آرمه وجود دارد، نیست.
- **امکان استفاده** از مصالح قابل دسترس در محل به عنوان جدار سوم خارجی نظیر آجرهای مجوف، توف، سنگ، بلوک‌های سیمانی حتی خشتی، وجود دارد.
- **سهولت اجرا**، که امکان احداث خانه و سرپناه را به توسط روستاییان فراهم می‌آورد،

روستاییانی که در زلزله‌های اخیر بیشترین قربانی‌ها را داده‌اند.

۹ـ در صورتی که احداث سیستم سازه‌ای متشکل از قاب، بنا به ملاحظات معمارانه ضروری تشخیص داده شود، استقرار دیوارهای برشی نیز برای پایداری در برابر نیروهای جانبی ناشی از زلزله ضرورت پیدا می‌کند. تعداد و نحوه توزیع بهینه دیوارها بایستی با آنالیز دینامیکی بر مبنای تاریخچه زمانی تعیین گردند.

۱۰ـ وقتی که شرایط معماری، اقتضا کند که فضای بزرگی را در طبقه‌ای با ستون‌ها یا المان‌های قائم ظریف تامین کنیم، در چنین مواردی می‌توان از المان‌های ذخیره دیگری برای جذب انرژی لرزه‌ای در همان طبقه استفاده کرد. شایسته است تحلیل و طراحی چنین المان‌های ذخیره‌ای با توجه به جداگرهای لرزه‌ای ارزان قیمت انجام گیرد.

۱۱ـ بسیاری از زلزله‌های سال‌های اخیر، اهمیت اساسی ریز پهنه‌بندی را که در نهایت به طراحی صحیح و معقول سازه‌ها می‌انجامد، نشان داده‌اند. برای نمونه عدم توجه به شرایط خاک در لنین‌آکان یکی از دلایل مرگ هزاران نفر در زلزله ۱۹۸۸ به شمار می‌رود، چرا که سازه‌های قابی و سازه‌های با دال‌های بالا رونده با همان نیروهایی طراحی شده بودند که در صورت استقرار سازه‌ها روی خاک سفت یا سنگی به دست می‌آمدند، در حالی که در لنین‌آکان اکثر ساختمان‌ها روی خاک نرم ضخیمی قرار داشتند که با قشر نازک سنگی (توف) پوشیده شده بود. نیروهای ناشی از زلزله برای ساختمان متشکل از قاب ۲ تا ۴ برابر کمتر از نیروهای همان سازه مستقر روی بستر نرم آبرفتی است. روش‌های ریز پهنه‌بندی باید تکمیل شوند و توجه لازم به استخراج و ارزیابی دقیق پارامترهای مورد نیاز طراحی از این روش‌ها به عمل آید.

۱۲ـ تلاش‌های تحقیقاتی باید ادامه یابند و گسترش پیدا کنند تا از عدم قطعیت‌هایی که در پیش‌بینی پارامترهای زلزله‌های آتی وجود دارد بکاهند و طراحی سیستم‌های سازه‌ای را در برابر این عدم قطعیت‌ها ایمن‌تر سازند.

۴ـ نتیجه گیری

۱ـ طی مقاله، تاثیر زلزله‌های مخرب سال‌های اخیر کشورهای مختلف از جمله ارمنستان، کالیفرنیا ـ امریکا و ترکیه مورد مداقه قرار گرفت.

۲ـ زلزله‌های اخیر رفتار ضعیف سازه‌های متشکل از قاب بتن آرمه را که هماهنگ با آیین‌نامه‌های متداول طراحی و اجرا شده‌اند، نشان داده‌اند. اصلاحاتی روی مفاهیم طراحی و مقررات آیین‌نامه‌ای نظیر مفهوم شکل پذیری ضروری است.

۳ـ برای مناطقی نظیر لینن‌آکان و ارزنجان که روی لایه‌های ضخیمی از خاک نرم و آبرفتی قرار دارند، احداث ساختمان‌های صلب با دیوارهای جاذب انرژی ارجح‌تر از بنای ساختمان‌های متشکل از قاب است.

۴ـ دیوار سه لایه‌ای برای استفاده در مناطق روستایی پیشنهاد شده است. در صورتی که برخی مصالح در محل قابل دسترس باشند، استفاده از آنها در لایه سوم به عنوان نمای ساختمان توصیه می‌شود. یک پروژه تحقیقاتی برای مطالعه پارامترهای بهینهٔ چنین دیواری بایستی آغاز و هدایت شود.

۵ـ دقت و توجه زیادی در زمینه ریز پهنه‌بندی همچنین در تعیین پارامترهای جنبش‌های زمین باید به عمل آید تا طراحی و اجرای سیستم‌های سازه‌ای کمتر در معرض خطاهای مطالعات لرزه نگاری قرار گیرند.

مراجع

1. Eisenberg J.M. (1989) "Some Lessons of the Armenia Earthquake, December 7, 1988", Science and Life , No. 8, PP 24-32.
2. "Armenia Earthquake Reconnaissance Report" Earthquake Spectra, Special Supplement (August 1989), PP. 1-175.
3. Hadjian A.H. (1993) "The Spitak, Armenia Earthquake of 7 December 1988 - Why So Much Destruction" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, No. 12, PP. 1-24.
4. Wyllie L.A., (1992) "Analysis of the Collapsed Armenian Precast Concrete Frame Buildings", Proc.X WCEE, PP. 63-66.
5. Chalturin V.I., Shomachmadov A.M., Gedakian E.G., Sargsian N.M., Mhitarian L.A., "The Intensity Amplification of Seismic Ground Motion In Leninakan (in Russian)", Proc. Institute Physics of Earth, Academy of Sciences of the USSR, Science Editors, Moscow, 32 PP. 5-21.
6. "Reflections on the October 17, 1989, Loma Prieta Earthquake", SEAOC, (April 1, 1991), PP. 1-173.
7. Eisenerg J.M., Denisov B.E., Dorofeev V.M., Nazarov Y.P., Smirnov V.I., Skladnev N.N, (1990), "The Earthquake at San Jose (Loma Prieta) California of 17 October 1989", Structural Mechanics and Design, Moscow, No. 4, PP. 2-9.
8. Yarar R., Eisenberg J, Smirnov V., (1992), "A Short Report on the Erzincan Earthquake, March 13, 1992 and Some Analysis - Engineering Aspects", Earthquake Engineering No. 1, Moscow,PP. 29-36.
9. Yarar R., Eisenberg J., Karadogan F. (1993) "A Preliminary Report on the Erzincan Earthquake, March 13, 1992", Proc. of the Second Turkish National Conference In Earthquake Engineering, PP. 437-451.
10. Housner G.W., Jennings P.C. (1982). "Earthquake Design Criteria", EERI Monograph Series PP. 1-135.
11. Park R., Paulay T., (1975) "Reinforced Concrete Structures", John Wiley and Sons, New york.

رفتار سازه‌های فولادی، بتنی و آجری در زلزله‌های اخیر ارمنستان و ایران. کاستی‌های طراحی و اجرا*

دکتر زاره گریگوریان، مهندس گارن گریگوریان
ترجمه مهندس جواد فرید

مقدمه

زلزله‌های شدیدی طی دو سال گذشته در بخش‌های شمالی ایران، ارمنستان، پاکستان و ترکیه روی داده است که موجب کشته شدن بیش از ۷۵۰۰۰ نفر، وارد آمدن خساراتی معادل میلیاردها دلار و بی‌خانمانی بیش از نیم میلیون نفر شده‌اند. این زمین‌لرزه‌ها نتیجهٔ حرکات تکتونیکی صفحه عربستان است که سالانه با نرخی معادل یک اینچ (۲٫۵۴ سانتیمتر) به طرف شمال یعنی صفحه اروپایی ـ آسیایی حرکت می‌کند. منطقه برخورد این صفحات خطی است که از شمالی‌ترین نقطه افغانستان تا ارمنستان و ترکیه کشیده می‌شود و از پاکستان و ایران می‌گذرد [۱].

زلزله اسپیتاک ارمنستان

زلزله ارمنستان در ۷ دسامبر ۱۹۸۸ با بزرگی ۶٫۹ درجه در مقیاس ریشتر و با پس‌لرزه‌ای به بزرگی ۵٫۸ در همان مقیاس، اتفاق افتاد. مرکز سطحی زلزله در نزدیکی شهر اسپیتاک در

---

* GREGORIAN Z., GREGORIAN G., "Performance of Steel, Concrete and Masonry Structures in Recent Earthquakes of Armenia and Iran. Design and Contruction Deficiencies" Proc. of first ICSEE, Vol. III, May 1991, Tehran.

حدود ۸۰ کیلومتری شمالی ایروان، مرکز ارمنستان واقع بود [۲]. گسلی طولانی به درازای ۴۰ کیلومتر که در مرحله اول طول آن ۸ کیلومتر پنداشته می‌شد در شهر اسپیتاک حادث شد که راستای آن شمالی ـ غربی به طرف شهر لنین آکان بود و جابجایی‌های قائم و افقی در اثر آن به ترتیب به ۱۸۰ سانتیمتر و ۵۰ سانتیمتر رسید.

با توجه به عمق کانونی اندک زلزله، انرژی رها شده شعاع کوچکی داشت، از این رو زلزله خسارات شدید و تخریب‌های اساسی به سه شهر بزرگ اسپیتاک، لنین‌آکان و کروواکان و به شهر کوچک آخوریان وارد آورد. شهر اسپیتاک با خاک یکسان شد و فقط ۲۵٪ ساختمان‌ها در لنین‌آکان بر سر پا ماندند.

در اسپیتاک، اغلب ساختمان‌ها با استفاده از دال‌های مجوف بتنی که روی دیوارهای بنایی تکیه می‌کنند، ساخته شده بودند. این ساختمان‌ها دارای ۴ یا ۵ طبقه بوده و بیشترین صدمات را به دلیل فقدان کلاف‌های افقی و قائم متحمل شدند.

در کروواکان، لایه‌های خاک تشدید اندکی را روی نیروهای زلزله باعث شده بودند، از این رو صدمات وارد بر ساختمان‌ها در این شهر به رغم نزدیکی به مرکز زلزله کمتر از لنین‌آکان بود. در شهر لنین‌آکان که بر روی بستری هموار از آبرفت‌های رسوبی و توف‌های آتشفشانی استقرار یافته است، عمل تشدید ناشی از مشخصات نامناسب خاک به وقوع پیوسته و موجب گسیختگی غالب ساختمان‌ها شده است. چنین منطقه‌ای برای احداث ساختمان‌های مقاوم به زلزله متناظر با نیروهای قراردادی و سیستم‌های متداول ساختمانی مناسب نیست. لایه‌های آبرفتی زمین در جریان زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی نیز باعث بروز خرابی‌های مشابهی در مرکز شهر گردیدند [۳].

به علت کمبود اساسی مسکن در اتحاد جماهیر شوروی سابق، برنامه‌های دو دهه قبل بر مبنای احداث ساختمان‌های بلند مرتبه در مناطق متراکم جمعیتی و در کوتاهترین زمان ممکن استوار بود. از این رو سیستم ساختمان‌های پیش‌ساخته بتنی به خاطر تولید انبوه و سرعت نصب آن، برگزیده شده بود. نقشه‌های استانداردی برای همه کشور تهیه شده بود که برای مناطق زلزله خیز معروض به تغییرات جزئی بود. این سیستم‌ها مشتمل بود بر:

۱ـ ساختمان‌های پیش ساخته بتن آرمه

این ساختمان‌ها متشکل از دیوارهای پیش ساخته باربر و دال‌های توخالی است. دیوارهای پیش ساخته در محل تقاطع خود با آرماتور قائمی که از میان میلگردهای خم شده به شکل U و جایگذاری شده در لبه دیوارها می‌گذرد به یکدیگر متصل می‌شوند. درز قائم پس از نصب و استقرار دیوارهای متقاطع، در محل دوغاب‌ریزی می‌شود. ناهمواری‌هایی در سطوح جانبی پانل‌های قائم ایجاد می‌شوند تا جوابگوی نیروهای برشی ناشی از تأثیر نیروهای جانبی باشند. ساختمان‌های متشکل از دیوارهای باربر به علت سهولت روش نصب و نحوه اتصال در محل درز، رفتار مناسبی در حین زلزله نشان دادند که در صورت حذف اشتباهات اجرایی این رفتار می‌توانست بهتر باشد.

۲ـ ساختمان‌های اجرا شده به روش بالا کشیدن دال‌ها

سیستم متداول دیگر ساختمانی، سیستم اجرایی به روش دال بالا رونده است که در حالت کلی نیازمند اعمال دقت زیاد در جزییات، کیفیت برتر اجرایی و نظارتی است و نبود هریک از این عوامل می‌تواند به تخریب چنین ساختمان‌هایی بیانجامد.

ساختمان‌هایی که به روش دال بالا رونده اجرا شده‌اند تا به حال در حین زمین‌لرزه‌ها رفتار مناسبی نداشته‌اند. یک نمونه از چنین سیستمی، یک ساختمان شش طبقه است که در زلزله ۱۹۶۴ پرنس ویلیام ساوند در آنکریج آلاسکا گسیخته شد. متاسفانه ساختمان‌های زیادی از این نوع در مناطق دیگر، خصوصاً در ایروان پایتخت ارمنستان وجود دارند که نیازمند توجه فوری برای تقویت و مقاوم سازی می‌باشند.

۳ـ سیستم با قاب پیش ساخته بتنی

سیستم دیگر ساختمانی متداول در منطقه، سیستم با قاب پیش ساخته بتنی است. این سیستم متشکل از قاب‌های لنگرگیر و یا پانل‌های دیواری برشی پیش ساخته در یک یا در هر دو جهت می‌باشد.

هفتاد و دو سازه از این نوع که در لنین آکان ساخته شده بودند کاملاً منهدم شدند و ۵۵ سازهٔ

دیگر آسیب‌های اساسی دیدند که منجر به تخریب و جمع آوری گردیدند.
نویسندگان مقاله به پلان یک ساختمان ۹ طبقه از این نوع (شکل‌های ۱و۲) که در حین زلزله گسیخته شده، دست یافته و شیوه طراحی و کاستی‌های اجرایی آن را که منجر به گسیختگی شده است آزمودند [۴].

ساختمان یک سازه ۹ طبقه متشکل از قاب پیش ساخته بتنی است که طول دهانه‌های آن در هر جهت ۶ متر است و دو پانل دیوار برشی در دهانه‌های انتهایی قاب‌های میانی قرار داده شده‌اند. دیوارهای برشی متشکل از پانل‌های پیش ساخته به صفحات فلزی مخصوصی که پیشاپیش در لبه تیرها و ستون‌ها جایگذاری شده، جوش می‌شوند. کف‌ها از دال‌های مجوف بتنی به ارتفاع ۲۲ سانتیمتر تشکیل شده است، این دال‌ها عملاً درگیری فیزیکی با تیرهای باربر و نیز با پله‌های پیش ساخته ندارند و فاقد قشر بتنی رویی هستند.

سیستم ساختمانی کلاً مشتمل است بر:

الف) ستون پیش ساخته بتن آرمه به ارتفاع ۲ طبقه که محل وصله آن به ستون طبقه بعدی در $\frac{1}{3}$ ارتفاع طبقه پیش‌بینی‌شده و اتصال آن با ستون طبقه‌بعدی با جوش آرماتورهای بیرون مانده از ستون‌ها و بتن‌ریزی در محل تامین می‌شود.

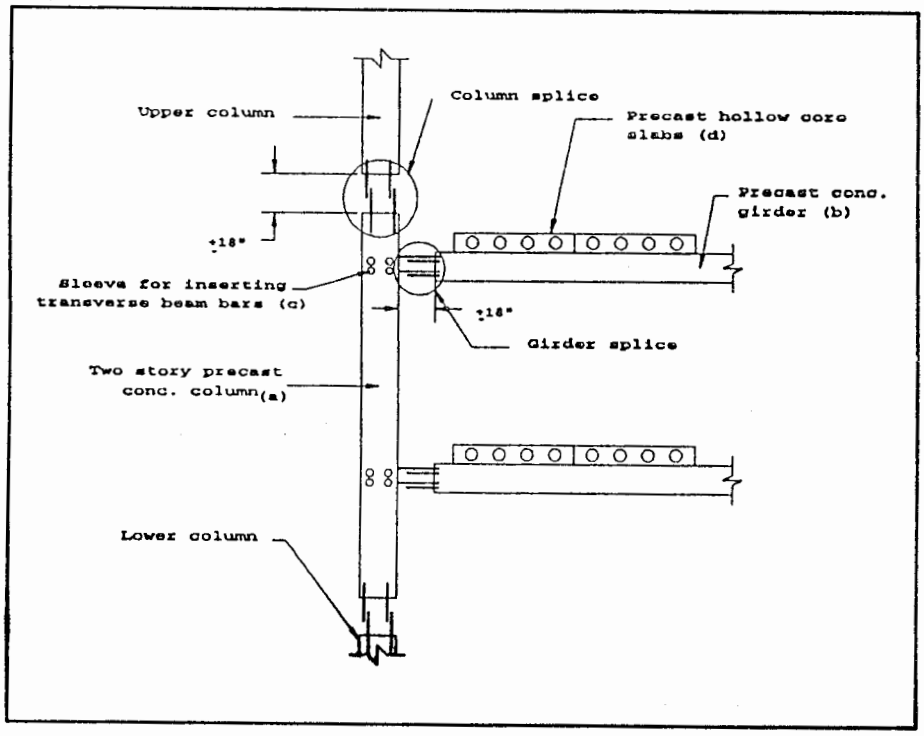
ب) تیر پیش ساخته بتنی در جهت اصلی با میلگردهای بیرون آمده در دوسر تیر که به آرماتورهای انتظار بیرون مانده از ستون‌ها در راستای جایگذاری تیر جوش می‌شوند. پس از انجام جوشکاری، محل اتصال با بتن پر می‌شود.

پ) تیر پیش ساخته بتنی در جهت فرعی با میلگردهای بیرون آمده از دو سر تیر که به آرماتورهای فرو رفته در درون غلاف‌های جایگذاری شده در ستون‌ها جوش می‌شوند. محل اتصال، پس از اتمام عمل جوشکاری، مجدداً با بتن پر می‌شود.

ت) دال‌های پیش ساخته مجوف بتنی که روی تیرهای اصلی قرار می‌گیرند و به عنوان دیافراگم افقی عمل می‌کنند و در غالب موارد فاقد بتن رویی هستند.

ث) پانل‌های پیش ساخته برشی بتنی با صفحات پیش‌بینی شده جهت اتصال به تیرها یا ستون‌ها

ج) پله‌های پیش ساخته که به تیرهای دور چاهک پله متصل می‌شوند.



شکل ۱ـ مقطع و اجزای قاب پیش ساخته بتنی

مطالعه موردی ساختمان ۹ طبقه در لینن‌آکان با دیوارهای برشی در یک جهت و قاب‌های لنگرگیر در جهت دیگر مطابق آیین‌نامه UBC، با فرض منطقه ۴ و خاک از نوع سست و سایر فرضیات ملحوظ شده، نیروهایی به شرح ذیل را به دست می‌دهد.

بار مرده بام = 160 psf (780 kg/m^2)

بار زنده بام = 40 psf (200 kg/m^2)

بار مرده طبقات = 180 psf (880 kg/m^2)

بار زنده طبقات = 40 psf (200 kg/m^2)

برش پایه در جهت قاب لنگرگیر با استفاده از مقررات UBC برابر است با:

$$V=\frac{ZICR}{Rw} \qquad C=1.25\frac{S}{\sqrt[3]{T}} \qquad T=C_t(h_n)^{3/4}$$

با در نظر گرفتن: $I=1 \quad Z=0.4 \quad Rw=5$

داریم: $T=0.9$ sec

$C=2.01$

$W=60\times60\times(160+40+8\times180)/1000=5904$ kips (2680 ton)

$V= 0.4\times1\times2.01\times5904/5=948$ kips (430 ton)

برشی که توسط قاب B-B در طبقه اول گرفته می‌شود برابر است با:

948/3=316 kips (144 ton)

و برشی که توسط ستون میانی قاب B-B در محاذات طبقه اول گرفته می‌شود برابر است با:

316/3=105 kips (48 ton)

لنگر در محل وصله ستون برابر است با:

105 (1/2 - 1/3) h = 105 (1/2 - 1/3) × 13 = 277 k-ft (38 t-m)

بار قایم ستون در طبقه اول برابر است با:

20×20 (200+8×220) / 1000 = 784 kips (356 ton)

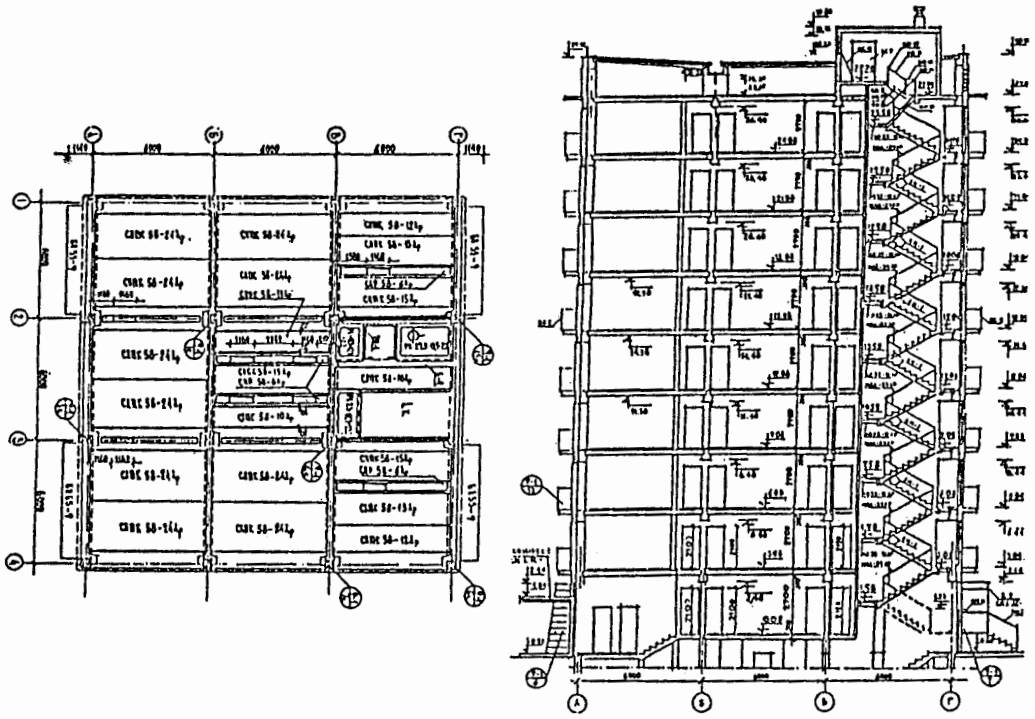
و برش معادل است با: 105 kips (48 ton)

یک ستون به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتیمتر با ۱٪ میلگرد (با چشم پوشی از اثرات جمع شدگی بتن و با فرض مقطع ترک‌نخورده) برای نیروهای فوق‌الذکر کنترل می‌شود و تنش‌های زیر نتیجهٔ آن است:

fs = 63 ksi (4430 kg/cm^2)

fc= 3.75 ksi (264 kg/cm^2)

این مقادیر بسیار بزرگتر از تنش‌های مجاز مصالح متداولی هستند که در احداث چنین ساختمان‌هایی به کار برده می‌شوند.



شکل ۲ـ پلان و مقطع ساختمان ۹ طبقه بتنی پیش ساخته

کاستی‌های مربوط به طراحی و ارایه جزییات اجرایی و نواقص مربوط به عملیات اجرایی به شرح زیر ملاحظه شده‌اند:

کاستی‌های طراحی

۱ـ با توجه به گزارشی که توسط مهندسان امریکایی پس از بازدید از مناطق زلزله زده ارمنستان منتشر شد، نیروهای عمل کننده بر روی سازه‌ها ۴ برابر بیشتر از نیروهایی بودند که سازه‌ها برای آنها طراحی شده بودند. این اختلاف در نیروها می‌تواند منجر به تشدید شود که حاصل انطباق فرکانس‌های طبیعی ساختمان با فرکانس‌هایی است که از اعمال نیروهای واقعی بر ساختمان برانگیخته می‌شوند [۶].

۲ـ ضرایب تشدید مربوط به خاک به درستی در طراحی در نظر گرفته نشده بود.

۳ـ قاب‌های پیش ساخته‌ای که به عنوان لنگرگیر در نظر گرفته شده بودند فارغ از تمهیدات و ضوابط شکل‌پذیری برای چنین سازه‌ای بودند و با توجه به آیین‌نامه‌های جدید، اصولاً چنین قاب‌هایی را نمی‌توان لنگرگیر در نظر گرفت [۷ و ۸].

۴ـ پانل‌های دیوار برشی در محل اتصال به تیر و ستون جزییات اتصال ضعیفی داشتند. جایگذاری دیوارهای‌برشی در دهانه‌میانی می‌توانست از اثرات پیچش صفحه‌ای بکاهد.

کاستی‌های مربوط به جزییات اجرایی

۱ـ جزییات وصله آن‌طوری که طراحی و اجرا شده بود نقص اساسی زیر را دارد: میلگردهای جوش شده با همپوشانی موجب ایجاد برون محوری غیر قابل پیش‌بینی در میلگردها می‌شود. کیفیت پایین بتن و نحوه نامناسب جایگذاری آن و جمع‌شدگی بتن ستون در محل درز سبب شده است که انتقال نیرو عمدتاً توسط میلگردها انجام پذیرد و غالب گسیختگی‌ها در محل اتصال تیر و ستون اتفاق بیفتد.

۲ـ نبود بتن رویی در دال‌های مجوف، از قابلیت کف به عنوان دیافراگم منتقل کننده نیروهای جانبی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاسته است.

کاستی‌های اجرایی

۱ـ نصب ستون ها با بلند کردن و بالا نگهداشتن آنها توسط جرثقیل و جوش همزمان وصله‌ها انجام می‌شود. این امر منجر به ناشاقولی قابل توجهی در ستون‌ها می‌شود و عملاً موجب برون محوری و ایجاد تنش‌های اضافی در ستون‌ها می‌گردد.

۲ـ کیفیت بتن با توجه به عدم کاربرد مصالح مرغوب و خصوصاً کمبود سیمان مصرفی، پایین‌تر از مشخصات طراحی بود. در استفاده از آرماتور نیز به صورت غیر قابل قبولی صرفه‌جویی شده بود.

۳ـ پر کردن درزها با بتن نیاز به دقت زیادی دارد تا تاثیر جمع شدگی بتن را بکاهد.

۴ـ بطور کلی کیفیت ساخت و اجرا ضعیف بود.

زلزله منجیل ـ ایران

زلزله منجیل ایران در ۲۱ ژوئن ۱۹۹۱ با بزرگی ۳ر۷ درجه در مقیاس ریشتر و با پس‌لرزه‌ای به بزرگی ۵ر۷ درجه در همان مقیاس روی داد. مرکز زلزله در شمال رودبار واقع بود و منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲۲۰۰ کیلومترمربع مرتعش گردید. سه شهر عمده منجیل، لوشان و رودبار و بیش از ۸۷ روستا و شهرک تخریب‌های اساسی دیدند و ۸۵ روستا به کلی نابود گردیدند. زلزله در شهرهای بزرگ رشت و قزوین نیز صدماتی به بار آورد و حدود ۱۰٪ از ساختمان‌ها و تاسیسات شهری در این دو شهر آسیب دیدند.

نقشه لرزه زمین ساخت ایران زلزله‌هایی را که از آغاز قرن بیستم در ایران ثبت شده‌اند در اختیار می‌گذارد [۱۰]. بزرگی برخی از این زمین‌لرزه‌ها معادل ۸ درجه در مقیاس ریشتر می‌باشد.

با توجه به عمق کانونی اندک لرزه‌ها، انرژی آزاد شده منطقه کوچکی را با شدت بالایی تحت ثاثیر قرار داد، از این رو صدمات و تخریب‌های حاصل فوق‌العاده و اجمالاً به شرح زیر بود.

۱ـ ساختمان‌های آجری با دیوارهای بنایی و خشتی

ساختمان‌های با دیوارهای آجری و با پوشش سبک چوبی یا تنبوشه و یا طاق ضربی در صورتی که فاقد کلاف افقی و عمودی بودند کاملاً گسیخته شدند. ساختمان‌های متشکل از دیوارهای آجری باربر با کلاف‌های افقی و قائم به هم بسته، زلزله را بطور شایسته‌ای تاب آوردند.

در مواردی، ساختمان‌های متشکل از دیوارهای بنایی حجیم (چه به صورت آزاد و چه به شکل مهار شده و به هم بسته) انرژی زلزله را با گسیختگی برشی دیوارهای بنایی جذب کردند و با این عمل گرچه ترک‌های بزرگی در دیوارها ایجاد شد لیکن ساختمان‌ها بدون انهدام سرپا باقی ماندند [۹].

۲ـ سازه‌های بتنی

اکثر سازه‌های بتنی در این زلزله رفتار ضعیفی نشان دادند مگر سد بزرگ و وزنی سفیدرود که صدمات وارد بر آن جزیی و قابل مرمت بود.

منبع آب هوایی بتنی رشت کاملاً منهدم گردید. خسارات زیادی به مجموعه ساختمان‌های ۴ و ۵ طبقه بتن‌آرمه‌ای که در شهر رشت و اطراف آن در دست احداث بود، وارد آمد. این ساختمان‌ها فاقد دیوار برشی و فارغ از شرایط شکل‌پذیری و با حداقل سطح مقطع ستون ساخته شده بودند. گسیختگی این ساختمان‌ها در ستون‌های گوشه طبقه اول اتفاق افتاده بود، جایی که ستون‌ها عملاً ارتفاع دو طبقه را دارند. این ستون‌ها به شکل S گسیخته شده و بیشترین انرژی زلزله را جذب کرده و غالباً از انهدام کامل ساختمان‌ها جلوگیری کرده بودند.

۳ـ ساختمان‌های فلزی

ساختمان‌های فلزی منطقه زلزله زده آسیب‌های اساسی دیدند بویژه در مناطقی که پدیده روانگرایی خاک روی داد و موجب نشست‌های ناهموار و توزیع نامتجانس نیرو در سازه‌ها گردید. یک ساختمان ۸ طبقه فلزی بدون اجزای مقاوم جانبی کاملاً گسیخته شد و یک ساختمان ۶ طبقه در دست احداث آسیب جدی دید و حدود ۶۵ سانتیمتر در راستای طبقه آخر جابجا شد.

نیروهای زلزله وارد بر ساختمان ۸ طبقه مذکور با استفاده از آیین‌نامه UBC و با فرض زون ۴ و خاک از نوع ضعیف تعیین [۹] و با مقادیری که از روابط "آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله ـ استاندارد ۲۸۰۰" به دست می‌آید مقایسه گردیدند [۱۱].

ساختمان دارای پلانی مربعی شکل با ۴ دهانه در هر جهت و هر دهانه به طول ۶ متر می‌باشد. ارتفاع طبقه اول سازه‌ای برابر ۳٫۷۰ متر و ارتفاع هر یک از طبقات بالایی معادل ۳ متر است.

بار مرده و زنده مطابق استانداردهای ایران برابر است با:

بار مرده بام = 160 psf (780 $kg/_m2$)

بار زنده بام = 40 psf (200 $kg/_m2$)

بار مرده طبقات = 180 psf (880 $kg/_m2$)

بار زنده طبقات = 40 psf (200 $kg/_m2$)

با استفاده از روابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ داریم:

$V=CW \qquad C=\frac{ABI}{R} \qquad T=0.8H^{3/4}$

با قرار دادن:

$A=0.35$ Sec $\quad I=1 \quad T_0=0.7 \quad R=6 \quad W=7424$ kips

نتیجه نهایی به دست می‌آید:

$T=0.9$ Sec $\quad B=1.70 \quad C=0.1 \quad V=742.4$ kips (336 ton)

آیین‌نامه UBC مقدار برش پایه را معادل V=960 kips(435 ton) به دست می‌دهد که حدود ۳۰٪ بیش از برش پایه در آیین‌نامه ۲۸۰۰ است. لنگرهای ناشی از بارهای ثقلی به علاوه زلزله در راستای تیرهای طبقه اول مطابق آیین‌نامه‌های ایران Me=382 k-ft(53 t-m) محاسبه گردید. دو پروفیل فلزی اروپایی I شکل به ارتفاع ۲۸ سانتیمتر و با ظرفیت باربری (تیر و اتصالات) Mr=110 k-ft(15 t-m) در راستای این طبقه به کار رفته بود. لنگر مقاوم ۳٫۵ برابر کمتر از لنگر زلزله بود و این مسئله به گسیختگی سازه منجر شده بود.

نتیجه گیری

ساختمان‌های ساخته شده در ارمنستان نیاز به تقویت و تعمیر اساسی دارند تا کاستی‌های طراحی و اجرایی بحث شده در مقاله را جبران کنند. برخی عملیات مقاوم سازی در مناطقی از این کشور شروع شده است.

ساختمان‌های ساخته شده در ایران نیز با توجه به طراحی ضعیف و شرایط و شیوه‌های نامناسب اجرایی نیاز به توجهی جدی دارند. مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در ایران نیز بایستی بر

اساس برنامه‌ای جامع هرچه سریعتر شروع گردد تا از گسترش خسارات خصوصاً در شهرهای بزرگی نظیر تهران جلوگیری به عمل آید.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله تشکرات خود را به پروفسور میشاک یگیان مدیر گروه مهندسی راه و ساختمان دانشگاه نورث ایسترن در بوستون و نیز آقای واهه قهرمان دانشجوی دورهٔ دکترای همان گروه به خاطر اطلاعات ارزنده‌ای که حین تهیه این مقاله در اختیار نگارندگان قرار دادند، تقدیم می‌کنند.

مراجع

1. F.Naeim, The Seismic Design Handbook, 1989, Van Nostrand Reinhold, NY.
2. Siesmotectonic map of Armenia.
3. H.B. Seed et al, The Mexico Earthquake of 1985, E.Q. Spectra 5, 687-729.
4. Information and photos provided by prof. M. Yegian and V. Ghahraman.
5. Uniform Building code, UBC, 1988 Edition.
6. Earthquake Spectra EERI, August 1989.
7. ACI, Building code Requirements for Reinforced Concrete (ACI-318-90).
8. R.E. Englekirq, "Seimic Design Considerations for Precast Multistory Buildings". PCI Journal May & June 1990.
9. Zareh & Garen Gregorian, "June 1990 Earthquake of Iran, A study". Introductory Workshop, Oct.6, 1990, MIT.
10. Geological survey of Iran, Seismotectonic Map of Iran.
11. Iranian Code for Seismic Resistance of Buildings, February 1989.

مقایسه استهلاک جنبش زمین در زلزله‌های ۱۹۹۰ منجیل ایران و ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا آمریکا*

دکتر منصور نیازی و دکتر یوسف بزرگ‌نیا
ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

در این مقاله، شتاب اوج زمین[1] در جهات قائم و افقی برای زمین‌لرزه‌های مخرب ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ کالیفرنیا (زلزله لوماپری‌یتا) و ۲۱ ژوئن ۱۹۹۰ شمال ایران (زلزله منجیل) مطالعه شده است. فواصل مورد بررسی برای زلزله‌های لوماپری‌یتا و منجیل به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. مجموعه داده‌ها بطور مستقل بارگرسیون غیر خطی[2] به تبع فاصله و بزرگی، آنالیز شده‌اند.

ارزیابی تجربی ضراپ رگرسیون، ما را قادر می‌سازد که شتاب اوج زمین را در نقاط مورد نظری که برای آنها اطلاعاتی در دسترس نیست به دست آوریم. به علاوه، چنین مطالعه‌ای کمک می‌کند تا نقش تفاوت‌های محلی را روی عملکرد جنبش نیرومند زمین در مناطق نزدیک به چشمه رهایی[3]، بهتر درک کنیم.

---

* M. NIAZI, Y. BOZORGNIA "Comparison of the Ground - Motion Attenuation During the 1990 Manjil, Iran, and the 1989 Loma Prieta, USA, Earthquakes". Proc. of First ICSEE, Vol. I, May 1991, Tehran.

1- Peak Ground Acceleration - PGA 2- Non linear regression

3- Near source

با آنالیز مقدماتی که روی داده‌های محدود زلزله منجیل انجام گرفت، چنین به نظر می‌رسد که شتاب‌های اوج تصویر شده در چشمه به مراتب بالاتر از شتاب اوج لوماپری‌یتا است (حداقل ۵۰٪ بیشتر). به علاوه ملاحظات مربوط به جنبش زمین در زلزله منجیل، نرخ استهلاک بیشتری را برای فرکانس‌های بالای جنبش در شمال ایران در مقایسه با مناطق مجاور خلیج سانفرانسیسکو نشان می‌دهد.

مقدمه

در این بررسی اثرات مربوط به جنبش زمین در چشمه نزدیک توسط دو زلزله مخربی که مراکز آنها حدود ۱۱۰۰۰ کیلومتر از یکدیگر فاصله دارند، تحت آنالیزهای مشابهی قرار گرفته‌اند. این زلزله‌ها عبارتند از زلزله ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ در بخش مرکزی کالیفرنیا (زلزله لوماپری‌یتا) و زلزله ۲۱ ژوئن ۱۹۹۰ در شمال ایران (زلزله منجیل). پارامتر مورد استفاده در این رابطه، شتاب اوج زمین (PGA) است و هر دو مولفهٔ قائم و افقی شتاب در این بررسی مد نظر بوده است. اطلاعات دیگر مربوط به این زلزله‌ها در جدول ۱ آورده شده است.
واقعه اول، شاخه‌ای به طول ۴۰ کیلومتر از گسل سن آندراس را در فاصله تقریبی ۱۰۰ کیلومتری جنوب سانفرانسیسکو گسیخته کرد و خسارات زیادی بر جای گذاشت و ۶۲ نفر قربانی گرفت. بیشترین تلفات جانی (۴۲ نفر) ناشی از گسیختگی پل روگذر دو طبقه‌ای سیپرس[1] در شاهراه شماره ۸۰ اوکلند[2] بود. شکل ۱، محل رومرکز، گستره چشمه و شتاب‌های افقی اوج جنبش زمین (PGA) را در مناطق رکورد شده برای این زلزله نشان می‌دهد.

سانحه دوم، خساراتی در مقیاس فاجعه در استان‌های گیلان و زنجان به بار آورد که قربانیان آن را بین ۳۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ نفر تخمین می‌زنند [۲]. تکان اصلی در ارتباط با گسیختگی تازه‌ای به طول ۸۰ کیلومتر از یک گسل به ظاهر موجود (احتمالاً گسل رودبار) در ۲۰۰ کیلومتری غرب تهران است [۲]. شکل ۲، نقشه راستای گسل گزارش شده توسط مولفان

1- Cypress Overpass 2- Oakland

جدول ۱ـ مشخصات چشمه‌های لرزه‌زای مورد استفاده

سانحه	سال	ماه	عرض (درجه)	طول (درجه)	ژرفا (کیلومتر)	M_s	M_w (*)
۱	۱۹۸۹	۱۷ اکتبر	۳۱٫۰۳۶N	۱۲۱٫۸۸۳W	۱۸	۷٫۱	۶٫۹
۲	۱۹۹۰	۲۱ ژوئن**	۳۶٫۹۵۷N	۴۹٫۴۰۹E	۱۹	۷٫۷	۷٫۳

* بزرگای گشتاوری M_W، از تبدیل تجربی بزرگای تخمینی به دست آمده است.

** توجه شود که زلزله در ساعت جهانی 21:00:09.9 در بیستم ژوئن ۱۹۹۰ اتفاق افتاده است و تحت این تاریخ در کاتالوگ‌های بین‌المللی ضبط شده است.

مرجع ۲ را نشان می‌دهد که بر روی آن شتاب‌های افقی ماگزیمم جنبش زمین، ثبت شده در محل‌های مختلف منعکس شده است.

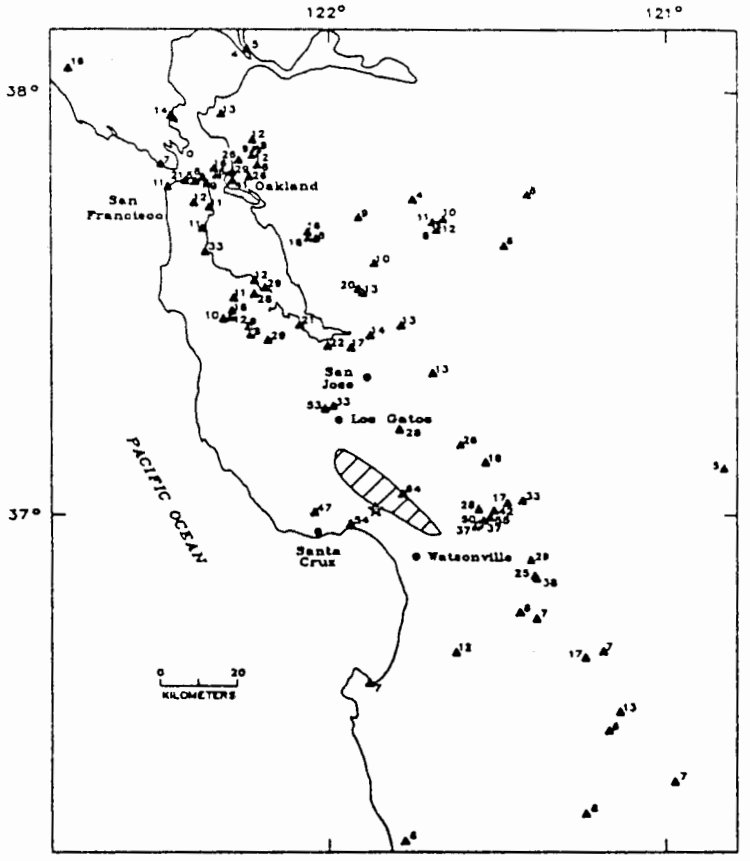
شتاب‌های اوج زمین به دست آمده در تعدادی از ایستگاه‌ها به فاصله ۱۰۰ کیلومتر برای واقعه اول و ۲۰۰ کیلومتر برای واقعه دوم، از محل چشمه لرزه‌زا مطالعه شده است تا مشخصات استهلاک شتاب اوج زمین در منطقه رومرکزی مشخص شود.

روش آنالیز

میانگین شتاب‌های اوج افقی در دو جهت متعامد، در اینجا به عنوان شتاب اوج افقی به کار رفته است. برای هر واقعه، دو مجموعه از PGA، یکی افقی و دیگری قائم بررسی شده است. هر مجموعه داده بطور مستقلی تحت اثر رگرسیون غیر خطی از نوع:

$$\mathrm{Ln(PGA)} = a + bM + d\ \ln(R + c_1\exp(c_2M)) \pm \sigma_{\ln} \qquad (1)$$

قرار داده شده‌است. در این رابطه، PGA نشانگر مولفهٔ ویژه‌ای از شتاب اوج زمین و R نزدیکترین فاصله به امتداد گسل است. M بزرگی موج سطحی (برای هر واقعه) و $\sigma_{\ln}$ انحراف معیار رگرسیون می‌باشد. روش، توزیع لوگ‌نرمالی برای PGA در نظر می‌گیرد و نهایتاً به ارزیابی تجربی ضرایب رگرسیون a، b، c_1، c_2 و d راهبر می‌شود. این ضرایب به نوبه خود، ما را قادر می‌سازند که مقادیر شتاب‌های اوج زمین را در نقاط دلخواهی که برای



شکل ۱ـ شتاب‌های اوج افقی (درصد نسبت به g) در ایستگاه‌های مختلف با مثلث نشان داده شده‌اند. جنبش، بزرگترین مقدار از دو مؤلفهٔ افقی است. منطقه هاشور خورده، منطقه‌ای است که وجود گسیختگی در آن تخمین زده می‌شود. ستاره محل رومرکز تکان اصلی است که از مرجع ۴ برگرفته شده است.

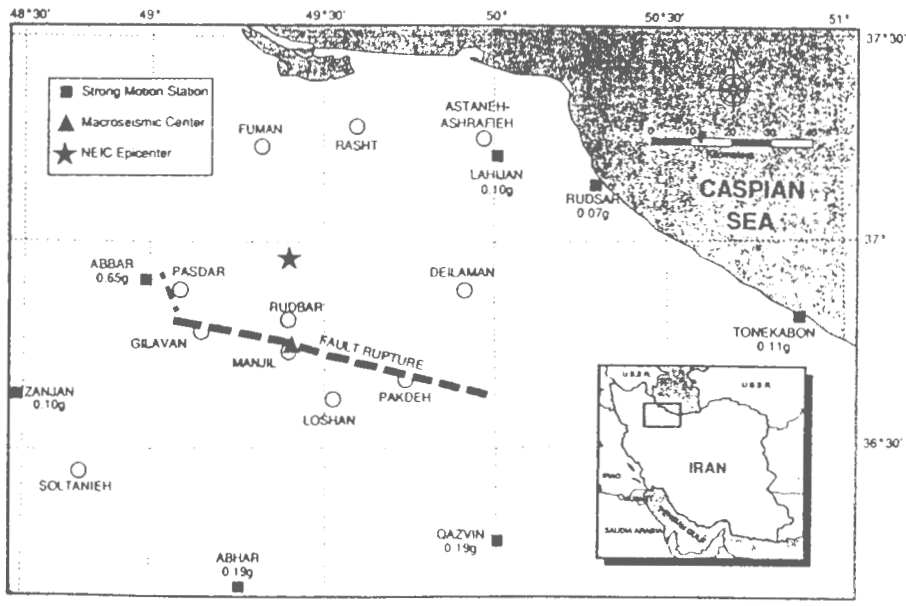
آنها هیچ رکوردی وجود ندارد، پیش‌بینی کنیم. مدل استهلاکی[1] که با این رابطه معرفی می‌شود، در اصل توسط استوا [۵] پیشنهاد شده و بطور گسترده‌ای توسط کمبل [۶] و نیازی و بزرگ‌نیا [۷] به کار بسته شده است.

1- Attenuation model

در صورتی که فقط یک مقدار برای بزرگی زلزله، در هر آنالیز وارد شود، رگرسیون در عمل به صورت تابعی از R و به شکل ساده شده زیر در می‌آید:

$$\ln (PGA) = A + d \ln (R + C) \pm \sigma_{\ln} \qquad (۲)$$

شکل شماره ۳، شتاب افقی اوج زمین را به تبع فاصله نسبی از خط گسل منعکس در شکل ۲ نشان می‌دهد. داده‌ها با اعمال روش آماری [۸] برای ارزیابی پارامترهای A ، d ، c ، $\sigma_{\ln}$ برگشت داده شده‌اند[1]. با توجه به عدم قطعیت مربوط به فاصله بین ایستگاه آب‌برو خط گسل، رگرسیون دو بار برای هر مولفه تکرار شده است؛ بار اول با این فرض که محل رکورد آب‌بر در فاصله ۵ کیلومتری از پارهٔ کج‌شده خط گسل قرار دارد و بار دوم در ۱۲ کیلومتری آن (شکل ۲).



شکل ۲ـ گسل گزارش شده و شتاب‌های اوج افقی ثبت‌شده [۲].

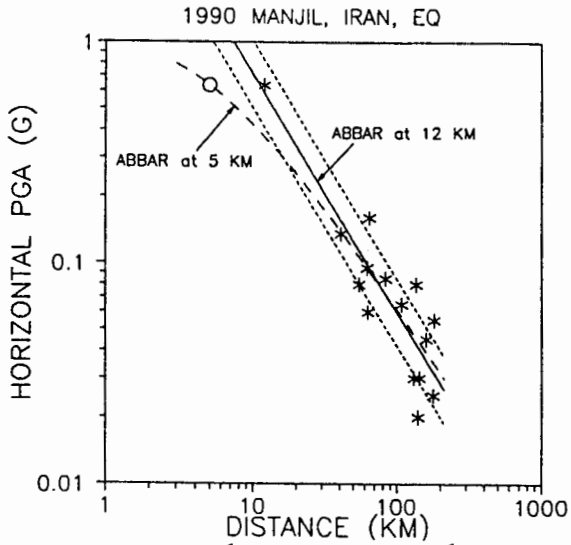
1- Regressed

خط پر در شکل ۳، مدل استهلاکی پیش‌بینی شده برای میانگین PGA (۵۰ صدک) برای حالت اول (آب‌بر در ۱۲ کیلومتری) است. خط چین‌های کوتاه موازی در طرفین مدل، نوار $\pm\sigma$ نشان می‌دهد. خط‌چین طویل عبارت از میانگین پیش‌بینی شده برای حالت ۲ است (آب‌بر در ۵کیلومتری). شایان ذکر است که پارامتر C در حالت ۱ صفر است، از این رو خط پر مستقیم به میزان بالا و غیر قابل قبولی از PGA در چشمه رهایی منتهی می‌شود (چند برابر g). شکل شماره ۴، نتیجه روش مشابهی را برای PGA قائم در زلزله منجیل نشان می‌دهد. مقادیر پارامترهای به دست آمده از عمل رگرسیون برای هر ۴ آنالیز در جدول شماره ۲ آورده شده‌اند.

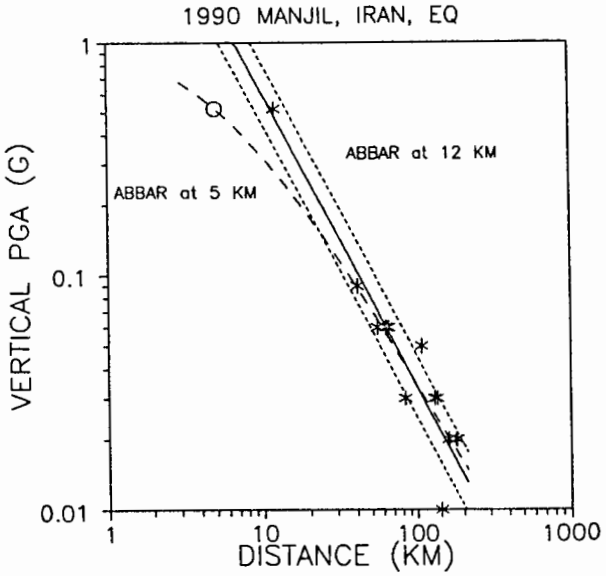
وقتی که آب‌بر، در فاصله ۱۲ کیلومتری از خط گسل فرض شود، هر دو منحنی‌های استهلاک افقی و قائم به صورت خط راست در می‌آیند ($C = 0$). همچنین ملاحظه می‌شود انحراف معیار رگرسیون افزایشی نسبی را در مقایسه با حالتی که آب‌بر در فاصله ۵ کیلومتری از خط گسل قرار دارد، نشان می‌دهد. به علاوه پراکنش ملاحظات آن طوری که با σ مشخص می‌شود، معمولاً برای PGA افقی بیشتر از PGA قائم است. روش‌های مشابهی برای ملاحظات مربوط به PGA در زلزله لوماپریتا، در قریب به یکصد ساختگاه اعمال شده است [۹]. مدل‌های استهلاکی حاصل، در شکل‌های ۵ و ۶ با مدل‌های به دست آمده برای منجیل هم برای PGA افقی و هم قائم مقایسه شده است.

جدول ۲ـ پارامترهای رگرسیون که از رابطه (۲) برای داده‌های منجیل به دست آمده‌اند.

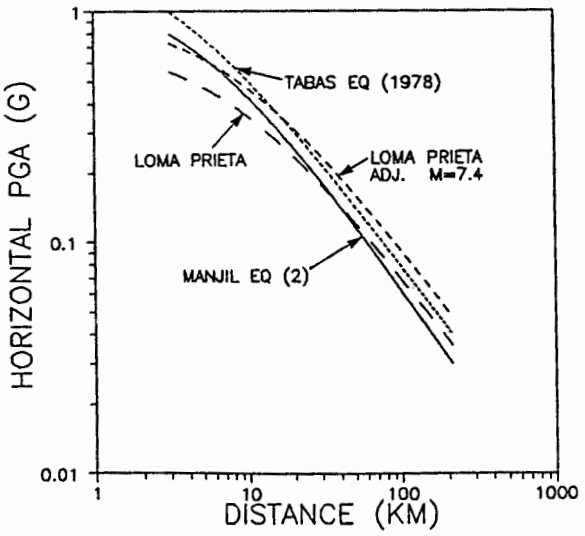
	A	C	d	σ
آب‌بر در ۵کیلومتری				
PGA افقی (g)	۱٫۸۱	۴٫۸۳	-۰٫۹۹	۰٫۳۳
PGA قائم (g)	۱٫۸۵	۴٫۳۴	-۱٫۱۲	۰٫۲۹
آب‌بر در ۱۲ کیلومتری				
PGA افقی (g)	۲٫۱۵	۰٫۰	-۱٫۰۸۴	۰٫۳۵
PGA قائم (g)	۲٫۳۳	۰٫۰	-۱٫۲۴	۰٫۳۱



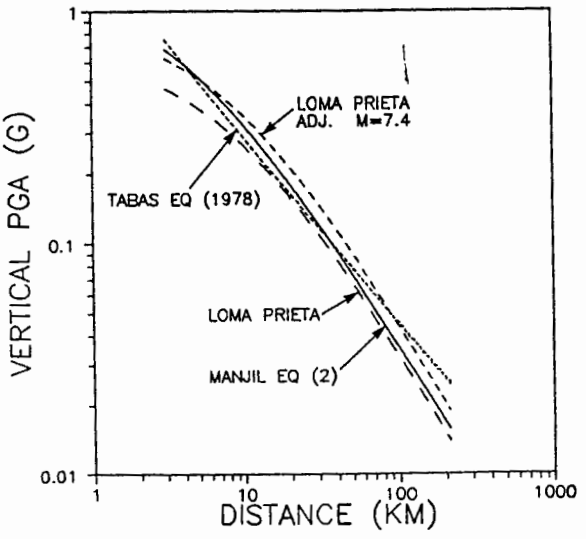
شکل ۳ـ ترسیمه شتاب افقی میانگین به تبع فاصله از خط گسل و مدل‌های استهلاکی پیش‌بینی شده. خط پر برای آب‌بر در فاصله ۱۲ کیلومتری از خط گسل است. خط چین‌های موازی کرانه $\pm\sigma$ است. خط‌چین طویل مدلی است که آب‌بر را در فاصله ۵ کیلومتری خط گسل فرض می‌کند (مدل ترجیحی نگارندگان مقاله).



شکل ۴ـ ترسیمه شتاب اوج قائم به تبع فاصله از خط گسل و مدل‌های استهلاکی پیش‌بینی شده متناظر با موارد شکل ۳



شکل ۵ـ مقایسه مدل‌های استهلاکی برای PGA افقی میانگین به دست آمده از زلزله ۱۹۹۰ منجیل، زلزله ۱۹۷۶ طبس و زلزله ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا. شایان ذکر است که مدل تنظیم شده برای زلزله لوماپری‌یتا با M_S 7.4 نیز نشان داده شده است.



شکل ۶ـ مقایسه مدل‌های استهلاکی برای PGA قائم متناظر با موارد شکل ۵

ملاحظات و نتیجه گیری

تخریب‌های بیش از اندازه و مرگ و میر زیاد انسان‌ها در اثر وقوع زلزله منجیل در مقایسه با آنچه که در زلزله لوماپری‌یتا اتفاق افتاد، در پاره‌ای موارد می‌تواند به بزرگی بیشتر و زمان دوام طولانی‌تر زلزله منجیل نسبت داده شود. انرژی رها شده در تکان اصلی منجیل تخمیناً ۸ تا ۱۰ برابر بیشتر از انرژی رها شده در جنبش نیرومند لوماپری‌یتا است. به همان اندازه، شتاب اوج زمین (PGA) در چشمه نزدیک رهایی حدود ۵۰٪ برای منجیل بیشتر است. با وجود این، گستردگی خسارات و شدت آسیب‌ها، پیامد جانبی شیوه ساخت و ساز در منطقه چه به صورت سنتی و چه در روال مهندسی است. در منطقه زلزله زده، مثال‌های روشن و مشخصی از تضاد بین ساختمان منهدم شده در اثر تکان قوی زمین و بناهای بازمانده نه تنها برای مناطق مختلف بلکه برای ساختمان‌های همجوار یک محل مشخص نیز وجود دارند. ساختمان‌های ۵ و ۶ طبقه‌ای که بطور کامل در رشت منهدم شدند، شیوه ساخت و ساز، نوع و نحوه مصرف مصالح ساختمانی را زیر سؤال می‌برد.

زلزله ۱۹۸۸ ارمنستان (۷ دسامبر ۱۹۸۸، ۰ر۷ ـ ۸ر۶ Ms) از نظر بزرگی زلزله تقریباً قابل مقایسه با لوماپری‌یتا بود، لیکن میزان خسارت و خرابی و مرگ و میر در ارمنستان به مراتب بیشتر از لوماپری‌تیا و حدوداً ۲ برابر آن بود.

حضور دایمی خطر زلزله‌های شدید در کشورهایی نظیر ایران که در منطقه بسیار فعالی از نظر تکتونیکی قرار گرفته است باید بطور جدی توسط مردم و حکومت مد نظر قرار گیرد. یکی از روش‌های مواجهه با خطرات زلزله، هدایت برنامه‌های تحقیقاتی، آموزش، ایجاد قوانین و مقررات و شیوه اعمال و اجرای آنها است.

تحقیقات

با انجام تحقیقات، گسل‌های فعال منطقه شناسایی شده و پتانسیل خطرات آنها برای جوامع و شهرها و مستحدثات ارزیابی می‌شود. در انتخاب ساختگاه آتی شهرها خصوصاً قطب‌های صنعتی، مراکز جمعیتی و ساختمان‌های عمومی، باید از خلال همین تحقیقات

انجام شده در جهت کاهش خطرات زلزله به ترکیب صحیحی از تصمیم‌گیری‌های مهندسی و کاربرد درست مصالح دست یافت.

آموزش

با آموزش، عموم مردم فرا می‌گیرند که چگونه با انجام عملیاتی ساده در خانه یا در محل کار، زندگی شخصی، کودکان و همکاران خود را در زمان وقوع زلزله‌ای محتمل نجات دهند. ضروری است معماران سنتی سازندگان منازل مسکونی به آموختن تمهیدات و شکل‌های ایمنی لرزه‌ای مجاب شوند و آنها را در عمل به کار برند. در عملکرد مهندسی کشور، باید جایگاه ویژه‌ای به طراحی سازه‌های پایدار در برابر زلزله در نظر گرفته شود.

مقررات

هدف مقررات ساختمانی باید افزایش ایمنی لرزه‌ای ساختمان‌ها با هر نوع کاربری باشد. مقررات و آیین‌نامه‌های ساختمانی باید همواره تحت بررسی‌های نقادانه و بازنگری قرار گیرند. کلیه افراد شاغل در حرفه ساختمان، بایستی مجوزهای لازم برای فعالیت‌های مربوط را با گذراندن کنترل‌های لازم و شرکت در آزمون‌های مختلف هر از چند سال یکبار، کسب کنند و با مفاهیم ساخت و سازهای پایدار در برابر زلزله آشنایی کافی داشته باشند. تأسیس سازمان‌های مهندسی و حرفه‌ای برای نظارت بر برنامه آموزشی پیوسته و مستمر و ارایه گواهی‌های مربوط در این رده از فعالیت‌هاست.

اجرا

بهترین مقررات و آیین‌نامه‌ها بدون اجرای دقیق و ساخت و ساز منظم راه به جایی نمی‌برند. متأسفانه همواره گرایش عام بر این بوده است که پس از چند سال، بلایا و فجایع را هر قدر هم دردناک و غم‌انگیز باشند به دست فراموشی بسپارند. این گرایش غالباً منجر به سهل‌انگاری و بی‌بندوباری در کارها می‌شود. بخش‌های مهندسی شهرداری‌ها باید با پرسنل قوی و امکانات رایانه‌ای تجهیز شوند و مهمتر از همه، از اقتدار و اختیارات لازم

برخوردار باشند تا تصمیمات خود را بطور مستقل و فارغ از اعمال فشار افراد متنفذ بگیرند. طراحی ساختمان‌های بلند مرتبه و ساختمان‌های عمومی و صنعتی بایستی توسط گروهی از مهندسین مجرب، کنترل و تأیید گردد. همچنین ساختمان‌های مهم و حیاتی باید بطور مرتب و متناوب توسط هیأتی مرکب از مهندسان کارآزموده مستقر در مراکز استان‌ها و یا پایتخت بازدید و ایمنی آنها بررسی گردد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و آقای دکتر محمد سعادت‌پور از دانشگاه صنعتی اصفهان برای حمایت‌های تدارکاتی تشکر می‌کنند. بخشی از این بررسی با کمک‌های مالی بنیاد ملی علوم[1] انجام گرفته است.

1- National Science Foundation

مراجع

1. Earthquake Engineering Research Institute "Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report", Earthquake Spectra, 1990, vol. 6, May 1990.
2. Moinfar, A.A., and Naderzadeh, A. "An immediate and preliminary report on the Manjil, Iran earthquake of 20 June, 1990", Building and Housing Research Center, Iranian Ministry of Housing and Urban Development, 1990.
3. Bozorgnia, Y. and Niazi, M. "Behavior of the reported observations of the peak ground motion during the 1990, Manjil, Iran earthquake", Seism. Res. Lets., 1991, 62, 48.
4. Boore, D.M., Seekins, L. and Joyner, W.B. "Peak accelerations from the 17 October 1989 Loma Prieta earthquake", Seism. Res. Lets., 1989, 60, 151-165.
5. Esteva, L. "Seismic risk and seismic design criteria for nuclear power plants", ed. R.J. Hansen, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970, pp. 142-182.
6. Campbell, K.W. "Near source attenuation of peak horizontal acceleration", Bull. Seism. Soc. Am., 1981, 71, 2039-2070.
7. Niazi, M. and Bozorgnia, Y. "Behavior of near- source peak vertical and horizontal ground motions over SMART-1 Array", Bull. Seism. Soc. Am. 1991, 81:3, in press.
8. "SAS User's Guide: Statistics Version 5". SAS Institute Inc. Cray, N.C. USA, 1985.
9. Niazi, M., Mortgat, C.P. and Schneider, J.F. "Attenuation of peak ground acceleration in central California from observations of the October 17, 1989 Loma Prieta earthquake", Seism. Res. Lets., 1991, 62, 30.

بررسی‌های سازه‌ای سر محل پس از زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه*

ادموند بوث

ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

با استفاده از روش‌هایی ساده ولی کمّی و متکی بر عملیاتِ سر محل، در هفته اول آوریل ۱۹۹۲ بررسی‌هایی بر روی سه جنبهٔ مختلف زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه، انجام شده‌است. در بررسی نخست، تغییرات شدت خرابی‌ها در طول یک مسیر ۳کیلومتری شمال به جنوب ارزنجان با هدف دستیابی به این مطلب که بستر و حوضهٔ خاکی زیرین تا چه اندازه روی جنبش زمین تاثیر داشته، ارزیابی شده‌است. نتیجه بررسی، البته نه به صورت کاملاً قطعی، نشان می‌دهد که تاثیرات حوضه خاکی روی خرابی سازه‌ها احتمالاً ضعیف بوده‌است. بررسی دوم، رفتار لرزه‌ای دو نوع ساختمان متداول در ارزنجان را در برمی‌گیرد. این مطالعه مربوط به ساختمان با دیوار کناری شیبدار و ساختمان با دیوارهای پیرامونی در زیرزمین می‌باشد. اختلاف چشمگیری بین رفتار این دو نوع ساختمان ملاحظه شده‌است و از این

---

* Edmund BOOTH, "Structural Field Studies After the Erzincan Turkey Earthquake of 13th March 1992". Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, March 10-13, 1993, Istanbul.

تفاوت‌ها، درس‌هایی متجلی شده‌اند. بررسی سوم، مربوط به استفاده از شاخص‌های کفایت سازه‌ای است که بطور عمده از مراجع ژاپنی اقتباس شده و به توسط آنها رفتار دو ساختمان نوساز آسیب دیده در ارزنجان مورد مداقه قرار گرفته‌است. به نظر می‌رسد، این شاخص‌ها به عنوان معیارهای بسیار سادهٔ سنجش آسیب‌پذیری ساختمان‌های بتن‌آرمه چه در مرحله ارزیابی و تقویم و چه در مرحله کنترل مفید باشند.

مقدمه

گروه انگلیسی مهندسی زلزله بررسی کننده در محل[1]، مرکب از ۵ نفر به مدت ۲ هفته از ۳۰ مارس ۱۹۹۲ در شهر زلزله‌زده ارزنجان حضور یافته و مشغول بررسی شد. دستاوردهای کامل ماموریت این گروه در گزارش EEFIT (ویلیامز، ۱۹۹۳) آمده‌است. بررسی‌ها بر این مبنا انجام گرفت که برداشت کلی‌ای از زلزله در وهلهٔ نخست برای جامعه مهندسی انگلستان ارایه گردد. با این حال، موارد جالب توجه زیادی از نقطه نظر مهندسی سازه در همان سطح محدود شهر ارزنجان وجود داشت. زمین‌لرزه فرصت کمیابی به دست داده بود تا تأثیرات یک زلزله شدید بر روی ساختمان‌های نوساز در جزییات آن بررسی شود، خصوصاً اینکه محدودهٔ شهر را می‌شد با پای پیاده طی‌کرد. بدین ترتیب، چندین بررسی، با استفاده از روش‌های ساده ولی کمّی و حاوی جزییات دقیق انجام گرفت که آرزومندیم نتایج آنها بر تلاش بین‌المللی برای درس گرفتن مهندسان از اثرات زمین‌لرزه‌ها، افزوده گردد. یکی از مطالعات گروه مربوط می‌شود به ارزیابی بسیار دقیق خرابی‌ها در اطراف دستگاه اندازه‌گیری تکان قوی زمین در شهر ارزنجان که اطلاعات آن به پایگاه داده‌ای مرکز مارتین[2] در دانشگاه کمبریج منتقل شد و دستاوردهای فنی حاصل در گزارش EEFIT درج گردید. سه بررسی دیگر توسط نگارنده در سطح شهر ارزنجان انجام گرفت که نتایج آنها در این مقاله ارایه می‌شود. برای انجام چنین مطالعاتی به چیز دیگری جز یک متر، دفترچه یادداشت و مداد، دوربین عکاسی، یک جفت کفش بادوام و مهمان‌نوازی و مهربانی شهروندان ارزنجانی نیاز نبود.

1- Earthquake Engineering Field Investigation Team - EEFIT
2- Martin Centre

مطالعه مسیر شمالی ـ جنوبی ارزنجان

ارزیابی ساده‌ای از خرابی‌ها با این هدف که آیا جنبش‌های زمین در ارزنجان بطور سیستماتیک با فاصلهٔ لبه حوضهٔ آبرفتی تغییر می‌کند یا نه، انجام گرفته‌است. این بررسی روی مسیری شمالی- جنوبی که از مرکز شهر ارزنجان می‌گذرد، انجام پذیرفته‌است (شکل ۱). به استناد نقشه هیدروژئولوژی شهر که تاریخ تهیه آن سال ۱۹۸۱ است، عمق رسوبات بطور قابل ملاحظه‌ای روی مسیر مورد مطالعه، تغییر می‌کند (شکل ۲).

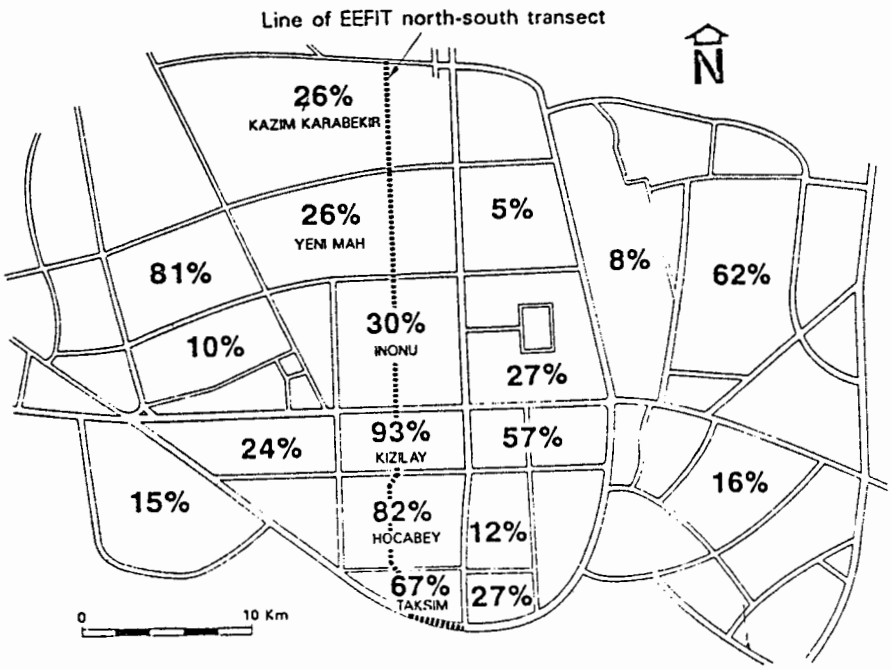
دو نوع خرابی به شرح زیر مدنظر بوده‌است:

۱) درصد دیوارهای پیرامونی به ارتفاع ۱ تا ۱٫۵ متر که گسیخته شده‌اند. دیوارها همگی متعلق به منازل شخصی‌ساز و مجاور مسیر بررسی بوده و راستای آنها شمالی- جنوبی بوده‌است.

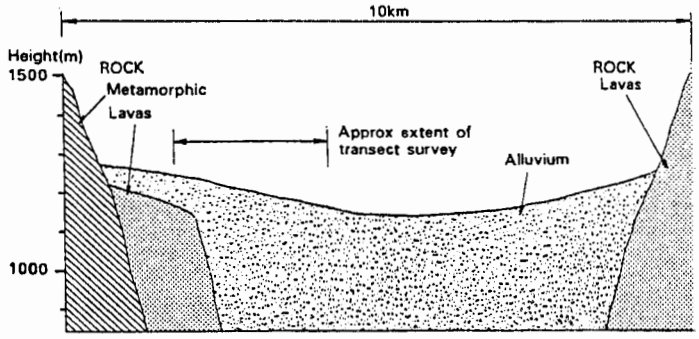
۲) درصد دودکش‌های مربوط به ساختمان‌های ۳ طبقه یا کمتر که گسیخته شده و در محدودهٔ مسیر مورد مطالعه قابل مشاهده بودند.

هدف، انتخاب سنجه‌ای از خرابی بود که اولاً ثبت آن به سهولت امکان‌پذیر، ثانیاً به قدر کافی فراوان باشد بطوری که از نقطه نظر آماری، اعتماد لازم را تأمین کند. بطور کلی نوع ساخت‌وساز منازل مسکونی و وضعیت دیوارهای کناری در سرتاسر مسیر یکسان بودند و از این رو انتظار می‌رفت که سنجش خرابی‌ها به نتیجهٔ یکنواخت قابل قبولی بیانجامد.

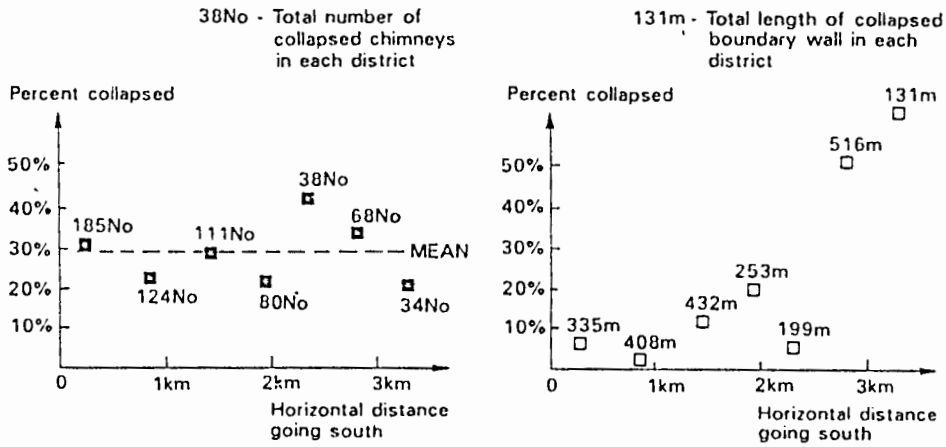
حاصل این بررسی که در شکل ۳ نشان داده شده، عملاً به نتیجه‌گیری قطعی منتج نمی‌شود. ارزیابی دودکش‌های آسیب دیده، نشان می‌دهد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای روی خرابی‌ها به تبع فاصله از لبه حوضهٔ خاکی وجود ندارد، ولی در همان حال، خرابی پرچین‌های مرزی خانه‌ها نوعی افزایش در جنبش زمین در منتهی‌الیه جنوبی مسیر مورد بررسی را نشان می‌دهد. احتمالاً روی نحوه خرابی دودکش‌ها اعتماد زیادتری می‌توان کرد، چرا که صدمات زیاد وارد بر دیوارها در جنوب، ممکن است ناشی از نرمی لایه‌های خاک



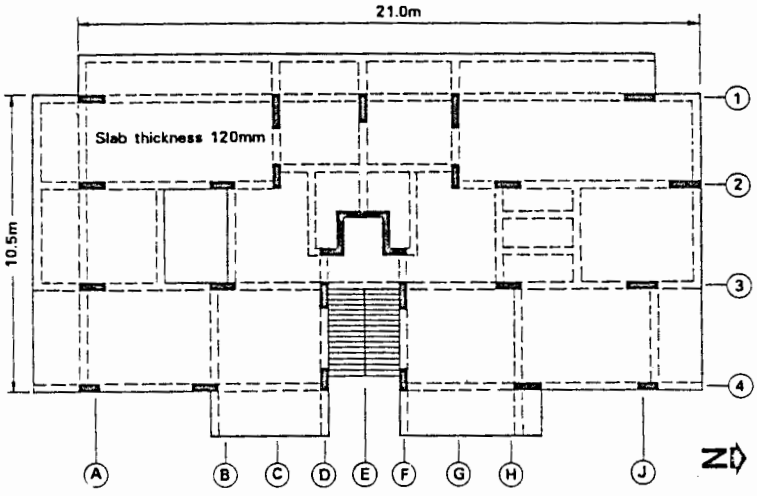
شکل ۱ـ مسیر ۳ کیلومتری شمال جنوبی بررسی خرابی‌ها. درصد خرابی ساختمان‌های هر محله نیز نشان داده شده است (اوزوگوللو و همکاران ۱۹۹۲).



شکل ۲ـ برش عرضی از حوضه‌ارزنجان، نگاه به‌طرف‌شرق. (برمبنای نقشه‌هیدروژئولوژی‌سال ۱۹۸۱)



شکل ۳ـ ارزیابی خرابی‌ها در مسیر شمال به جنوب



شکل ۴ـ پلان طبقه اول یک آپارتمان ۶ طبقه در محله باغچالی اولر، ارزنجان

در قسمت‌های فوقانی زمین باشد. بطور یقین، نبود روند خاصی در خرابی دودکش‌ها، این فکر را به ذهن متبادر می‌سازد که هرگونه گرایش تکان‌های زمین به افزایش به تبع فاصله از لبه حوضه خاکی کم یا ناچیز بوده‌است.

برای مقایسه، درصد ساختمان‌های تخریب شده در سطح شهر ارزنجان (خسارات سبک، زیاد و گسیختگی کامل) که توسط اوزوگوللو و همکاران (۱۹۹۲) برآورد شده در شکل ۱ نشان داده شده‌است. با توجه به شکل مزبور، رابطه خاصی بین تراز یا سطوح خرابی که احتمالاً منعکس کننده نحوهٔ ساخت وسازها است با فاصلهٔ آنها از لبهٔ شمالی حوضه خاکی دیده نمی‌شود.

تاثیر نحوه ساخت‌وساز روی رفتار سازه‌ای

رفتار دیوارهای شیبدار کناری

گسیختگی دیوارهای شیبدار کناری فراوان به چشم می‌خورد. از نظر نحوه ساخت، سه نوع دیوار انتهایی شیبدار قابل تشخیص بود که رفتار آنها نیز با یکدیگر تمایز کامل داشت. وقتی که دیوار کناری تا تیزهٔ بام بدون قید و نگهدارنده جانبی ادامه داشت، گسیختگی و خرابی تقریباً عام و حدود ۸۰٪ بود (تصویر یک). دیوارهای کناری که توسط لاپه‌های سقف مقید شده‌بودند، اساساً کمتر صدمه دیده و آسیب آنها منحصر به ترک خوردگی در حول‌وحوش لاپه‌های سقف بود (تصویر ۲). نوع سوم از دیوارهای کناری، آن دسته از دیوارهایی بودند که به صورت شیبدار، تا زیر سقف ادامه داشته و نهایتاً بار سقف را تحمل می‌کردند. در این دیوارها هیچگونه گسیختگی مشاهده نمی‌شد. (منتهی‌الیه سمت راست در تصویر یک).

تأثیر احداث زیرزمین روی رفتار ساختمان

مطالعه‌ای بر روی یک آپارتمان ۴ طبقه در محله فاتح در بخش شمال شرقی ارزنجان انجام گرفته‌است (تصویر ۳). ساختمان این منطقه، از دو نوع آپارتمان به ظاهر مشابه تشکیل شده‌است که در حین زلزله رفتار تقریباً متفاوتی نشان داده‌اند. ۱۸ عدد آپارتمان از نوع اول در قسمت جنوبی سایت قرار داشتند (تصویر ۴). این ساختمان‌ها دارای ۴ طبقه مسکونی بوده و زیرزمینی داشتند که به اندازهٔ نصف ارتفاع آن، از سطح زمین بالاتر بود. سیستم

سازه‌ای آپارتمان‌ها متشکل از قاب بتن‌آرمه با دیوارهای پرکننده از جنس آجر سفالی توخالی بودند. محورهای طویل برخی از آپارتمان‌ها در راستای شرق به غرب و برخی دیگر در جهت شمال به جنوب بود. از بیرون، خرابی‌های چندان مشهودی در این ساختمان‌های قدیمی به چشم نمی‌خورد، ولی از داخل آسیب آنها جدی و شامل ترک‌خوردگی در دیوارهای پرکننده (البته نه انهدام و گسیختگی کامل) و ترک‌های مویی در برخی از تیرها و ستون‌ها بود. ساکنان ساختمان‌ها، شب‌ها در این آپارتمان‌ها نمی‌خوابیدند ولی روزها برای شستشو و سایر استفاده‌ها به ساختمان‌ها مراجعه می‌کردند.

در قسمت شمالی سایت، هشت آپارتمان جدید با نحوه ساختی که پیشتر گفته شد، قرار داشتند (تصویر ۵). دو ساختمان از چهار آپارتمانی که محور طویل آنها در راستای شمال به جنوب قرار داشت، کاملاً گسیخته و منهدم شده‌بودند. دو ساختمان دیگر در همین راستا، در طبقه زیرزمین گسیختگی‌هایی را متحمل شده‌بودند (تصویر ۶). در سایر بلوک‌های آپارتمانی که عمود بر ساختمان‌های پیش گفته قرار داشتند، خرابی‌های ظاهری بالنسبه کمتر بودند.

اختلاف سازه‌ای بین دو نوع بلوک آپارتمانی، در این بود که در آپارتمان‌های قدیمی، دیوارهای پیرامونی زیرزمین از بتن ساخته شده‌اند (تصویر ۷)، حال آنکه در بلوک‌های جدید، قاب بتن‌آرمه تا تراز شالوده ادامه یافته و داخل چشمه‌ها با بلوک‌های سیمانی پرشده‌اند. تصویر ۸، یک بلوک آپارتمانی در دست احداث از این نوع را نشان می‌دهد.

در ساختمان‌های جدید (و احتمالاً ارزانتر)، علی‌الظاهر تشکیل طبقه‌ای ضعیف‌تر و دیوارشکن که مقاومت برشی ستون‌های آن کمتر از مقاومت خمشی است، سبب خرابی‌ها به شمار می‌رود.

شاخص‌های آسیب پذیری لرزه‌ای[1]

برداشت اولیه‌ای از یک ساختمان ۶ طبقه مسکونی با یک طبقه زیرزمین در محلهٔ باغچالی‌اولر ارزنجان انجام گرفته است. اجرای این ساختمان از نقطه نظر سازه‌ای به اتمام رسیده‌بود ولی ساختمان هنوز بطور کامل تجهیز نشده بود. دال‌های بتن سقف اجرا شده‌بودند ولی قالب‌ها برچیده نشده‌بودند. دیوارهای پرکننده با بلوک‌های توخالی کار شده ولی نازک‌کاری انجام نگرفته‌بود.

شکل ۴، پلان طبقه اول ساختمان را نشان می‌دهد. این پلان با استفاده از یک متر معمولی، تهیه و ترسیم شده‌است. سازهٔ قائم از تراز زیرزمین شروع و بدون تغییر اساسی در مقاطع تا تراز بام ادامه داشت. تقلیل مقاطع فقط در برخی از ستون‌های طبقات بالایی به چشم می‌خورد ولی به دلیل وضعیت ناایمن ساختمان، برداشت دقیقی در این مورد به عمل نیامد. ارتفاع طبقات هم‌کف و زیرزمین ۳ر۶۰ متر و بقیه طبقات ۳ر۰۰ متر بود. مصالح پرکننده بین قاب‌ها، بلوک‌های سفالی توخالی به ضخامت ۱۸۰ میلیمتر بودند. در زیرزمین، این نوع بلوک‌ها با بلوک‌های توخالی سیمانی جایگزین شده بودند. ستون‌ها در تراز طبقه همکف حدود ۱٪ آرماتور قائم و ۳ر۰٪ میلگرد جانبی داشتند. علایمی دالّ بر استفاده از خاموت به فواصل تنگ‌تر در دو انتهای ستون‌ها وجود نداشت. دیوارهای برشی حدود ۲ر۰٪ آرماتور قائم و ۱۵ر۰٪ آرماتور افقی در هر وجه داشتند و هیچ نوع علایمی دایر بر محصور کردن ویژه لبه‌های قائم دیوارها وجود نداشت. موارد فوق‌الذکر از ملاحظه آرماتورهای نمایان در سطح برخی از اعضای بتنی به‌دست آمده‌است.

وضعیت ساختمان بطور مخاطره آمیزی نزدیک به انهدام به نظر می‌رسید. خسارات عمده در تراز طبقه همکف متمرکز شده‌بود. آسیب‌های وارد به زیرزمین بجز در قسمت‌های فوقانی بطور کامل قابل رویت نبود. دیوار برشی مرکزی ساختمان، خسارت زیادی دیده‌بود

1- Indices of seismic vulnerability

بطوری که بتن آن عملاً به قطعات خرد تجزیه شده و میلگردها کاملاً قابل رویت بودند. دوسر اغلب ستون‌ها هم در گره فوقانی و هم در گره تحتانی در طبقه همکف و بین محورهای B و H (آنهایی که مقاومت در راستای حرکات شرقی- غربی را تأمین می‌کردند) پکیده شده‌بودند. در ستون‌هایی که مقاومت در راستای شمال- جنوب را تأمین می‌کردند، صدمات کمتری مشاهده می‌شد. دال پله در تراز طبقه همکف کاملاً گسیخته شده و شبکه میلگرد سادهٔ منحصر به فرد آن از بتن جدا شده‌بود. خسارات زیادی به دال پله در تراز طبقه اول نیز وارد آمده بود.

با توجه به شکل ۴، ملاحظه می‌شود که ساختمان بطور معقولی در پلان منظم می‌باشد. آنالیز انجام شده توسط گروه مشخص ساخت که ضریب سختی پیچشی و سختی انتقالی ساختمان با معیارهایی که برای ساختمان‌های منظم در مقررات استاندارد ساختمانی ژاپنی[1] پیش‌بینی شده، مطابقت دارد. نظم ساختمان در ارتفاع بیشتر قابل قبول بود، گرچه ارتفاع طبقه همکف ۲۰٪ بیشتر از ارتفاع طبقات بالایی بود و صدمات سازه‌ای بطور عمده در همین طبقه متمرکز شده بودند که نشانگر طبقه ضعیف در این تراز بود. نظم ساختمان در ارتفاع با انجام تحلیل پاسخ طیفی ساختمان با استفاده از طیف ۵٪ میرایی ثبت شده در ارزنجان، کنترل گردید و ملاحظه شد که محدودیت‌های مقررات ژاپنی در مورد تغییرات جابجایی نسبی طبقات برحسب ارتفاع (آیویاما، ۱۹۸۱) برای این ساختمان نیز صادق است.

برای ساختمان‌های بتن‌آرمه تا ۳۱ متر ارتفاع با حداقل درجهٔ شکل‌پذیری و حداقل مقاومت جانبی که معیارهای نظم را مطابق موارد پیش گفته تأمین می‌کنند، مقررات استاندارد ساختمانی ژاپنی مقرر می‌دارد در صورتی که چنین ساختمان‌هایی نامعادله (۱) را نیز ارضا بکنند، نیازی به کنترل‌های مرحله دوم[2]، برای مقاومت در برابر زلزله شدید ندارند. این نامعادله که براساس ملاحظه رفتار ساختمان‌ها در زلزله‌های مخرب ژاپن تنظیم شده، بطور عمده برای سازه‌هایی به کار می‌رود که تأمین پایداری در برابر نیروهای جانبی بر عهدهٔ

1- Japanese Building Standard Law (IAEE, 1988)
2- Phase 2 checks

قاب‌های متشکل از تیر و ستون است:

$$\frac{\sum 1.8A_w + \sum 1.8Ac}{1.0\,ZWA_i} \geq 1 \qquad (۱)$$

که در آن،

A_w: سطح مقطع دیوارهای برشی در راستای اثر نیروهای زلزله (mm^2)

Ac: سطح مقطع ستون‌ها(mm^2)

Z: ضریب منطقه[1] و برابر یک برای اکثر مناطق زلزله‌خیز ژاپن

W: وزن ساختمان در بالاتر از تراز مورد نظر (N)

A_i: عامل توزیع قائم[2] و برابر یک برای تراز طبقه همکف، می‌باشند.

ساختمان باغچالی اولر، هر دو دسته معیارهای نظم و ارتفاع را تأمین می‌کند ولی متاسفانه فاقد حداقل ضوابط شکل‌پذیری مطابق آیین‌نامه ژاپنی است. به هر حال محاسبه ضرایب معادله (۱) در تراز همکف آموزنده است. ضریب منطقه با توجه به لرزه‌خیزی شدید این بخش از ترکیه و اکثر مناطق ژاپن برابر یک درنظر گرفته شد. چون ستون‌ها در یک جهت سختی بیشتری نسبت به جهت دیگر دارند، لذا فقط ستون‌های همراستا با جهت موردنظر در محاسبه Ac مدنظر قرارگرفت. مقدار این ضریب در راستای شرق به غرب (راستای محتمل لرزهٔ ماگزیمم) بر مبنای محاسبات انجام شده برابر ۵۵ر۰ و در جهت شمالی-جنوبی معادل ۷۸ر۰ به دست‌آمد.

ضرایب مشابهی برای بخش جنوبی ساختمان شهرداری ارزنجان محاسبه‌شد. ساختمان مذکور یک بنای ۵ طبقه است که از نقطه نظر سازه‌ای کامل ولی در زمان وقوع زلزله، نامسکون بود. ساختمان دارای قاب بتن‌آرمه لنگرگیر با تعداد محدودی دیوار برشی و بلوک مجوف به عنوان پرکننده داخل قاب‌هاست. به نظر می‌رسید که ساختمان صدمات سازه‌ای ندیده باشد ولی ترک خوردگی‌های وسیعی در سطوح نازک‌کاری شده و دیوارهای پرکننده وجود داشت. ضرایب محاسبه شده از معادله (۱) در جهت شرقی-غربی (راستای محتمل

1- Zone Factor

2- Vertical Distribution Factor

تحریکات ماگزیمم) برابر ۷۹ر۰ و در جهت شمالی- جنوبی معادل ۵۱ر۰ می‌باشند. شایان ذکر است که در روال حرفه‌ای ژاپن، این مقادیر به تنهایی غیرقابل قبول نیستند لیکن برای پذیرش و شمول آنها نیاز به کنترل‌های بیشتری است.

محاسبات ساده نشان می‌دهد یکی از عوامل خرابی ساختمان‌هایی که شدیداً آسیب‌دیده ولی سرپا مانده‌اند، پیش‌بینی ضعیف تمهیدات مربوط به سازهٔ مقاوم به زلزله در راستای لرزهٔ ماگزیمم است. مقدار ضریب پیش گفته برای ساختمانی که المان‌های سازه‌ای آن آسیبی ندیده ولی ناسازه‌های آن شدیداً صدمه دیده‌اند و تمهیدات مربوط به پایداری جانبی در راستای لرزهٔ ماگزیمم در آن پیش‌بینی شده، حدوداً ۴۴٪ بیشتر است. ازاین رو به نظر می‌رسد رابطهٔ سادهٔ (۱) مزیت و شایستگی نسبی را داراست، خصوصاً اگر به نوعی با مقررات ساده ولی محافظه‌کارانه تأمین نظم افقی و قائم ساختمان (مثلاً بر مبنای تمهیدات آیین‌نامه اروپایی مجلد شماره ۸ ـ Eurocode 8) و یا پیش‌بینی میلگردهای حداقل اصلی و عرضی (فی‌المثل بر مبنای آیین‌نامه زلزله ترکیه) و محدودیت‌های ابعاد تیر برای ترغیب ایجاد ستون قوی- تیر ضعیف ترکیب شود. به نظر می‌رسد کنترل‌های فوق‌الذکر برای ارزیابی سریع کفایت لرزه‌ای ساختمان‌های کوتاه و با ارتفاع متوسط بسیار سودمند باشند. قواعد ساده‌ای از این دست در مقایسه با محاسبات پیچیده‌ای که احتمال کاربرد اشتباه آنها نیز وجود دارد، بیشتر می‌توانند مفید باشند. به هر حال محاسبات پیچیده را می‌توان همواره به عنوان کنترل‌های مستقل اضافی به کارگرفت.

نتیجه گیری

۱) روش‌های ساده ولی کمّی برای ارزیابی سازه‌ها در حین ماموریت‌های شناسایی پس از زلزله‌ها، می‌توانند بسیار ارزشمند باشند.

۲) بر مبنای مسیر سه کیلومتری مطالعه شده در راستای شمال به جنوب ارزنجان، هرگونه گرایش برای اثبات تغییرات شدت جنبش زمین به تبع فاصله از لبه شمالی حوضه خاکی ارزنجان، محتملاً ضعیف می‌باشد.

۳) گسیختگی گسترده دیوارهای شیبدار کناری ناشی از عدم نگهداری جانبی دیوارهای

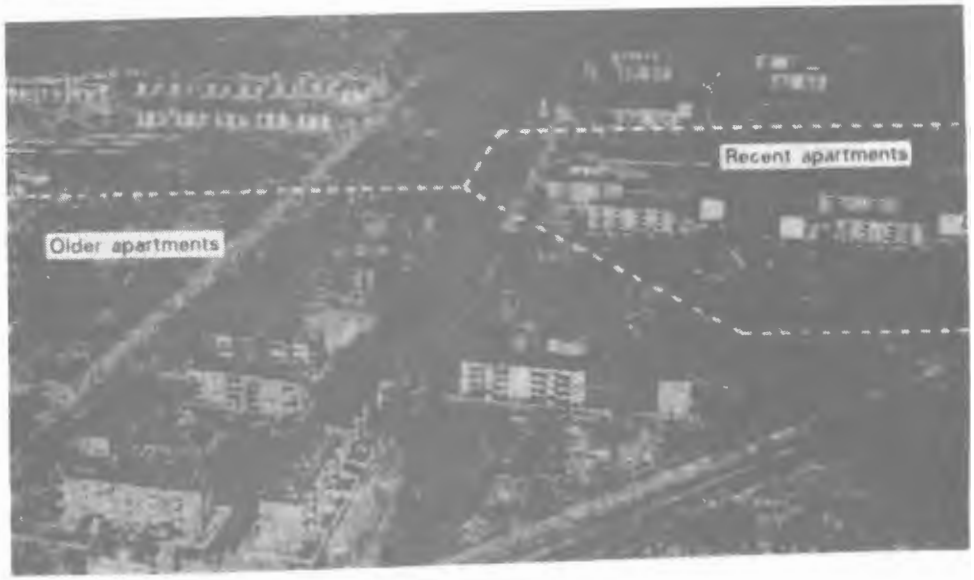
بلوکی است. دیوارهای شیبدار کناری که بر روی آنها بار لاپه‌ها وارد می‌آید آسیب‌های بسیار کمی دیده بودند، خصوصاً اگر لاپه‌ها مستقیماً روی قسمت انتهایی شیبدار تکیه کرده بودند. مواردی از این دست بایستی در احداث دیوارها مدنظر قرار گیرد، چرا که فروریزش دیوارها عامل خسارت‌های عمده است.

۴) ساختمان‌های متشکل از قاب‌های بتن‌آرمه، در صورتی که دیوارهای زیرزمین از بلوک‌های سیمانی یا سفالی ساخته شده‌باشند و بخشی از زیرزمین از تراز زمین طبیعی بالاتر واقع شده‌باشد، بیشتر معروض به آسیب‌دیدگی هستند. این امر به ایجاد طبقه تردشکن بین تراز طبقه فوقانی (هم‌کف) و تراز زمین طبیعی نسبت داده می‌شود. ساختمان‌های مشابهی که دیوار زیرزمین آنها از بتن‌آرمه ساخته شده‌بود رفتار مناسب‌تری داشتند.

۵) شاخص‌های ساده آسیب‌پذیری که در پراتیک مهندسی ژاپن متداول است، در سایر کشورها نظیر ترکیه نیز می‌توانند کاربرد داشته باشند. این ضرایب، ارزیابی یا کنترل کفایت لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی کوتاه یا با ارتفاع متوسط را سریعاً فراهم می‌آورند.

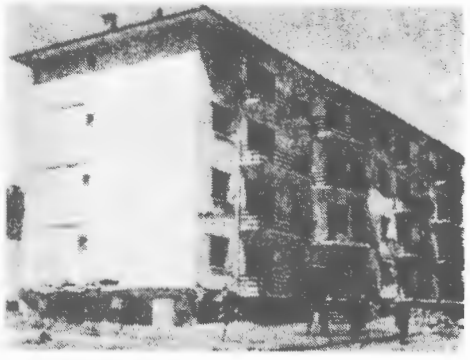
تصویر ۱ ـ گسیختگی دیوار کناری

تصویر ۲ ـ دیوار کناری نگهداری‌شده
وسیله تیرها



تصویر ۳ ـ منظره هوایی محله فاتح قبل از وقوع زلزله

تصویر ۴ ـ آپارتمان قدیمی



تصویر ۵ ـ آپارتمان نوساز

تصویر ۶ ـ دید نزدیک از تصویر ۵
گسیختگی در تراز زیر زمین

تصویر ۷ ـ دیوار زیرزمین در آپارتمان قدیمی

تصویر ۸ ـ دیوار زیر زمین در آپارتمان نوساز

مراجع

1. Williams M (1993) editor, The Erzincan Turkey earthquake of 13th March 1992 : a field report by EEFIT. Earthquake Engineering Field Investigation Team, Institution of Structural Engineers, 11 Upper Belgrave Street London SW1.
2. Aoyama H (1981), Outline of earthquake provisions in the recently revised Japanese building code. Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol 14 No 2, June.
3. Yuzugulu O, Erdik M, Askar G (1992), Structural damage in March 13, 1992 (Ms=6.8) Erzincan earthquake : a preliminary reconnaissance report. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Bogazici University, Istanbul.
4. IAEE (1988), New aseismic design method for buildings in Japan. In: Earthquake resistant regulations - A world list. International Association for Earthquake Engineering, Tokyo.
5. Eurocode 8 (1988), Structures in seismic regions. Draft: May 1988. Commission of the European Communities, Brussels.

دستاوردهای گروه انگلیسی بررسی‌کننده زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه*

مارتین اس. ویلیامز

ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

مأموریت بازدید از ارزنجان واقع در بخش شرقی ترکیه بلافاصله پس از زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲، توسط گروه انگلیسی مهندسی زلزله بررسی‌کننده در محل [1] آغاز شد. گروه تعدادی از سازه‌های آسیب‌دیده را در ارزنجان و روستاهای پیرامون با جزییات دقیق ارزیابی کرد، با این هدف که کاستی‌های عمده طراحی را که منجر به گسیختگی و انهدام سازه‌ها شده است، روشن سازد و توزیع خسارات و آسیب‌پذیری نسبی انواع سازه‌ها را مشخص کند. همچنین سعی شد تا رابطه‌ای بین شدت‌های ملاحظه شده و پارامترهای جنبش زمین اندازه‌گیری شده، برقرار گردد. این مقاله برروی سه جنبه از کار گروهی استواراست. نخست، مدهای اصلی گسیختگی انواع مختلف ساختمان‌ها نشان داده‌شده و مثال‌هایی به اجمال ارایه شده است. سپس گزارش بررسی سه بیمارستان اصلی ارزنجان که هر سه آنها حین زلزله

---

* Martin S. WILLIAMS, "Findings of the UK Investigation of the 1992 Erzincan Earthquake". Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, March 10-13, 1993, Istanbul.

1 - Earthquake Engineering Field Investigation Team. EEFIT

صدمات اساسی دیده‌اند، آورده شده‌است. آخرسر، گسترش خرابی‌ها در شهر ارزنجان و اطراف آن با توجه به شرایط حوضه خاکی زیرین ارایه شده‌است. فقدان روندی آشکار و منسجم، تشخیص تاثیر حوضه خاکی زیرین را روی خرابی سازه‌ها دشوارمی‌نماید.

مقدمه

زلزله‌ای که در ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان را به لرزه درآورد، اولین واقعهٔ بزرگی بود که ساختمان‌های نوساز را که نتیجهٔ شکوفایی اقتصادی و ترقی اجتماعی سال‌های اخیر ترکیه به‌شمار می‌رفتند، تحت تأثیر قرار داد. گرچه انواع بسیاری از ساختمان‌ها صدمات سطح بالایی را متحمل شدند، لیکن توجه عمومی معطوف به گسیختگی ساختمان‌های بتن‌آرمه گردید که موجب بیشترین تلفات و خسارات در این زلزله شد. به علاوه، منطقه آسیب دیده شامل تعدادی روستا نیز می‌شد که در آنها ساختمان‌های سنتی ارزان‌قیمت به وفور ساخته شده بود. بدین‌ترتیب زلزله ارزنجان دربرگیرنده چندین جنبه مهم از رفتار سازه‌ای بود که می‌بایستی از طریق بازدید دقیق صدمات، تقویم و ارزیابی گردند.

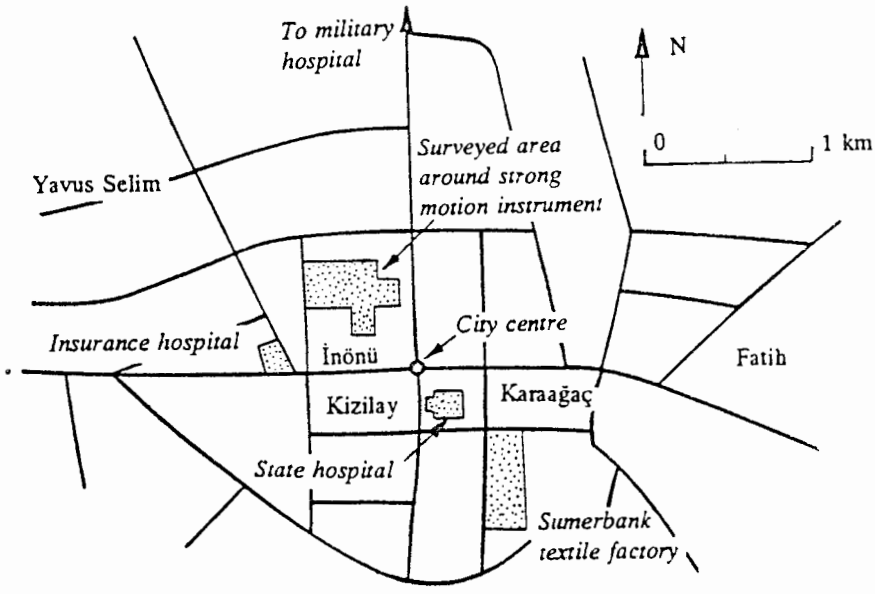
در زمان کوتاهی پس از وقوع زمین‌لرزه، مأموریت گروه انگلیسی مهندسی زلزله بررسی‌کننده در محل آغاز شد. این گروه از شهر ارزنجان بازدید و خرابی ساختمان‌ها را در این شهر و روستاهای اطراف آن بررسی و تقویم کرد. در این کار بستر خاکی زیرین نیز مدنظر قرار گرفت، هم حوضه آبرفتی عمیق که ارزنجان بر روی آن واقع است و هم کوه‌های شمالی مورد توجه قرار گرفتند. دستاوردهای کامل بازدید گروه، اخیراً چاپ و منتشر شده‌است [۱]. جنبه‌های دیگری از کار گروه توسط ادموندبوث ارایه شده است [۲]. این مقاله برروی سه جنبه اصلی دیگر کار انجام شده توسط EEFIT متمرکز شده‌است. نخست، مدهای اصلی گسیختگی ساختمان‌ها در ارزنجان و شهرک‌ها و روستاهای اطراف آن بررسی شده‌اند. دوم به بسیاری از نقطه نظرهای ارایه شده، در بخش بعدی مقاله به تفصیل پرداخته شده‌است، خصوصاً از نحوه خرابی سه بیمارستان برای نشان‌دادن مشکلات ساخت‌وساز در ارزنجان استفاده شده‌است. بخش آخر مقاله به توزیع و گستردگی خرابی‌ها در شهر ارزنجان و اطراف آن پرداخته‌است.

ـدهای گسیختگی ساختمان‌ها

نواع سیستم‌های سازه‌ای

ـقشه ساده شده‌ای از شهر ارزنجان در شکل یک نشان داده شده است. ارزنجان شهر جدیدی است که متعاقب زلزله مخرب ۱۹۳۹ بازسازی شده‌است. انواع ساختمان‌های تداول در شهر عبارتند از:

- ساختمان‌های بتن‌آرمه با ارتفاع متوسط (تا ۶ طبقه)
- ساختمان‌های بتن‌آرمه کوتاه (یک یا دو طبقه)
- ساختمان کوتاه بنایی آجری
- ساختمان یک طبقه خشت و گلی
- ساختمان یک طبقه پیش‌ساخته (بتنی یا چوبی)



شکل ۱ـ پلان شهر ارزنجان. محله‌ها و ساختمان‌های نام برده شده در مقاله مشخص شده‌اند.

تعداد ساختمان‌های فلزی بسیار کم و ناچیز است. در روستاهای اطراف تعداد زیادی از خانه‌های سنتی متشکل از خشت خام با کلاف‌بندی چوبی، خشتی ساده و بنایی با سنگ لاشه وجود دارد. سقف‌ها عموماً از گِل متراکم، تخت و سنگین تشکیل شده‌اند و در مواردی از سقف چوبی یا ورق‌های فلزی موجدار نیز استفاده شده‌است. ضمناً میزان فزاینده‌ای از ساختمان‌های مدرن آجری یا بلوک سیمانی و تعدادی ساختمان‌های بتن‌آرمه در روستاهای نزدیک به ارزنجان وجود دارد. گرچه بیشترین صدمات در ساختمان‌های بتن‌آرمه با ارتفاع متوسط اتفاق افتاده‌است، با این همه در سایر سازه‌ها نیز سطح قابل ملاحظه‌ای از خرابی دیده می‌شود. ساختمان‌های پیش‌ساخته و ساختمان‌های کوتاه و سبک از این امر مستثنی هستند که بطور عمده خسارات اندک و جزئی را متحمل شده‌اند.

ساختمان‌های بتن‌آرمه

اکثر ساختمان‌های بتن‌آرمه با ارتفاع متوسط، در دو خیابان اصلی شهر ارزنجان در راستای شمال به جنوب و شرق به غرب احداث شده‌اند. میزان این گونه ساختمان‌های خسارت دیده غیرقابل تعمیر نسبتاً بالا و حدود ۴۰٪ است [۳]. بسیاری از گسیختگی‌ها از نوع گسیختگی در دو انتهای ستون‌هاست. گسیختگی‌ها، ابتدا در تراز طبقه همکف روی داده و در مواردی به طبقات بالاتر تسری پیدا کرده و موجبات انهدام ساختمان را فراهم آورده‌اند. در بسیاری موارد، گسیختگی‌های دوسر ستون‌ها به قسمت پایین یک یا دو طبقه محدود شده و گسیختگی کامل در تمامی طبقات نادر است (شکل ۲). تشکیل طبقات نرم در تراز همکف، احتمالاً علت‌اصلی گسیختگی‌های دو سرستون‌هاست. این‌مورد از خرابی، در همه ساختمان‌های عمدهٔ دو خیابان اصلی شهر که درآنها طبقات همکف به عنوان فروشگاه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، شدیداً گسترده است. چندین گسیختگی بر اثر پدیده ستون کوتاه در ترازهای زیرزمین و در محل‌هایی که پنجره‌ها تمام پهنای بین ستون‌ها را اشغال می‌کنند، اتفاق افتاده‌است. طرح ستون ضعیف ـ تیر قوی در چندین ساختمان نیز مشاهده گردید.

گسیختگی پیچشی در چندین مورد اتفاق افتاده است. نیروهای بزرگ پیچشی زمانی می‌توانند ایجاد شوند که مراکز جرم و سختی فاصله قابل ملاحظه‌ای از یکدیگر داشته

باشند. در مواردی وجود تعداد زیادی از بازشو در نمای مشرف به خیابان و یا موقعیت برون مرکزی پله‌ها به این امر کمک کرده‌است. در مواردی نیز فقدان یکپارچگی در بازشوها از کف به کف و یا از بر به بر ساختمان به بارگذاری نامتقارن ساختمان و نهایتاً به گسیختگی آن انجامیده‌است (بیمارستان دولتی، همین گزارش).

تعداد کمی از ساختمان‌های با ارتفاع متوسط در یک طبقه میانی گسیخته شده‌اند و طبقات بالا و پایین آن بدون آسیب اساسی باقی مانده‌اند (شکل ۳). در میان این نوع ساختمان‌ها، گسیختگی دوسر ستون، فقط در یک مورد مشاهده گردید. این شکل گسیختگی ساختمان مستلزم وجود ساختمان‌های بیش از ۶ طبقه است، از این رو نباید چندان انتظار وقوع گسترده آن را در ارزنجان داشته باشیم.

از نقطه نظر اجرا، محصور شدگی ناکافی میلگردها و نیز کیفیت ضعیف بتن‌های ریخته شده (جداشدن دانه‌ها، کرموبودن بتن‌ها، استفاده از سنگدانه‌های غلتیده و مسطح) را در اغلب موارد شاهد بودیم. میانگین مقاومت فشاری بتن مصرفی در ساختمان‌های بتن‌آرمه تخریب شده حدود $10N/mm^2$ اعلام شده‌است [۳]، یعنی کمتر از نصف مقداری که آیین‌نامه UBC برای ساختمان‌های بتن‌آرمه در مناطق زلزله‌خیز شدید مقرر می‌کند [۴].

از ساختمان‌های بتن‌آرمه کوتاه، برای خانه‌سازی در ارزنجان و دهکده‌های مجاور قابل دسترس، استفاده شده‌است. این ساختمان‌ها غالباً خوب عمل کرده‌اند و خرابی آنها منحصر به ترک‌خوردگی در پانل‌های پرکننده بوده‌است. با این حال چند مورد گسیختگی کامل در این نوع ساختمان‌ها مشاهده شد که دلیل آن ایجاد طبقه نرم در همکف به خاطر استفاده از پارکینگ یا انبار می‌باشد.

نواقص و کاستی‌های مربوط به طراحی و اجرا که در این بخش مقاله آورده‌شد، توسط اعضاء گروه به خوبی درک، بحث و فحص شده‌اند. اکثر گسیختگی‌های حادث می‌توانستند قابل پیش‌گیری و اجتناب‌پذیر باشند.

شکل ۲ ـ گسیختگی طبقه پایین یک ساختمان بتن‌آرمه در محله قره‌آغاج

شکل ۳ ـ گسیختگی طبقه میانی یک ساختمان بتن‌آرمه در محله قره‌آغاج

شکل ۴ ـ گسیختگی جزئی ساختمان بنایی سنگی در روستای مجیدیه

شکل ۵ ـ گسیختگی و فروریزش سقف انبار کارخانه نساجی سامربانک

ساختمان‌های بنایی با آجر یا با بلوک سیمانی

گرچه ساختمان‌های بنایی در ارزنجان و روستاهای پیرامون خرابی‌های زیادی را تحمل کردند، لیکن میزان گسیختگی کامل و انهدام این گونه ساختمان‌ها بسیار کم بود. اکثر گسیختگی‌ها ناشی از گسترش ترک‌های قطری برشی است که منشا غالب آنها بازشوهای مربوط به در یا پنجره و یا گوشه‌های پس رفته ساختمان‌ها است. این شکل گسیختگی بطور کامل در ساختمان تعاونی مسکن اوزوملو[1] واقع در بیست کیلومتری شرق ارزنجان قابل مشاهده بود [۱]. مواردی از فروریزش دیوارهای بنایی خارج از صفحه زیاد بود. اکثر ساختمان‌های بنایی، بطور قابل قبولی ساخته شده‌بودند و دارای کلاف‌بندی بتن‌آرمه پیرامونی بودند که معمولاً در تراز بالایی بازشوی مربوط به پنجره‌ها قرار داشت. این کلاف‌ها در جلوگیری از پیدایش و گسترش ترک‌های برشی بطور موثری عمل کردند. در یک و دو مورد دیگر که کلاف‌ها مقاومت زیادی داشتند از فروریزش سقف جلوگیری کرده بودند در حالی که یکی از دیوارهای زیری آنها کاملاً گسیخته و فروریخته بود. اشتباه غالب در طراحی این نوع ساختمان‌ها، پیش‌بینی فضای بیش از اندازه بزرگ به بازشوی پنجره‌ها در دیوارهای باربر، نامنظمی در پلان و استفادهٔ مکرر از گوشه‌های پس رفته‌بود.

شکل‌های سنتی ساخت‌وساز

ساختمان‌های ساخته شده با سنگ یا با خشت خام عملکرد نامناسبی در حین زلزله داشتند، بویژه در مواردی که سقف آنها سنگین و متشکل از گِل و خاک متراکم بود (شکل ۴). علاوه بر گسیختگی‌های برشی دیوارها، بسیاری از سقف‌ها به علت فقدان اتکا روی دیوارهای باربرِ جابجا شده، فرو ریختند. در ساختمان‌هایی که تیرچه‌های سقف از پشت دیوار بیرون زده بودند و یا تیرچه‌ها توسط دیوارهایی حمل می‌شدند که داخل آنها کلاف‌بندی چوبی قرار داشت، گسیختگی و فروریزش سقف‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای نادر بود. ساختمان‌های خشتی با کلاف‌بندی چوبی نیز صدمات متوسطی را متحمل شدند که نمونهٔ آنها کنده‌شدن

---

1 - Uzümlü

اندود، تخریب و از دست رفتن خشت‌هاست. انهدام و گسیختگی کامل چنین ساختمان‌هایی به علت قابلیت قاب چوبی به تحمل تغییرشکل‌های زیاد بدون گسیختگی، نسبتاً کم بوده است.

راستای خرابی‌ها

گروه بازدیدکننده کوشید تا جهت اصلی گسیختگی و انهدام ساختمان‌های مورد بررسی را ارزیابی کند و از این کوشش دو نتیجهٔ عمده عایدشد. نتیجهٔ اول این که به نظر می‌رسد ساختمان‌هایی که محور طویل آنها در راستای شرقی- غربی است خسارات بیشتری را در مقایسه با ساختمان‌هایی که محور طویل آنها در جهت شمالی- جنوبی است متحمل شده‌اند. مثال بارز برای این مطلب، رفتار دو ساختمان سبک با کاربری انبار در کارخانه نساجی سامر بانگ[1] است که موقعیت آن در شکل ۱ مشخص شده‌است. این ساختمان‌ها عبارتند از دو سازهٔ فولادی فاقد بادبند که وجوه آن کاملاً باز بوده و برای پوشش سقف از ورقه‌های فولادی استفاده شده‌است. این دو سازه بجز موقعیت استقرارشان، کاملاً یکسان و مشابه هم هستند. قابی که محور طویل آن در جهت شرقی- غربی است کاملاً منهدم شده‌است و جهت فروریزش آن به سمت غرب می‌باشد (شکل ۵). سازهٔ دیگر که عمود بر سازهٔ پیش گفته‌است، زلزله را بدون صدمات مشهود تاب آورده است. از این مسئله چنین برمی‌آید که جنبش زمین در راستای شرق به غرب در حین زلزله قوی‌تر از جنبش زمین در راستای شمالی -جنوبی است. این مورد با رکوردهای جنبش نیرومند زمین در مرکز ارزنجان تطابق دارد و از آن نتیجه می‌شود که مکانیسم گسل از نوع امتداد لغز[2] است.

نتیجهٔ دوم آنکه، ملاحظه شده‌است اغلب سازه‌هایی که در راستای شرق به غرب گسیخته شده‌اند جهت ریزش آنها به طرف غرب بوده‌است و سازه‌هایی که در راستای شمال به جنوب گسیخته شده‌اند اغلب جهت ریزشی به سمت جنوب داشته‌اند. این مشخصه هم برای المان‌های مختلف سازه‌ای به صورت منفرد و هم برای سازه‌ها ملاحظه شده است؛

1 - Sumerbank

2 - Strike-slip fault

سازه‌هایی که دیوارهای نمای سمت غرب و جنوب آنها در مقایسه با دیوارهای نمای طرف شرق و شمال، گسیختگی‌های خارج از صفحه بیشتری را با فرکانس‌های بالا تحمل کرده‌اند.

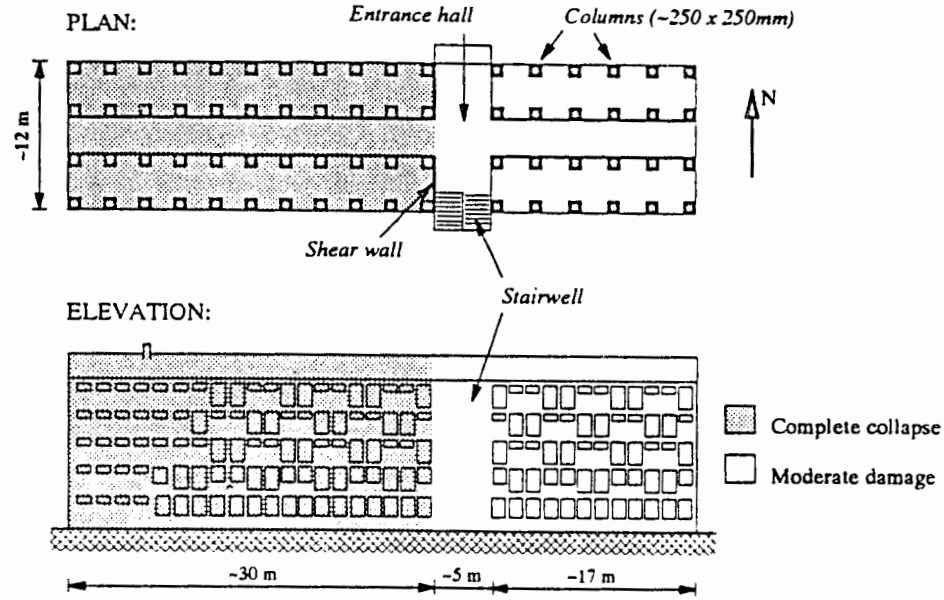
بیمارستان‌ها

بیمارستان‌ها در زمره سازه‌های حیاتی در زمان وضعیت‌های اضطراری به شمار می‌روند. ضروری است بیمارستان‌ها، زلزله‌های شدید و سایر سوانح طبیعی را بدون خرابی و اختلال اساسی تحمل کنند. گروه بررسی‌کننده، محل هر سه بیمارستان را بازدید و اطلاعاتی را در مورد رفتار سازه‌ای و نحوه عملکرد و بهره‌برداری آنها در زمان زلزله و در مدت کوتاهی پس از وقوع زلزله، جمع‌آوری نمود. علاوه بر اهمیت آشکار و کلیدی بیمارستان‌ها، این سازه‌ها برای انعکاس تعدادی از نکات عمومی که در بخش قبلی گزارش عنوان شدند، به کار می‌آیند.

بیمارستان دولتی

بیمارستان دولتی متشکل از شش ساختمان اصلی در محوطه‌ای بسیار نزدیک به مرکز شهر قرار دارد (شکل ۱). از این ساختمان‌ها، ساختمان دو طبقه بخش مامایی در سال ۱۹۸۰ و ساختمان سه طبقه مربوط به امراض ریوی در سال ۱۹۹۰ ساخته شده‌اند. ساختمان‌های مزبور بعلاوه دو ساختمان یک طبقه دیگر صدمات جزیی را متحمل شده‌اند. خسارات اصلی به ساختمان مدرسه پرستاری وارد شده است. این ساختمان، بنایی ۵ طبقه با یک طبقه زیرزمین است که زمان احداث آن به قبل از سال ۱۹۷۷، سال انتشار آیین‌نامه زلزله ترکیه برمی‌گردد (شکل ۶). نیمه غربی این ساختمان کاملاً منهدم شد و ۲۲ نفر از حدوداً ۵۰ نفر ساکنین آن، جان باختند. باتوجه به شکل ۶، تعدادی از ویژگی‌های سازه‌ای که در این انهدام احتمالاً مشارکت داشتند مشخص و شناسایی شده‌اند.

نخست آنکه، تنها یک دیوار برشی در جهت عرض ساختمان و درست در غرب هال ورودی وجود دارد و در جهت طولی، ساختمان فاقد دیوار برشی است. بسیار بعید به نظر می‌رسد که دیوارهای اصلی طولی ساختمان به علت وجود تعداد زیادی بازشوی در و



شکل ۶ـ مدرسه پرستاری. پلان طبقه تیپ و نمای ساختمان که نشانگر توزیع نامنظم بازشوی پنجره‌هاست (ترسیم فاقد مقیاس است).

پنجره بتوانند عملکردی به عنوان دیوار برشی داشته‌باشند. ثانیاً، قرارگیری نامنظم بازشوی پنجره‌ها می‌تواند منجر به توزیع ناموزون نیروی افقی در سازه گردد. منشاء برون محوری سختی، مربوط به چاهک راه‌پله‌هاست که در جنوب ساختمان قرار گرفته است. ضمناً محل‌های بی‌شمار دیگری موجودند که محتملاً در آنها پدیده ستون کوتاه در بین پنجره‌ها اتفاق افتاده‌است. آخر سر اینکه، محور طویل ساختمان در راستای شرق‌ـغرب قرار دارد و انهدام در قسمت غربی اتفاق افتاده‌است.

ششمین ساختمان از مجموعه ساختمان‌های بیمارستان، عمارت سه طبقه کلینیک جراحی است. ستون‌های این ساختمان صدمات بسیاری دیدند و مصالح پرکننده بنایی در تراز طبقه همکف ترک‌های قطری زیادی برداشتند. در این ساختمان، اکثر پنجره‌ها در یک سر نما متمرکز شده‌بودند و طرح معماری بین نماهای شمالی و جنوبی به گونه‌ای بود که امکان پیچش‌های قابل ملاحظه در این ساختمان وجود داشت. محور طویل این ساختمان نیز در

راستای شرق و غرب قرار داشت.

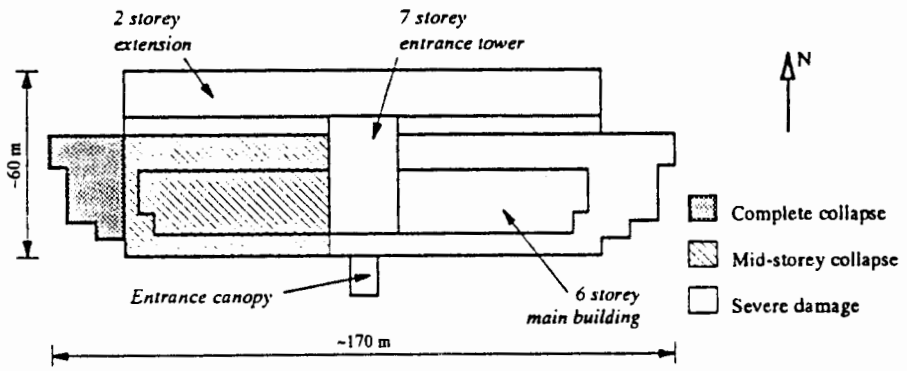
گرچه تعدادی از ساختمان‌های بیمارستان حدوداً سالم باقی مانده‌بودند ولی بیمارستان بطور کلی قادر نبود به پیامدهای زلزله پاسخ مساعد و لازم را بدهد. انهدام مدرسه پرستاری تلاش‌های پرسنل بیمارستان را در چند ساعت نخست پس از زلزله تحت‌الشعاع قرار داد. بسیاری از عمل‌های جراحی در فضای باز یا در چادرها انجام گرفت. تعداد زیاد افرادی هم که به صورتی غیرمنتظر نیاز به مداوای سوختگی داشتند مسایلی را برای بیمارستان ایجاد نمود.

بیمارستان بیمه

این بیمارستان در غرب ارزنجان واقع شده (شکل ۱) و شامل دو ساختمان مستطیلی شکل بود که طول هر کدام در راستای شرق به غرب حدوداً ۴۰ متر و عرض آنها در راستای شمال به جنوب تقریباً ۲۰ متر بود. یکی از ساختمان‌ها ۵ طبقه و دیگری ۴ طبقه بود و راه‌پله مشترکی آنها را در گوشه به هم متصل می‌ساخت. زلزله موجب انهدام کامل ساختمان ۵ طبقه گردید و به ساختمان ۴ طبقه، صدمات سازه‌ای متوسطی وارد آورد. محوطهٔ بیمارستان تا رسیدن گروه به ارزنجان آواربرداری شده‌بود. لیکن بررسی بازمانده ساختمان‌ها نشان داد که پانل‌های پرکننده متشکل از آجرهای توپر، نسبتاً قوی بودند و امکان بروز پدیده ستون کوتاه در تراز زیرزمین موجود بود. یک برآورد غیررسمی، تعداد قربانیان انهدام این بیمارستان را ۲۱ نفر اعلام کرده است.

بیمارستان نظامی

این بیمارستان، ساختمان طویل ۶ طبقه‌ای واقع در شمال شهر ارزنجان بود که پلانی از آن در شکل ۷ نشان داده شده‌است. گرچه بخش بزرگی از ساختمان، شکل مرتب و یکنواختی را داشت، لیکن وجود تعداد زیادی گوشه‌های پس‌رفته بر آسیب‌پذیری قسمت‌های انتهایی ساختمان افزوده‌بود. زلزله موجب انهدام کامل بخش انتهایی غربی، گسیختگی طبقات در نیمه غربی باقیمانده و صدمات شدید به بقیه ساختمان گردید.



شکل ۷ـ پلانی از بیمارستان نظامی (فاقد مقیاس)

بازدید تصاویر قبل از زلزله ساختمان، نشان می‌دهد که احتمالاً وجود طبقه نرم علت غالب گسیختگی‌ها باشد، گرچه ممکن است قسمت‌های گسترش یافته ساختمان در طرف شمالی و در ترازهای پایین‌تر به ساختمان اصلی ضربه زده‌باشند. یک سخنگوی نظامی به گروه بررسی‌کننده اظهار داشت که علی‌رغم حضور حدود ۸۰ نفر در بیمارستان در زمان زلزله، انهدام ساختمان، مرگ ومیری در پی نداشته است.

ویژگی‌های مشترک

مسایل و موارد مشابهی از بررسی سه بیمارستان فوق‌الذکر مشخص و پدیدار شده‌است. در هریک از ساختمان‌ها، گسیختگی اصلی در منتهی‌الیه غربی ساختمان طویل که محور طولی آن در راستای شرق به غرب است (حدوداً موازی گسل آناتولی شمالی) اتفاق افتاده‌است. این مطلب با ملاحظات مربوط به راستای خرابی‌ها که پیشتر گفته‌شد و نیز با تکان قوی زمینِ اندازه‌گیری شده، تطابق دارد. شایان ذکر است که تکان قوی زمین در راستای شرق به غرب، مقدار بزرگتری را داراست. همه ساختمان‌های منهدم شده، ۵ یا ۶ طبقه با قاب بتن‌آرمه با تعداد زیادی بازشوی پنجره و فاقد دیوار برشی در جهت شرق به غرب بودند. این امر با مشخصات تکان قوی زمین اندازه‌گیری شده هماهنگ است. مولفه‌های شتاب حداکثر در پریودهای ۲ر۰ تا ۳ر۰ ثانیه روی داده و نزدیک به پریود طبیعی اصلی ساختمان‌های متشکل از قاب با ارتفاع متوسط می‌باشد. آخر سر، رفتار ضعیف این سه ساختمان مهم شدیداً مورد

توجه و بحث عامه قرار گرفت. ضمناً، مرگ‌ومیر زیاد و سطح بالای خرابی‌ها از توانمندی و مشارکت بیمارستان‌ها در عملیات مراقبت‌های بعد از عمل جراحی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاست.

گسترش خرابی‌ها

بررسی صدمات سازه‌ای توسط گروه با هدف دستیابی به نحوه آسیب‌پذیری انواع مختلف ساختمان‌ها و تاثیر عمق حوضه آبرفتی روی آنها در شهر ارزنجان انجام گرفت. این بررسی‌ها موارد زیر را دربرمی‌گرفت:

- بررسی کامل و حاوی جزییات ساختمان‌های متشکل از قاب بتن‌آرمه کم‌ارتفاع، ساختمان‌های بنایی با بلوک آجری یا سیمانی، خانه‌های سنتی با کلاف بندی چوبی و ساختمان‌های چوبی پیش‌ساخته در محدوده‌ای نزدیک به محل استقرار دستگاه اندازه‌گیری تکان قوی زمین و درست در شمال غرب مرکز شهر ارزنجان.
- بررسی مجموعه‌ای از ساختمان‌های بنایی نوساز در اوزوملو.
- بررسی ساختمان‌های کم‌ارتفاع بتن‌آرمه متشکل از قاب و ساختمان خشتی در روستاهای چوکورکئو[1] و یالنیزباغ[2] در حدود ۷ کیلومتری شمال‌غربی ارزنجان.
- بازدید از ده روستای دیگر در حوضه آبرفتی ارزنجان و بازدید از مناطق کوهستانی شمال ارزنجان.
- بازدید پیاده سه کیلومتری مسیر شمال به جنوب ارزنجان و بررسی و ثبت خرابی دودکش‌ها و دیوارهای کناری منازل. این بررسی بطور کامل توسط ادموند بوث ارایه شده‌است [۲].

داده‌های اضافی توسط وزارت مسکن و شهرسازی که بر مبنای بازدیدهای محلی خانه به خانه در مدت کوتاهی پس از وقوع زلزله تنظیم شده‌بود، در اختیار گروه قرار گرفت. نتایج اصلی بررسی‌ها به اجمال در زیر می‌آید.

1- Cukurkuyu 2- Yalnizbag

شهر ارزنجان

مطابق آمارها و داده‌های منتشر شده از سوی وزارت مسکن و شهرسازی از کل ساختمان‌های موجود در شهر ارزنجان، ۸٪ آنها تخریب کامل، ۱۲٪ صدمات متوسط و ۱۵٪ خسارات سبک دیده‌اند. گزارش‌های غیررسمی بیانگر آن هستند که آمارهای اولیه بطور قابل توجهی سطح تخریب کلی را کمتر از میزان واقعی ارزیابی کرده‌است. موارد انهدام و خسارات اساسی در شهر ارزنجان در محله‌های مرکزی اینونو[1]، قیزیل آی[2]، قره‌آغاج[3] و در محله یاووز سلیم[4] در لبه شمال غربی شهر و در محله فاتح در شرق ارزنجان متمرکز شده‌بودند (شکل ۱). در تمامی این محله‌ها، ساختمان‌های با ارتفاع متوسط، تراکمی بالاتر از حد میانگین دارند، فقط در سایر محله‌ها که تعداد ساختمان‌های کوتاه بیشتر است، میزان خسارات وارده نیز به تناسب تعداد ساختمان‌ها کمتر است.

بررسی خسارات وارد بر ساختمان‌ها بطور دقیق در محله اینونو در شمال غربی بخش مرکزی ارزنجان و در اطراف دستگاه ثبت تکان قوی زمین انجام گرفته‌است [۵]. این بررسی ۱۲۵ ساختمان را دربرمی‌گیرد که تعداد ساختمان‌های مختلف از نوع پیش‌ساخته با قاب چوبی، خشتی با کلاف‌بندی چوبی، بنایی آجری و بتن‌آرمه متشکل از قاب ۱ تا ۳ طبقه، حدوداً یکسان انتخاب شده‌اند. جدول ۱، گسترش خرابی حاصل از این مطالعه را نشان می‌دهد. با ملاحظه این جدول مشخص می‌شود که تعداد انهدام یا گسیختگی کامل ساختمان‌ها در این منطقه کم بوده‌است و فقط تعداد زیادی از ساختمان‌های خشتی با کلاف‌بندی چوبی و ساختمان‌های بنایی آجری خسارات متوسطی را تحمل کرده‌اند. در این بررسی قاب‌های بتن‌آرمه که دارای سه طبقه یا کمتر بوده‌اند رفتار مناسب و معقولی نشان داده‌اند. در مقایسه با بررسی‌هایی که در سایر زلزله‌ها انجام گرفته است، نتیجه می‌شود که سطح کلی خرابی در این منطقه، حدوداً همان چیزی است که از زلزله‌ای به این بزرگی انتظار می‌رود.

1- Inönü
2- Kizilay
3- Karaagāç
4- Yavuz Selim

جدول ۱ـ سطوح خرابی در منطقه اطراف دستگاه ثبت تکان قوی زمین

نوع ساختمان	تعداد ساختمان بررسی شده	تعداد ساختمان باتوجه به‌نحوه خرابی		
		خرابی سبک یا آسیب‌ندیده	صدمات متوسط	صدمات زیاد یا گسیختگی کامل
قاب چوبی	۳۹	۳۴	۵	۰
خشتی با کلاف‌بندی چوبی	۳۵	۱۴	۱۸	۳
بنایی آجری	۲۸	۱۰	۱۷	۱
قاب بتن آرمه	۲۳	۱۵	۷	۱

روستاهای پیرامون

اکثر روستاهایی که توسط گروه بازدید شد در ۴ تا ۱۰ کیلومتری غرب ارزنجان واقع شده‌بودند و موقعیت آنها نسبت به حوضه خاک زیرین از قسمت میانی حوضه تا تپه‌ماهورهای شمالی و نزدیکی گسل آناتولی شمالی متغیر بودند. اعضا گروه ضمناً سه روستا در شرق ارزنجان و دو روستا در مناطق کوهستانی شمالی و شهرک کِماه[1] در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی ارزنجان را مورد بازدید قرار دادند.

بررسی و برداشت‌های دقیق در روستاهای چوکورکئو و یالنیزباغ در ۷کیلومتری شمال‌غربی ارزنجان و حدوداً در لبه حوضه انجام گرفت. در این دو روستا، خسارات اساسی به ساختمان‌های موجود که اکثراً از نوع خانه‌های خشتی و گلی و ساختمان‌های کوتاه قابی شکل بتن‌آرمه بودند، وارد آمده بود. خانه‌های خشتی و گلی، کلاً با بیشترین خرابی مواجه بودند؛ حدود یک سوم آنها آسیب جدی و یک سوم دیگر صدمات متوسطی را پذیرفته بودند؛ چند مورد فروپاشی کامل نیز روی داده‌بود. در برابر، جز چند مورد فروپاشی، اکثر ساختمان‌های بتن‌آرمه آسیب‌های جزئی دیده بودند.

1- Kemah

گروه همچنین از شهر اوزوملو که در بیست کیلومتری شرق ارزنجان و برروی تپه‌های مجاور کوه‌ها واقع شده و نیز از روستاهای مجاور آن روی قسمت مسطح و تخت حوضه خاکی بازدید به‌عمل آورد. در اوزوملو، اکثر ساختمان‌ها به استثنای مجموعه‌ای از خانه‌های بنایی که در جهت شمال به جنوب از دامنه تپه‌ها به طرف حوضه خاکی ارزنجان گسترده شده بودند، خسارات سبکی را متحمل شده‌بودند. در این خانه‌ها، سطح خرابی بطور پیوسته و منظم از تقریباً صفر در منتهی‌الیه شمالی تا انهدام کامل در جنوبی‌ترین نقطه خانه‌ها (نزدیک عمیق‌ترین قسمت حوضه خاکی) متغیر بود. به‌هرحال ممکن است عوامل دیگری غیراز ژرفای آبرفت در گسترش خرابی‌ها موثر بوده‌باشند (مثلاً سن ساخت و سازها).

تفسیر توزیع خرابی‌ها در باقی روستاها دشوار است. در بخش غربی حوضه خاکی، تراز خرابی‌ها بالاتر از روستاهای واقع شده روی کوه‌های شمالی نزدیک به گسل آناتولی شمالی است. در قسمت شرقی، سطح خرابی‌های ملاحظه شده از لبه شمالی تا مرکز حوضه، حالت فزاینده‌ای دارد. محققان دیگر، گزارش کرده‌اند که سطوح خرابی در قسمت جنوبی حوضه بسیار پایین بوده‌است [۶]. در جنوب و دورتر از محدودهٔ حوضه خاکی، تراز خرابی‌ها مجدداً افزایش پیدا می‌کند. در شهرک کماه واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی ارزنجان، سطوح خرابی بالایی برروی دو ساختمان اصلی شهرک ملاحظه گردید و تعداد زیادی زمین‌لغزش و انهدام ساختمان‌ها در محلی دورتر و در همان جهت نظیر ایلیچ[1] واقع در ۸۰ کیلومتری ارزنجان، گزارش گردید [۶]. احتمال دارد این تاثیرات به علت نوعی انحراف و یا دگرگونی در طول دره فرات حاصل شده باشند. به هر حال گسترش خرابی‌ها در منطقه بسیار پیچیده است و آثار خرابی موئد آن است که آسیب‌ها شدیداً موضعی هستند. از این رو نتیجه‌گیری ساده مبتنی بر تاثیر حوضه خاکی روی محدوده فرکانس‌ها به آسانی امکان‌پذیر نیست.

1- Ilic

تیجه گیری

لزله ارزنجان سطح بالایی از خرابی را در شهر و روستاهای پیرامون ارزنجان به‌بارآورد. در ر این زلزله، ساختمان‌های بتن‌آرمه، بنایی با آجر و خانه‌های سنتی شدیداً آسیب دیدند. ساختمان‌های بتن‌آرمه با ارتفاع متوسط صدمات زیادی را تحمل کردند در صورتی که ساختمان‌های کوتاه بتن‌آرمه، رفتار مناسبی در حین زمین‌لرزه نشان دادند. توزیع خرابی‌ها ر شهر ارزنجان، وجود رابطه‌ای را بین نوع ساختمان و ارتفاع آن، کم‌وبیش برقرار می‌سازد؛ لی روندی که به آسانی بتواند سطوح خرابی‌ها را با ژرفای حوضه خاکی مرتبط کند، عملاً جود ندارد. شکل‌های گسیختگی و خرابی‌های سازه‌ای ملاحظه شده در ارزنجان به خوبی بل درک است. در یک کلام اکثر گسیختگی‌ها به علت عدم رعایت مقررات آیین‌نامه‌ای وی داده‌است. بدیهی است مشکل کنترل و نظارت دقیق ساخت و سازها در زمان توسعه ریع اقتصادی وجود دارد ولی در هر صورت، خرابی و انهدام سازه‌های حیاتی نظیر مارستان‌ها غیرقابل قبول می‌باشد.

پاسگزاری

موریت گروه بازدید کننده توسط یان موریس از شرکت سوخت‌های اتمی انگلیس[1] ماهنگ شده‌بود. هزینه ماموریت نگارنده برعهده شورای تحقیقات علمی و مهندسی گلستان[2] قرار داشت. در ترکیه، گروه از همکاری‌های صمیمانه بسیاری خصوصاً پرسنل یریت حوادث غیرمترقبه و نیز پروفسور چتین ییلماز از دانشگاه فنی خاورمیانه در آنکارا خوردار بود. این مقاله بدون تلاش و تفاهم سایر اعضا گروه، آنتونیوس پومونیس، یووانی واسیاگو، ادموندبوث و استیو رینگ نمی‌توانست نگاشته شود.

1- British Nuclear Fuels

2- UK Science and Engineering Research Council

مراجع

Williams, M.S., Pomonis, A.,Booth, E.D., Vaciago, G. and Ring,S. (1993) "The Erzincan, Turkey Earthquake of 13 March 1992", EEFIT Field Report, Earthquake Engineering Field Investigation Team, London.

Booth, E.D. (1993) "Structural Field Studies after the Erzincan, Turkey Earthquake of 13 March 1992", 2nd National Earthquake Engineering Conference, Istanbul.

Bogazici University (1992) "March 13, 1992 (Ms = 6.8) Erzincan Earthquake : A Preliminary Reconnaissance Report", Bogazici University Press, Istanbul.

UBC (1991) "Uniform Building Code", International Conference of Building Officials, Whittier, California.

Pomonis, A. (1992) "The 13 March 1992 Erzincan Earthquake in Eastern Turkey : Demography, Building Damage, Strong Motion and Casualties" , Report, Martin Centre, University of Cambridge.

Hencher, S.R. (1992) "Investigation of Landslides and Avalanches Caused by Recent Erzincan Earthquake". Report, Department of Earth Sciences , University of Leeds.

رفتار سیکلی خاک‌های چسبنده، روانگرایی، تقویت خاک و مطالعه موردی تأثیر عوامل ژئوتکنیکی در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان*

دکتر آتیلا آنسال

ترجمه مهندس جواد فرید

تکیده

در این مقاله، سعی شده‌است با توجه به نتایج مطالعات مختلف انجام گرفته روی زمین‌لرزه ۱۹۹ ارزنجان، سه ویژگی مهم زیر مورد مداقه قرار گیرد:

ف) رفتار خاک‌های چسبنده تحت بارگذاری‌های سیکلی

ب) قابلیت روانگرایی قشرهای خاک ماسه‌ای لای‌دار براساس کاوش‌های سر محل و مون‌های آزمایشگاهی انجام شده در دانشگاه فنی استانبول

ج) تاثیر شرایط خاک محل روی مشخصات زلزله برمبنای ملاحضات و مطالعات انجام ده روی خاک مناطق مختلف شهر ارزنجان و براساس توزیع خرابی سازه‌ها در اثر زلزله.

---

* Atilla M. ANSAL. "Cyclic Behavior of Cohesive Soils, Liquefaction, Soil Amplificati and a Case Study on the Effects of Geotechnical Factors in Erzincan 19 Earthquake", Proc. of 17th Regional European Seminar on Earthquake Engineerir 1994, A.A. Balkema, Rotterdam.

۱ـ مقدمه

جنس و مشخصات لایه‌های مختلف خاک و نیز مشخصات متغیر تحریکات زلزله‌ای که روی آنها تاثیر می‌گذارد، موجب بروز ناپایداری‌های مهم نظیر روانگرایی و یا گسیختگی شیروانی‌ها می‌شود. موارد فوق‌الذکر همچنین در نشست‌های بزرگ ناشی از پراکنش فشارهای منفذی اضافی در خاک‌های چسبنده و یا تراکم ناگهانی خاک‌های غیرچسبنده، موثرند.

هدف این مقاله بازنگری اجمالی چند مسئله ابتدایی مربوط به رفتار سیکلی خاک‌ها و نیز تاثیرات عوامل ژئوتکنیکی در حین زلزله‌هاست. این مسایل براساس ملاحظات مربوط به تقویت خاک در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان و نیز بر مبنای تحقیقاتی که طی دهه گذشته در دانشگاه فنّی استانبول انجام گرفته، قرار دارد.

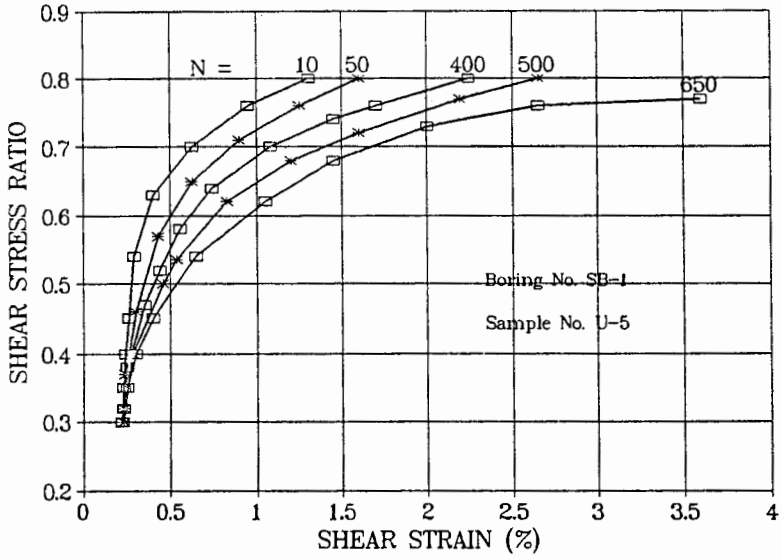
۲ـ رفتار خاک‌های چسبنده حین بارگذاری‌های سیکلی

در حین زلزله، لایه‌های خاک تحت تأثیر تنش‌های برشی سیکلی با دامنه‌ها و فرکانس‌های متفاوت قرار می‌گیرند که منجر به تغییر شکل‌های سیکلی می‌شود. این تغییر شکل‌ها، سازه‌های واقع بر روی لایه‌های خاک را متأثر کرده و ایجاد خسارت می‌کنند. به‌علاوه، تغییر در تنش ـ تنجش و مشخصات مکانیکی لایه‌های خاک حین بارگذاری‌های سیکلی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی پایداری سدهای خاکی، خاکریزها، دیوارهای حایل و شیروانی‌های طبیعی بگذارد.

رفتار سیکلی خاک‌های چسبنده اشباع با استفاده از آزمایش‌های برش ساده سیکلی زهکشی نشده در آزمایشگاه و همچنین بر روی نمونه‌های رس دست نخورده جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ترکیه مطالعه شده است [۸،۹،۱۰]. هدف از این مطالعه، ضمن بررسی تاثیرات دامنه، فرکانس و تعداد سیکل‌ها روی تنش برش سیکلی، ارایه روش‌های نیمه تجربی برای ارزیابی پاسخ سیکلی لایه‌های خاک چسبنده است. رفتار تنش

برشی ـ تنجش برشی سیکلی نمونه‌های رس به تبع تعداد سیکل‌ها از مجموعهٔ آزمایش‌های انجام شده با دامنه‌های مختلف تنش برشی ولی با فرکانس سیکلی یکسان، مشخص شده و نتیجه در شکل ۱ نشان داده شده‌است. شکل‌های بازتاب حاصل از این آزمایش‌ها نشانگر آن است که احتمالاً بتوان تنش برشی بحرانی‌ای را درنظرگرفت که به عنوان سطح بحرانی تنش سیکلی[1] تعریف و مشخص گردد [۸]. در صورتی که نمونه‌های خاک تحت اثر تنش برشی سیکلی بزرگتر از سطح بحرانی قرارگیرند، فشار آب منفذی می‌تواند سریعاً انباشته و جمع گردد و نمونه‌ها تغییر شکل‌های برشی سیکلی بزرگی را متحمل شوند.

یکی از روش‌های پذیرفته شده در آنالیز پاسخ لایه‌های خاک حین زلزله، استفاده از مفهوم عدد هم‌ارزی سیکل‌ها[2] است که تأثیرات تنش‌های سیکلی تصادفی ایجادشده توسط زلزله را مشخص می‌کند. از روی نمودارهای شکل ۱ ملاحظه می‌شود، رابطه بین تنش برشی سیکلی با دامنه تنجش برشی به صورت هذلولی‌های تنش‌ـ تنجش است که این امکان را



شکل ۱ـ رفتار سیکلی تنش برشی ـ تنجش برشی رس گلدن هورن (شاخ طلایی)

1 - Critical level of cyclic shear

2 - Equivalent number of cycles

فراهم می‌سازند که نقطهٔ تسلیمی[1] برای هریک از منحنی‌ها در محل تقاطع مماس‌های رسم‌شده در ابتدا و انتهای آنها تعریف گردد. بدین ترتیب هریک از منحنی‌های تنش-تنجش به تعداد مشخصی سیکل مربوط می‌شود و این امکان به وجود می‌آید که دامنهٔ تنش برشی سیکلی مربوط به نقطه تسلیم را به عنوان تنش تسلیم سیکلی[2] برای این تعداد سیکل درنظر بگیریم. ضمناً رابطه‌ای بین تنش تسلیم و تعداد سیکل برقرار می‌شود، که می‌تواند در ارزیابی پاسخ در محل[3] لایه‌های خاک تحت اثر تحریکات زلزله‌ای محتمل به‌کارآید.

یکی دیگر از پیامدهای مهم زمان زلزله، کاهش مقاومت برشی استاتیک ناشی از بارگذاری سیکلی است. در ادبیات فنی، دربارهٔ نتایج درصد کاهش مقاومت برشی سیکلی پس از اعمال بارگذاری سیکلی، اختلافاتی وجود دارد [۱،۱۲،۲۱،۲۳]. نتایج حاصل از یک سری آزمایش‌های برشی ساده زهکشی نشده که بر روی نمونه‌های دست نخورده خاک انجام شده، نشان می‌دهد که کاهش مقاومت در جریان بارگذاری سیکلی بدون اینکه به پراکندگی فشارهای منفذی اضافی اجازه داده شده‌باشد، ارتباط زیادی با تعداد سیکل‌ها و نیز دامنه تنش برشی سیکلی دارد. به نظر می‌رسد که درنظر گرفتن تعداد بحرانی سیکل[4] که پایین‌تر از آن تعداد، کاهش مقاومت، حالت محدودی داشته و مستقل از دامنه تنش برشی سیکلی باشد، امکان‌پذیر است [۹]. برای سیکل‌های بیشتر از تعداد مزبور، ملاحظه شده‌است که کاهش مقاومت برشی بارگذاری پساسیکلی[5] به عنوان تابعی از نسبت تنش سیکلی[6]، شکل مشخص و متمایزی به خود گرفته است. در شرایط سر محل فعلی، فشارهای منفذی سریعاً تخلیه و پراکنده نمی‌شوند و ضمناً به علت نرم‌شدگی تنجشی[7] که در اثر بارگذاری سیکلی پدید می‌آید، تغییر شکل‌های بزرگ و غیرقابل قبول و محتملاً گسیختگی روی می‌دهد. از این رو تحلیل‌های شبه ـ استاتیک[8] که بر مبنای مقاومت برشی استاتیکی قرار دارند در صورتی که انباشت فشار منفذی و تاثیرات کاهندگی[9] ناشی از تحریکات زلزله نادیده گرفته

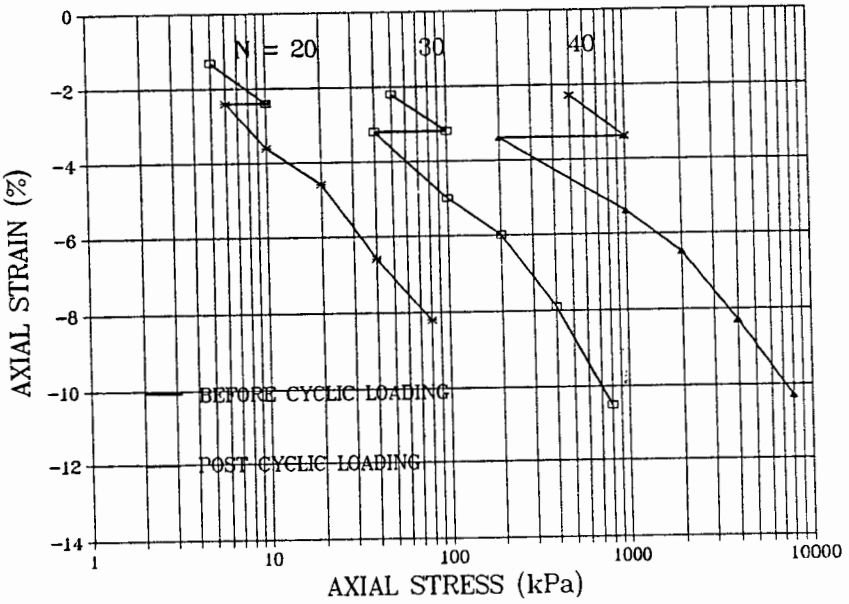
1- Yield point
2 - Cyclic yield stress
3 - Insitu response
4 - Critical number of cycles
5 - Post cyclic loading
6 - Cyclic stress ratio
7 - Strain softening
8 - Pseudo-static analysis
9 - Degradation effects

شوند،معمولاً منتج به‌اطلاعات نادرست درمورد ایمنی ساختار خاک‌موردبررسی، می‌شوند.

یکی از مشخصه‌های مهم لایه‌های خاک چسبنده که تحت اثر حرکات زلزله قرار می‌گیرند، تحکیم اضافی ناشی از تخلیه فشارهای آب منفذی ناشی از بارگذاری سیکلی است. یک سری آزمایش‌های تحکیم که روی نمونه‌های تحکیم یافته معمول انجام شده، نشان می‌دهد وقتی که نمونه‌ها تحت اثر تنش‌های برشی سیکلی در شرایط زهکشی نشده قرار بگیرند، مطابق شکل ۲، نشست‌های اضافی قابل ملاحظه‌ای را بروز می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود افزایش تعداد سیکل‌ها و یا دامنه تنش برشی سیکلی منجر به افزایش نشست می‌شود.

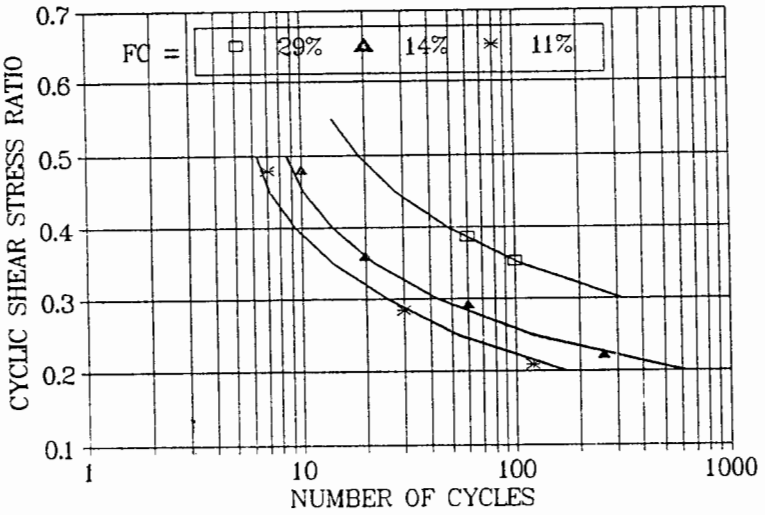
۳ـ ارزیابی قابلیت روانگرایی

برای تعیین پتانسیل روانگرایی نهشته‌های ماسه‌ای اشباع شده نیاز به انجام آزمایش‌های سیکلی، ترجیحاً روی نمونه‌های دست نخورده وجود دارد. برای این منظور، آزمایش‌های

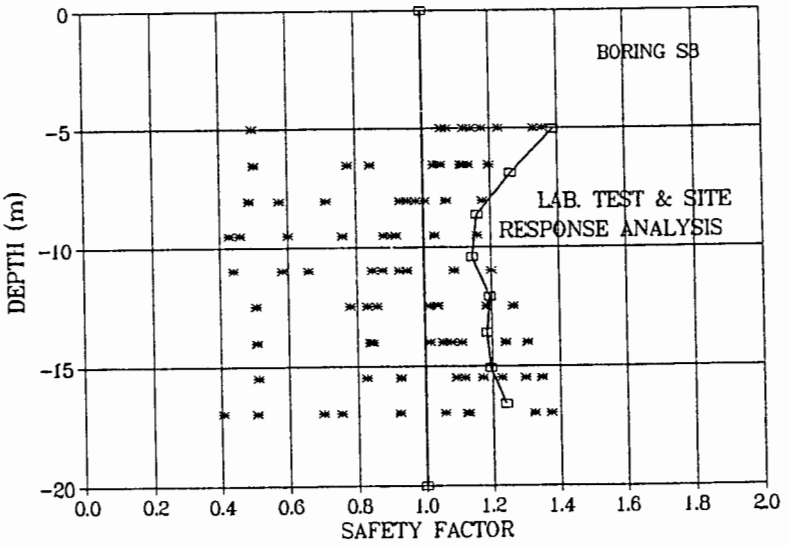


شکل ۲ـ نشست‌های اضافی ناشی از اعمال تنش برش سیکلی در حین آزمایش متداول تحکیم

برش سادهٔ سیکلی به صورت تحکیم‌یافته زهکشی نشده بر روی نمونه‌های ماسه و ماسه لای دار که از مناطق مختلف ترکیه برداشت شده، انجام گرفته است [۷،۱۱]. نمونه‌ها به وسیله نمونه‌گیر ویژه‌ای برداشت شده و در محل منجمد شده‌اند.



شکل ۳ـ تغییرات مقاومت روانگرایی با افزایش میزان لای



شکل ۴ـ تغییرات ضریب ایمنی برای قابلیت روانگرایی

برای ارزیابی قابلیت روانگرایی قشرهای ماسه لای‌دار، آزمایش‌های برش سیکلی برروی نمونه‌هایی با دانه‌بندی‌های مختلف و میزان ریزدانه متفاوت انجام شده است [۴]. برای برخی نمونه‌ها میزان ریزدانه کمتر از ۵٪ بوده است که در این حالت ماسه را می‌توان از نوع SW یا SP طبقه بندی نمود و برای برخی نمونه‌ها میزان ریزدانه بیش از ۵۰٪ بوده‌است که در این صورت می‌توان ماسه را از نوع SC یا SM رده‌بندی کرد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده‌شده‌است، در ارزیابی قابلیت روانگرایی نمونهٔ ماسه لای‌دار بر مبنای آزمایش برش ساده، مقاومت به روان شدن با افزایش میزان لای موجود، کم می‌شود.

در ارزیابی استعداد روانگرایی قشرهای ماسه لای‌دار از یک بررسی پارامتری با استفاده از روش‌های نیمه تجربی برمبنای تعداد ضربه در آزمایش SPT و اندازه دانه‌های خاک استفاده شده‌است. یکی از اهداف مطالعه، به دست آوردن تصویر قابل درکی از پتانسیل روانگرایی قشرهای ماسه لای دار می‌باشد. هدف دیگر از هدایت چنین بررسی پارامتری برمبنای روش‌های متفاوتی که محققان مختلف ارایه کرده‌اند، نشان دادن سرشت ذهنی[1] روش‌های ارزیابی روانگرایی است. یکی از علل اصلی اختلاف بین روش‌های مختلف، ناشی از تفاوت‌هایی است که در روش‌های اجرای آزمایش SPT وجود دارد و یا به عبارت دقیق‌تر ناشی از انحراف‌هایی است که در انرژی برخورد برای سیستم‌ها و تکنیک‌های مختلف آزمایش SPT موجود است. از این رو، روش‌هایی برای ارزیابی نیمه تجربی روانگرایی در کشورهای مختلفی که آزمایش SPT را با تفاوت‌هایی به کار می‌برند، به وجود آمده‌است. به علاوه عدم تجانس موجود در پایگاه داده‌ها[2] (شرایط ساختگاه، نوع خاک) موجب شده‌است که روابط تجربی نقش مهمی در واگرایی نتایج حاصل ایفا نمایند.

مشخصات زلزله در سطح زمین و پتانسیل روانگرایی برای ساختگاه، برمبنای مطالعات پارامتری و تجربی تعیین شده‌اند. گرچه نتایج حاصل از روش‌های نیمه تجربی، پراکندگی و تفرق زیادی را نشان می‌دهد، لیکن ارزیابی کلی یافته‌ها، نشانگر قابلیت کم روانگرایی است. ارزیابی‌های پیچیده‌تر ضرایب ایمنی که براساس آزمایش برش ساده و آنالیز بازتاب

---

1 - Subjective

2 - Data bases

ساختگاه قرار دارند، این نتیجه‌گیری را تایید می‌کنند که اثرات روانگرایی در ساختگاه همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، برای یکی از نیمرخ‌های خاک قابل چشم‌پوشی است.

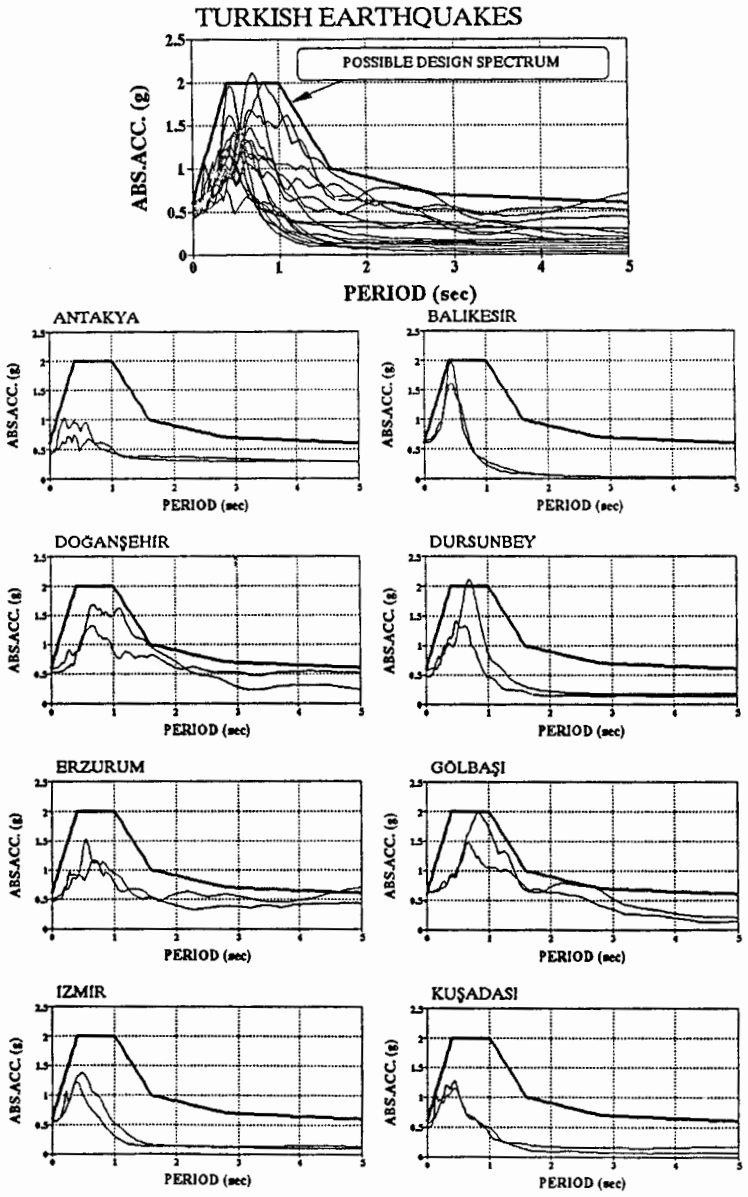
۴ـ تاثیرات مشخصات خاک محل

عواملی را که در حین زمین‌لرزه‌ها روی پاسخ سازه‌ای موثرند در سه گروه می‌توان رده‌بندی کرد: مشخصات چشمه لرزه‌زا، شرایط خاک محل و خصوصیات سازه‌ای.

مشخصات چشمه لرزه‌زا، نشانگر تاثیرات زمین‌شناسی سازند تکتونیکی منطقه است. تاثیر این عوامل بیشتر در سطح کلان و مقیاس ماکرو مطرح می‌شوند و به تنهایی قادر نیستند توزیع خسارات سازه‌ای را تشریح و تفسیر نمایند [۶]. برعکس شرایط موضعی و محلی خاک که به تبع ضخامت، مشخصات لایه‌های خاک، عمق بستر سنگی و سطح آب زیرزمینی تغییر می‌کند، تاثیر مستقیمی روی توزیع و گسترش خسارات دارد.

از نقطه نظر مهندسی، این امکان وجود دارد که ضمن شناسایی و باتوجه به مشخصات لایه‌های خاک محل، اقدامات پیشگیرانه‌ای انجام شود و نهایتاً سازه‌ها به گونه‌ای طراحی گردند که آسیب‌پذیری آنها به حداقل برسد. ولی در حال حاضر، هیچ‌یک از مواردی نظیر موقعیت مرکز، بزرگی و زمان وقوع یک زلزله نه قابل پیش بینی و نه قابل کنترل است و این جنبهٔ مسئله، عدم قطعیتی را در طراحی‌های مهندسی وارد می‌کند. یک روش منطقی برای برخورد با این امر طبیعی تصادفی، انجام تحلیل‌های آماری است تا ضمن برآورد موارد احتمالاتی لازم، سطح ریسک را به تبع اهمیت سازه و میزان سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی، انتخاب نماید.

یک راه‌حل ایده‌ال برای انجام چنین ارزیابی‌های آماری از تغییرات زلزله، استفاده از رکوردهای جنبش نیرومند زمین است که در همان محل مورد مطالعه و طی زلزله‌های مختلف ثبت شده‌اند. البته این نوع داده‌ها گرچه نادر و کمیاب ولی کاملاً غیرقابل دسترس



شکل ۵ـ طیف بازتاب شتاب برای یک نوع نیمرخ خاک برای زلزله‌های ترکیه

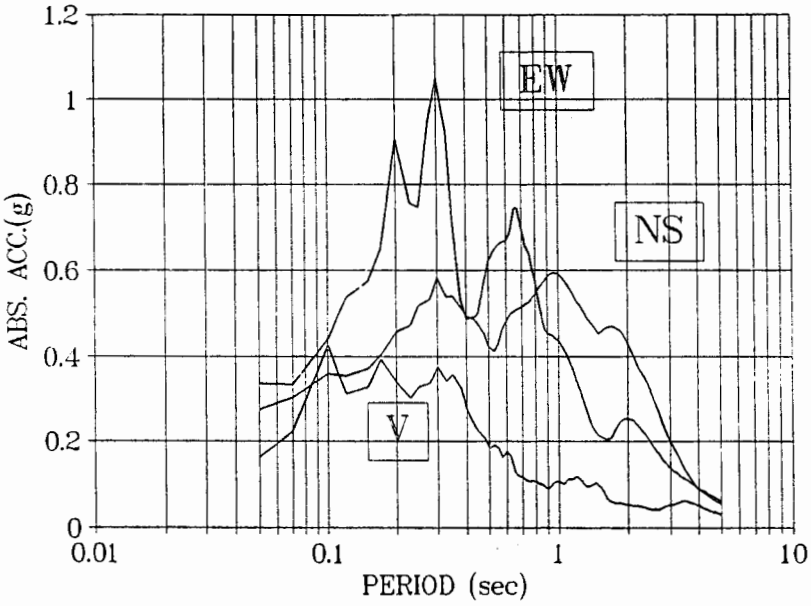
نیستند. در مطالعه این پدیده برای ارزیابی تاثیرات و رفتار لایه‌های خاک حین زلزله‌ای محتمل، یک گزینه استفاده از مدل‌های عددی است که براساس تحلیل‌های بازتاب ساختگاه[1] ایجاد و تدوین شده‌اند [۵،۳]. در این حالت نتایج به دست آمده مستقیماً با مشخصات ورودی جنبش زلزله ارتباط دارند. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده‌است برای نیمرخ خاکی در استانبول [۳]، در صورتی که رکوردهای متفاوت تکان قوی زمین در یک اوج شتاب مشخصی به عنوان زلزله طرح نرمالیزه شود، طیف بازتاب شتاب محاسبه شده برای هریک از جنبش‌های زلزله کاملاً از دیگری متمایز خواهد بود. از این رو، یکی از مراحل مهم در بررسی‌های بازتاب ساختگاه، انتخاب زلزلهٔ طرح مناسب و واقعی است. تجربه‌ها و ملاحظات مربوط به زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که هر زلزله معمولاً مشخصات منحصربه‌فردی را به تبع تفاوت‌های منطقه‌ای و محلی دارد که نشانگر سازند تکتونیکی موضعی و مکانیسم چشمه‌های لرزه‌زا است. در برخی موارد، حتی زلزله‌هایی که روی یک گسل و با مراکز نزدیک به هم اتفاق می‌افتند، ممکن است تفاوت‌های اساسی با یکدیگر داشته‌باشند. از این رو، ارزیابی آماری این جنبهٔ مسئله می‌تواند تفسیرهای احتمالاتی را وارد محاسبات کند و نهایتاً مهندسین طراح را قادر بسازد که تصمیمات خود را روی سطوح کاملاً تعریف شدهٔ ریسک، اتخاذ نمایند.

۵ـ گسترش خرابی‌ها در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان

در ۱۳ مارس ۱۹۹۲، زمین‌لرزه‌ای به بزرگی $M_s = ۶٫۸$ در بخش شرقی گسل آناتولی شمالی روی داد که مرکز آن بسیار نزدیک به شهر ارزنجان بود. مطابق آمارهای رسمی ارایه شده از سوی مدیریت کل حوادث غیرمترقبه، ۵۴۱ نفر در این سانحه، جان باختند و ۳۸۵۰ نفر مجروح شدند. متجاوز از ۲۸۰۰۰ خانه خراب شد که از این مقدار، ۴۱۰۰ خانه با انهدام کامل مواجه بود، ۵۵۰۰ خانه خسارات متوسط و حدود ۸۶۰۰ خانه، آسیب‌های جزئی دیدند. هزینه تقریبی خرابی‌های به‌بار آمده حدود ۴۰۰ میلیون دلار آمریکایی برآورد گردید [۱۷].

---

1 - Site response analysis



شکل ۶ـ طیف پاسخ شتاب برای سه مولفه رکورد جنبش نیرومند زمین در ارزنجان

منطقه از نظر لرزه‌خیزی بسیار فعال بوده و در گذشته زلزله‌های مخرب زیادی را متحمل شده است. آخرین سانحه بزرگ قرن حاضر در ارزنجان، وقوع زلزله بسیار شدید در دسامبر ۱۹۳۹، در راستای گسل آناتولی به بزرگی ۷٫۸ = M است، که ۳۲۰۰۰ نفر کشته و ۲۳۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان برجای گذاشت. قبل از مارس ۱۹۹۲، برای شهر ارزنجان، زلزله‌ای به بزرگی ۷ = M با دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله و احتمال وقوع ۶۲٫۵٪ پیش‌بینی شده‌بود [۱۵]. محاسبات آماری فقط به اندازه چند سال اختلاف داشت.

تکان اصلی توسط سه ایستگاه لرزه‌نگاری واقع در ارزنجان، رفاهیه[1] و ترجان[2] ثبت شد. این ایستگاه‌ها تحت‌نظر گروه تحقیقات زلزله از مدیریت کل حوادث غیرمترقبه وابسته به وزارت مسکن و شهرسازی ترکیه قرار دارند. شتاب‌های اوج ثبت شده در ایستگاه هواشناسی ارزنجان واقع در سمت راست مرکز شهر، ۴۹۲ گال در راستای شرق ـ غرب،

1 - Refahiye
2 - Tercan

۳۹۰ گال در راستای شمال ـ جنوب و ۲۴۴ گال در جهت قائم بود [۱۶]. گرچه مقادیر شتاب‌ها اعداد بالنسبه بالایی بودند ولی زمان دوام مفید زلزله نسبتاً کوتاه و در حدود ۶ ثانیه بود. شدت زمین‌لرزه باتوجه به ارزیابی خسارات برابر VIII درجه در مقیاس مرکالی اصطلاح شده برآورد شده است.

اوج شتاب‌های ثبت شده در ۲ ایستگاه ترجان واقع در ۷۰کیلومتری شرق ارزنجان و رفاهیه در ۶۰کیلومتری غرب ارزنجان، در محدوده، ۵۲ تا ۷۴ گال قرار دارد. استهلاک در منطقه به علت طبیعت ناپیوسته و گسسته سازند زمین شناسی و نهشته‌های آبرفتی بسیار عمیق، قابل تأمل است. تکان‌های قوی زمین که به فاصله ۶۰کیلومتری از یکدیگر ثبت شده‌اند مشابه هم نیستند و این امر مجدداً تاثیر شرایط محلی ساختگاه را منعکس می‌سازد.

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده‌شده‌است، در طیف بازتاب محاسبه شده برای تکان اصلی ثبت شده در ارزنجان، پریودهای غالب برای همه مولفه‌ها در محدودهٔ ۳ر۰ تا ۱ ثانیه قرار دارند [۲].

۵-۱- زمین‌شناسی محل و مشخصات خاک

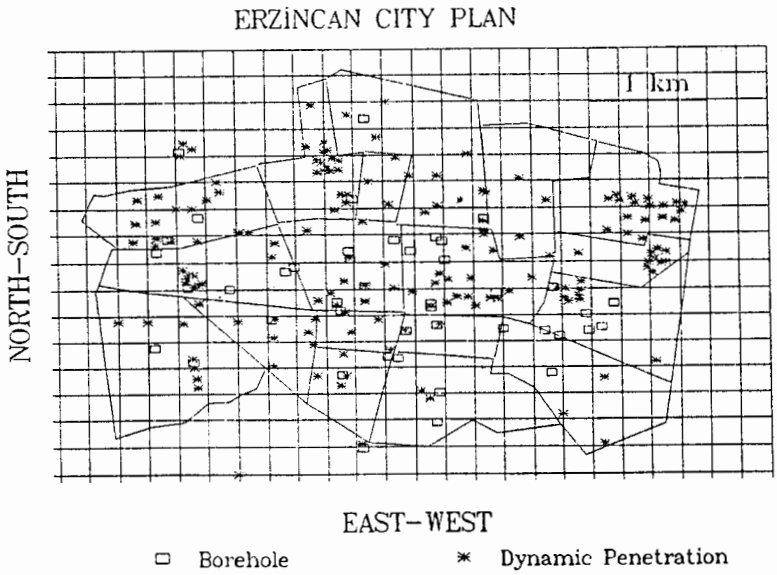
حوضه خاکی ارزنجان در منطقه گسلی آناتولی شمالی[1] واقع و از نوع جدایشی ـ کششی[2] است. محور طولی آن در جهت شمال غرب به جنوب شرق و به موازات منطقه گسلی آناتولی شمالی، امتداد دارد و طول آن ۵۰کیلومتر است. گسل آناتولی شمالی مرکب از شاخه‌های گسلی متوازی و به پهنای یک کیلومتر در شمال حوضه واقع است. رودخانه فرات از بخش مرکزی حوضه می‌گذرد. در حوضه، رسوبات بالایی متعلق به دوران رسوب‌گذاری پلیوکواترنر[3] بوده و مشخصات آن وجود رخساره‌های رودخانه‌ای، آوارهای درشت و گنکلومرا در حاشیه حوضه است.

---

1 - North Anatolian Fault Zone - NAFZ

2 - Pull - apart basin

3 - Plio - Quaternary



شکل ۷ـ توزیع گمانه‌های شناسایی و نقاط انجام آزمایش‌های نفوذ در شهر ارزنجان

مخروط‌های رسوبی در کناره‌های حوضه، از جریان‌های آواری جدید متشکل از رسوبات دانه درشت، تشکیل شده‌است [۱۳]. در قسمت مرکزی حوضه، ضخامت قشرهای لای‌وماسه بیشتر بوده و این مواد حالت غالب دارند. ضخامت کل این رسوبات در مرکز حوضه، ۳٫۵ کیلومتر برآورد می‌شود. عمیق‌ترین گمانه‌ای که به ژرفای ۲۵۰ متر زده شده است به بستر سنگی نرسیده‌است. سطح آب زیرزمینی در قسمت شمالی شهر حدود ۳۰ متر و در بخش جنوبی ۱۶ متر می‌باشد.

با توجه به چنین مشخصاتی از سازند زمین‌شناسی، نیمرخ‌های خاک در شهر ارزنجان غالباً از قشرهای متناوب ماسه‌های لای‌دار، شن‌های ماسه‌دار و ماسه‌های شن‌دار و در برخی محل‌ها، رس‌های ماسه‌دار و لای‌دار، تشکیل شده‌اند [۱۴]. یک برنامهٔ گسترده کاوش‌های خاک زیرین شامل حفر تعداد زیادی گمانه، انجام آزمون‌های نفوذ استاتیک و دینامیک، اندازه‌گیری سرعت امواج لرزه‌ای مطابق شکل ۷ در محدودهٔ شهر ارزنجان اجرا می‌شود تا تاثیر شرایط خاک محل دقیقاً مشخص گردد.

۵-۲-گسترش خرابی‌ها در شهر ارزنجان

پذیرفته شده است که سه عامل اصلی زیر روی خرابی سازه‌ها تاثیر می‌گذارند: مشخصات چشمه لرزه‌زا، شرایط خاک محل و شکل و فرم سازه‌ای.

در زلزله ۱۹۹۲ ارزنجان، به علت مجاورت مرکز زلزله با شهر، شتاب‌های زمین بسیار بالا بودند. نهشته‌های عمیق رسوبی سبب تقویت‌های قابل ملاحظه‌ای شدند و آخر سر موجبات تخریب ساختمان‌های بتن‌آرمه را که طراحی و اجرای مناسبی نداشتند، فراهم آوردند. به‌علاوه، عملکرد مقررات آیین‌نامه زلزله برای برخی از قسمت‌های شهر که بطور قابل ملاحظه‌ای درگیر تقویت‌های موضعی ساختگاه بودند، کافی و درخور نبود؛ در نتیجه تعداد زیادی از ساختمان‌های بتن‌آرمه متشکل از قاب چهار یا پنج طبقه بطور کامل منهدم شدند و یا خسارات اساسی دیدند [۲].

برداشت و بررسی کامل خرابی‌ها برای ۴۵۰۰ ساختمان در سطح شهر ارزنجان طی مطالعه‌ای انجام گرفته‌است [۲۵]. خرابی‌های به‌بارآمده در ۶ رده، طبقه‌بندی و درجه‌بندی شده‌اند و ضریب خرابی میانگینی[1] برای نقاط مختلف شهر محاسبه شده است و توزیع خرابی‌ها برای انواع مختلف ساختمان مشخص شده است.

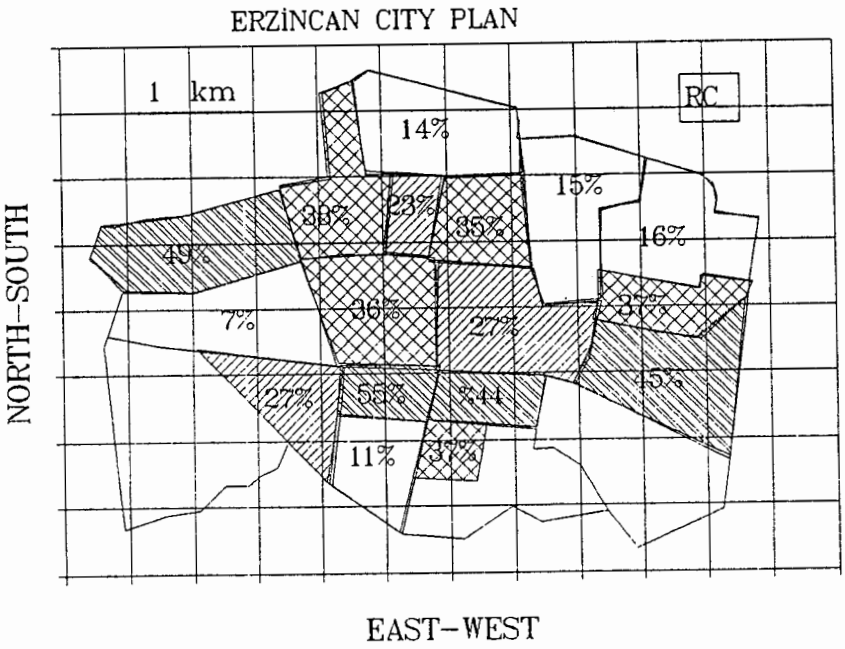
از این بررسی نتیجه شده‌است که تمرکز خرابی در نقاط مختلف شهر بسیار قابل ملاحظه است. یکی از دلایل این تغییرات، نوع و نحوهٔ غالب ساخت بناها در منطقه است. نتیجه بررسی مزبور مشخص می‌کند که ضریب خرابی ساختمان‌های بتن‌آرمه در مقایسه با ساختمان‌های آجری یا سنگی بسیار بالا است.

1 - Average damage ratio

باتوجه به تغییرات قابل ملاحظه‌ای که ضریب خرابی میانگین در مناطق مختلف شهر و برای ساختمان‌های مشابه نشان می‌دهد، می‌توان به تاثیر مهم شرایط و مشخصات ژئوتکنیکی محل پی‌برد [۲۲]. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده‌شده، ضریب خرابی میانگین برای ساختمان‌های بتن‌آرمه حدوداً مشابه از نظر نوع ساختمان و نحوه ساخت، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سطح شهر دارد. یکی از تفسیرهای ممکن برای چنین تغییراتی به تفاوت‌های مشخصات خاک برمی‌گردد که موجب برانگیختن پریودهای خاک غالب متفاوت و تقویت خاک شده‌اند.

۶ـ نتیجه گیری

رفتار سیکلی خاک‌ها و پاسخ لایه‌های خاک در حین زمین‌لرزه‌ها، نقش مهمی در درجه خرابی‌سازه‌ها دارند. از این رو، درنظر گرفتن مشخصات ژئوتکنیکی محل در تحلیل‌های زلزله برای کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و تقلیل خسارات وارده، ضروری‌است.



شکل ۸ـ توزیع ضریب خرابی برای ساختمان‌های بتن‌آرمه در شهر ارزنجان

همچنین وجود ارتباط بین مشخصات چشمه‌لرزه‌زا و خصوصیات ژئوتکنیکی محل روشن‌شده‌است، لیکن ضروری است بررسی‌های دقیق‌تر و بیشتری در این مورد انجام گیرد تا راه‌حل‌های واقعی و قابل اعتمادی به‌دست آیند.

مراجع

1. Andersen, K.H., Pool,J.H., Brown, S.F., and Rosenbrand,W.F., (1980) "Cyclic and Static Laboratory Tests on Drammen Clay", J. Geotech. Engng. ASCE, Vol.106 No.GT5, pp.499-529.
2. Ansal,A.M., Sengezer,B.S., Iyisan,R., & Gencoglu,S.(1992) "The Damage Distribution in March 13,1992 Erzincan Earthquake and Effects of Geotechnical Factors," Proc. of Seminar on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, Balkema Publ. Co.
3. Ansal, A.M.& Lav,A.M.(1991) "Effect of Variability of Input Motion Characteristics on Ground Response Spectra", Proc. 4th Int. Conf. on Seisemic Microzonation. Stanford. USA, Vol.2, pp.131-138.
4. Ansal, A.M.(1991)"Evaluation of Liquefaction Susceptibility", Proc. 5th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, Germany.
5. Ansal, A.M & Lav,A.M.(1991) "Effect of Earthquake Characteristics on Response of Soil Layers", Proc. 5th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Karlsruhe, Germany.
6. Ansal, A.M. and Gunes, A.M.(1990) "The 1894 Earthquake of Istanbul," Proc. of Third International Symposium on Historical Earthquake in Europe. Liblice by Prague, Czechoslovakia, pp.263-271.
7. Ansal, A.M.& Erken, A.(1990) "Liquefaction Potential of Silty Sand Deposits.",Proc. 9th European Conference on Earthquake Engineering. Moscow, USSR, Vol.4B, pp. 71-80
8. Ansal, A.M.& Erken, A. (1989) "Undrained Behavior of a Normally Consolidated Clay Under Cyclic Shear Stresses." ,ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol.115, No.7,pp.968-983.
9. Ansal,A.M.&.Yildirum,H.(1989)"Dynamic Shear Strength Properties of Golden Horn

Clay." Proc. of Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.121-126,Rio de Jenerio, Brazil.

10. Ansal, A.M. and Yildirim,H.(1988) "Shear Strenght of a Marine Clay Subjected to Cyclic Loading ." , Proc. of 14th Regional Seminar on Earthquake Engineering, Austria pp.53-62.
11. Ansal, A.M.(1986) "Liquefaction and Reliquefaction.", Proc. of 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, Vol.2,pp.5.3/9-15.
12. Castro, G. and Christian, J.T.(1976) "Shear Strength of Soils and Cyclic Loading", J.Geotech. Engng. ASCE,102(GT9) PP. 887-894.
13. Erdik,M., Barka,A., Isikara,A.M., Durukal,E., et. al.(1992) "March 13,1992 (M_S = 6.8) Erzincan Earthquake: A Preliminary Reconnaissance Report", Publ. of Bosphoros University.
14. Erken,A., Ansal, A.M., Yildirim,H.and Ulker, R.(1993) "Local Soil Conditions in Erzincan", Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, pp. 355-362. Istanbul, (in Turkish).
15. Gencoglu, S., Inan,E. and Guler, H. (1990), "Earthquake Risk for Turkey", Publ. of the Chamber of Geophysical Engineers of Turkey.
16. General Directorate of Disaster Affairs (1992), "Strong Motion Records for March 1992 Erzincan Earthquake" ,Earthquake Research Department.
17. Gulkan, P. and Ergunay, O. (1992) "Case Study of Erzincan Earthquake of 13 March 1992", UNDP and UNDRO Disaster Management Training Program Turkey Country Course, Ankara.
18. Ishihara, K. and Perlea, V. (1984.), "Liquefaction-Associated Ground Damage During the Vrancea Earthquake of March 4, 1977", Soils and Foundations, Vol.24(1), pp.99-112.
19. Iwasaki, T., Tatsuoka F, Tokida, K, and Yasuda, S. (1978), "A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan", pp. 885-896, Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation for Safer Construction, Research and Application, San Francisco.
20. Iyisan, R. and Ansal, A.M. (1993) "Determination of Dynamic Soil Properties in Erzincan by In-Hole Seismic Measurements" Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, pp. 372-379, Istanbul, (in Turkish).

21. Koutsoftas, D.C.(1978) "Effect of Cyclic Loads on Undrained Strenght of Two Marine Clays" J.Geotech Enging. ASCE, 104(GT5) 609-620.
22. Lav, A.& Ansal, A.M (1993) "Soil Amplification During Erzincan Earthquake" Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, pp. 363-371, Istanbul, (in Turkish).
23. Sangrey, D.A. & France, J.W. (1980) "Peak Strength of clay Soils After Repeated Loading History". Proc. of Int. Symp. Soils Under Cyclic and Transient Loading , Swansea, Balkema, Rotterdam, PP. 421-430.
24. Seed, H.B, Tokimatsu,K , Harder, L.F. and Chung, R.M. (1985) "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations" ASCE, J Geotech. Engng. Div. Vol.111 (GT12) pp. 1425-1445.
25. Sengezer, B.S. (1993) "The Damage Distribution During March 13, 1992 Earthquake". Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, pp. 404-425, Istanbul, (in Turkish).
26. Taiping, Q., Chenchun, W., Lunian, W. and Hoishan, L. (1984) "Liquefaction Risk Evaluation During Earthquakes", Vol. 1, pp. 445-454, Proc. Int. Con. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis.
27. Yokota, K. (1980) "Evaluation of Liquefaction Strength of Sandy Soils", Vol. 3, pp.121-124, Proc. 7th WCEE, Istanbul.

اثرات پاسخ ساختگاهی مشهود در زمین‌لرزه‌های ۱۹۸۹ لوماپری‌یتای کالیفرنیا و ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه و نتایج آیین‌نامه‌ای*

مهندس محمد چلبی

ترجمه مهندس بهنام جعفری

چکیده

در طی زمین‌لرزهٔ ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا کالیفرنیا متاثر از گسل سان آندریاس کالیفرنیا و زمین‌لرزهٔ ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه ناشی از گسل آناتولی شمالی در ترکیه، اثرات پاسخ ساختگاهی معنی‌داری مشاهده گردید. مشخصه‌های فیزیکی گسل سان‌آندریاس (کالیفرنیا) و گسل آناتولی شمالی (ترکیه) به خوبی شناسایی گردیده و هر دو گسل قادر به ایجاد زلزله‌های بسیار بزرگی هستند که پاسخ ساختگاهی را متأثر می‌نمایند. این تاثیرات به طرق گوناگون در آیین‌نامه‌های زلزله اعمال می‌گردد. مقالهٔ حاضر به منظور روشن‌تر شدن مباحثات جاری در مورد ضرایب ساختگاه در آیین‌نامه‌های ساختمانی ترکیه و ایالات متحده بویژه پس از وقوع این دو زلزله، برخی اثرات پاسخ ساختگاهی نمونه را که از داده‌های دو زلزلهٔ مذکور اقتباس شده و مورد تحلیل قرار گرفته است، ارایه می‌نماید.

---

* Mehmet CELEBI, "Site Response Effects Observed During The 1989 Loma Prieta, California and 1992 Erzincan, Turkey Earthquakes and Code Implications", Proc. of 2nd National Conf. on Earthquake Engineering, March 10-13, 1993, Istanbul.

مقدمه

مراد از مقالهٔ حاضر روشن ساختن اثرات پاسخ ساختگاهی مهمی است که از روی داده‌های دو زمین‌لرزهٔ ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا کالیفرنیا به بزرگی $M_S = 7.1$ و زمین‌لرزهٔ ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان ترکیه به بزرگی $M_S = 6.8$، کمّی گردیده است. مبنای این مقاله مباحثات جاری در ارتباط با تجدید نظرهای احتمالی در آیین‌نامه‌های ساختمانی ترکیه و ایالات متحده امریکا می‌باشد.

زلزلهٔ لوماپری‌یتا بر روی گسل سان آندریاس روی داد (شکل ۱) و زلزلهٔ ارزنجان روی گسل آناتولی شمالی به وقوع پیوست (شکل ۲). هر دوی این گسل‌ها از نوع امتداد لغز و هر دو تقریباً به طول ۱۵۰۰ کیلومتر می‌باشند. دورهٔ بازگشت زلزله‌های بزرگ روی هر دو گسل نیز مشابه می‌باشد. روی گسل آناتولی شمالی، زلزلهٔ بزرگ قبلی ($M_S = 8.0$) در سال ۱۹۳۹ ارزنجان را با خاک یکسان کرد و باعث مرگ ۳۹۰۰۰ نفر گردید(آمبرسیز، ۱۹۷۰). از سال ۱۹۳۹ به این سو ۶۰ زلزله با بزرگی ۶ ریشتر و بیشتر در طول گسل آناتولی شمالی روی داده است (آمبرسیز، ۱۹۷۰).

هر دو زمین لرزه، باعث اثرات پاسخ ساختگاهی مهمی گردیدند. تقویت حرکات در زلزلهٔ لوماپری‌یتا هم در حرکات قوی ثبت شده در تکان اصلی و هم در حرکات ضعیف‌تر پس‌لرزه‌ها تحلیل گردید. حرکات قوی در فاصلهٔ ۷ کیومتری تا ۱۷۵ کیلومتری رومرکز زمین‌لرزه ثبت گردیدند. در مورد زمین لرزهٔ ارزنجان، تنها یک دادهٔ حرکت قوی در ارزنجان (تقریباً در فاصلهٔ ۸ کیلومتری از رومرکز) ثبت شد. به همین خاطر در مورد زلزلهٔ ارزنجان امکان یک مطالعهٔ جامع و مقایسه‌ای در مورد پاسخ ساختگاهی مقدور نیست. باوجود این چندین پس‌لرزه که توسط یک آرایهٔ موقت[1] ثبت گردید به وضوح اثرات ساختگاه را تشریح می‌کند.

1- Temporary array

تجربهٔ لوماپری‌یتا

رو مرکز زمین‌لرزهٔ ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا (M_s = 7.1) در عرض ۴۰ر۳۷ درجهٔ شمالی و طول ۸۸۳ر۱۲۱ درجهٔ غربی تقریباً در ۱۰ مایلی شمال شرقی سانتاکروز و ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی سانفرانسیسکو واقع می‌باشد (شکل ۱). در طی زلزله لوما پری‌یتا، رکوردهای حرکت قوی و پس‌لرزه‌های به‌دست آمده از ایستگاه‌های زمینی و طبقات همکف ساختمان‌های دستگاه گذاری شده بطور بارزی اهمیت اثرات ساختگاهی و تقویت حرکت را نشان دادند.

جزایر ترژیر[1] و یبرابویه‌نا[2] در خلیج سانفرانسیسکو تقریباً ۱۰۰ کیلومتر از رومرکز و ۵ر۱ کیلومتر از همدیگر فاصله دارند (شکل ۱). هر دو ایستگاه زلزله لوماپری‌یتا را ثبت کردند. TRI تقریباً از ۱۲ متر خاکریز مصنوعی و ۱۷ متر گِل خلیج و ۵۶ متر رسوبات قدیمی‌تر تشکیل شده است و YBI بر روی یک رگهٔ سنگی بنا شده است. مقادیر حداکثر شتاب در TRI عبارت است از 0.11g (NS) و 0.18g (EW) و حدوداً ۳ الی ۴ برابر مقادیر حداکثر شتاب در YBI یعنی 0.03g (NS) و 0.06g (EW) می‌باشد. تقویت حرکات در TRI در مقایسه با YBI بر اساس حرکات ثبت شده به همان میزان که از روی نسبت‌های طیفی به دست آمده از طیف هموار شدهٔ دامنهٔ فوریه قابل محاسبه است از روی حرکات ثبت شده نیز مشهود می‌باشد که تماماً در شکل ۳ نشان داده شده است. الزاماً برای مقاصد مهندسی، طیف پاسخ (با میرایی ۵ درصد) نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. هم نسبت‌های طیفی و هم طیف پاسخ مقایسه‌ای نشان می‌دهند که حرکات در TRI (با خاک نرم) در مقایسه با YBI (با ساختگاه سنگی) به وضوح تقویت می‌شوند و در محدودهٔ پریودهای مهندسی ۲ الی ۸ برابر می‌گردند.

تقویت‌های رخ داده در سایر ساختگاه‌ها نیز در شکل ۴ ارائه گردیده و در آن طیف پاسخ

1- Treasure Island-TRI

2- Yebra Buena Island-YBI

بامیرایی ۵ درصد برای حرکات افقی زمین ثبت شده در تراز پایهٔ ۴ ساختمان بلندِ دستگاه‌گذاری شده را در مقایسه با YBI نشان داده شده است. (این ۴ ساختمان عبارتند از ساختمان ۶۰ طبقهٔ ترانس آمریکا[1]، ساختمان ۳۰ طبقهٔ پاسیفیک پارک پلازا[2]، ساختمان ۴۷ طبقهٔ امبارکادرو[3] و ساختمان ۴۲ طبقهٔ شماره ۵۷۵ خیابان مارکت[4] واقع در خلیج سانفرانسیسکو در کالیفرنیا.) هر ۴ ساختمان تقریباً در ۱۰۰ کیلومتری رومرکز زلزله لوماپری‌یتا و همگی بر روی ساختگاه‌های غیر سنگی قرار دارند (شکل ۱). مقادیر حداکثر شتاب در سطح زمین برای هر ۴ ساختمان یعنی شتاب‌های نظیر پریود صفر در طیف (شکل ۴)، ۲ الی ۴ برابر شتاب حداکثر در YBI می‌باشند. هر چند طیف حرکات ترازهای پایه در ۴ ساختان بلند مقادیر حداکثری را در بر می‌گیرند که مربوط هستند به تشدید پریودهای سازه‌ای که از طرف ساختمان، تراز پایه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، با این وجود، طیف چهار ساختمان ۲ الی ۷ برابر بزرگتر از طیف YBI می‌باشد.

تعداد زیادی پس‌لرزه توسط آرایه‌های موقت در خلیج سانفرانسیسکو که زلزلهٔ لوماپری‌یتا را تعقیب می‌نمودند ثبت گردید (مولر و گلاس موبر، ۱۹۹۰). رکوردهای حاصل از این آرایه‌ها نیز تغییرات پاسخ زمین را به ازای اثرات ساختگاهی، نشان می‌دهند (برجرت و گلاس موبر ۱۹۹۲، چلبی و مک گار ۱۹۹۱، فرانکل و ویدال ۱۹۹۲). یک جمع‌بندی جامع از این اثرات توسط فین (۱۹۹۱) ارایه گردیده است.

تجربهٔ ارزنجان

زلزلهٔ ۱۳ مارس ۱۹۹۲ (M_s = 6.8) با رومرکز واقع در ۳۹٫۷۰۶ درجهٔ شمالی و ۳۹٫۵۷۰ درجهٔ شرقی، در انتهای شرقی گسل آناتولی شمالی واقع در ترکیه (شکل ۲)، تقریباً در ۷٫۷ کیلومتری جنوب شرقی مرکز شهر ارزنجان رخ داد که مختصات آن براساس گازتیر (۱۹۸۴) ۳۹٫۷۵ درجهٔ شمالی و ۳۹٫۵۰ درجهٔ شرقی است. بستر شهر ارزنجان در لبهٔ یک‌حوضهٔ آبرفتی قرار دارد که ژرفای متوسط نهشته‌های آبرفتی ۱۱۵۰ متر می‌باشد. ارزنجان در شمال

1- Transamerica - TRA
2- Pacific Park Plaza - PPP
3- Embarcadero - EMB
4- 575 Market Street - CHE

و جنوب توسط نواحی کوهستانی مرتفع و صعب‌العبور محصور گردیده است که گاه ارتفاع آنها تا ۳۸۰۰ متر نیز می‌رسد. بهترین بیان آن است که بگوییم حوضهٔ مذکور عبارت است از ۱۰۰ متر لایه‌های متناوب شن و ماسه واقع بر روی رسوبات دریاچه‌ای. ژرفای حوضه تا بستر سنگی ما بین ۱۲۰۰ الی ۱۵۰۰ متر و عمق بستر سنگی حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر تخمین زده می‌شود. نمودار گمانه‌ها فقط برای ۲۰۰ تا ۲۲۵ متر فوقانی در دسترس می‌باشد.

شناسایی اثرات ساختگاهی در ارزنجان موضوع تازه‌ای نمی‌باشد. در نتیجهٔ اثرات ساختگاهی در زلزلهٔ ۱۹۳۹، شهر ارزنجان در شمال موقعیت قدیمی خود، یعنی در محل فعلی ـ در سمت تپه‌ها ـ بازسازی گردید. با این تصور که ساختمان‌های جدید بر روی زمینی سفت‌تر و آبرفت‌های کم عمق‌تری بنا گردد. به علاوه در محل فعلی شهر، تعداد طبقات ساختان‌ها در حد ۳ طبقه محدود گردید. البته این محدودیت در سال‌های دههٔ ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ به تدریج به فراموشی سپرده شد و مسکوت گذاشته شد و در زمان زلزلهٔ ۱۳ مارس ۱۹۹۲، بلندترین ساختمان شهر هفت طبقه داشت.

شتاب نگاشت‌های سه محوری حرکت قوی زمین در ناحیهٔ زلزله زده (شکل ۲)، توسط مرکز تحقیقات زلزله[1] در مدیریت حوادث غیر مترقبه وابسته به وزارت مسکن و شهرسازی ترکیه، تکان اصلی زلزلهٔ ۱۳ مارس را ثبت نمود. رکورد رفاهیه[2] دارای بیشینه شتاب‌های 0.07g(NS) و 0.07g (EW) و 0.04g (Vertical) بود. رکوردهای ترجان[3] دارای ویژگی‌های بارزی است که‌هنوز تشریح نگردیده‌اند، بنابراین درمورد این رکورد بحثی صورت نمی‌گیرد. رکورد شهر ارزنجان، دارای بیشینه شتاب 0.39g(NS) و 0.49g(EW) و 0.24g(Vertical) می‌باشد. این رکورد که توسط ERC جهت تهیهٔ تاریخچه زمانی سرعت و تغییر مکان تهیه گردیده است (اصلاح خط مبنا و حذف اغتشاشات، استفاده از فیلتر عبوری فرکانس‌های بالای باترورث[4] در فرکانس 0.125 Hz و مرتبهٔ ۴) در دفتر سازمان زمین شناسی ایالات

1- Earthquake Research Center - ERC
2- Refahiye
3- Tercan
4- Butterworth

متحده[1] در منلوپارک[2] واقع در کالیفرنیا تصحیح و بازسازی گردید و در شکل ۵ آورده شده است. این رکورد به دلایل زیر اهمیت دارد:
الف) این رکورد یکی از معدود نگاشت‌های حرکت قوی زمین در حوزهٔ نزدیک[3] می‌باشد.
ب) این رکورد یک پالس مشخص را با تداوم ۲ ثانیه نشان می‌دهد.
پالس‌ها طولانی مشابهی از سایر رکوردهای حوزهٔ نزدیک زلزله مثلاً در زلزلهٔ ۱۹۷۹ امپریال ولی[4] مشاهده گردیده است (آرچولتا، ۱۹۸۲). با استفاده از تاریخچه زمانی شتاب و به کمک اعمال روش ۹۵-۵٪ روی انتگرال مربع تاریخچه زمانی ثبت شدهٔ شتاب، مدت تداوم زلزله تقریباً ۷ ثانیه تخمین زده شد (شکل ۶). شکل مزبور همچنین نشان می‌دهد که تقریباً ۷۰ درصد انرژی انباشته به ازای پالس ۲ ثانیه‌ای (بین ثانیه‌های ۲ الی ۴ از رکورد) ناشی می‌گردد.

طیف پاسخ شتاب مولفه‌های NS، EW و قائم زلزله به‌ازای میرایی ۵٪ در شکل ۷ نشان داده شده است. طیف EW کاملاً نشان می‌دهد که مقادیر حداکثر حاکم مربوط است به ثانیه‌های ۲ر۰، ۳ر۰، ۶۵ر۰ و ۲. احتمالاً پریود ۲ ثانیه مربوط به فرکانس چشمه[5] است در حالی که بقیه را می‌توان به فرکانس‌های ساختگاه[6] ارتباط داد، که احتمالاً از اثرات انعکاسی حوضه ناشی شده‌اند. برخورد چنین پالس‌های طولانی با سازه‌های کوتاه پریود است که نیاز به شکل‌پذیری زیاد را برای چنین سازه‌هایی ضروری می‌نماید. (مهین و برترو ۱۹۸۱ و برترو، مهین و هرره‌آ، ۱۹۷۸). رکورد مزبور همچنین، انرژی قابل توجهی را در ثانیه‌های ۲ر۰ الی ۳۵ر۰ ثانیه نشان می‌دهد که بطور مشخص محدودهٔ فرکانس‌های ساختمان‌های ۴ الی ۵ طبقهٔ بتن مسلح با دیوارهای پرکننده را در بر می‌گیرد.

در شکل ۸، تاریخچه زمان‌ها و طیف دامنهٔ فوریهٔ آنها در امتداد غالب (و مولفهٔ متعامد آن)

1- United States Geological Survey - USGS
2- Menlo Park
3- Near - field
4- Imperial Valley
5- Source frequency
6- Site frequency

برای شتاب‌های زمین ارزنجان نشان داده شده است. امتداد غالب ۱۲۸° از روی رکوردهای شتاب EW و NS و از طریق حداقل کردن واریانس متقاطع[1] آنها به کمک رابطهٔ زیر (برگرفته از بندات و پیرسول، ۱۹۸۱) محاسبه گردید:

$$\phi = 0.5 \tan^{-1}\{2\sigma_{12}/(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)\}$$

که در آن σ_1^2 و σ_2^2 عبارتند از واریانس‌های حرکات متعامد افقی ثبت شده، یعنی u_1(NS) و u_2(EW) و σ_{12} واریانس متقاطع آنها می‌باشد. از رابطهٔ فوق زاویهٔ ϕ به دست می‌آید. برای به دست آوردن مولفه‌های متعامد امتداد غالب باید u_1 و u_2 به اندازه ϕ دوران داده شوند. اهمیت زاویهٔ ۱۲۸° در آن است که امتداد گسل آناتولی شمالی نیز در نزدیکی ناحیهٔ ارزنجان تقریباً معادل همین زاویه است.این امر ممکن است یک دلیل قوی برای این موضوع باشد که چرا ظاهراً لرزش در ارزنجان در امتداد گسل تقریباً قوی‌تر بوده است و احتمالاً برخی ساختمان‌ها را دستخوش وضعیت ناگواری نموده است. شکل ۸ همچنین، توپوگرافی منحصربه‌فرد حوضهٔ ارزنجان را نشان می‌دهد.

رکوردهای پس‌لرزه‌ها و نسبت‌های طیفی

آرایهٔ موقت بر پا شده در ارزنجان ترکیه توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) در شکل ۹ دیده می‌شود (چلبی، ۱۹۹۳). ایستگاه SMA با ایستگاه مربوط به جنبش نیرومند زمین در شهر ارزنجان یکجا قرار داشت. ۶ واحد کانال برای سیستم مشاهدهٔ عمومی زلزله[2] به کار رفت (برجرت و همکاران، ۱۹۸۵).

ما بین ۲۳ مارس ۱۹۹۲ (جولیان ۰۸۳)[3] و ۲۹ مارس ۱۹۹۲ (جولیان ۰۸۹)[4]، چندین پس‌لرزه با بزرگی‌های ۲ الی ۴٫۴ ثبت گردید. رویدادهای مذکور با ۷ رقم معرفی گردیده است (مثلاً ۰۸۶۱۸۴۵ اشاره دارد به ۲۶ مارس ۱۹۹۲، روز جولیان ۰۸۶، ساعت ۱۸ و ۴۵ دقیقه مطابق ساعت جهانی). بطور خلاصه فقط شتاب نگاشت‌های یک رویداد

1- Cross - variance

2- General Earthquake Observation System - GEOS

3- Julian 083

4- Julian 089

(۰۸۶۱۸۴۵) در شکل ۱۰ نشان داده شده است. شکل بطور گرافیکی افزایش دامنه حرکات را از ایستگاه‌های نزدیک تپه‌ها (HOS, MAK, POL) به سمت وسط حوضه (SUG , AST , SMA) نشان می‌دهد (شکل ۹). گرچه مشخصه‌های ساختگاه برای POL، MAK یا HOS در دسترس نمی‌باشند، با این همه فرض می‌شود که بر روی انواع خاک سخت‌تر و کم‌عمق‌تر (کمتر از ۱۰ متر) قرار دارند. SUG در محل کارخانهٔ قند قرار دارد که ساختگاه آن خاک نرمی است که متعاقباً بیشتر مورد بررسی قرار خواهدگرفت.

شکل ۱۱ طیف پاسخ دامنهٔ هموار شده را برای POL و SUG همراه با نسبت‌های همان رویداد نشان می‌دهد که با استفاده از رکوردهای سرعت حساب شده است. شکل مذکور خاطر نشان می‌کند که حرکات در SUG در مقایسه با POL دربازهٔ فرکانس ۵ر۰ تا ۵ر۴ هرتز تقویت گردیده است. برای هفت رویداد نسبت‌های طیفی (SUG/POL) در شکل ۱۲a، ۱۲c به ترتیب برای مولفه‌های NS و EW ارایه شده است. در شکل‌های ۱۲b و ۱۲d نسبت‌های طیفی "میانگین $\pm\sigma$" ارایه شده است. به وضوح می‌توان دید که شرایط زمین شناسی حوضه قادر است حرکات را با یک ضریب تا ۴ برابر در باند فرکانسی ساختمان‌ها در ارزنجان تقویت نماید.

در SUG (کارخانهٔ قندارزنجان) ۴ حلقه چاه آرتزین وجوددارد (شکل ۱۳) که آب کارخانه را تأمین می‌نماید. توابع انتقال ساختگاه[1] برای ۳ حلقهٔ نخست و میانگین آن با استفاده از روش گسترش‌امواج‌برشی هاسکل[2] (هاسکل،۱۹۵۳و ۱۹۶۰) محاسبه گردیده‌اند (شکل ۱۴a). حلقهٔ چهارم ناقص محسوب شد لذا در مجموعهٔ محاسبات قرار داده نشد. شکل ۱۴b محاسبهٔ توابع انتقال ساختگاه را با میانگین نسبت‌های طیفی SUG/POL برای ۷ رویداد (هم برای مولفه‌های NS و هم برای مولفه‌های EW) مقایسه می‌کند. با وجود اینکه فرضیات گوناگون قابل توجهی در محاسبات تابع انتقال ساختگاه به کار رفته است، مقایسهٔ آن با مقدار متوسط نسبت‌های طیفی‌به‌دست‌آمده حاکی از سازگاری نسبتاً قابل توجهی می‌باشد.

---

1 - Site transfer functions

2- Haskell's shear wave-propogation method

بحث‌ها و نتایج آیین‌نامه‌ای

ضرایب ساختگاهی به صورت‌های گوناگون در ضوابط طراحی لرزه‌ای آیین نامه‌ها گنجانده می‌شوند تا اثرات پاسخ ساختگاهی را منعکس نمایند. در انطباق با چنین ضوابطی، فرض می‌شود که تقویت امواج لرزه‌ای در زمین‌های نرم در مقایسه با خاک سخت و یا ساختگاه‌های سنگی بیشتر رخ می‌دهد. کلاً با دو جنبهٔ اساسی روبرو هستیم:

۱) چگونگی استخراج مقادیر عددی برای تقویت‌های ویژهٔ ساختگاه

۲) چگونگی انعکاس این امر در آیین‌نامه‌های طراحی که می‌کوشند توصیه‌های یکنواختی را برای سرتاسر یک کشور یا یک ناحیه تهیه کنند.

هر گاه داده‌های مشاهده شده‌ای در دسترس باشند، نسبت‌های طیفی خاک نرم به خاک سخت یا سنگی را می‌توان برای استخراج مقادیر عددی تقویت حرکات و یا برای کالیبره کردن ضوابط موجود در آیین‌نامه‌ها به کار برد.

آیین‌نامهٔ سال ۱۹۷۵ ترکیه اثرات ساختگاهی را به صورت یک ضریب طیفی S با حداکثر مقدار مساوی واحد در نظر می‌گیرد که این ضریب از روی پریودهای سازه و ساختگاه تعیین می‌گردد. پیش‌نویس آیین‌نامهٔ ترکیه در سال ۱۹۹۲ همان روند را با اصلاحاتی در رابطه محاسبهٔ S اعمال می‌کند. تفاوت عمده بین آیین‌نامهٔ ۱۹۷۵ (روند طراحی الاستیک) و پیش نویس آیین نامهٔ ۱۹۹۲ (روند طراحی شکل‌پذیر) آن است که در آیین‌نامهٔ ۱۹۷۵ ضریب منطقه‌ای برای لرزه خیزترین منطقه ۱ر۰ می‌باشد در حالی که در آیین‌نامهٔ پیشنهادی ۱۹۹۲ ضریب منطقه‌ای توصیه شده برای همان منطقه ۴ر۰ است که ضریب کاهش R، بر آن اعمال می‌شود.

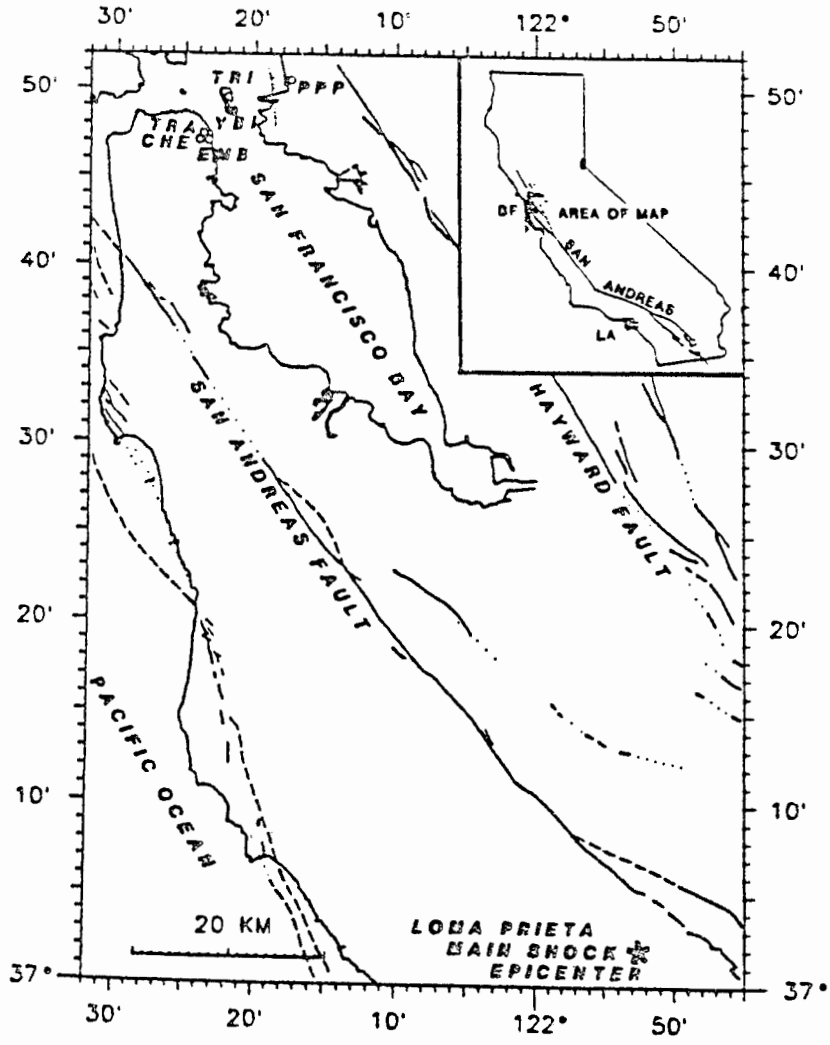
آیین‌نامهٔ UBC 1991، یک ضریب طیفی C_1 اعمال می‌کند که با استفاده از ضریب ساختگاهی S (برای چهار دسته از ساختگاه که بین ۱ تا ۲ تغییر می‌کند) محاسبه می‌گردد. حداکثر مقدار C_1 مساوی ۲ر۷۵ می‌باشد و ضریب لرزه‌ای کل با اعمال ضریب کاهش R_w کاهش می‌یابد. این ضوابط در ضمیمهٔ I خلاصه گردیده است و شکل‌های مربوط به ضرایب

طیفی برای چهار دسته خاک در شکل ۱۵ مقایسه گردیده‌اند. آیین‌نامه‌های مختلف، ضریب لرزه‌ای کل را به روش‌های مختلفی محاسبه می‌کنند و شکل ۱۵ فقط طیف‌های مورد استفاده را مورد مقایسه قرار می‌دهد.

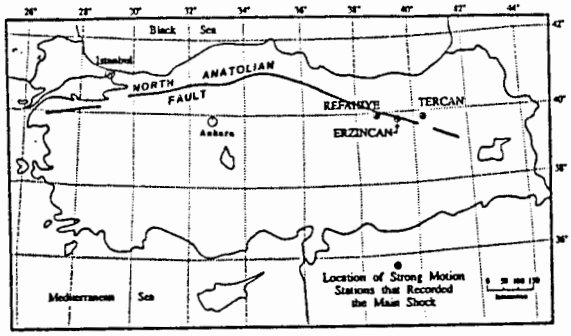
با توجه به تقویت‌های ناشی از ساختگاه و کمّی کردن آن از طریق داده‌های موجود، نظیر آنچه در این مطالعه و بررسی‌های متعدد دیگر عمل می‌شود، ضوابط آیین‌نامه‌ای ترکیه و امریکا در مورد ضریب ساختگاه منطقی و قابل قبول به نظر می‌رسند، اما این امکان وجود دارد که در مناطق لرزه‌خیز شدید نظیر ارزنجان و ناحیهٔ خلیج سانفرانسیسکو ضرایب مزبور نشانگر کرانه تحتانی بوده و نیازمند افزایش باشند تا اثرات ساختگاهی را به درستی منعکس نمایند.

سپاسگزاری

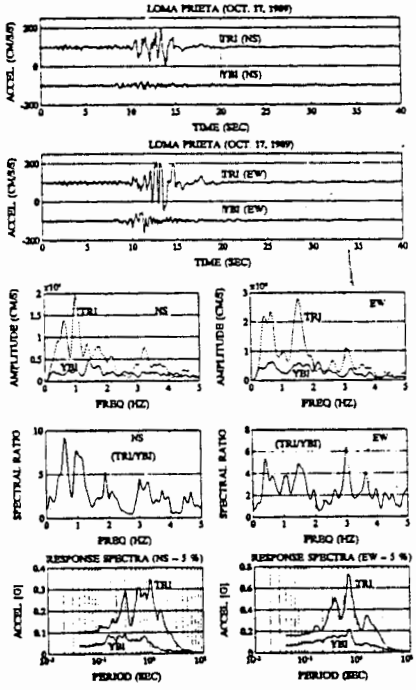
داده‌های جنبش نیرومند به کار رفته در این مقاله توسط پرسنل مدیریت کل حوادث غیرمترقبه وزارت مسکن و شهرسازی ترکیه تهیه گردیده است. بدین‌وسیله از زحمات آقایان اوختای اِرگونئی مدیر کل و سینان گنج اوغلو رئیس مرکز تحقیقات زلزله و انجین آتیل مسئول پردازش داده‌ها و آقایان ای. سِمبِرا (USGS)، اس. کاراکیسا و سی. یراوغلو که در مطالعهٔ پس‌لرزه‌ها یاری نموده‌اند، قدردانی می‌شود.



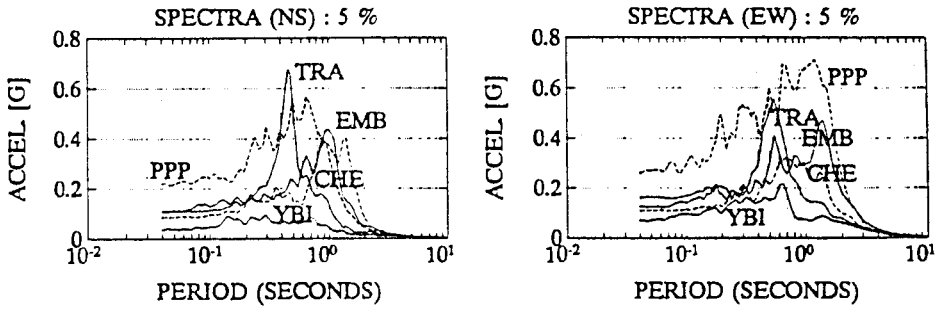
شکل ۱ ـ موقعیت زلزله ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ لوماپری‌یتا (کالیفرنیا) و برخی ایستگاه‌های اصلی ثبت جنبش نیرومند زمین



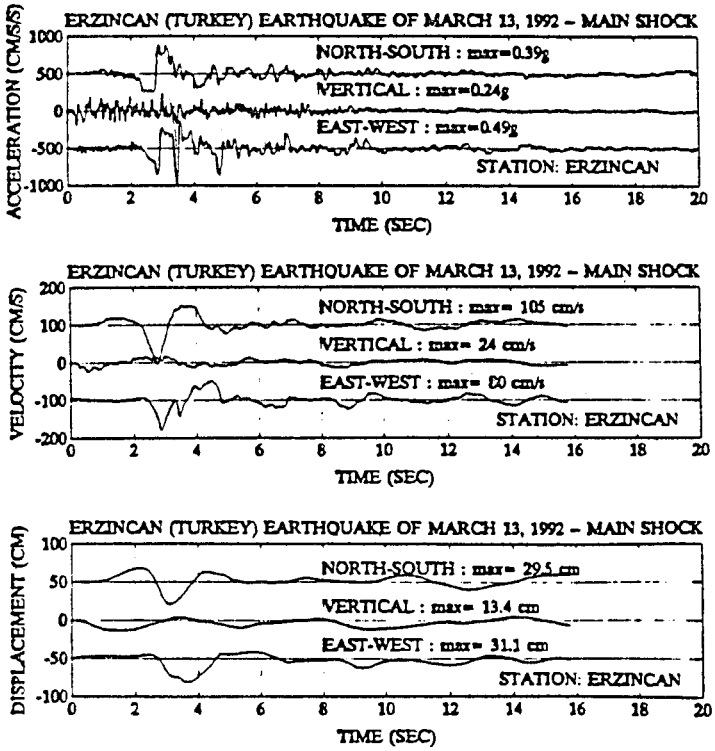
شکل ۲ ـ گسل آناتولی شمالی، موقعیت ارزنجان و ایستگاه‌هایی که تکان اصلی زلزله ۱۳ مارس ۱۹۹۲ را ثبت کرده‌اند



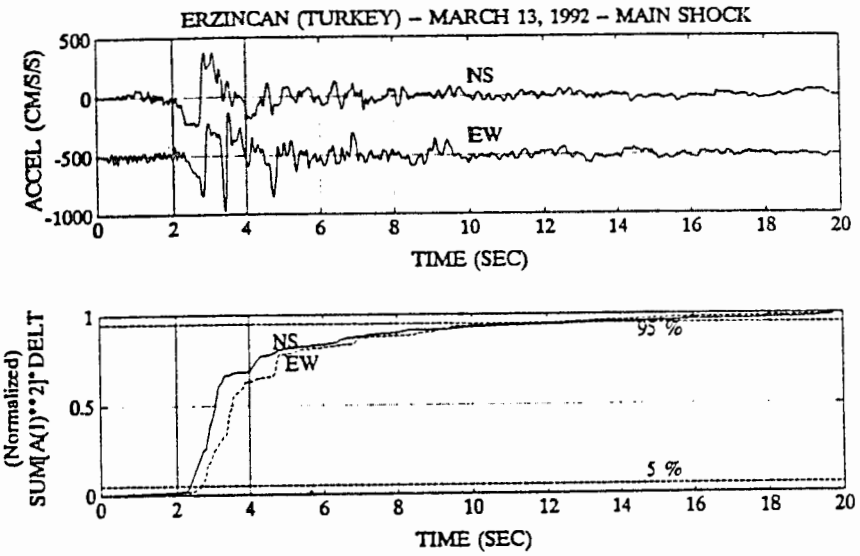
شکل ۳ـ مولفه‌های افقی شتاب ثبت شده در تریژر آیلند و یبرابویه‌نا آیلند در خلیج سانفراسیسکو. طیف دامنه، نسبت‌های طیفی و طیف پاسخ



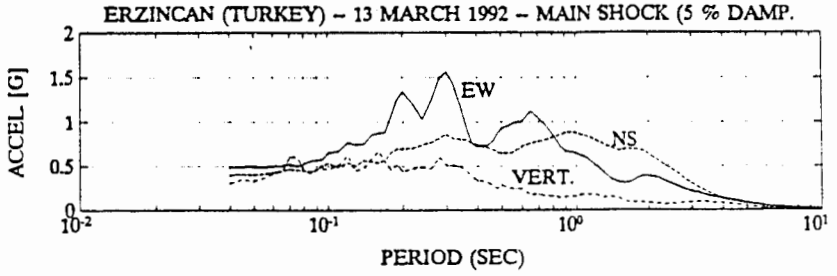
شکل ۴- طیف پاسخ مولفه‌های شتاب‌های ثبت‌شده در تراز پایه چهار ساختمان در مقایسه با طیف یبرابویه‌نا آیلند.



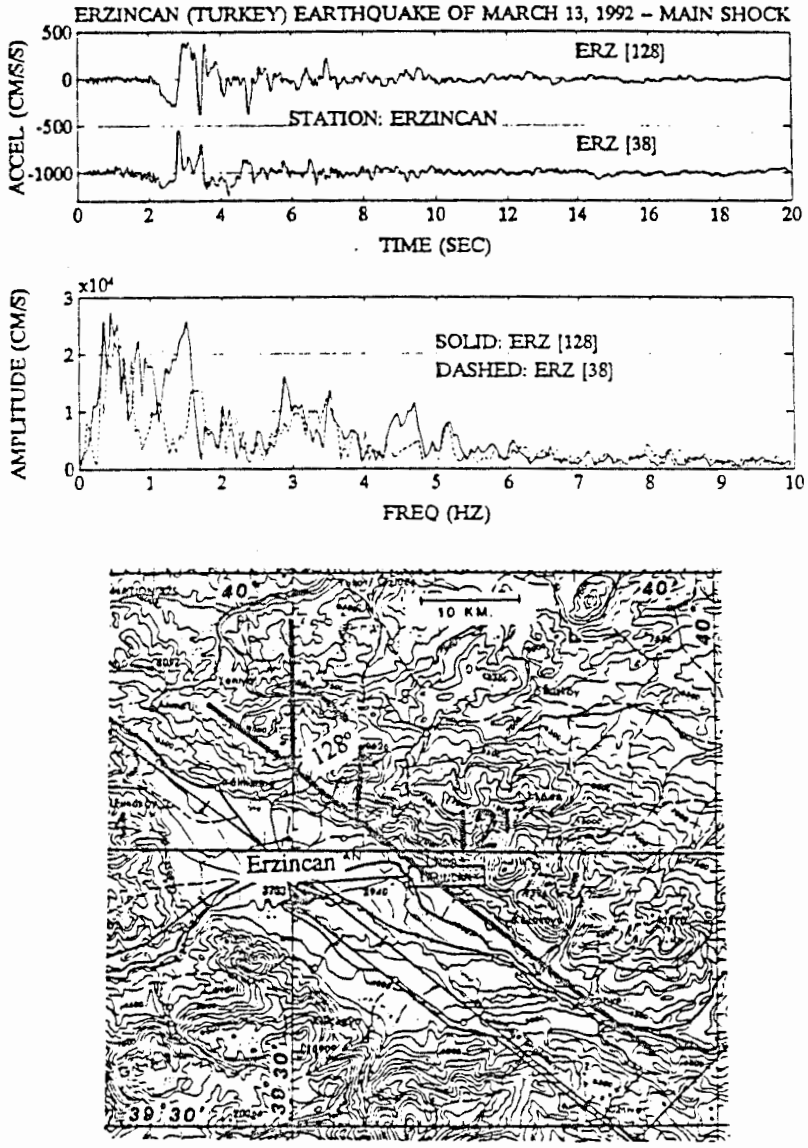
شکل ۵- تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان برای رکورد ارزنجان. به‌علت ناپیوستگی نگاشت در حوالی ثانیه ۱۷، سرعت و تغییر مکان فقط برای ۱۶ ثانیه نخست رسم شده است. پالس دو ثانیه‌ای ۷۰٪ انرژی را تأمین می‌کند.



شکل ۶- انتگرال نرمال‌شده مربع تاریخچه زمانی شتاب افقی برای رکورد ارزنجان. مدت دوام تکان قوی زلزله حدود ۷ ثانیه تخمین‌زده می‌شود.

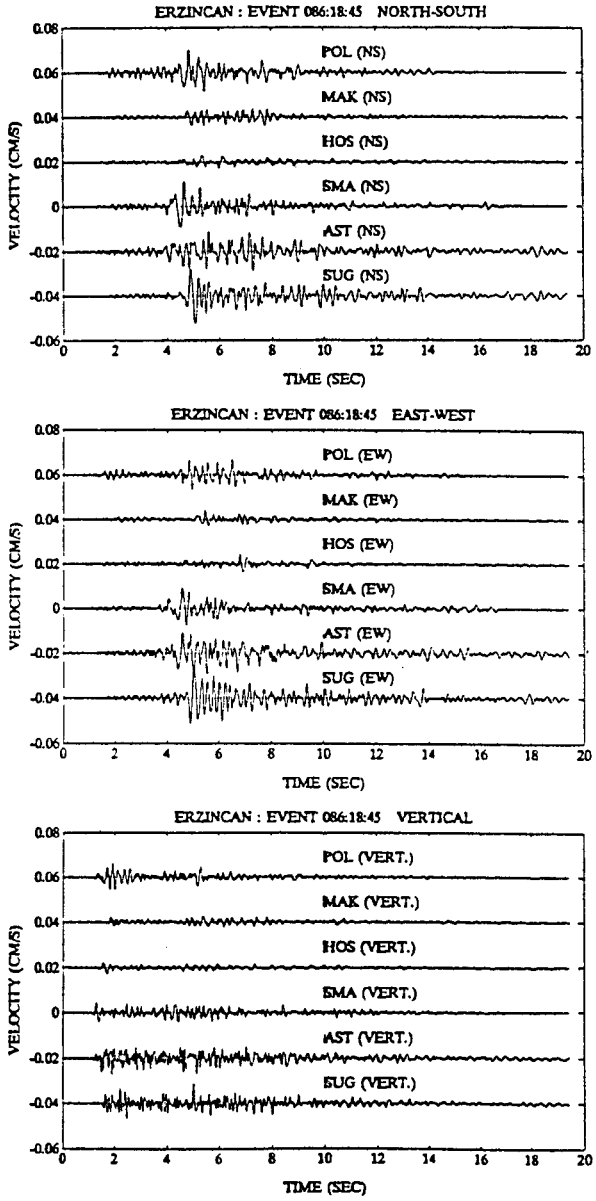


شکل ۷- طیف پاسخ شتاب برای نگاشت ارزنجان (میرایی ۵٪).

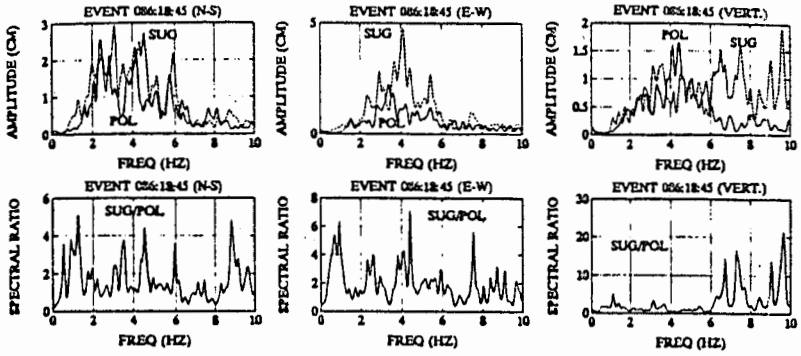


شکل ۸ـ نگاشت‌های شتاب پس از دوران در جهت افقی غالب و طیف دامنه فوریه مربوط به آن

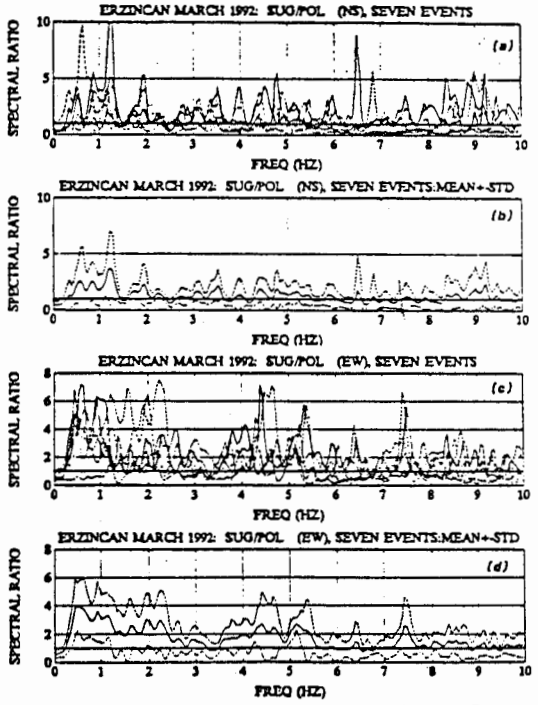
شکل ۹- نقشه استقرار آرایه موقت در ارزنجان



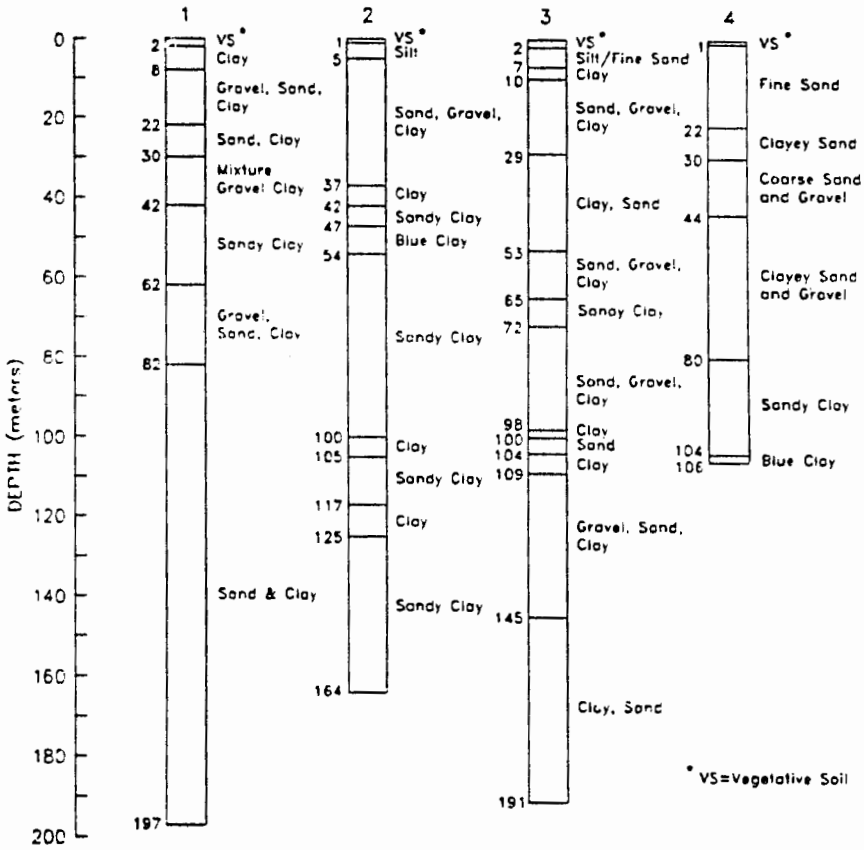
شکل ۱۰ـ شتاب‌نگاشت‌های هم‌ارز شده سرعت (رخداد ۰۸۶۱۸۴۵) برگرفته از آرایه موقت



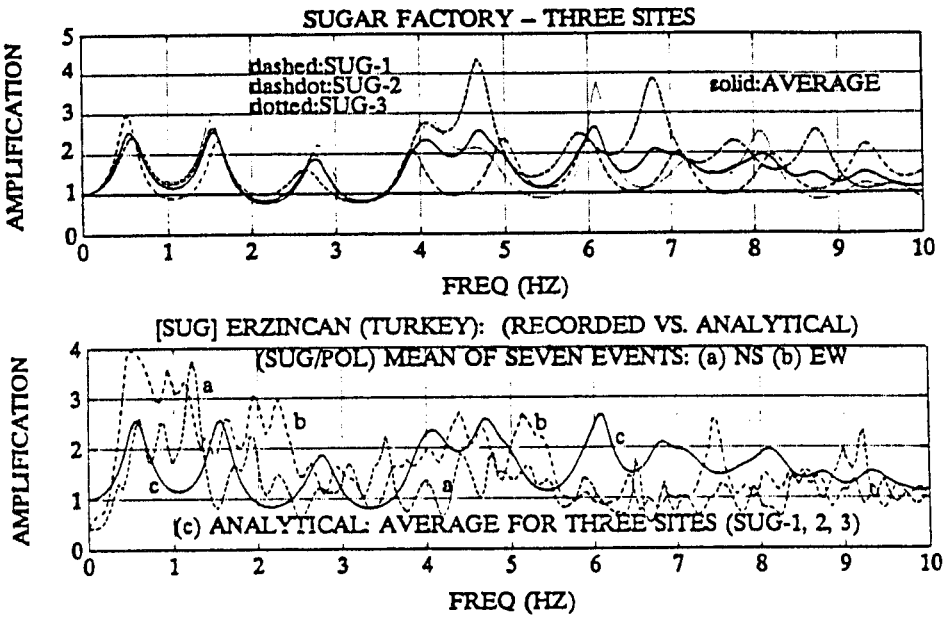
شکل ۱۱ـ طیف دامنه (SUG و POL) و نسبت‌های طیفی (SUG/POL) برای رخداد ۰۸۶۱۸۴۵



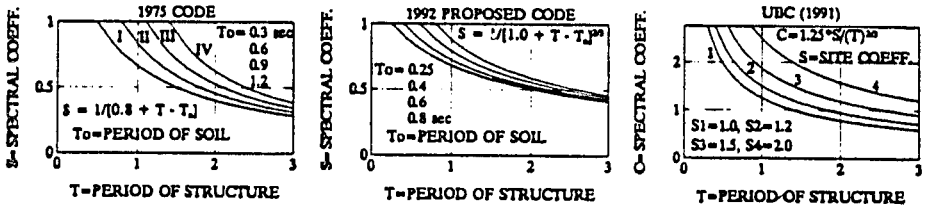
شکل ۱۲ـ نسبت‌های طیفی (SUG/POL) مربوط به ۷ رخداد (منحنی‌های میانگین بعلاوه یا منهای انحراف معیار)



شکل ۱۳- لوگ‌های حفاری چاه‌های آرتزین در محل کارخانه شکر (SUG). تغییرات زمین‌شناسی محلی در فواصل کوتاه مشخص است



شکل ۱۴ـ تابع انتقال ساختگاه در SUG و مقایسه با نسبت‌های طیفی (SUG/POL) از روی داده‌های ۷ رویداد.



شکل ۱۵ـ ضریب طیفی آیین‌نامه مصوب ۱۹۷۵ و پیشنهادی ۱۹۹۲ ترکیه و UBC1991.

ضمیمهٔ I

در زمان وقوع زمین‌لرزهٔ ۱۳ مارس ۱۹۹۲ ارزنجان، آیین‌نامهٔ زلزله رایج در ترکیه همان آیین‌نامهٔ ملی مصوب سال ۱۹۷۵ تحت عنوان «مشخصات ساختمان‌های احداثی در مناطق مستعد برای بلایای طبیعی[1]» بود که براساس اصول طراحی الاستیک تهیه گردیده بود. ضریب لرزه‌ای توصیه شده برای نواحی با بیشترین خطر لرزه‌خیزی ۱ر۰ بود. آیین‌نامهٔ ۱۹۷۵ نسبت به زمان خود نسبتاً مترقی بود، طوری که شامل یک ضریب طیفی ناشی از پریود ارتعاشی لایه‌های خاک تحتانی بود. چنین ضریبی در سال ۱۹۷۶ وارد آیین‌نامهٔ UBC گردید. بعلاوه، دو جدول (جداول ۱۳-۱ و ۱۳-۲ از آیین‌نامهٔ ۱۹۷۵) به منظور شناسایی پریود ارتعاشی خاک ارایه شده‌بود. جدول اول پریود لایه‌های خاک تا عمق ۵۰ متری را برای چهار نوع خاک و جدول دوم سرعت‌های امواج برشی را برای همان خاک‌ها در اختیار می‌گذارند. جدول بسیار مشابهی در مورد مقادیر سرعت‌های امواج برشی توسط انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا[2] در دست تهیه است که توصیه‌های مربوط به آن نهایتاً وارد آیین‌نامه UBC خواهدشد.

در سال ۱۹۹۲ پیش‌نویس آیین‌نامهٔ جدید زلزله ترکیه پیشنهاد شده‌است. به همین دلیل بجاست که در اینجا جنبه‌های پاسخ ساختگاهی ارزنجان و لوماپریتا ارایه گردند.

در این آیین‌نامهٔ ۱۹۷۵ بار جانبی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$F = C_1 W$$

که در آن، C_1 ضریب زلزله و برابر با :

$$C_1 = C_0 KSI$$

C_0 : ضریب منطقهٔ لرزه‌ای

K : ضریب نوع سازه

1- Specifications for Structures to be Built in Disaster Areas

2- SEAOC

S: ضریب طیفی

I: ضریب اهمیت ساختمان، می‌باشند

ضریب نوع سازه و ضریب اهمیت ساختمان مشابه همان الگوهایی است که در ویرایش‌های مختلف UBC موجوداست. برای ساختمان‌های یک و دو طبقه، $S = 1$ و $K = 1$ و برای تمام ساختمان‌های با مصالح بنایی $S = 1$ می‌باشد. حداکثر مقدار ضریب زلزله C_0 مربوط به منطقهٔ یک و برابر است با ۰٫۱.

ضریب طیفی (با حداکثر مقدار مساوی ۱) از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$S = 1/[0.8+T - T_0]$$

که در آن

T: پریود طبیعی سازه

T_0: پریود غالب خاک تحتانی، می‌باشند.

در آیین‌نامهٔ پیشنهادی ۱۹۹۲ منتشرشده برای تجدید نظر نهایی، تغییرات مهمی داده شده است، بویژه در محاسبهٔ ضریب زلزله C_1 در رابطه بار جانبی استاتیکی معادل یعنی:

$$C_1 = C_0 IS/R$$

ضریب منطقهٔ لرزه‌ای C_0 برای منطقهٔ ۱، مساوی ۰٫۴ پیشنهاد شده است. ضریب طیفی نیز به شرح زیر اصلاح شده است:

$$S = 1/[1+T-T_0]^{2/3}$$

ضریب R، ضریب نوع سازه نامیده شده و عملکردی مشابه و توام با K در آیین نامهٔ ۱۹۷۵ و ضریب R در UBC 1991 دارد. فی‌المثل برای سازه‌های قاب بتن مسلح، R مساوی 3.3 و

برای سازه‌های قاب بتن مسلح با شکل‌پذیری افزوده[1]، ۵ می‌باشد. هر گاه بقیهٔ ضرایب برابر یک باشند مقدار ضریب $C_1 = \frac{C_0(\text{جدید})}{R}$ در محدودهٔ ۰٫۰۸ تا ۰٫۱۲ قرار می‌گیرد که در مقایسه با مقدار $C_1 = C_0(1975) = 0.1$ بیانگر آن است که برای سازه‌های شکل‌پذیر مشابه با آنچه که در آیین نامهٔ ۱۹۷۵ آمده است C_1 به اندازهٔ ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و برای شکل‌پذیری افزوده، C_1 به اندازهٔ ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. ضرایب طیفی آیین‌نامهٔ ۱۹۷۵ و آیین‌نامهٔ پیشنهادی ۱۹۹۲ در شکل ۱۵a و ۱۵b مقایسه شده‌اند.

آیین‌نامهٔ UBC هر سه سال یکبار با دستاوردهای روز تطبیق داده می‌شود، درست برعکس آیین‌نامهٔ ترکیه که از سال ۱۹۷۵ تجدید نظری نپذیرفته است.

آیین نامهٔ UBC ۱۹۹۱، بار استاتیکی جانبی معادل را از رابطه زیر محاسبه می‌کند:

$$V = [(ZIC)/R_W]W$$

که در آن:

$$C = (1.25S)/T^{2/3} \leq 2.75$$

و

Z: ضریب منطقهٔ لرزه‌ای

I: ضریب اهمیت سازه

R_w: ضریب کاهش

S: ضریب ساختگاه، می‌باشند.

تغییرات ضریب C در شکل ۱۵c نشان داده شده است.

1- Enhanced ductility

مراجع

1. Ambraseys, N. N. (1970), "Some characteristic features of the Anatolian Fault Zone", Tectonophysics, vol. 9, pp. 143-165.
2. Anonymous (1984), Gazetteer of Turkey, V. 1, 2nd ed., Defense Mapping Agency, Washington, D. C., (stock no : GAZGNTURKEYV1).
3. Archuleta, R. J. (1982), "Analysis of near-source static and dynamic measurements from the 1979 Imperial Valley earthquake", Bulletin of the Seismological Society of America, V. 72, No. 6, pp. 1927 - 1956.
4. Bendat, J. S., and Piersol, A. G. (1981), "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis", John Wiley and Sons, New York.
5. Bertero, V. V., Mahin, S. and Herrera, R., A. (1978), "Aseismic design implications of San Fernando earthquake records", Journal of the International Association of Earthquake Engineering, V. 6, No. 1, pp. 31-42.
6. Borcherdt, R.D., Fletcher, J. B., Jensen, E.G., Maxwell, G.L., VanSchaack, J. R., Warrick R. E., Cranswick, E., Johnston, M. J. S. and McClearn, R. (1985), "A General Earthquake Observation System", "Bulletin of the Seismological Society of America, V. 75, No. 6.
7. Borcherdt, R. D. and Glassmoyer, G. (1992), "On the characteristics of local geology and their influence on ground motions generated by the Loma Prieta earthquake in the San Francisco Bay Region, California", Bulletin of the Seismological Society of America, V. 782, No. 2.
8. Celebi, M. (1993), "Site-response experiments in Erzincan (Turkey) following the 13 March 1992 earthquake", United States Geological Survey, Open-File Report.
9. Celebi, M. and McGarr, A. (1991), "Site-response at Foster City and San Francisco Airport - Loma Prieta studies", Proc. of International Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, Germany.
10. Frankel, A. and Vidale, J. (1992), "A three-dimensional simulation of seismic waves in the Santa Clara Valley, California from a Loma Prieta aftershock", Bulletin of the Seimological Society of America, V. 82, No. 5, pp. 2045-2074.

11. Finn, L. (1991), "Geotechnical engineering aspects of microzonation", State of the art paper in Proceedings of Fourth International Conference on Seismic Zonation, Stanford University, Stanford, California, V. 1, pp. 199-259.
12. Haskell, N. A. (1953), "The dispersion of surface waves on multilayered media", Bulletin of the Seismological Society of America, V. 42, No. 1, pp. 17-34.
13. Haskell, N. A. (1960), "Crustal reflection of plane SH waves", Journal of Geophysical Research, V. 65, No. 12, pp. 4147-4150.
14. Mahin, S. and Bertero, V. V. (1981), "An evaluation of inelastic seismic design spectra", ASCE Journal of Structural Division, V. 107, No. ST7, pp. 1777 - 1795.
15. Mueller, C. and Glassmoyer, G. (1990), "Digital recordings of aftershocks of the 17 October 1989 Loma Prieta, California earthquake", United States Geological Survey, Menlo Park, California, Open-File Report 90-503.
16. Specifications for Structures to be Built in Disaster Areas (1975), Turkish Government, Ministry of Public Works and Reconstruction, Earthquake Research Center.
17. Uniform Building Code (1991), Int. Conf. of Building Officials, Whittier, Calif.

زلزله نورث ریج و تأثیر آن بر روی سازه‌های فولادی *

مهندس فرزین فعلی

ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

هدف این مقاله بررسی داده‌های موجود از زلزله نورث‌ریج در جهت درک بهتر رفتار سازه‌های فولادی است. زلزله نورث‌ریج از مسایل بالقوه‌ای درباره رفتار سازه‌های فولادی پرده برداشت. توجه اصلی این مقاله بر روی قاب‌های لنگرگیر ساختمان‌ها و آسیب‌های غیرمنتظرهٔ وارد بر این نوع سیستم‌های سازه‌ای در اثر زلزله، متمرکز شده است.

مقدمه

در ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴، زلزله نسبتاً متوسطی شهر نورث‌ریج، حومه شمال غربی لس‌آنجلس را به لرزه درآورد. بزرگی آن ۸ر۶ درجه در مقیاس ریشتر بود. زلزله نورث‌ریج سانحه بسیار کوتاه مدتی بود. بیشترین درصد فعالیت آن در ۶ ثانیه اتفاق افتاد و پیش از آنکه یک لرزهٔ تدریجی باشد، اهالی شهر نورث‌ریج را واداشت تا شوک یا ضربه شدیدی را تجربه کنند. بیشترین شتاب زمین در یک مورد، 1.8g در جهت افقی و 1.2g در جهت قائم گزارش شد.

---

* Farzin FAILI, "Northridge Earthquake and Its Implications to Steel Structures". Proc. of the Second ICSEE, Vol. II, May 15-17, 1995, Tehran.

بسیاری از سازه‌ها پدیده بالارانش[1] را تجربه کردند و برخلاف سایر زمین‌لرزه‌ها، شتاب‌های افقی و قائم با یکدیگر همفاز بودند.

زلزله در ساعت چهارونیم بامداد روز دوشنبه روی داد. در این ساعت، اکثر بزرگراه‌ها بدون ازدحام و پارکینگ‌ها نسبتاً خالی بودند. اغلب ساختمان‌های متوسط تا بلند مرتبه، میزان سکنای اندکی داشتند. وقوع زلزله در ساعات بامدادی از نظر کاهش تعداد تلفات جانی بسیار مؤثر بود. متاسفانه چندین آپارتمان متشکل از قاب چوبی چند طبقه منهدم شدند و خانواده‌ها را در میان آوارها گرفتار ساختند. از ۶۱ نفری که در این زلزله جان باختند، اغلب تلفات جانی مربوط به انهدام همین نوع سازه‌های آپارتمانی بود.

خسارات حاصل از زلزله بسیار گسترده بود و محدودهٔ وسیعی از منازل مسکونی، آپارتمان‌ها، شاهراه‌ها، پل‌ها، شریان‌های حیاتی، شبکه گازرسانی و ساختمان‌ها را در بر می‌گرفت. پل‌های فلزی عملکرد بسیار مناسبی داشتند و گزارشی دایر بر خرابی این سازه‌ها منتشر نشد. پارکینگ‌های بتن‌آرمه و بتن پیش‌تنیده از مسئله‌سازترین سازه‌ها بودند و در مواردی منهدم شدند. ساختمان‌های بتن‌آرمه خسارات قابل ملاحظه‌ای دیدند و برخی از آنها انهدام را تجربه کردند. با وجود این و با همه خرابی‌هایی که در ناحیه اتفاق افتاد، سازه‌های فولادی عملکرد بسیار خوبی در این زلزله نشان دادند. هیچ مرگ‌ومیری در اثر خرابی آنها اتفاق نیفتاد و سازه‌ای فولادی گسیخته و منهدم نشد و در حالت کلی، خرابی ساختمان‌های فولادی از نوع آسیب‌های جزئی غیرسازه‌ای گزارش گردید.

متاسفانه، بررسی‌های دقیق پس از زلزله، صدمات وارد به اتصالات تیر به ستون را در تقریباً یکصد ساختمان با قاب فولادی آشکار ساخت. بسیاری از این ساختمان‌های آسیب دیده در حال تعمیر و بسیاری دیگر در انتظار مرمت هستند. برخی از ساختمان‌های آسیب دیده هنوز مورد سکنا و استفادهٔ ساکنان قرار دارند و انتظار می‌رود حتی در صورت وقوع زلزله‌ای

1- Uplift

با مشخصات زلزلهٔ قبلی و پیش از اتمام عملیات مرمت، عملکرد ساختمان‌های مزبور مناسب و قابل قبول باشد. به غیر از یک سازهٔ فولادی، تمام ساختمان‌های با قاب فولادی ضرورتاً باید تعمیر و مرمت گردند.

سیستم‌های سازه‌ای مقاوم به زلزله

برای کاهش تأثیر نیروهای دینامیکی وارد بر ساختمان‌ها، سیستم‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از سیستم‌ها استفاده از روش جداسازی لرزه‌ای[1] یا ایزولاسیون پایه[2] است. با این روش، سازه‌ها روی تکیه‌گاه، فنر و یا ابزارهای لغزنده‌ای قرار می‌گیرند که آنها را از حرکات زمین جدا می‌کنند. این سیستم‌ها خیلی موثر ولی متاسفانه بسیار گران هستند. هیچ‌یک از ساختمان‌های موجود در نورث‌ریج در زمان زلزله مجهز به جداگر نبودند، از این رو رفتار جداگرها در این زلزله قابل ارزیابی نیست.

یکی از سیستم‌های مقاوم به زلزله، قاب مهاربندی شده هم مرکز[3] می‌باشد که از به هم بستن اجزای قطری در چشمه‌های مربع مستطیل قاب‌های ساختمانی پدید می‌آید. این سیستم، ساختمان را بطور قابل ملاحظه‌ای مقاوم می‌سازد، از تغییر مکان‌های جانبی ساختمان و همچنین از طلب یا نیاز[4] اتصالات می‌کاهد. زلزله نورث‌ریج، ضعف‌هایی را در طراحی بادبندها برای مواقعی که نسبت b/t بر مبنای مقررات آیین‌نامه قدیمی استوار بود، آشکار ساخت. در این حالت، اجزای قطری قبل از جذب نیرو و انتقال آن گسیخته شدند.
در موقعیتی دیگر، بادبندها که انرژی زلزله را مستقیماً به صفحات پای ستون منتقل می‌کنند، باعث شکست صفحه پای ستون و المان‌های متصل به آن شده‌اند. علی‌رغم موثر و مفید بودن این نوع سیستم‌ها در مقابله با زلزله، در استفاده از فضا و جایگذاری درها و پنجره‌ها عملاً محدودیت‌هایی ایجاد می‌کنند.

یکی دیگر از سیستم‌های به کار برده شده برای پایداری در برابر زلزله، قاب با مهاربندی

1- Seismic isolation
2- Base isolation
3- Concentric Braced Frame - CBF
4- Demand

خارج از مرکز[1] است. در این سیستم نیز مشابه سیستم پیش گفته، از المان‌های قطری برای مقاوم ساختن سازه استفاده می‌شود، ولی برخلاف سیستم CBF، اجزای قطری در سیستم EBF به تیرهای افقی کف متصل می‌شوند. تعداد اندکی از سازه‌های فولادی در نورث‌ریج، دارای سیستم مهاربندی خارج از مرکز بودند، لذا داده‌های قلیلی در مورد کارایی این سیستم در زلزله نورث‌ریج به دست آمده است.

سیستمی که اکثریت ساختمان‌های فولادی نورث‌ریج از آن استفاده می‌کردند سیستم قاب لنگرگیر[2] بود. این سیستم به نوعی روی مقاومت نسبی تیر متکی است تا در مقایسه با مقاومت ستون رابطهٔ "ستون قوی ـ تیر ضعیف" برقرار گردد. برای ایجاد ستونی قوی‌تر از تیر، مهندسان از فولاد نوع A572 با گرید[3] 50 (حداقل مقاومت تسلیم مشخصه معادل 50ksi یا $3515kg/cm^2$ و حداقل مقاومت کششی معادل 65 ksi یا $4570\ kg/cm^2$) برای ستون‌ها و از فولاد نوع A36 (حداقل مقاومت تسلیم مشخصه معادل 36 ksi یا $2530\ kg/cm^2$ و حداقل مقاومت کششی معادل 50 ksi یا $3515\ kg/cm^2$) برای تیرهای کف استفاده می‌کنند. سیستم قاب لنگرگیر یکی از متداول‌ترین روش‌های ساختمانی در کالیفرنیا و سیستم غالب به کار برده شده در نورث‌ریج است.

در مجموع، قاب‌های لنگرگیر از نقطه نظر حفظ جان ساکنین، به نحو مطلوبی در زلزله نورث‌ریج عمل کردند. گسیختگی کامل و انهدام سازه‌ای در هیچیک از آنها گزارش نگردید ولی سیستم سازه‌ای آنها آسیب دید و نیازمند مرمت گردید. عمده‌ترین مسئله در این ساختمان‌ها، همان رفتار غیر قابل پیش‌بینی و گسیختگی اتصالات تیر به ستون بود.

علل بالقوه آسیب‌های وارد بر قاب‌های لنگرگیر

آسیب‌ها عموماً در محل اتصال بال پایینی تیر به ستون متمرکز شده و اتصال بال بالایی تقریباً سالم باقی مانده است. در حالاتی ورق‌های برشگیر پیچ شده به جان، پارگی ورق را در

---

1 - Eccentric Braced Frame - EBF
2- Moment Resisting Frame - MRF
3- Grade

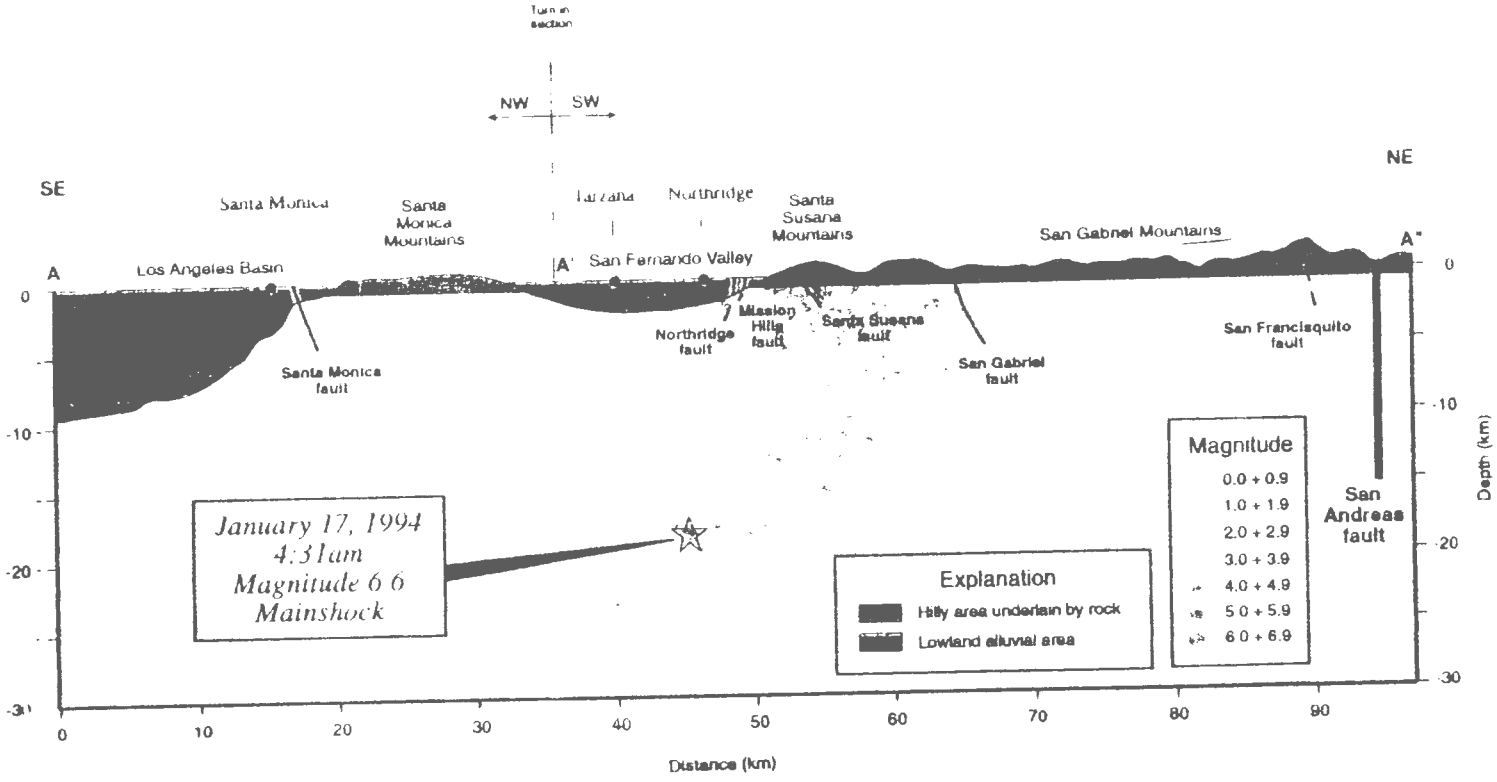
شکل ۱ ـ نقشه گسل‌های منطقه لس‌آنجلس و موقعیت مقاطع A - A' - A"

راستای سوراخ‌های پیچ و یا در امتدادی به موازات جوش گوشه ستون تجربه کرده‌اند. این‌نوع آسیب‌دیدگی ورق برش‌گیر، همواره با گسیختگی بال تحتانی تیر همراه است. بال فوقانی تیر اکثراً سالم باقی مانده است، این موضوع به تأثیر دال کف نسبت داده می‌شود که به علت ایجاد مقطع مرکب[1]، تقویتی را به هر حال به اتصال بالایی اعمال می‌کند.

نحوه گسیختگی بال پایینی تیر، از سازه‌ای به سازه‌ای دیگر تغییر می‌کند و حتی در یک ساختمان واحد، نوع گسیختگی برای تمامی گره‌ها یکسان نیست. شکل شماره ۴، هفت نوع ترک را که در اتصالات ساختمان‌ها ملاحظه شده است، نشان می‌دهد. نقطه شروع همه ترک‌ها در محل تلاقی رویه پایینی بال تحتانی تیر با بال ستون قرار دارد. این نقطه، محلی است که تسمه پشت‌بند قابل گداز، مشترکاً تیر و ستون را قطع می‌کند.

اتصالات لنگرگیر از یک ورق برشگیر استفاده می‌کند که در کارخانه به ستون جوش می‌شود. در سر کار، جان تیر توسط پیچ‌هایی به ورق برشگیر متصل می‌شود، بدین ترتیب نصب و جایگذاری اعضای فولادی تسهیل می‌شود. جوش‌های بالا و پایین تیر از نوع کارگاهی هستند. احتمالاً جوش‌های اضافی بین ورق و جان تیر به تبع نسبت Z_f/Z (Z اساس مقطع خمیری و Z_f مدول مقطع خمیری بال‌های تیر است) ضرورت پیدا کند. بنابراین اتصال لنگرگیر در کل از بال‌های جوش شده، جان پیچ شده و در مواردی جوش‌های اضافی بین ورق برشگیر و جان تیر، تشکیل می‌شود. این اتصال، همان طور که قبلاً گفته شد، رفتار متفاوت و متنوعی را در شرایط آزمایشگاهی نشان داده است. عملکرد مناسب اتصال موقعی بروز کرده است که جان تیر بطور مستقیم به ستون متصل شود. در اکثر طراحی‌ها، فرض می‌شود که تمامی ظرفیت متناظر به لنگر تیر از طریق بال‌ها انتقال یابد، گرچه ممکن است ظرفیت قابل ملاحظه‌ای متناظر به لنگر جان تیر نیز به تبع نسبت Z_f/Z وجود داشته باشد. در صورتی که نیروی اخیر از طریق اتصالات جان منتقل نشود، نیروهای اضافی‌تری باید از بال‌های تیر گذر کنند.

1- Composite section



شکل ۲ ـ مقاطع A - A' - A''، مرکز درونی (ستاره)، پس‌لرزه‌های به‌وقوع پیوسته از ۱۷ لی ۲۲ ژانویه (نقاط تیره).
موقعیت سطحی مقاطع در شکل ۱ نشان داده شده است.

چندین پاسخ محتمل به این سئوال که چرا اتصال قاب‌های لنگرگیر به گونه‌ای مورد انتظار عمل نکردند، وجود دارد. مهمترین آنها عبارتند از:

الف ـ شرایط مشکل و سخت جوشکاری: جوشکاری پیوسته و بدون قطع در محاذات عرض بال فوقانی تیر به راحتی امکان‌پذیر است، لیکن اجرای ممتد جوشی که بال پایینی تیر را به ستون متصل می‌سازد به علت ممانعت جان تیر مشکل است. جوشکار مجبور است تا الکترود را از سوراخ دسترسی جوش[1] عبور داده و آن را تا لبه بال‌ها حرکت بدهد تا بتواند نوار جوش را تکمیل کند. فقط در صورتی که سوراخ‌های دسترسی به جوش از نظر اندازه و موقعیت مناسب باشند، دسترسی و دید لازم را برای جوشکاری با کیفیت مناسب تأمین خواهند کرد.

در بررسی اتصالات آسیب‌دیده، نمونه‌هایی از گداز[2] ناقص و وجود تفاله جوش[3] یا آخال شناسایی شده است که عموماً روی قسمتی از جوش که مستقیماً زیر جان تیر قرار دارد، متمرکز شده‌اند. این قسمت، منطقه‌ای است که یک جوشکار می‌تواند مشکلات زیادی داشته باشد. ضروری است که جوشکاران، آموزش ویژه‌ای را ببینند تا بتوانند جوش سالمی در تمام راستای درز انجام بدهند. ارایه کننده جزییات بایستی ابعاد سوراخ‌های دسترسی به جوش را روی نقشه‌ها مشخص بکند تا کیفیت مطلوب کارکرد جوشکاران را تضمین بکند.
یکی از دلایل وجود ترک در بال پایینی در مقایسه با بال بالایی تیر، مشکلاتی است که در رابطه با جوش بال تحتانی تیر وجود دارد. مشارکت دال بتنی توجیه دیگری است، مخصوصاً که ترک خوردگی در قسمت پایینی اتصال حتی در مواقعی که گداز ناقص یا وجود آخال در منطقه مشهود نیست، روی داده است.
وقتی که گره‌ها با آزمون فراصوتی[4] آزمایش شوند، تشخیص مرکز طول جوش به علت تداخل جان تیر و گِردی بین جان و بال تیر دشوار است. آزمایش‌های فراصوتی بالاسری از قسمت تحتانی بال می‌تواند به این مشکل فائق شود.

1- Weld access hole
2- Fusion
3- Slag inclusion
4- Ultrasonic test

ب ـ نسبت تسلیم به کشش : کنترل دقیق مصالح مورد استفاده یکی از موارد اساسی است تا عملکرد اتصال دقیقاً منطبق بر نظرات طراح باشد. در طرح این گونه اتصال، فرض بر آن است که لنگر از اتصال جان منتقل نمی‌شود، از این رو ضروری است که مقدار ظرفیت لنگر بال‌ها ضربدر تنش کششی فولاد بزرگتر از مقدار همان مقطع ضربدر مقاومت تسلیم فولاد باشد، یعنی: $Z_f \times F_u > Z \times F_y$

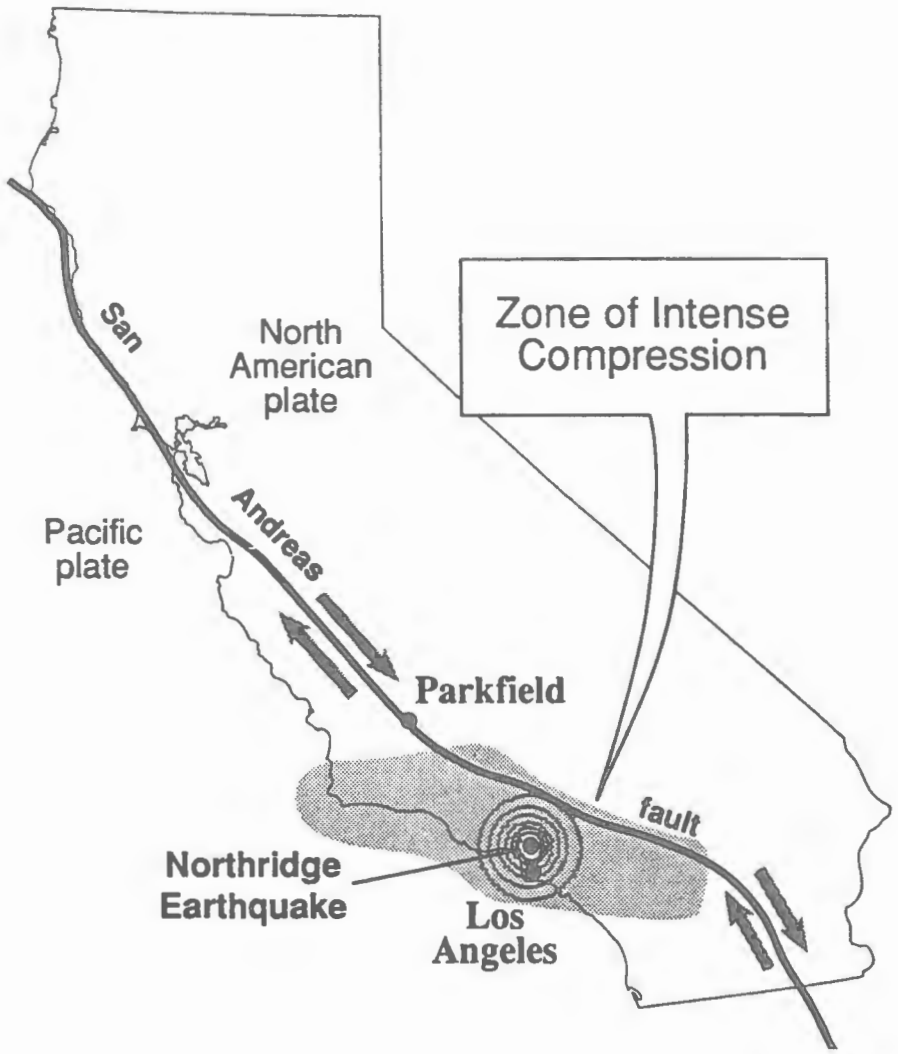
در صورت برقراری رابطه فوق، ظرفیت لنگر پلاستیک کامل تیر را می‌توان از طریق اتصال به ستون منتقل نمود.

رابطهٔ فوق را می‌توان به صورت روبرو نیز مرتب نمود: $Z_f / Z > F_y / F_u$

با توجه به این رابطه، نه تنها اهمیت F_y بلکه اهمیت نسبت‌ها نیز مشخص می‌شود. برای مقاطع W شکل نورد شده، مقدار Z_f / Z بین ۶ر۰ تا ۹ر۰ متغیر است. بر مبنای مشخصات حداقل ASTM ، نسبت F_y / F_u برای فولاد نوع A36 حدوداً ۶۲ر۰ و برای فولاد نوع A572G50 تقریباً ۷۷ر۰ است. در حال حاضر مقدار این نسبت برای فولادهای ساختمانی مورد استفاده بیشتر است. در یک ساختمان بخصوص، گزارش‌های آزمایش نورد[1] این نسبت را برابر ۸۳ر۰ نشان می‌داد. شاید مهمترین فاکتور همان نسبت مقاوت تسلیم مصالح تیر به مقاومت کششی مصالح ستون باشد و گسیختگی در بال‌های ستون براساس مقدار این نسبت رخ داده باشد. باید توجه داشت که با افزایش میزان مقاومت تسلیم و مقاومت کششی، نسبت مقاومت تسلیم تیر به مقاومت کششی ستون می‌تواند به آسانی به عدد یک نزدیک شود.

در سازه‌های آسیب دیدهٔ نورث‌ریج، فقط یک مورد نادر وجود داشت که در آن مناطق خمیری تشکیل شده بودند. در بیشتر ساختمان‌ها، انرژی لرزه‌ای مستقیماً از اتصال گذشته، بار آن را افزایش داده و موجب گسیختگی آن شده است. سطح زیر منحنی تنش ـ تنجش نشانگر کل انرژی جذب شده است. وقتی نقطه تسلیم از سطح مورد انتظار بالاتر باشد، تسلیم صورت نمی‌گیرد و انرژی بسیار کمی توسط المان‌ها جذب می‌شود و قسمت اعظم

1- Mill test report



شکل ۳ ـ گسل سن‌آندریاس و منطقه گسل‌های رانده در نزدیکی لس‌آنجلس (محدودهٔ نقطه چین)

انرژی به طرف اتصال منتقل می‌شود. فولاد نوع ASTM A36 دارای حداقل مقاومت تسلیم مشخصه معادل (2530 kg/cm^2) 36 ksi است. فولادهای تحویل شده به کارگاه‌های ساختمانی، آشکارا مشخصات بالایی نسبت به مشخصات ASTM دارند. بیست سال پیش، میانگین مقاومت تسلیم فولاد نوع A36 حدوداً (2950 kg/cm^2) 42 ksi بود. در سال ۱۹۹۴، میانگین مقاومت تسلیم تا میزان (3375 kg/cm^2) 48 ksi می‌رسید. این مقدار میانگین حدود ۳۳٪ بیشتر از مقادیری است که در اکثر طراحی در نظر گرفته می‌شود. البته باید توجه داشت مقدار 48 ksi، مقدار میانگین است و برخی فولادها عملاً مشخصه‌های بالاتری دارند و وجود مقاومت (3870 kg/cm^2) 55 ksi روال متعارفی است.

برای ستون‌ها، مشخصات بال‌ها، بخشی به علت ضخامت آنها، می‌تواند نزدیک به مقادیر مشخصه حداقل باشد. گذشته از این، کوپن‌های کششی[1] برای گزارش آزمایش نورد، از جان مقطع انتخاب می‌شوند. جان نازک نیمرخ‌ها معمولاً مقادیر مشخصه بالایی نسبت به بال سنگین دارند. برطبق گزارش‌های آزمون نورد، دربارهٔ فولادهایی که در حال حاضر در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نقطه نظر آماری این امکان وجود دارد که به رغم مشخصات رسمی ارایه‌شده، مصالح تیر کف، مقاومت بیشتری نسبت به ستون داشته باشد.

پ ـ نحوه بارگذاری لرزه‌ای: روند بارگذاری لرزه‌ای در نورث‌ریج و همفاز بودن شتاب‌های افقی و قائم، بطور چشمگیری توان مصالح را برای جذب انرژی لرزه‌ای کاهش داد. داده‌های زیادی از کشش و ازدیاد طول نسبی نمونه‌های تک محوری کششی با بارگذاری آرام در دسترس می‌باشد. نمونه‌های کشیده شده، نازک‌تر و باریک‌تر می‌شوند و میزان کاهش سطح مقطع، پس از شکست اندازه‌گیری می‌شود. برای فولادها، تحت چنین شرایطی حصول ۲۰ تا ۳۰٪ ازدیاد طول نسبی امری متداول است. وقتی که فولاد به صورت همزمان در دو یا حتی سه جهت بارگذاری شود، قادر به بروز شکل‌پذیری ذاتی خود نخواهد بود و در این حالت پیش از آن که بتواند رفتار شکل‌پذیری از خود نشان بدهد، بدون ازدیاد طول گسیخته خواهد شد و این شکست از نوع تردشکن[2] خواهد بود، در صورتی که

1- Tensil coupon

2- Brittle fracture

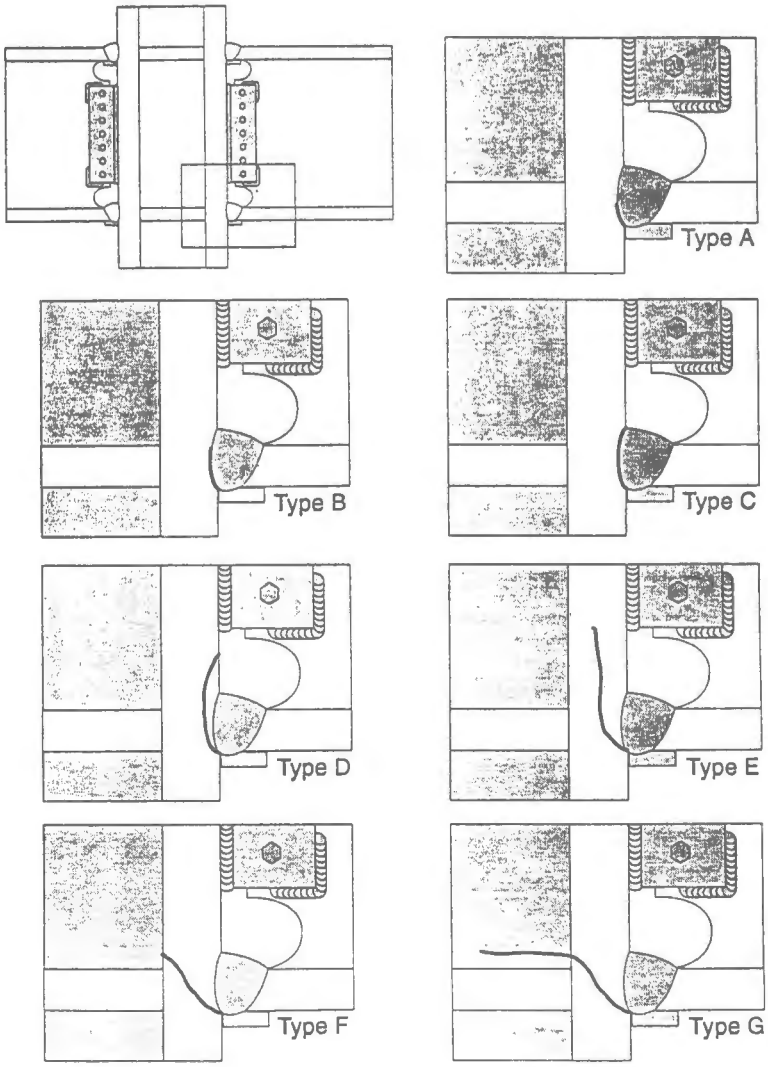
آزمایش تک محوری از نمونه‌ای متشکل از همان مصالح، ازدیاد طول قابل ملاحظه و شکل‌پذیری مناسبی را نشان خواهد داد. از این رو، طراح سازه باید علاوه بر شکل‌پذیری مصالح، شکل‌پذیری کل مجموعه را در نظر بگیرد. در صورت ارایه جزئیات نامناسب، فولاد به جای تسلیم، تنجشی متناسب با تنش را نشان داده و آخر سر با فزونی نیروهای کششی بدون نمایش مشخصه‌های شکل‌پذیری گسیخته خواهد شد.

یکی دیگر از تفاوت‌های موجود بین آزمایش تک محوری و نیروهای ایجاد شده در زلزله نورث‌ریج تأثیر نرخ اعمال بارگذاری است. نمونه‌های کششی در مقایسه مثلاً با نمونه‌های ضربه‌ای بطور آهسته تحت بارگذاری قرار می‌گیرند. در صورت افزایش سرعت بارگذاری، نمونه‌های کششی تک محوری، افزایشی را در مقاومت تسلیم نشان خواهند داد. در زلزله نورث‌ریج، بار دینامیکی با نرخ بسیار بالایی از سرعت اعمال شد و با اعمال آن به سازه‌های نورث‌ریج، به‌مقاومت تسلیم‌ظاهری که می‌بایستی توسط فولادظاهر می‌شدبیشترافزوده شد. افزایش حدود ۲۰٪ برمقاومت تسلیم دراثر بارگذاری‌های با روند سریع امری متداول است.

شکل‌پذیری مصالح در ترکیبی نسبتاً هموار و فارغ از شیار می‌تواند بروز نماید. در حضور شیار، حتی یک نمونه کششی تک محوره، ضمن افزایش در مقاومت تسلیم ظاهری، کاهش چشمگیری در میزان ازدیاد طول نسبی خواهد داشت. در اتصال لنگرگیر شیارهای هندسی به صورت طبیعی در محل تلاقی بال تیر افقی با بال ستون ایجاد می‌شوند. مسئله وجود شیار با حضور تسمه پشت بند قابل گداز و یا کمبود گداز در خط جوش و وجود آخال درجوش تشدید می‌شود. در چنین شرایطی، جوش و فولاد شکل‌پذیر قادر به ارایه نقش خود نخواهند بود.

چقرمگی شیار[1] و یا توانایی مواد برای جذب انرژی در حضور شیار یا ترک، توسط عوامل و متغیرهای هندسی، تأثیر می‌پذیرد. تنش‌های سه محوره و افزایش روند سرعت بارگذاری، هر دو از چقرمگی ظاهری شیار می‌کاهند.

1- Notch toughness



نوع ترک	شرح
C,B,A	گسیختگی جزئی یا کامل فلز جوش در محل اتصال به بال ستون
D	گسیختگی جزئی در بال ستون بالاتر از تسمه پشت‌بند
E	گسیختگی قائم در بال ستون بالاتر از تسمه پشت‌بند
C,B	گسیختگی افقی در بال ستون

شکل ۴ ـ ترک‌خوردگی اتصالات

نتیجه‌گیری

با توجه به بحث‌ها و تحلیل‌های انجام شده، نتایج مقاله را به صورت زیر می‌توان جمع‌بندی نمود:

۱ـ **استفاده از فرضیات نادرست**: مشخصات حداقلی که توسط ASTM ارایه می‌شود به عنوان نماینده همه مصالح و یا قابل اعمال به مصالح تحویل شده به کارگاه‌ها در نظر گرفته شده است. از تأثیر محدودیت‌ها، بارها و شیارها بر روی مقاومت‌های تسلیم و شکل‌پذیری چشم‌پوشی شده‌است. تفاوت‌میان آزمون‌های انجام‌شده روی کوپن‌های‌کششی‌ورفتار بال‌ها و نیز تأثیر ضخامت‌المان روی مشخصات‌مصالح، روندبارگذاری و محدودیت‌های مربوط به چقرمگی شیار در نظر گرفته نشده‌اند. بطور کلی موارد شناخته شده مذکور که می‌توانستند در فرضیات مربوط به طراحی اتصالات لنگرگیر دخیل باشند، نادیده گرفته شده‌اند.

۲ـ **عدم استفاده از نتایج آزمایش‌های قبلی موجود**: نتایج متنوعی که از آزمایش‌های انجام شده در برنامه تحقیقاتی دانشگاه‌های مختلف حاصل شده است، رفتار اتصالات لنگرگیر ساختمان‌های نورث‌ریج را پیشاپیش مشخص می‌ساخته است. لیکن تنوع رفتار و تفاوت نتایج به جوشکاری ضعیف نسبت داده شده و از کنکاش کامل در مورد آنها خودداری شده است. البته در آزمایش‌های مزبور، وجود دال فوقانی و تأثیر بالقوه عمل مرکب در نظر گرفته نشده است.

۳ـ **منحصر به فرد بودن بارگذاری در زلزله نورث‌ریج**: در شرایط معمولی، بارهای ثقلی ناشی از بار مرده و زنده در ستون‌ها تولید نیروهای فشاری می‌کنند. ستون‌ها در چنین شرایطی این امکان را دارند که با افزایش بار در صورت لزوم تغییر شکل‌های خمیری تشکیل بدهند، ولی با اعمال بارهای کششی خالص، شکل‌پذیری و چقرمگی ستون‌ها کاهش پیدا می‌کند. اعمال سریع بارگذاری منتج به ایجاد مقاومت‌های تسلیم بالا و در مقابل کاهش مشخصه‌های شکل‌پذیری و چقرمگی مصالح می‌شود.

مراجع

1. "The January 17, 1994 Northridge, California Earthquake - An EQE Summary Report", prepared by EQE International, March 1994.
2. "Northridge Steel Update I", by American Institute of Steel Construction, October 1994.
3. "PG & E Reconnaissance Report on the Northridge Earthquake of January 17, 1994", by PG & E Geoscience Department, February 4, 1994.
4. "Proceeding of AISC Special Task Committee on the Northridge Earthquake Meeting March 14-15, 1994", prepared by American Institute of Steel Construction, Inc.
5. "Steel Moment Frame Connection, Advisory No. 1", prepared by the SAC Joint Venture Partnership of Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council and California University for Research in Earthquake Engineering, dated September 26, 1994.
6. "Northridge: The Role of Welding Clarified", by Duane K. Miller, Welding Innovation quarterly, Volume XI, No. 2, 1994

آسیب‌های وارد بر قاب‌های فولادی لنگرگیر شکل‌پذیر در زلزله نورث ریج کالیفرنیا*

مهندس سعید امیر عزیزی
ترجمه مهندس جواد فرید

چکیده

قاب‌های فولادی شکل‌پذیر، به مدتی طولانی به عنوان یکی از مقاوم‌ترین سیستم‌های ساختمانی در برابر زلزله در نظر گرفته می‌شدند. سازه‌های مدرن فولادی که طراحی سیستم‌های آنها با دقت انجام شده و حاوی جزییات لرزه‌ای (خصوصاً اتصال تیر به ستون و اتصال بادبند) مناسب بوده و در ضمن اجرا، تحت کنترل و نظارت دقیقی قرار داشته‌اند، در زلزله‌های شدید رفتار بسیار خوبی نشان داده‌اند. با این حال، پس از زلزله اخیر نورث‌ریج، آسیب دیدگی‌های قابل ملاحظه‌ای از سازه‌های فولادی گزارش شد. این گسیختگی‌های موضعی و متنوع ایجاد شده در سازه‌های فولادی آسیب دیده را می‌توان در سه رده به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

الف) گسیختگی‌های اتصالات جوشی تیر به ستون در قاب‌های فولادی لنگرگیر

---

* Saeed R. AMIRAZIZI, "Damage to Ductile Moment Resisting Steel Frames in the California Northridge Earthquake" Proc. of the Second ICSEE, Vol. I, May 15-17, 1995, Tehran.

ب) گسیختگی‌های ناشی از کمانش اعضا و اتصالات بادبندها در قاب‌های فولادی مهاربندی‌شده

پ) گسیختگی صفحات پای ستون و میل مهارها در قاب‌های مهاربندی شده و قاب‌های لنگرگیر.

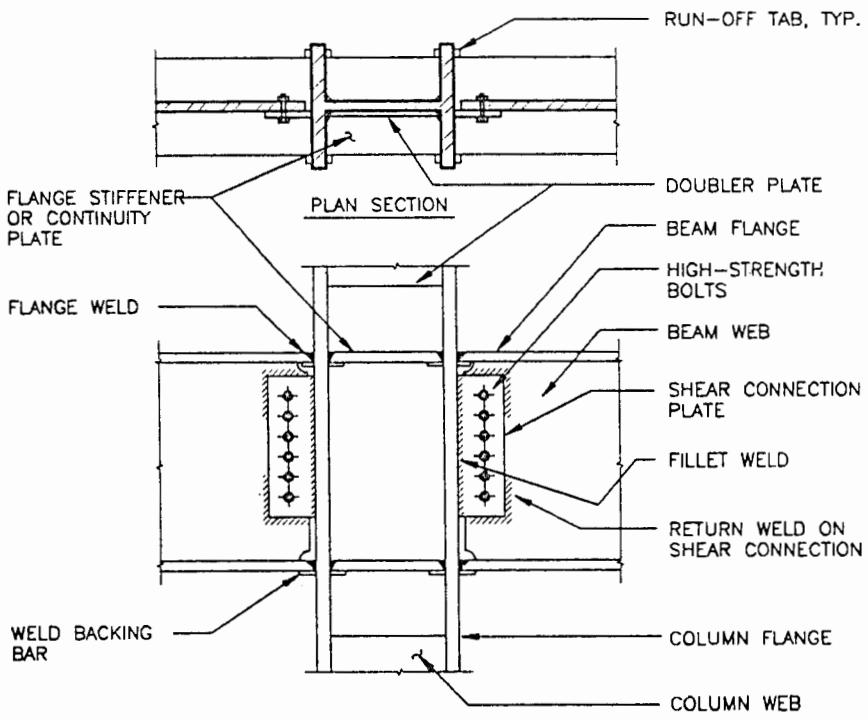
این نوع گسیختگی‌ها تا به حال به صورت گسترده‌ای از سایر زمین‌لرزه‌ها گزارش نشده بود و پیدایش آنها در کالیفرنیای جنوبی فقط در حین زلزله نورث‌ریج اتفاق افتاده است.

این مقاله بر گسیختگی اتصالات قاب‌های فولادی لنگرگیر شکل‌پذیر که در محدودهٔ جان با اتصال پیچی و بال با اتصال جوشی اتفاق افتاده‌اند، متمرکز شده است. ضمن بحث در مورد نوع گسیختگی‌ها و علل محتمل ایجاد آنها، نحوه ترمیم اتصالات و مفاهیم جدید طراحی برای بهبود عملکرد قاب‌های فولادی لنگرگیر پیشنهاد شده‌اند. آخر سر، نتایج آزمایش با مقیاس واقعی یک اتصال لنگرگیر که در دانشگاه تگزاس ـ آوستین انجام شده، ارایه شده است.

مقدمه

اکثر ساختمان‌های مدرن بلند مرتبه و بسیاری از ساختمان‌های با ارتفاع متوسط یا کوتاه برای پایداری در برابر بارهای ناشی از باد یا زلزله از قاب‌های فولادی لنگرگیر متکی بر خمش تیرها و ستون‌ها استفاده می‌کنند. قاب لنگرگیر فولادی از تیرها و ستون‌هایی تشکیل می‌شود که در گره محل اتصال آنها، بال‌های تیر و ستون با استفاده از جوش نفوذی کامل به هم‌متصل می‌شوند و جان‌تیر به کمک ورق‌برشی و توسط پیچ یا جوش به جان و یا بال ستون متصل می‌شود. اعضا، مولفه‌ها و مشخصات چنین‌اتصالی در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

اگر چه بسیاری از ساختمان‌های فولادی با قاب لنگرگیر در زلزله نورث‌ریج، عملکرد مناسبی داشتند، لیکن در بیش از ۱۰۰ ساختمان فولادی متشکل از قاب لنگرگیر، از گسیختگی‌های ایجاد شده در محل جوش اتصالات و فلز اطراف گزارش‌هایی ارایه گردید. این گسیختگی‌ها معمولاً از جوش موجود در محل اتصال قسمت تحتانی بال تیر به بال ستون شروع شده و در مواقعی در بال و یا جان ستون ادامه داشته است.



شکل ۱ـ اجزای یک اتصال لنگرگیر

این گسیختگی‌ها در تمامی ساختمان‌های آسیب دیده موجود نبودند و در مواردی میزان صدمات ناسازه‌ای همراه آنچنان اندک و جزئی بود که پی بردن به گسیختگی اتصالات قاب‌های لنگرگیر در آن ساختمان‌ها موجب شگفتی می‌شد.

از نظر وضعیت استقرار، ساختمان‌های فولادی آسیب دیده تا فاصله ۲۵ کیومتری رومرکز زلزله قرار گرفته بودند و ارتفاع آنها از یک تا ۲۲ طبقه متغیر بود. اغلب آنها در دهه ۱۹۸۰ احداث شده بودند و از زمان ساخت اکثر آنها حدوداً ۵ سال می‌گذشت.

ایجاد گسیختگی‌هایی با این گستردگی تا حال حاضر از سایر زمین لرزه‌ها گزارش نشده است و ظهور آنها تنها با وقوع زلزله نورث‌ریج همراه بوده است. گسترهٔ کامل موضوع هنوز ناشناخته است و گسیختگی‌ها در مواردی که مصالح آتش‌بند یا نازک کاری کاملاً کنار زده

می‌شوند، قابل رویت هستند.

اهمیت، علل و راه حل مسایل حادث از گسیختگی گره‌ها، هنوز کاملاً مشخص نگردیده‌اند و نیاز زیادی به تحقیقات و آزمایش‌های بیشتر برای تشخیص کامل مسئله و ارایه راه حل‌های مناسب وجود دارد.

در حال حاضر مجمعی متشکل از انجمن مهندسان سازهٔ کالیفرنیا[1]، شورای تکنولوژی کاربردی[2] و مجموعه دانشگاه‌های کالیفرنیا برای تحقیقات در مهندسی زلزله[3] تحت عنوان مخفف SAC ، متفقاً استانداردها و دستورالعمل‌های لازم را برای ترمیم، تقویت و طراحی قاب‌های لنگرگیر فولادی تهیه و تدوین می‌کنند.

تشریح گسیختگی اتصالات

با توجه به اطلاعات در دسترس [۲، ۳، ۴] به نظر می‌رسد گسیختگی اتصالات را می‌توان به شرح جدول ۱ و شکل ۲ خلاصه نمود.

متداول‌ترین نوع گسیختگی در اتصالات، گسیختگی‌های فلز جوش (نوع ۱) و گسیختگی‌های فلز جوش در فصل مشترک آن با بال ستون است (نوع ۲ و ۲a). بعد از این دو نوع گسیختگی، بیشترین نوع شکست اتصال مربوط به ترک‌های افقی ایجاد شده در بال ستون‌ها و در مواردی در بال ستون و بال پایینی تیرها است (نوع ۳ و ۴). گسیختگی در ورق برشگیر، شامل ترک خوردگی در راستای سوراخ پیچ‌ها و یا ترک‌خوردگی در انتهای جوش گوشه است (نوع ۵ و ۶). شکستی که کمتر از همه روی داده است مربوط به گسیختگی جوش بال بالایی تیرها است.

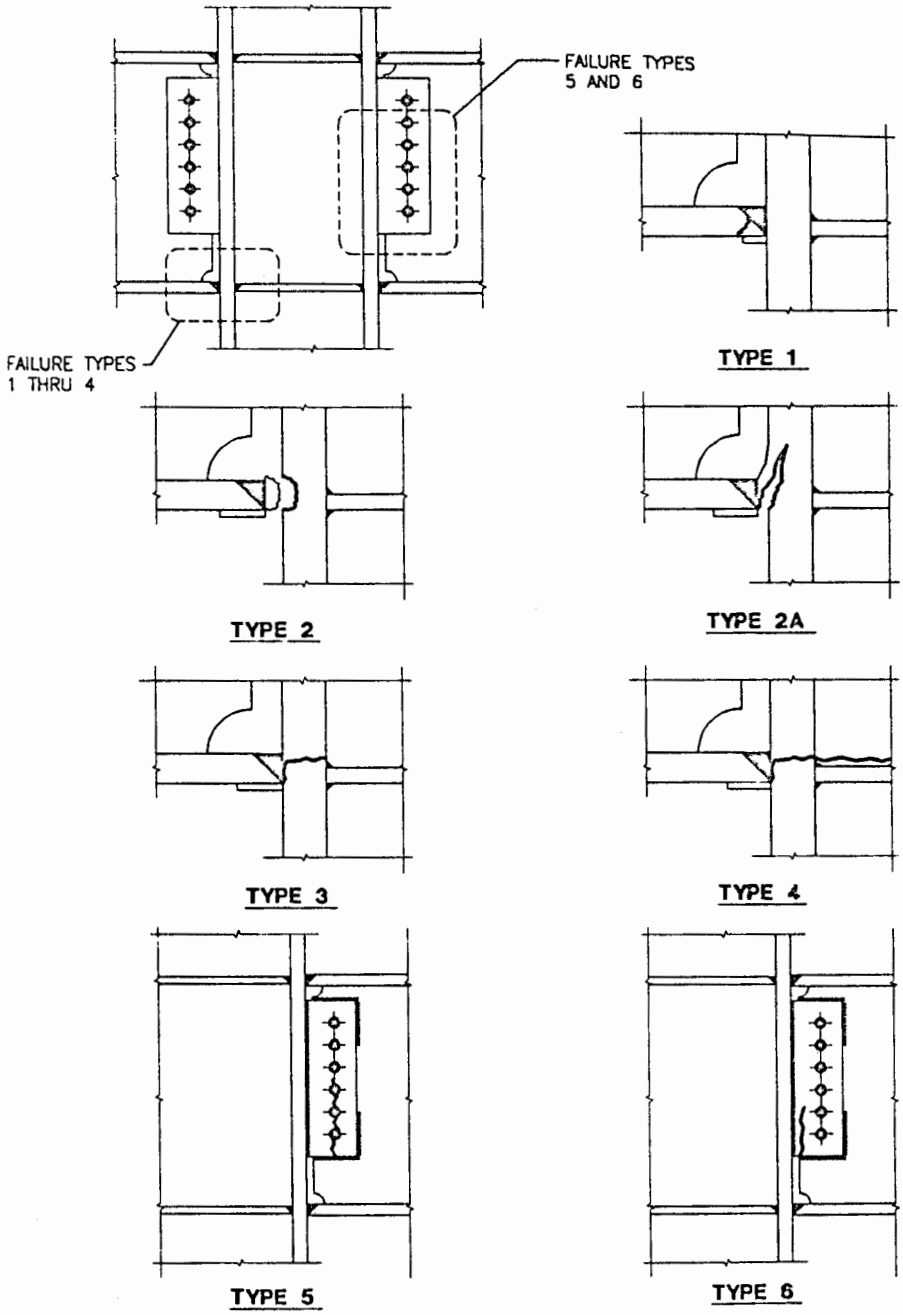
1- Structural Engineers Association of California - SEAOC
2- Applied Technology Council - ATC
3- California Universities for Reasearch in Earthquake Engineering

جدول ۱ـ انواع گسیختگی‌ها

نوع گسیختگی	شرح
۱	گسیختگی فلز جوش (در مواقعی همراه با گسیختگی فلز مبنای بال تیر)
۲	گسیختگی فلزجوش در فصل مشترک آن با بال ستون وکنده‌شدن فلز مبناازبال ستون.
۲a	مشابه گسیختگی نوع ۲، ولی به صورت ناقص. ترک در زیر سطح فلز مبنا ایجاد شده و تا جوش بال تیر بالا می‌آید. ظهور ترک در سطح بالاتر از بال تیر هم محتمل است.
۳	ترک خوردگی در ضخامت بال ستون، نقطه شروع آن بالای جوش گوشه تحتانی در راستای ورق یکسره کننده بوده و در تمام ضخامت بال ستون گسترش می‌یابد. ترک‌ها در جان تیر توزیع نمی‌شوند. در مواقعی منشا ترک‌ها، ریشهٔ جوش بال تیر است.
۴	ترک خوردگی در ضخامت بال ستون، نقطه شروع آن بالای جوش گوشه تحتانی در راستای ورق یکسره کننده بوده و در جان تیر و/ یا ورق مضاعف کننده نیز گسترش می‌یابد. ترک در تمام ضخامت بال ستون تسری دارد و در مواقعی منشا آن ریشهٔ جوش بال تیر است.
۵	ترک در ورق برشگیر تیر و در راستای سوراخ پیچ‌ها.
۶	ترک در ورق برشگیر تیر و در انتهای جوش گوشه.

به نظر می‌رسد، بیشترین گسیختگی‌ها در دو سوم از ساختمان‌های بلند مرتبه در طبقات نیمهٔ بالایی آنها اتفاق افتاده است و در ساختمان‌های کوتاه (شش طبقه و کمتر)، شکست‌ها در تمامی طبقات متمرکز شده است. روند و نرخ ایجاد گسیختگی در اتصالات از ۱۰٪ در برخی کف‌ها تا ۱۰۰٪ در اکثر کف‌ها متغیر است.

گسیختگی در اتصالاتی اتفاق افتاد که دارای تقویت کننده بال ستون و هم فاقد آن بودند. همچنین اتصالاتی که جوش آنها در پایین و بالای ورق برشگیر دارای برگشتگی و هم فاقد برگشتگی بودند، با شکست مواجه شدند. هر دو نوع ستون با نیمرخ بال پهن و مقطع مرکب



شکل ۲ ـ شکل‌های مختلف گسیختگی اتصالات

قوطی شکل تحت تأثیر شکست اتصالات قرار گرفتند. گسیختگی‌های اتصالات در ساختمان‌هایی با تعداد اندک دهانه و طول کم چشمه‌ها و بر عکس در ساختمان‌هایی با تعداد بیشتر و طول بزرگتر دهانه نیز اتفاق افتاد.

از نظر مصالح مصرفی، به نظر می‌رسد که جوشکاری اکثر قاب‌ها، مطابق آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی[1] که از سوی انجمن جوشکاری امریکا[2] منتشر شده، انجام گرفته است. بسیاری از ساختمان‌هایی که اخیراً تکمیل شده‌اند و غالب ساختمان‌های در دست احداث که از جوش در سر محل استفاده می‌کنند، از نظر شیوه جوشکاری با قوس الکتریکی هماهنگ با استانداردهای AWS عمل می‌کنند. فولاد مورد استفاده در تیرها از هر دو نوع A36 و گرید[3] 50 می‌باشد در صورتی که فولاد مورد استفاده در ستون‌ها غالباً از گرید 50 می‌باشد. آزمایش طاقت یا چقرمگی[4] انجام شده از فولاد و فلز جوش نشان داد که میزان چقرمگی فراتر از کرانه‌های پایینی قابل پذیرش است.

علل محتمل گسیختگی اتصالات

علل گسیختگی اتصالات هنوز بطور کامل شناخته نشده است. ولی با توجه به مرجع ۴ اکثر گسیختگی‌های ایجاد شده در اثر زلزله نورث ریج، در آزمون‌های با مقیاس واقعی که در آزمایشگاه‌های سازه امریکا پس از سال‌های ۱۹۷۲ انجام شده، ملاحظه گردیده است. فقط یک نوع از گسیختگی‌های موضعی که ترک خوردگی در بال ستون باشد در آزمایش‌های لابراتوارهای امریکایی ملاحظه نشده که این نوع شکست در آزمون‌هایی که در سال‌های آخر دهه ۱۹۶۰و سال‌های شروع دهه ۷۰ در آزمایشگاه‌های ژاپنی روی ورق‌های ضخیم انجام شده، دیده شده است. از این رو، وجود چنین صدماتی نباید چندان شگفتی‌آور باشد.

براساس مراجع فنی در دسترس [۲، ۳، ۴، ۵] به نظر می‌رسد که دلایل عمدهٔ گسیختگی جوش‌ها در گره‌های لنگرگیر، مجموعه‌ای از عوامل مختلف باشد. عوامل عمده عبارتند از:

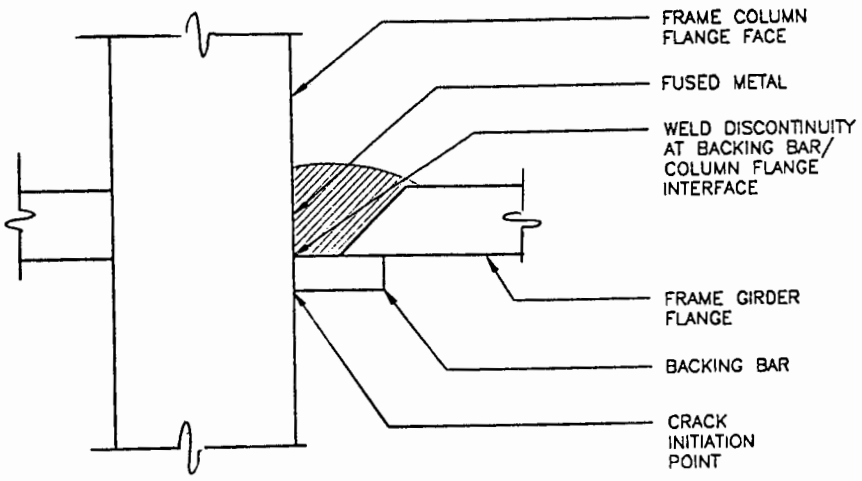
1- Structural Welding Code
2- American welding Society - AWS
3- Grade
4- toughness test

۱ـ جوش‌های زیاد تنیده شده بال‌ها: در اتصالات لنگرگیر، غالباً فرض بر آن است که بال‌های تیر، لنگر را به ستون‌ها منتقل می‌سازند. از این رو لنگر خمیری کامل M_p، اساس مقطع خمیری کامل و جان تیر را شامل می‌شود. تأمین مقدار کامل M_p منجر به تنش‌هایی در جوش بال‌ها می‌شود که میزان آنها به F_u یعنی مقدار میانگین مقاومت عضو نزدیک می‌شود و یا از آن تجاوز می‌کند.

۲ـ وجود ناپیوستگی در جوش ناشی از تسمه پشت بلند: به نظر می‌رسد وجود تسمه پشت‌بند در قسمت تحتانی بال تیر موجد شروع ترک‌خوردگی باشد، در عین حال سطح تنش و تنجش به میزان قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر از سطحی است که برای ایجاد و گسترش دوران خمیری در مقطع مورد نیاز است. شکل ۳ مناطقی از فلز ذوب شده را پس از اتصال تسمه پشت‌بند نشان می‌دهد. در این منطقه، حضور پتانسیل بالایی از تنش در راستای تسمه پشت‌بند و بال ستون و در زیر نقاطی که با گذر اولیه جوش گداخته شده‌اند، مشهود بوده است. آزمون چندین نمونه جوش گسیخته شده، شروع ترک را در این منطقه محرز کرده است. در مورد بال بالایی تیر، ملاحظه شده است که تنیده‌ترین منطقه کششی در سطح فوقانی بال و متقابل با تسمه پشت‌بند قرار دارد و پتانسیل افزایش تنش در آن موجود نیست. دلیل دیگر برای گسیختگی اندک بال بالایی تیرها به اشتراک دال کف در رفتار خمشی مقطع مرکب نسبت داده می‌شود که از میزان تنش موثر بر جوش به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاسته است.

۳ـ وجود تفاله جوش محبوس شده: آزمون گسیختگی جوش‌ها وجود آخال یا تفاله جوش و یا نبود گداز کامل در راستای ریشه‌های جوش را مشخص می‌سازد. وجود فزاینده آخال متناسب با بعد جوش و جان [تبر]، احتمالاً ناشی از وجود مشکلات نسبی حتی برای جوشکار ماهر در به هم پیوستن جوشِ دو طرف عضو است.

۴ـ استفاده از ابعاد بزرگ در تیرها و ستون‌ها و ضخامت زیاد بال ستون‌ها: این امر منجر به جوش با ابعاد بزرگ در محل اتصالات می‌شود و نهایتاً سبب ایجاد تنش‌های پسماند بزرگ و تمرکز تنش می‌گردد. انتخاب قاب لنگرگیر در تعداد زیادی از دهانه‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای مقاومت و ظرفیت جذب و استهلاک انرژی را در اتصالات افزایش می‌دهد.



شکل ۳ ـ شِمایی از فلز گداخته شده در جوش نفوذی کامل

عوامل دیگری در گسیختگی گره‌ها نیز مؤثرند که از آن جمله می‌توان به نبود تقویت کننده‌های ستون (نظیر ورق‌های یکسره کننده)، پیش گرمایش ناکافی قطعات فولادی قبل از جوشکاری در کارگاه و شیوه‌های جوشکاری غیراستاندارد و ناهماهنگ با آیین نامه‌های AWS اشاره کرد.

ترک خوردگی افقی بال ستون در محل اتصالات، منحصراً به حضور نیروهای کششی در ستون‌ها نسبت داده شد. این امر محتملاً در ستون‌هایی اتفاق افتاده است که نیروی فشاری ناشی از بارهای ثقلی بالنسبه پایین است. در ساختمان‌هایی که مولفهٔ قائم شتاب‌های جنبش زمین به تبع شرایط ساختگاهی بالا است، نیروهای کششی محوری بزرگی در ستون‌ها ایجاد می‌شوند که قادرند حالت تنش‌های کششی دو جهته را تولید بکنند.

برای روشن کردن همه عوامل دخیل در گسیختگی‌های متنوع اتصالات، ضروری است تحقیقات بیشتری انجام گیرد.

مرمت اتصالات و مفاهیم جدید طراحی

چون علل گسیختگی اتصالات هنوز بطور دقیقی مشخص نشده است، لذا تعیین مناسب‌ترین شیوه تعمیر اتصالات نیز ناممکن است. توصیه‌هایی مقدماتی و موقتی از سوی موسسه ساختمان‌های فولادی امریکا[1] با همکاری انجمن مهندسان سازهٔ کالیفرنیا[2] در مورد مرمت اتصالات ساختمان‌های موجود و طراحی اتصالات ساختمان‌های نوساز به شرح زیر ارایه شده است:

۱ـ بازگشت به اتصال جوشی کامل (جوش کامل بال‌ها و جان)

۲ـ کندن تسمه پشت بند، شیارزنی جوش‌ها و تقویت آنها

۳ـ اعمال کنترل کیفیت دقیق‌تر از وضعیت فعلی روی عملیات جوشکاری بخصوص روی پیش گرمایش و نحوه سرد شدن.

۴ـ اصلاح و تغییر در جزییات اجرایی اتصال در جهت کاهش تمرکز تنش‌ها و کنترل شرایط تسلیم‌سازه در محل‌هایی خارج از درز اتصال. شکل‌های ۴، ۵ و ۶ سه نوع شیوه ترمیم اتصال را به ترتیب باکاربرد ورق پوشش[3]، ورق سخت کننده قائم[4] و ورق ماهیچه[5] نشان می‌دهند.

۵ـ طرح سازه‌ها با تعداد زیادی ستون و تیر مشارکت کننده در پایداری جانبی سیستم به عبارتی دیگر تأمین افزونگی[6] بیشتر سیستم.

در حال حاضر، برنامه‌ای برای آزمایش محدود اتصالات فولادی با مقیاس واقعی در دانشگاه تگزاس ـ آوستین در جریان است [۵]. نخستین نتایج این آزمایش‌ها نشانگر آن است که توصیه‌های ۱ تا ۳ که قبلاً گفته شد، برای حصول شکل‌پذیری ضروری در اتصال، کافی نیست. ضمناً آزمایش‌های انجام شده با ورق‌های پوشش (ورق‌های پوشش افقی یا

1- American Institute of Steel Construction - AISC
2- Structural Engineers Association of California - SEOAC
3- Cover plate
4- Vertical rib plate
5- Haunch plate
6- Redundancy

سخت کننده‌های قائم) نشان دادند تا زمانی که سخت کننده بال ستون (ورق‌های یکسره کننده) در جزئیات مرمت اتصالات وارد نشود و یا از مواد پرکننده جوش[1] در جهت افزایش چقرمگی شیار[2] استفاده نشود، رفتار اتصالات رضایتبخش نخواهد بود.

ذیلاً، خلاصه‌ای از نتایج آزمون‌های با مقیاس واقعی اتصالات که پس از وقوع زلزله نورث ریج در دانشگاه تگزاس آوستین انجام شده، برگرفته از مرجع [۵] آورده می‌شود:

- اتصالات لنگرگیر تیر به ستون به شکلی که در مقررات UBC سال ۱۹۹۴ آمده است (اتصال پیچی جان و اتصال جوشی بال‌ها)، قادر به تأمین شکل‌پذیری کافی نیست. این نتیجه علی‌رغم تلاش‌های انجام شده در راستای استفاده از کارگران ماهر، جوشکاری با کیفیت بالاتر از شرایط متداول، کندن تسمه‌های پشت بند، اجرای جوش‌های گوشه اضافی و اتصال جوشی کامل جان، حاصل گردیده است.

پیامد این تحقیقات، آن است که اجرای اتصالات لنگرگیر به شکلی که توسط UBC 1994 مقرر شده (اتصال پیچی جان و اتصال جوشی بال‌ها) از سپتامبر ۱۹۹۴ متوقف شده است. این بخش از آیین‌نامه تغییر و اصلاح خواهد شد و در چاپ بعدی UBC خواهد آمد.

- بهبود شرایط جوشکاری به تنهایی قادر نیست رفتار اتصال لنگرگیر را رضایت‌بخش گرداند.
- تقویت اتصالات با استفاده از ورق‌های پوشش یا سخت‌کننده مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد.
- ضرورت حذف تسمه پشت بند در بال فوقانی تیر نامشخص است.
- توسعه تعمیم مشخصات روش جوشکاری[3] توسط انجمن جوشکاری امریکا[4] بسیارمفید به نظر می‌رسد.

1- Weld filler material
2- Notch toughness
3- Welding procedure Specification - WPS
4- American Welding Soaety - AWS

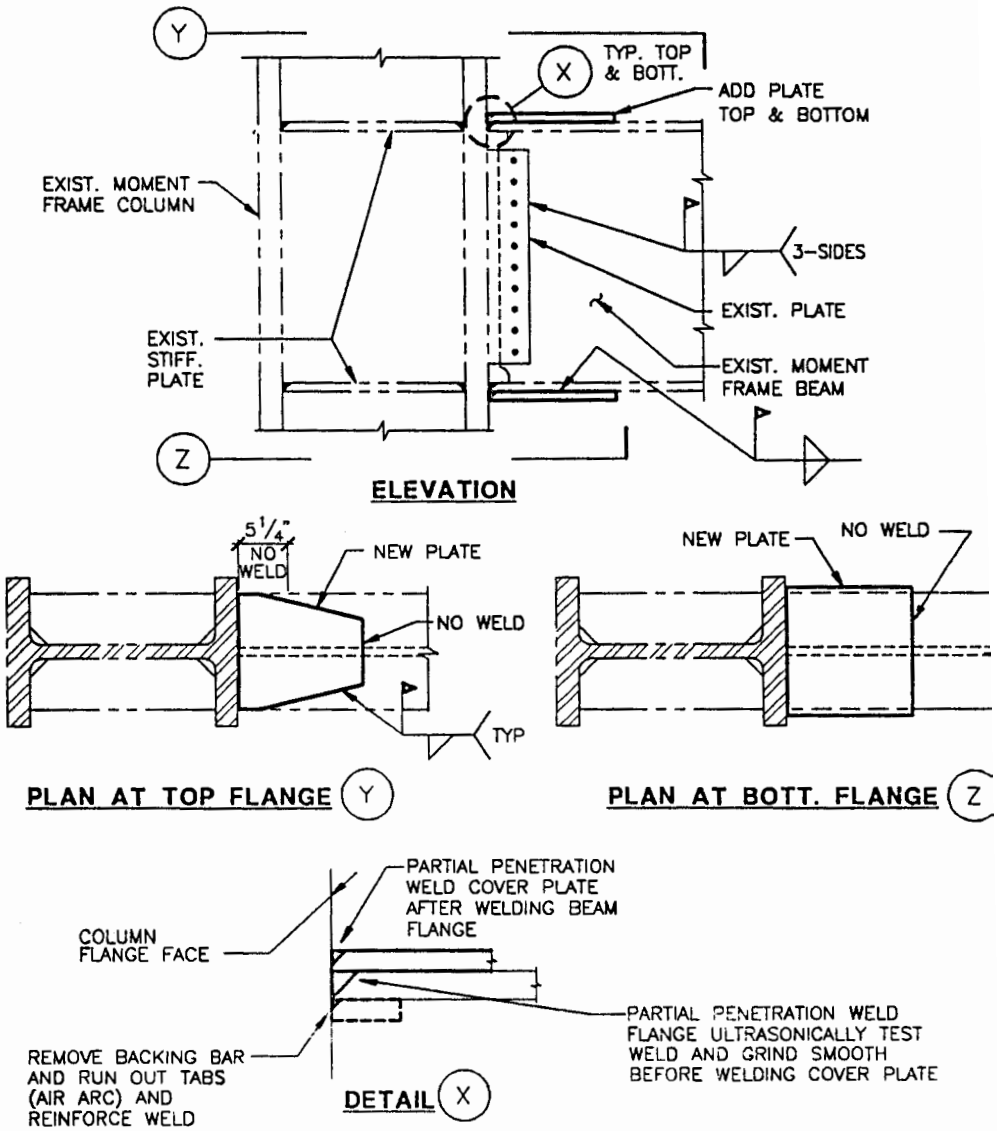
نتیجه گیری

شکـی نـیست کـه درس اصـلی آمـوخته شـده از زلزله ۱۷ ژانـویه ۱۹۹۴ نـورث‌ریج، آسیب‌پذیری ساختمان‌های جدید فولادی است. بیش از ۱۰۰ ساختمان متشکل از قاب فولادی لنگرگیر، گسیختگی‌هایی را در اتصال جوش و فلز اطراف تحمل کردند.

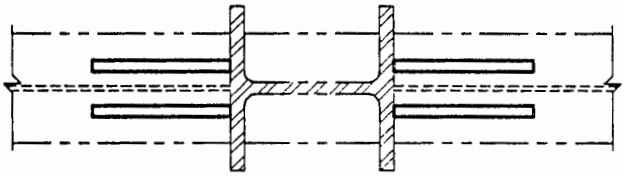
علل خسارات وارد بر اتصالات لنگرگیر بطور کامل مشخص نشده است، از این رو هنوز روش‌های قابل اعتمادی که همگان بر روی آنها توافق کامل داشته باشند برای حل مشکلات به وجود آمده، ارایه نشده است. ارزیابی مجدد آزمایش‌هایی که در حول و حوش سال ۱۹۷۲ در دانشگاه‌های امریکا انجام شده، تغییرات زیادی را در رفتار، شکل‌پذیری و نحوه گسیختگی جوش‌ها نشان می‌دهد، لذا صدمات وارد بر اتصالات نباید چندان شگفت‌آور تلقی شود.

به نظر می‌رسد یکی از عوامل موثر در خرابی گره‌ها، جزییات اجرایی به کار برده شده برای اتصال باشد که باعث تمرکز تنش زیادی در جوش‌ها می‌شود. روند و شیوه جوشکاری نیز سبب کاستن شکل‌پذیری و چقرمگی اتصال می‌شود. ضعف اجرایی و نظارتی بر روند جوشکاری دلیل دیگری بر صدمات است.

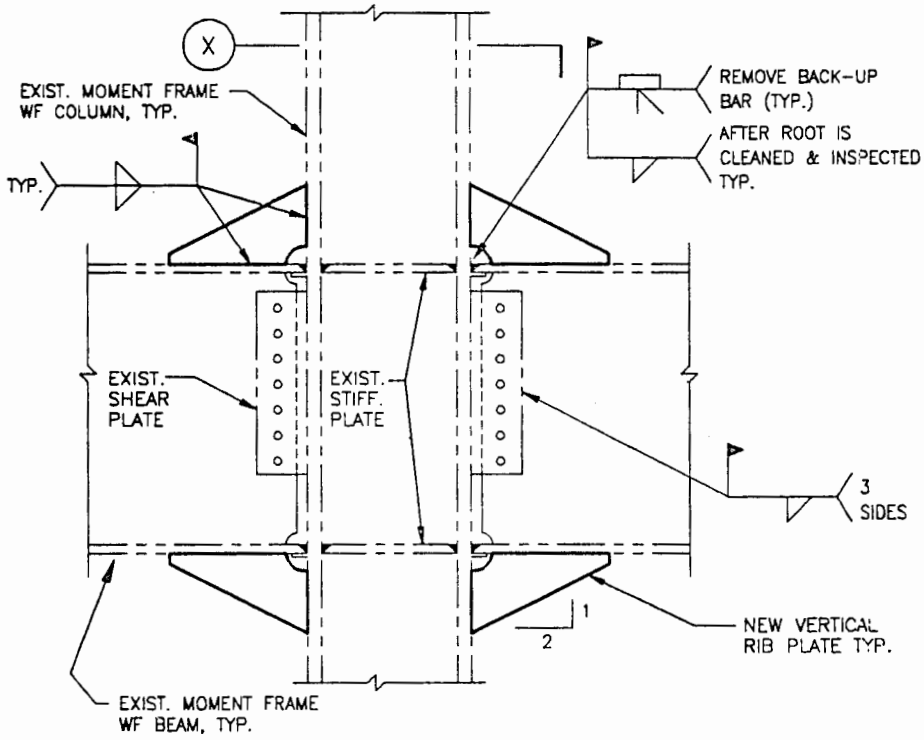
تعدادی آزمایش روی اتصال تیر به ستون با لحاظ روش‌های ترمیم و تقویت پیشنهادی یا بدون آنها، پس از زلزله انجام گرفته است. روشن است که برای تکمیل آنها انجام آزمایش‌های بسیاری با در نظر گرفتن جان با اتصال پیچی و بال با اتصال جوشی ضروری است. برنامهٔ تحقیقاتی گسترده‌ای در حال حاضر با مشارکت سازمان‌های حرفه‌ای مهندسی، دانشگاه‌ها و صنایع فولاد در جریان است.



شکل ۴ ـ شیوه مرمت و مفاهیم جدید طراحی با استفاده از ورق پوشش مستطیلی

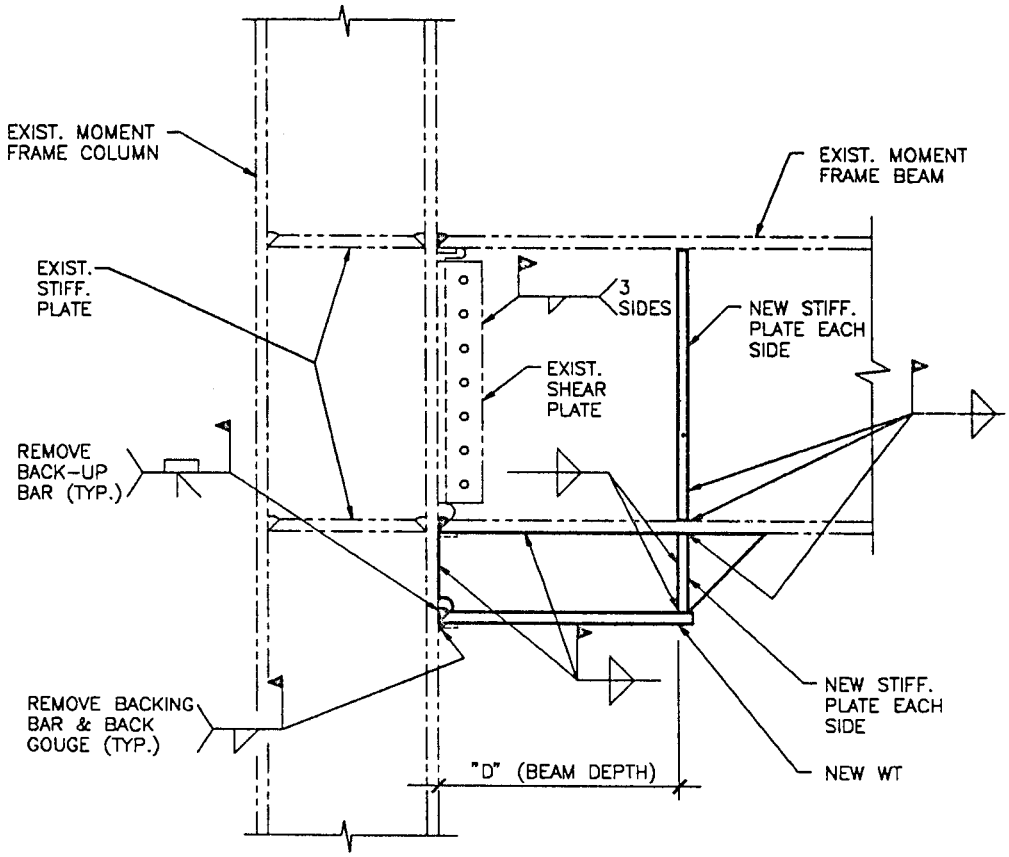


PLAN (X)



ELEVATION

شکل ۵ـ شیوه مرمت و مفاهیم جدید طراحی با استفاده از ورق تقویت کننده قائم



شکل ۶ ـ شیوه مرمت و مفاهیم جدید طراحی با استفاده از ورق تقویتی ماهیچه‌ای

مراجع

1. "Uniform Building Code ",1994 Edition, International Conference of Building Officials, Whittier, California.
2. "Steel's performance in the Northridge Earthquake" ,by John Shipp, Published in EQE Review, Fall, 1994.
3. "Northridge Earthquake, 17 January, 1994: Seismic performance of Steel" , by John Shipp , Presented to American Iron and Steel Institute, 1994 General Meeting, New York City.
4. "Performance of Steel Building Structures During the Northridge Earthquake", by Vitelmo V. Bertero, James C. Anderson and Helmut krawinkler, August 1994.
5. "Steel moment Frame Connection, Advisory No. 1", Produced by the SAC Joint Venture Partnership of Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council, California Universities for Research in Earthquake Engineering, September 1994.

زلزله هیوگو ـ کن نانبو (کوبه ، ژاپن)*

مهندس علی اکبر معین‌فر

این مقاله به یاد و به پاس خدمات مرحوم مهندس حبیب معروف به مهندسی ساختمان کشور تهیه گردیده‌است.

در ساعت پنج و چهل و شش دقیقه روز سه‌شنبه ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ (به وقت محلی) زلزله‌ای مخرب با بزرگای[1] ۲ر۷ Ms در بیست کیلومتری جنوب‌غربی بندر بزرگ کوبه روی داد که از نظر تلفات و صدمات جانی، پس از زلزلهٔ معروف کانتو (توکیو ـ یوکوهاما سال ۱۹۲۳)، پرتلفات‌ترین و فاجعه‌آمیزترین زلزله سدهٔ اخیر کشور ژاپن و از نظر مالی، پر خسارات‌ترین زلزلهٔ تاریخ ژاپن بود. براثر این زلزله، ۵۴۵۲ نفر کشته و بیش از ۳۳۰۰۰ نفر زخمی گردیدند و خسارات مالی به بیش از یکصد میلیارد دلار تخمین زده‌شد. تعداد زیادی از ساختمان‌ها فروریخت و جمعاً حدود ۱۵۰۰۰۰ واحد مسکونی و ساختمان اداری و تجاری آسیب دید و علاوه بر آن، زلزله، آتش سوزی‌های زیادی را موجب شد.

بطورکلی زلزله هیوگوکن ـ نانبو از نظر قدرت و با مقیاس بزرگای گشتاوری[2] کوچکتر از زلزلهٔ سال ۱۳۶۹ شمسی منجیل بود (بزرگای گشتاوری این زلزله ۹ر۶ Mw و بزرگای گشتاوری زلزلهٔ منجیل ۳ر۷ Mw بود).

---

* نقش ماندگار، یادنامهٔ حبیب معروف، به کوشش رامین و نازی معروف، نشر آزاده، تهران ۱۳۷۴.

1 - Magnitude

2 - Moment Magnitude

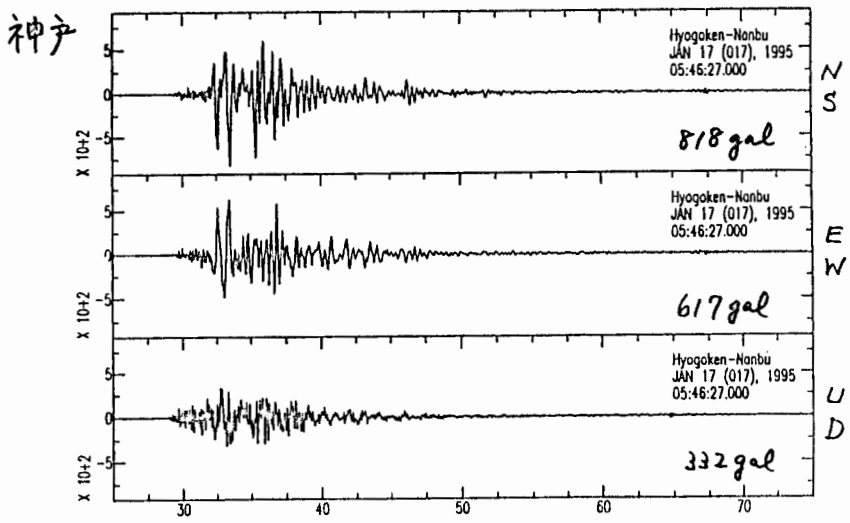
شتابنگاشت‌های ثبت شده از زلزلهٔ هیوگوکن- نانبو قابل توجه می‌باشد. در نمودار شماره ۱ شتابنگاشتی که از شتابنگار نصب شده در لابراتوار اقیانوس هواشناسی شهر کوبه به‌دست آمده‌است، ملاحظه می‌گردد. بیشینهٔ شتاب افقی این شتابنگاشت در دو امتداد، به ترتیب 0.818 و 0.617 و در مولفه قائم 0.332 برابر شتاب ثقل زمین است. در نمودارهای شماره ۲ و۳ و۴ طیف‌های فوریه مربوط به این شتابنگاشت و در نمودارهای شمارهٔ ۵ و۶ و۷ اصلاح شدهٔ شتاب، سرعت و تغییرمکان و همچنین طیف فوریه و طیف‌های شتاب، سرعت و تغییرمکان برای هریک از این مولفه‌ها ملاحظه می‌شود. صرفنظر از شتابنگاشت فوق، بطور کلی آنچه از نظر ثبت شتاب حرکت، در این زلزله اهمیت دارد وجود شتاب قابل توجه در مولفهٔ قائم است و این موضوع پس از زلزلهٔ ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ نورث‌ریج (لس‌آنجلس- کالیفرنیا) که موجب خسارات تردگونه[1] در اتصالات بعضی از ساختمان‌های فلزی گردید، به سهم خود قابل تأمل می‌باشد.

گسترهٔ خسارات وارده از این زلزله در نواری به عرض ۲ تا ۴کیلومتر و به طول ۴۰کیلومتر در ساحل اوزاکا و در امتداد شرقی غربی از جزیرهٔ آواجی تا شهر کوبه بود. درازای گسل سطحی همراه با این زلزله حدود ۴۰کیلومتر و بیشینه تغییر مکان در هر دو امتداد افقی و قائم یک متر بود. پدیده آبگونگی[2] بویژه در شهر کوبه و تأسیسات بندری آن و خصوصاً در اراضی حاصل از دریا (که به وسیله خاکریزی به دست آمده است) ویرانگر بود.

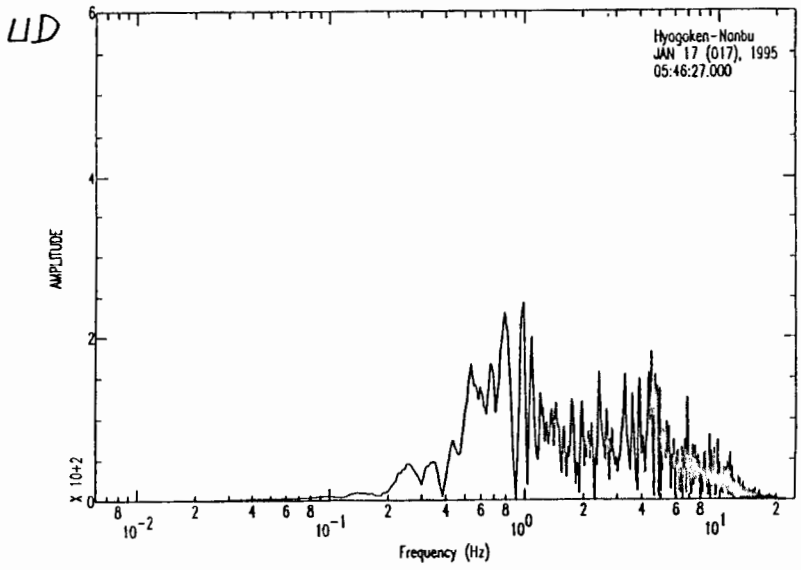
این زلزله به خطوط ارتباطی و پل‌ها، صدمات فراوانی وارد کرد و قسمت‌های زیادی از پل‌ها فروریخت. در حدود نیم کیلومتر از بزرگراه هانشین[3] که بر روی ستون‌های بتن‌آرمه ساخته شده‌است بکلی خراب شد (این بزرگراه در سال‌های ۱۹۶۸ و ۱۹۶۹ و طبق آیین‌نامه‌های آن زمان طرح و اجرا شده بود).

---

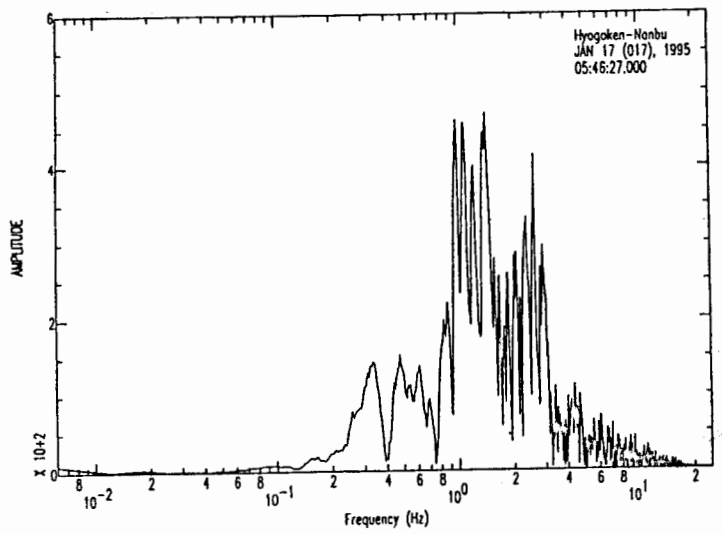
1 - Brittle failure
2 - Liquefaction
3 - Hanshin



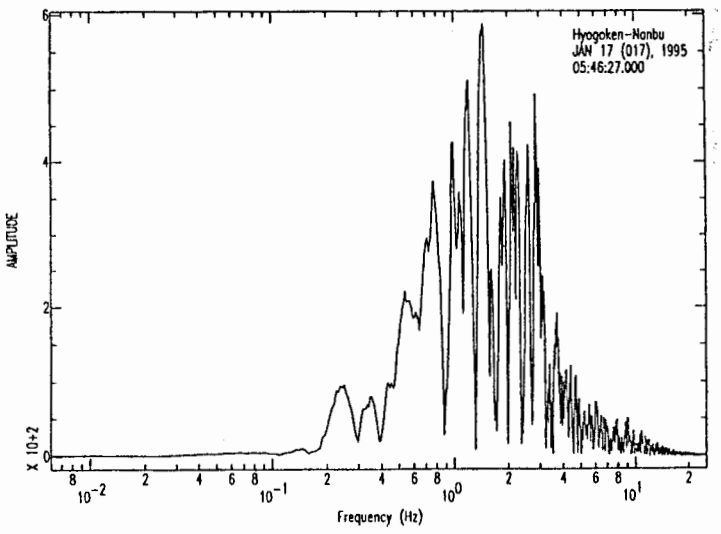
نمودار شماره ۱ـ شتابنگاشت به دست آمده در لابراتوار اقیانوس هواشناسی شهر کوبه



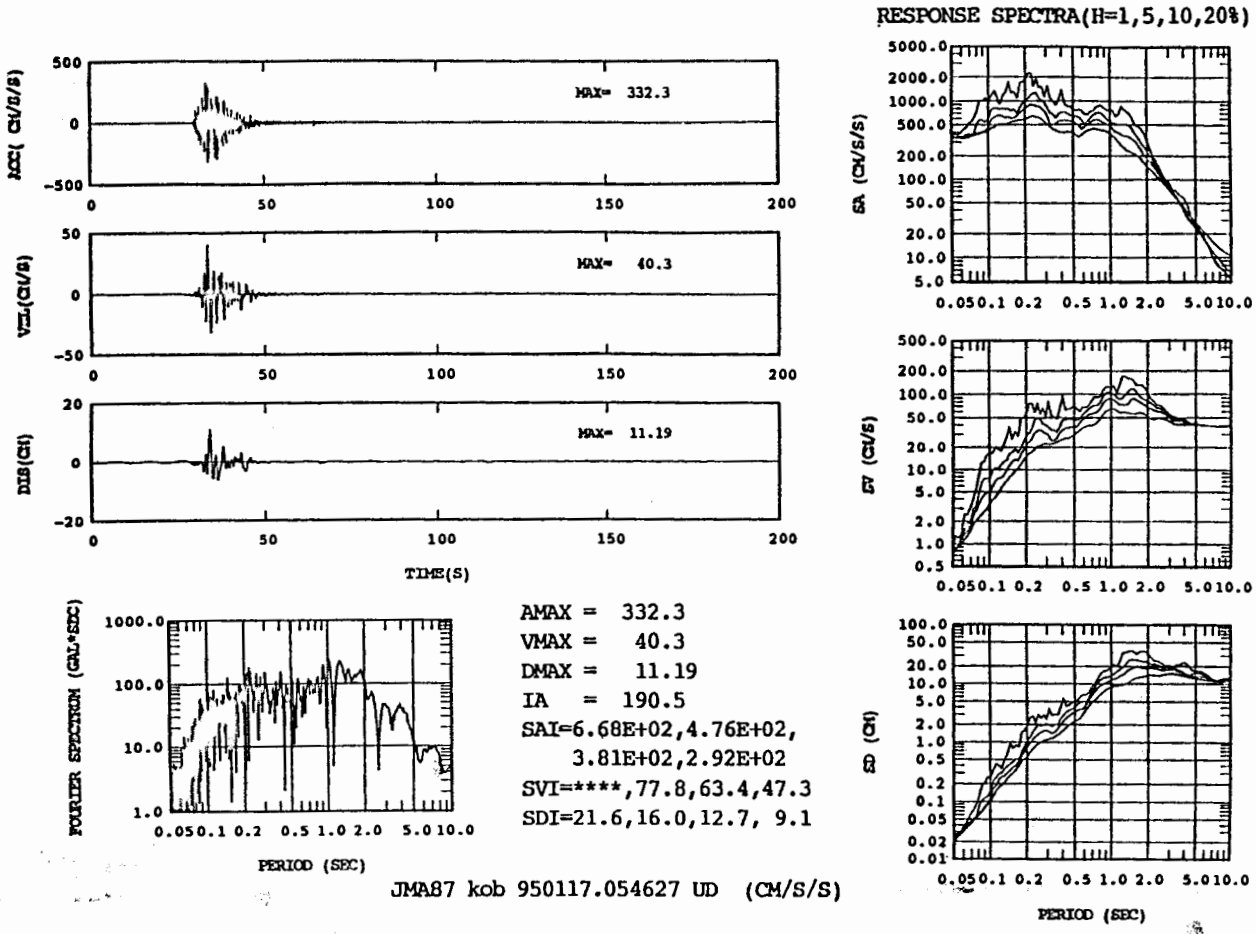
نمودار شماره ۲ـ طیف فوریه مربوط به مؤلفهٔ قائم شتابنگاشت به دست آمده در لابراتوار اقیانوس هواشناسی شهر کوبه



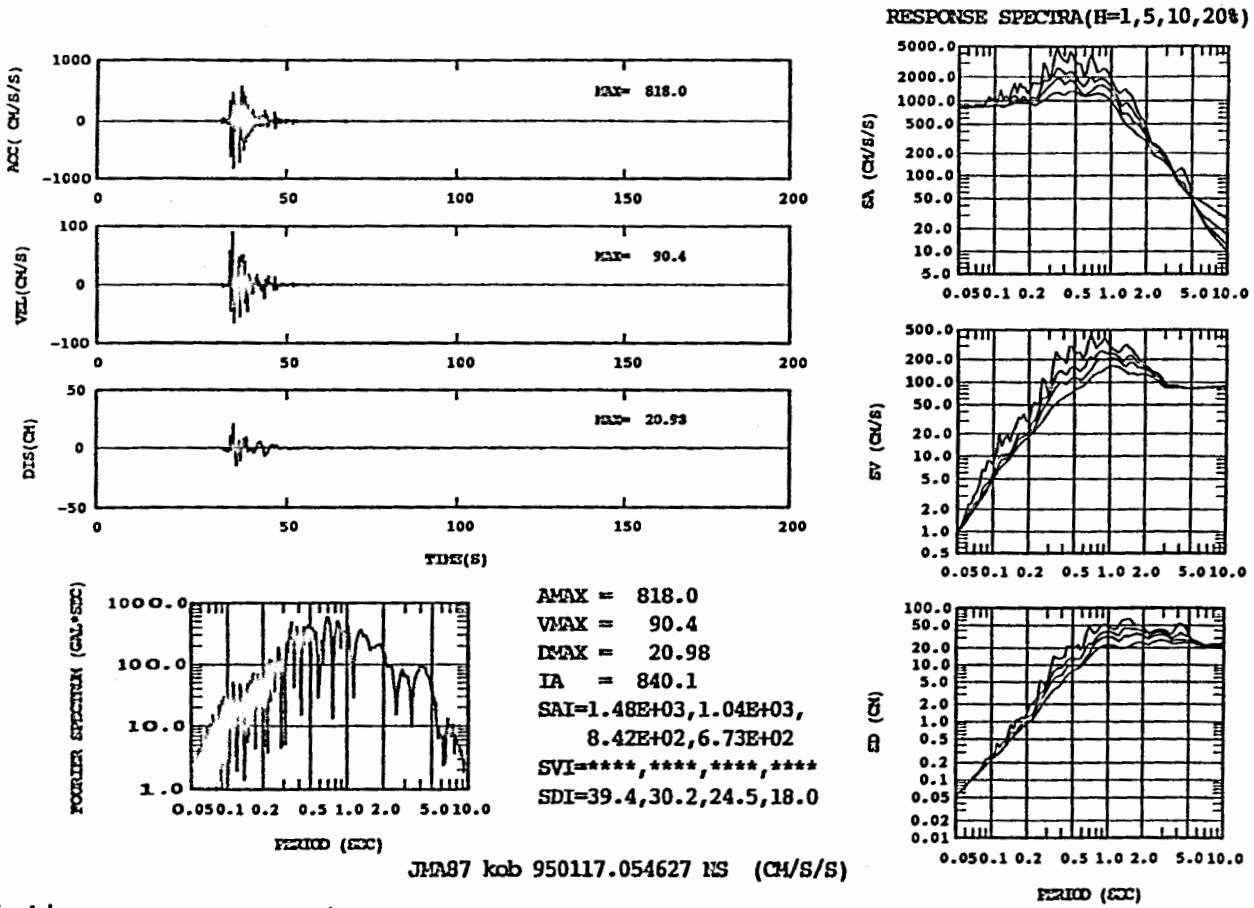
نمودار شماره ۳- طیف فوریه مربوط به مؤلفهٔ شرقی ـ غربی شتابنگاشت به دست آمده در لابراتوار اقیانوس هواشناسی شهر کوبه



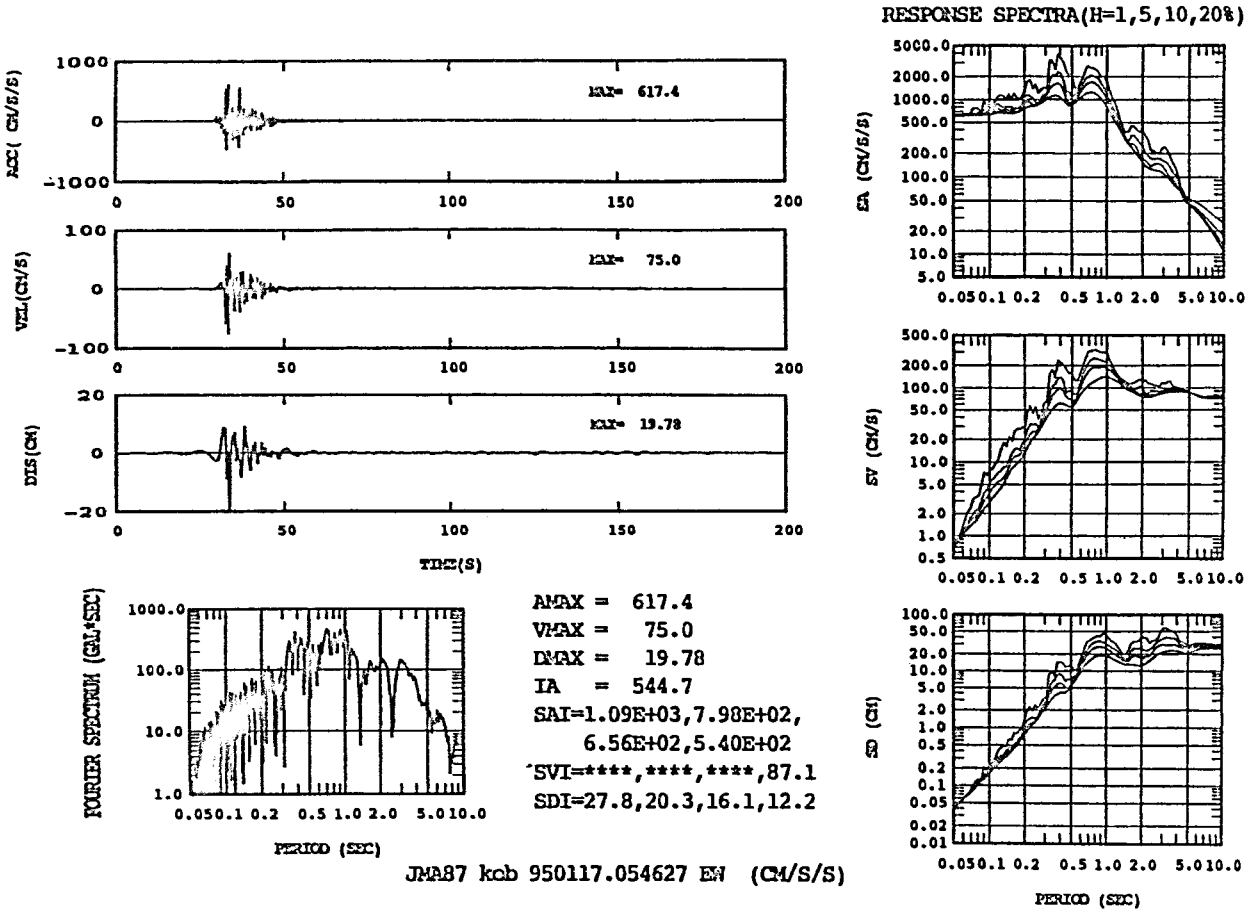
نمودار شماره ۴- طیف فوریه مربوط به مؤلفهٔ شمالی ـ جنوبی شتابنگاشت به دست آمده در لابراتوار اقیانوس هواشناسی شهر کوبه



نمودار شماره ۵ـ نگاشت اصلاح شدهٔ شتاب، سرعت و تغییرمکان مؤلفهٔ قائم و همچنین طیف شتاب، سرعت و تغییر مکان قائم



نمودار شماره ۶ـ نگاشت اصلاح شدهٔ شتاب، سرعت و تغییر مکان مؤلفهٔ شمالی ـ جنوبی و همچنین طیف شتاب، سرعت و تغییر مکان افقی در مؤلفهٔ شمالی ـ جنوبی



نمودار شماره ۷ـ نگاشت اصلاح شدهٔ شتاب، سرعت و تغییر مکان مؤلفهٔ شرقی ـ غربی و همچنین طیف شتاب،
سرعت و تغییر مکان افقی در مؤلفهٔ شرقی ـ غربی

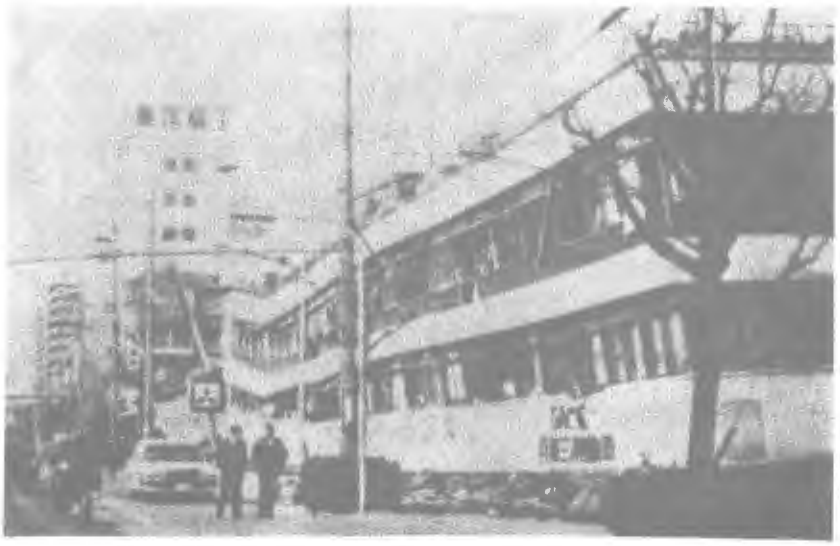
گرچه صدمات و خساراتی که بر اثر این زلزله، به سازه‌های مختلف بویژه پل‌ها و شریان‌های حیاتی وارد شده‌است بسیار و جای بحث فراوان دارد، ولی آنچه در این مختصر، به تناسب صفحات محدود این یادمان ذکر می‌شود چند نکته‌ای در خصوص اثر زلزلهٔ اخیر بر ساختمان‌های بتن‌آرمه و ساختمان‌های فلزی ـ بتن‌آرمه و ساختمان‌های فلزی است.

منظور از ساختمان‌های فلزی ـ بتن‌آرمه، روشی است که از سالیان پیش در کشور ژاپن رایج است که در آن معمولاً اسکلت ساختمان در طبقات زیرین متشکل از عناصر فلزی با سختی تا حدودی قابل توجه است و ستون‌های فلزی در داخل ستون بتن‌آرمهٔ نسبتاً قوی قرار گرفته‌است و اسکلت به صورت مرکب از بتن‌آرمه و فلز طرح و اجرا گردیده‌است. در ارتفاع ساختمان، سختی ستون‌های فلزی کمتر و عناصر قائم بیشتر به بتن‌آرمه میل می‌کند، بطوری‌که ستون‌های فلزی طبقات پائین که معمولاً از نیمرخ‌های I قوی ساخته می‌شود در طبقات میانی به نبشی‌هایی با تسمه‌های افقی تبدیل و سختی آنها کم می‌گردد، ولی به‌هرحال این عناصر نیز مانند عناصر زیرین در ستون بتن‌آرمه محصور می‌باشند. با این ترتیب، برای حالت بارگذاری عادی (ثقلی)، سختی ستون‌های زیرین و ستون‌های میانی و بالاتر تفاوت فاحشی با هم ندارند، ولی با فرض خرد شدن بتن ستون‌ها، سختی عناصر قائم در قسمت‌های میانی ساختمان به شدت کاهش می‌یابد و تشکیل طبقهٔ نرمی را در ارتفاع وسط ساختمان می‌دهد.

در بین ساختمان‌های آسیب‌دیده، خسارات وارده به طبقهٔ نرم در طبقه همکف (به علت کمتر بودن مقدار دیوارها) و در خیلی از موارد در طبقات میانی (به علت تغییر جهشی میزان سختی آن طبقه با طبقه زیری) بسیار قابل ملاحظه‌بود. در زلزلهٔ اخیر ژاپن، نمونه‌های زیادی از خرابی ساختمان در طبقات نرم میانی در ساختمان‌های قدیمی فلزی ـ بتن‌آرمه (ساخته شده قبل از سال ۱۹۸۰) که تعداد طبقات آنها بین ۵ تا ۱۰ طبقه بود مشاهده شد. بطور کلی، بیشتر ساختمان‌هایی که در این زلزله فرود آمدند بر مبنای آیین‌نامه‌های زلزلهٔ قبل از سال ۱۹۸۱ کشور ژاپن طرح گردیده‌بودند و ساختمان‌هایی که با آیین‌نامه جدید طرح و اجرا شده‌بودند کمتر آسیب دیدند.

عکس شماره ۱ـ خرابی در طبقهٔ نرم زیرین

عکس شماره ۲ـ خرابی در طبقه نرم زیرین



عکس شماره ۳ـ خرابی در طبقه ترم زیرین

در آیین‌نامه‌های ژاپن، چه آیین‌نامه قبل از سال ۱۹۸۱ و چه آیین‌نامه ۱۹۸۱، برای آهن‌گذاری عرضی ستون‌های بتن‌آرمهٔ ساختمان‌ها، ضوابط چندان محدودکننده‌ای در نظرگرفته نشده‌است. در آیین‌نامهٔ قدیمی، حداکثر فاصلهٔ خاموت‌های این عناصر ۳۰ سانتیمتر اختیار شده‌است و پس از آن در تجدید نظر آیین‌نامه که پس از زلزلهٔ سال ۱۹۶۸ تاکاشی اوکی[1] صورت‌گرفت، این فاصله به ۱۵ سانتیمتر تقلیل داده‌شد که تا حدود زیادی موجب بالابردن شکل‌پذیری[2] عناصر قائم می‌شود؛ ولی در آیین‌نامه تنها به همین نکته قناعت شده و نیاز به خاموت را تنها به دربرگیری محیط مقطع، بطوری‌که تمام آرماتورهای طولی را محصور کند، محدود ساخته‌است و ضابطه‌ای برای اینکه خاموت‌ها یا تنگ‌های داخلی به میزانی باشد که اجباراً، همهٔ آرماتورهای طولی و یا هرچند آرماتور طولی بطور مستقل دارای خاموت و یا تنگ باشند، پیش‌بینی نشده‌است. با این ترتیب با پاره‌شدن یک خاموت محیطی و یا از بین رفتن مهار آن، تمام آرماتورهای طولی در یک ناحیه در معرض کمانه‌کردن قرار می‌گیرند.

---

1 - Takachioki

2 - Ductility

روش استفاده از طبقهٔ نرم در تراز زیرین ساختمان، به عنوان اینکه نیروی جانبی کمتری را از زمین به ساختمان منتقل می‌سازد و در تئوری‌های قدیمی عامل مثبتی برای مقاومت ساختمان در برابر زلزله تلقی می‌گردید، در زلزله‌های دههٔ هفتاد میلادی به بعد کاستی‌های خود را نشان داد و بسیاری از ساختمان‌ها در زلزله‌های مختلف در اثر وجود این طبقهٔ نرم فرو ریختند. این نکته، خصوصاً روش متداول در کشور ما را که برای استفادهٔ خاص از طبقهٔ همکف (استفادهٔ تجاری، کاربری پارکینگ و به صورت پیلوتی) اغلب این طبقه را به صورت طبقهٔ نرم اجرا می‌کنیم در خور توجه قرار می‌دهد. عکس‌های شمارهٔ ۱و۲و۳ نمونه‌هایی از خرابی ساختمان‌های منطقهٔ آسیب‌دیدهٔ زلزلهٔ اخیر ژاپن را در اثر وجود طبقهٔ نرم در تراز زیرین ساختمان نشان می‌دهد. این خرابی‌ها عموماً به علت وجود ستون‌های ضعیف و تیرهای فوق‌العاده قوی در قاب‌های لنگرگیر این طبقه و فقدان شکل‌پذیری کافی ستون‌ها در محل اتصالات ایجاد شده‌است.

این گونه خرابی‌ها، همان‌طور که بیان شد در زلزله‌های دههٔ هفتاد به بعد کراراً اتفاق افتاده‌است، ولی آنچه در آسیب‌های وارده از زلزلهٔ اخیر ژاپن تقریباً تازگی داشت خرابی یکپارچه طبقه‌ای در تراز میانی ساختمان بود که عموماً به علت وجود طبقهٔ نرم میانی و ناشی از اجرای خاص سازه‌های فلزی ـ بتن‌آرمه است. همان‌طور که قبلاً بیان گردید در طبقات میانی این ساختمان‌ها، سختی پروفیل‌های فلزی هستهٔ ستون‌ها بطور جهشی تقلیل یافته و با خردشدن قسمت بتن‌آرمه محیط، به یکباره سختی مجموعهٔ ستون در این طبقات کاهش پیدا کرده‌است.

نمونه‌های متعددی از خرابی طبقهٔ نرم در تراز میانی ساختمان‌های ساخته شده قبل از سال ۱۹۸۱ در زلزلهٔ اخیر ژاپن ملاحظه گردید. تعداد طبقات این ساختمان‌ها بین ۵ تا ۱۰ طبقه‌است. عکس‌های ۴و۵ و۶ این نوع خرابی را در بعضی از این ساختمان‌ها نشان می‌دهد. درعکس ۶ فقدان سختی کافی ستون ناشی از خرد شدن بتن‌آرمهٔ محیط هستهٔ فلزی و تفاوت فاحش سختی و مقاومت مقطع قسمت شکست خورده با مقطع زیرین ملاحظه می‌شود. فاصلهٔ خاموت‌ها در این ستون معادل ۳۰ سانتیمتر می‌باشد و در نهایت، با خردشدن بتن، منطقه‌ای که مقطع تسلیم درآن سریعاً متمرکز شده‌است به‌وجود آمده‌است، بطوری‌که ستون حتی قادر به مقاومت در برابر بار ثقلی هم نمی‌باشد. بیش از ۹۵ درصد از

عکس شمارهٔ ۴ـ خرابی در طبقه نرم میانی

عکس شماره ۵ـ خرابی در طبقه نرم میانی

خرابی‌هایی که در ساختمان‌های فلزی ـ بتن‌آرمه منطقهٔ زلزله‌زده روی داد از این دست بود. این ساختمان‌ها عموماً با ارتفاع متوسط بوده و کاربری تجاری، اداری و یا مسکونی داشتند.

صرفنظر از فاصلهٔ زیاد خاموت‌ها و یا اکتفا به خاموت محیطی (بدون وجود تنگ و یا قلاب برای نگاهداری مستقل تعدادی از آرماتورهای طولی ستون) که موجب خرابی‌هایی در ستون‌های بتن‌آرمه گردیده‌است، نحوهٔ مهار خاموت‌ها به صورت خم ۹۰ درجه، موجب خراب شدن ستون‌های بتن‌آرمه شده‌است. متأسفانه مشابه این روش، در اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمهٔ کشور ما نیز به فراوانی دیده می‌شود، درحالی‌که با اندکی دقت و بدون هزینهٔ اضافی و با خم‌نمودن انتهای خاموت‌ها و مهار نمودن آنها در بتن ستون، به خوبی می‌توان از بازشدن انتهای خاموت‌ها که موجب کمانه‌کردن آرماتورهای طولی خواهندشد جلوگیری نمود.

عکس شمارهٔ ۷ نمونه‌ای از مهار ضعیف خاموت‌هایی را که به صورت خم ۹۰ درجه بسته

عکس شمارهٔ ۶ـ خرابی در طبقه نرم میانی

شده‌اند نشان می‌دهد. بطوری‌که ملاحظه می‌شود گرچه فاصله خاموت‌ها نسبتاً نزدیک می‌باشد ولی دارای طول مهاری کافی در داخل بتن نبوده و با خم ۹۰ درجه بسته شده‌اند و اضافه بر آن کلیهٔ آرماتورهای طولی (که تعداد آنها قابل توجه‌است) منحصراً به وسیله خاموت‌های پیرامونی بسته شده‌اند و هر دو یا سه آرماتور طولی، دارای خاموت یا تنگ مستقل نمی‌باشند. عکس شمارهٔ ۸ خرابی ستون ناشی از تراکم آرماتورهای طولی و فقدان خاموت‌های مستقل را به‌خوبی نشان‌می‌دهد.

عکس شمارهٔ ۹ نمونهٔ دیگری از شکست در ستون بتن‌آرمه را که ناشی از کافی نبودن مقطع آرماتور عرضی (خاموت) و در نتیجه، پاره‌شدن آن است نشان می‌دهد که منجر به کمانش آرماتورهای طولی گردیده‌است. در عکس‌های شمارهٔ ۱۰ تا ۱۳ نمونه‌های دیگری از شکست در ستون‌های بتن‌آرمه ملاحظه می‌شود.

آنچه موجب خرابی ستون‌های بتن‌آرمهٔ بعضی از ساختمان‌های منطقهٔ زلزله‌زدهٔ هیوگوکن ـ نانبو شد که می‌تواند درسی برای مهندسان ما باشد به شرح زیر خلاصه می‌شود:

۱ـ خرابی ناشی از فاصلهٔ زیاد خاموت‌ها و فقدان تنگ‌های اضافی برای بستن آرماتورهای طولی ستون.

۲ـ خرابی ناشی از ضعف مهار در انتهای خاموت‌ها و استفاده از خم ۹۰ درجه در انتهای خاموت‌ها و یا کوتاه بودن انتهای مهاری خاموت‌ها.

۳ـ خرابی برشی ستون ناشی از کافی نبودن آهن‌گذاری عرضی.

۴ـ خرابی ستون‌ها ناشی از تراکم زیاد آرماتورهای طولی.

۵ـ خرابی ستون‌ها در محل جوش آرماتورهای طولی. (جوش دادن آرماتورهای طولی ستون‌ها، روشی است که از قدیم در بعضی از کارگاه‌های ژاپن متداول بود که برای صرفه‌جویی در طول پوشش و وصلهٔ آرماتورهای طولی، ادامهٔ آرماتورهای طولی از طریق حرارت و با جوش گاز انجام می‌گرفت).

۶ـ خرابی در محل اتصال تیر و ستون به‌علت فقدان شکل‌پذیری کافی. این نوع خرابی که متداول‌ترین نوع خرابی در ساختمان‌ها براثر زلزله است در زلزله اخیر ژاپن نیز فراوان دیده‌شد. عکس شمارهٔ ۱۴ نمونه‌ای از این نوع خرابی را در زلزلهٔ اخیر ژاپن نشان می‌دهد.

عکس شماره ۷ـ مهار ضعیف خاموت‌هایی که با خم ۹۰ درجه بسته شده‌اند در ستون بتن‌آرمه

عکس شماره ۸ـ خرابی ستون ناشی از تراکم آرماتورهای طولی و فقدان خاموت‌های مستقل

عکس شماره ۹ـ شکست در ستون بتن‌آرمه ناشی از پاره شدن آرماتورهای عرضی

عکس شماره ۱۰ـ نمونه‌ای از خسارت در ستون بتن‌آرمه خط آهن هان‌کیو (Han-Kyo)

عکس شماره ۱۱ـ نمونه‌ای از خسارت در ستون بتن‌آرمهٔ خط شین‌کان‌سن (ShinKansen)

عکس شماره ۱۲ـ نمونه‌ای از بریده‌شدن جوش آرماتور طولی در ستون بتن‌آرمه

عکس شماره ۱۳ـ خسارت ناشی از بریده شدن جوش آرماتورهای طولی ستون بتن‌آرمه

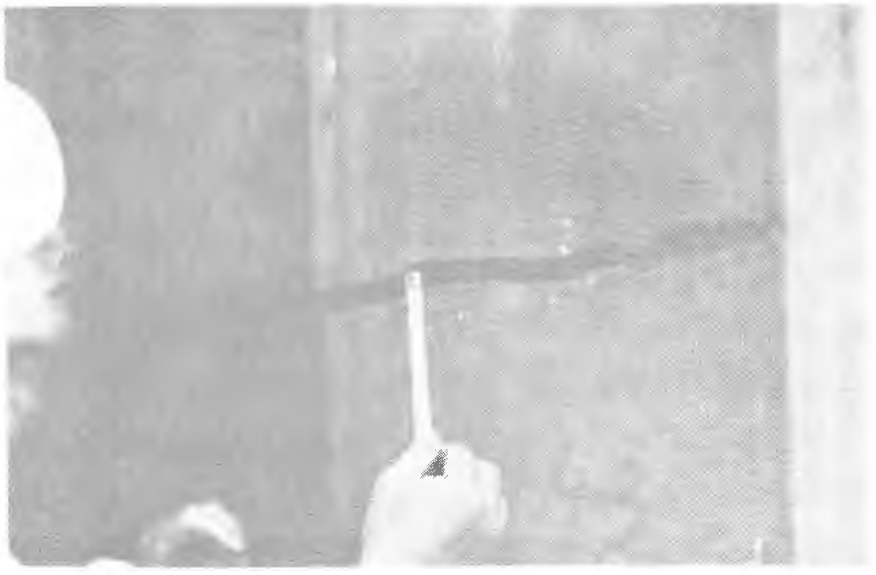
عکس شماره ۱۴ـ خرابی در
محل اتصال تیر و ستون

در ساختمان‌های اسکلت فلزی موجود در منطقهٔ زلزله‌زده نیز خساراتی ایجاد گردید که ذکر آنها در این مقال مفید است. گرچه تعدادی از این ساختمان‌ها به ظاهر و در دید نخست پس از وقوع زلزله سالم به‌نظر می‌رسیدند و جز بعضی از آنها که در روزهای اولیه به علت فقدان آب و گاز، به صورت موقت تخلیه شده‌بودند بقیه دارای ساکنینی بودند، ولی خساراتی که به این ساختمان‌ها وارد شده‌بود قابل توجه‌بود. خسارات وارده بیشتر از نوع شکست تردگونه در ستون‌های فلزی بوده‌است.

در عکس شمارهٔ ۱۵ نمای یک مجتمع ۵۰ واحدی ملاحظه می‌شود که در اثر زلزلهٔ اخیر ژاپن خسارت دیده‌است. این ساختمان با اسکلت فلزی و بادبندهای ضربدری در سال ۱۹۸۰ ساخته‌شده‌است و نوع فولاد مصرفی آن ST52 می‌باشد، ستون‌های این ساختمان به صورت قوطی با مقطع مربع به ابعاد ۵۰ × ۵۰ و با صفحات به ضخامت ۵۵ میلیمتر در طبقهٔ زیرین تا کوچکترین مقطع به ضخامت ۱۵ میلیمتر در طبقات بالا ساخته‌شده‌است. در اثر وقوع زلزله در تعدادی از ستون‌های این ساختمان (حدود ده درصد ستون‌ها) شکست تردگونه ایجاد شده‌است. نمونه‌ای از این شکست در عکس شمارهٔ ۱۶ دیده می‌شود که فاصله‌ای حدود ۲۰ میلیمتر در صفحهٔ ستون ایجاد کرده‌است.

همان‌طوری‌که قبلاً گفته‌شد، موضوع توجه به شکست تردگونه در اتصالات جوشی در ساختمان‌های فولادی کالیفرنیا پس از وقوع زلزلهٔ ژانویه ۱۹۹۴ نورث‌ریج اهمیت زیادی پیدا کرده‌است. در بعضی از ستون‌های فولادی موجود در ساختمان‌های فولادی کالیفرنیا که با چهار صفحه و با جوش ممتد به صورت قوطی ساخته‌شده‌است، در اثر زلزله، به علت شکست تردگونهٔ قسمت‌های جوش شدهٔ کناری به چهار صفحه مستقل تبدیل یافته‌است و ستون از حالت مقطع یکپارچه خارج شده‌است. روشن است که این صفحات به سهولت کمانه می‌کنند. بطورکلی موضوع خسارت به ساختمان‌های فولادی پس از وقوع زلزلهٔ نورث‌ریج موجب سرمایه‌گذاری‌های زیادی برای پژوهش در ساختمان‌های فولادی و اتصالات جوشی گردید.

عکس شماره ۱۵ـ مجتمع ۵۰ واحد ساخته شده از اسکلت فلزی



عکس شماره ۱۶ـ نمونه‌ای از شکست تردگونه در ستون فلزی

جدول ۱- مقایسه بیشینهٔ شتاب‌های ثبت‌شده در ساختمان مجهز به سیستم جداساز پایه و ساختمان معمولی (بدون جداساز پایه)

محل شتابنگار	ساختمان مجهز به جداساز پایه		ساختمان بدون جداساز پایه	
	درجهت طولی	درجهت عرضی	درجهت طولی	درجهت عرضی
زمین آزاد تراز زیرجداساز پایه	0.30g	0.26g	0.27g	0.26g
طبقه اول تراز بالای جداساز پایه	0.11g	0.06g	----	----
بالاترین طبقه ساختمان طبقه ششم با جداساز، طبقه پنجم بدون جداساز	0.10g	0.07g	0.97g	0.67g
نسبت تشدید بام به کف	0.33	0.28	3.6	2.6
نسبت تشدید در بام بدون جداساز در مقایسه با دارای جداساز	----	----	9.7	9.6

نکتهٔ جالب دیگری در آخرین روزی که این مقاله در دست نگارش بود به‌دست نگارنده رسید و از آنجا که برای بعضی از همکاران علاقه‌مند مفید است، در اینجا ذکر می‌شود، نتایج شتابنگاشتی است که از ساختمان مرکز کامپیوتر غرب وابسته به وزارت پست و مخابرات ژاپن به‌دست آمده‌است. این نتایج از نظر شتابنگاشتی قابل توجه و نو است.

مرکز کامپیوتر وزارت پست و مخابرات ژاپن، ساختمان شش طبقهٔ بتن‌آرمه با سطح حدود ۵۰۰۰ مترمربع در زیربنا در حدود ۳۵ کیلومتری غرب کوبه ساخته‌شده‌است. این ساختمان از بزرگترین ساختمان‌هایی است که در حال حاضر در سطح جهانی با سیستم جداسازی پایه[1] مجهز و با جداسازهای سرب و لاستیک طرح و ساخته شده‌است. در این ساختمان،

1 - Base Isolation

شتابنگارهایی در زمین آزاد (تراز زیر جداسازها)، طبقهٔ اول ساختمان و بالاترین طبقه نصب شده‌بود و وقوع زلزله و ثبت شتاب در این شتابنگارها نشان داد که ضریب تشدید شتاب در بالاترین طبقه نسبت به شتاب پایه (زمین آزاد) کمتر از یک و حدود یک سوم است.

در نزدیکی این ساختمان، ساختمان ۵ طبقه‌ای بدون جداساز پایه وجود داشت که شتاب زمین در زمین آزاد آن حدود شتاب زمین آزاد ساختمان قبلی بوده‌است، لکن ضریب تشدید شتاب در بالاترین طبقهٔ آن بیش از سه برابر بوده‌است. با این مقایسه روشن می‌شود که مقدار ضریب تشدید شتاب در این ساختمان بیش از ۹ برابر ضریب تشدید در ساختمان مجهز به جداساز پایه می‌باشد. جدول ۱ خلاصه این مقایسه را نشان می‌دهد.

مراجع

1. INCEDE Newsletter, Special Issue January 1955
2. Preliminary Reports From the Hyogo-ken Nanbu Earthquake of Jan.1995 NCEER Response
3. AASAHI GRAPH, Feb.1995
4. Bulletin of the New Zedland National Society for Earthquake Engineering, Vol.128, No.1, March 1995.
5. International Association for Structural Control. News Letter, Vol. 1, Sept. 1995 (Reprinted from a Publication of Dynamic Isolation Systems,Inc.)

۶ـ مکاتبه شخصی با پروفسور Watabe در مورد نتایج شتابنگاشت‌ها

درس‌هایی از زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه ژاپن*

مهندس احمد نادرزاده

چکیده

زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه با بزرگای ۷٫۲ و رومرکز واقع در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب باختری شهر کوبه و ژرفای کانونی ۱۴ کیلومتر موجب تلفات سنگین و وارد آوردن آسیب‌ها و خسارات فراوان به انواع سازه‌ها و تأسیسات شهری در شهر کوبه و اطراف آن گردید. این زلزله از نظر آسیب‌های واردهٔ گسترده به لوله‌های زیرزمینی و سازه‌های حمل و نقل واقع در بالاتر از سطح زمین قابل ملاحظه بود. گستردگی آسیب‌ها می‌تواند بخشی به پراکندگی خاک‌های نرم و زمین‌های احیا شده و بخشی دیگر به منطقه شهری متمرکز در امتداد ۳۰ کیلومتر از طول خط گسل نسبت داده شود.

بطور کلی در اثر این زلزله ساختمان‌ها و پل‌هایی که براساس استانداردهای لرزه‌ای جدید طراحی و اجرا شده‌اند عملکرد خوبی داشتند. همچنین عملکرد ضعیف سازه‌های قدیمی‌تر در این زلزله به خوبی به نمایش گذارده شد.

درس‌های متعددی را می‌توان از طریق مشاهده آسیب‌های حاصل از زلزله‌های بزرگ فراگرفت. نزدیکی زلزله کوبه به یک منطقه مهم شهری مشاهدات آن را بویژه ارزشمند

---

* مجموعه مقالات سمینار استان فارس، زلزله، کاهش آسیب‌پذیری و الگوهای بازسازی، جلد اول، شیراز، ۱ تا ۳ خردادماه ۱۳۷۵.

می‌سازد. از جمله درس‌های با ارزش می‌توان به کاربرد آیین‌نامه‌های جدید زلزله و برنامه‌های واکنش و پیشگیری از فجایع ناشی از سوانح اشاره نمود. بر پایه این درس‌ها، دولت ژاپن در صدد برآمده است تا برای مقابله با سوانح بزرگ به استراتژی‌های مؤثرتری مبادرت ورزد و درس‌های فراگرفته را در خط‌مشی‌های کاهش بلایا به کار بندد.

این مقاله جنبه‌های مختلف اثرات زلزله را بر زمین، شریان‌های حیاتی، ساختمان‌ها، پل‌ها و سایر سازه‌ها و همچنین جامعه مورد بررسی قرار می‌دهد. درس‌های آموخته شده برای ژاپن و برنامه بازسازی مناطق آسیب دیده ناشی از زلزله و همچنین درس‌هایی برای ایران نیز مورد بحث قرار گرفته است.

مقدمه

همانند زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریج در کالیفرنیا، زلزله ۱۹۹۵ کوبه (یا زلزله بزرگ هانشین) در ژاپن نشان داده است که بسیاری از سازه‌های ساخت دست بشر در برابر زلزله‌ها آسیب‌پذیر هستند و حتی اگر زلزله "بزرگتری" که انتظار رویداد آن می‌رود به وقوع نپیوندد زلزله‌های کوچکتر می‌توانند آسیب‌ها و خسارت‌های فراوانی را به جامعه وارد سازند. از دست دادن خدمات عمومی و تأسیسات زیربنایی در یک منطقه باعث بروز مشکلات قابل ملاحظه‌ای در نجات جان انسان‌هایی که در خانه‌ها و محل کار خود محبوس شده‌اند، می‌شود. ضمن آنکه کوشش‌های مبارزه با آتش را نیز بسیار دشوار می‌سازد.

منطقه هانشین که محل رویداد زلزله بود پس از ناحیه توکیو ـ یوکوهاما دومین ناحیه مهم صنعتی ـ تجاری در ژاپن است. این منطقه ساحلی شامل شهر کوبه، شهر ازاکا و شهرهای واقع در بین آنهاست. در این منطقه بیش از ۵۵۰۰ نفر در اثر زلزله کشته و در حدود ۴۱۵۰۰ نفر زخمی شدند. شمار کشته شدگان این زلزله، از زمان رویداد زلزله بزرگ کانتو در سال ۱۹۲۳ که طی آن بیش از ۱۴۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند، بالاترین رقمی است که در اثر یک زلزله در ژاپن حاصل شده است.

شهر کوبه دارای تأسیسات بندری بسیار مهمی است و ششمین بندر بزرگ جهان بر حسب تناژ در سال ۱۹۹۴ بوده است. جاده‌ها و خطوط آهن اصلی در اثر فروریزی پل‌ها قطع شدند، آوارهای فروریخته و جابجایی‌های ایجاد شده در زمین به خطوط راه‌آهن، تأسیسات بندری و سرویس‌های زیرزمینی آسیب رساندند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). بیش از ۱۰۰۰۰۰ ساختمان آسیب دیدند، بسیاری فرو ریختند و بیش از ۳۰۰۰۰۰ نفر بی‌خانمان شدند. خاموش کردن آتش‌سوزی‌هایی که به دنبال زلزله در چندین منطقه به وقوع پیوسته بود، به دلیل آسیب‌های وارده به سیستم گردش آب، امکان‌پذیر نبود. هزینه بازسازی آسیب‌های ایجاد شده در اثر زلزله بالغ بر ۱۰۰ میلیارد دلار برآورد گردیده است.

شکل ۱ ـ بخشی از ۶۰۰ متر طول فروریخته بزرگراه هانشین

شکل ۲ ـ مسیرهای انحراف یافته راه‌آهن هانکیو در کوبه

شکل ۳ ـ فرونشت خیابان به علت تخریب ستون‌ها در ایستگاه زیرزمینی مترو (ایستگاه دای کایی)

زلزله از این نظر که آسیب‌های گسترده‌ای را به شمع‌های زیرزمینی و سازه‌های مربوط به حمل و نقل واقع در بالاتر از سطح زمین وارد آورد قابل ملاحظه بود. گسترش آسیب‌ها می‌تواند بخشی به گستردگی خاک‌های نرم و زمین‌های احیا شده و همچنین به متمرکز بودن ناحیه شهری در امتداد خط گسل به طول ۳۰ کیلومتر نسبت داده شود. این موقعیت همخوانی نزدیکی با برخی از مناطق شهری ایران دارد.

زلزله کوبه اثرات قابل ملاحظه‌ای در برنامه آمادگی در برابر زلزله ژاپن خواهد داشت، زیرا واکنش نسبتاً آهسته و عدم آمادگی کافی در مواجهه با تأثیرات چنین زلزله بزرگ ویرانگر، انتقاداتی را در سطوح محلی و دولت مرکزی در ژاپن برانگیخت. بنابراین، در آینده تأکید بیشتری بر روی برنامه‌های آمادگی و واکنش‌های اضطراری خواهد گردید. این درسی است که برای ایران نیز ضرورت رعایت و توجه بیشتری دارد. در این رابطه گام‌هایی در ایران برداشته شده است. مؤسسات مختلفی در ارتباط با خطر زلزله و کاستن اثرات گرانبار آن به تحقیق و مطالعه می‌پردازند. اعلام دهه ۱۹۹۰ به عنوان دهه بین‌المللی کاهش بلایای طبیعی

از طرف سازمان ملل متحد نیز باعث توجه بیشتر کشورهای سانحه‌خیز گردیده و کمیته‌های علمی و اجرایی متعددی را در بسیاری کشورها ایجاد و فعال نموده است. در ایران نیز علاوه بر مؤسسات ذیربط موجود، "کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی" به همراه کمیسیون‌های مختلف فعالیت‌هایی را در کاهش هر چه بیشتر خسارات ناشی از سوانح طبیعی انجام می‌دهند.

شهروندان ما باید بر این نکته واقف باشند که پس از رویداد یک زلزله، توانایی خدمات‌رسانی اضطراری، با در نظر گرفتن تمامی احتمالات، عملاً کاهش خواهد یافت ـ بویژه اگر جاده‌ها و پل‌ها آسیب ببینند ـ و بلافاصله پس از رویداد سانحه ممکن است مردم به مقدار قابل ملاحظه‌ای بر خود متکی باشند. زلزله اخیر همچنین اهمیت خدمات رسانی اضطراری پس از رویداد سانحه را نشان داد. در ایران نیز هماهنگی و همکاری متقابل و مسئولانه بیشتری بین سازمان‌های ذیربط مورد نیاز خواهد بود. لازم است اهمیت زیادی برای برنامه‌ریزی قبل از سانحه داده شود و برای اینکه برنامه‌ها مؤثر واقع شوند ضرورت دارد انعطاف‌پذیر و واقع بینانه باشند. تصمیمات ظاهراً ساده‌ای مانند تعیین محل تخلیه آوارهای ساختمانی و پل‌های تخریب شده باید از پیش گرفته شود. راه حل در کوبه، استفاده از زمین‌های بازی مدارس و فضاهای باز مشابه بود. ولی در شهرهای بزرگ کشور ما به چه شکل عمل خواهد شد؟ آیا چنین امکانی وجود دارد؟

هر دو زلزله نورث‌ریج و کوبه نشان داده‌اند که ساختمان‌ها و پل‌هایی که بر طبق استانداردهای جدید زلزله طراحی و اجرا شده‌اند بطور کلی عملکرد خوبی در برابر زلزله‌ها داشته‌اند. این امر پیش بینی تمهیدات لازم در ارتقا استانداردهای فعلی طراحی و اجرا را (که نسبت به استانداردهای قبلی از مقررات شدیدتری برخوردارند) توجیه می‌نماید و ضرورت به‌کارگیری دقیق استانداردهای جاری را مورد تأکید قرار می‌دهد. خطرات زلزله بر روی سازه‌های قدیمی‌تر ـ بویژه آن تعداد که در اواخر دهه ۱۹۵۰ تا اوایل دهه ۱۹۷۰ ساخته شده‌اند ـ در هر دو زلزله به نمایش درآمده‌اند. انتظار می‌رود بسیاری از ساختمان‌ها و پل‌ها که در همان دوره در ایران ساخته شده‌اند نه تنها خطر مشابهی را نشان دهند بلکه عملکرد به

مراتب بدتری را به نمایش بگذارند. به همین دلیل ممکن است نیاز به تقویت و بهبود عملکرد در زمان رویداد زلزله‌ها را داشته باشند.
شریان‌های حیاتی در شهرستان‌ها و شهرهای بزرگ لرزه‌خیز ایران نیاز به مقاومت لرزه‌ای کافی دارند. بدون فراهم شدن این شرایط، چنانچه پس از رویداد زلزله در یک شهر، خدمات عمومی برای مدتی متوقف گردد و حمل‌ونقل روان در جریان نباشد، آسیب‌های اقتصادی شدید و اختلال جدی در امور جاری شهر اجتناب ناپذیر خواهد بود. بسیاری از ساختمان‌ها در کوبه زلزله را بدون آسیب دیدگی و یا با تحمل آسیب‌های جزئی پشت سر گذاشتند، ولی ادارات و هتل‌ها به دلیل آسیب‌های وارد به سیستم‌های آب رسانی و فاضلاب قادر به سرویس‌دهی نبودند. چنانچه راه‌هایی را برای به حداقل رساندن چنین آسیب‌هایی نیابیم همان مشکلات در شهرهای بزرگ ما نیز صورت عینی خواهد گرفت.

آمادگی در برابر سوانح و توسعه مستمر خدمات مقابله با شرایط اضطراری سانحه، امری است که باید هم اینک کاری برای آن انجام دهیم؛ پس از رویداد زلزله بزرگ بعدی خیلی دیر خواهد بود. در حالی که جامعه ما هنوز گرفتار زلزله ویرانگر بعدی نشده است ضرورت دارد که بطور جمعی و فردی هر آنچه می‌توانیم، در جهت به حداقل رساندن اثرات زلزله‌ها در جامعه انجام دهیم.

درس‌های آموخته شده و برنامه‌های بازسازی

درس‌های آموخته شده

زلزله کوبه درس‌های با ارزشی را در ارتباط با برنامه‌های واکنش و پیشگیری از فجایع ناشی از سوانح آموخت. بر پایه این درس‌ها، دولت ژاپن درصدد برآمده تا برای مقابله با سوانح بزرگ به استراتژی‌های مؤثری مبادرت ورزد. وزارت ساختمان ژاپن واکنش خود را در برابر زلزله کوبه مورد بررسی مجدد قرار داد و درس‌های آموخته را در خط‌مشی‌های کاهش بلایای وزارت ساختمان به شرح زیر به کار گرفت.

درس ۱) اطلاعات همزمان[1] برای واکنش فوری و استراتژیک در سوانح بزرگ حیاتی است.

در مراحل اولیه سوانح، جمع‌آوری سریع اطلاعات در مقیاس سانحه، منطقهٔ تحت تأثیر واقع شده، آسیب‌های وارده و غیره، برای نشان دادن واکنش استراتژیک بسیار حساس و بحرانی است. برای دستیابی به این هدف باید فن‌آوری روز به کار گرفته شود. وزارت ساختمان از طریق اقدامات زیر به توسعه شبکه اطلاعاتی سوانح می‌پردازد: ایجاد یک شبکه حسگر لرزه‌ای (شبکه ۲۰ کیلومتری که کل ژاپن را پوشش دهد)، ایجاد شبکه‌های اطلاع رسانی سوانح با استفاده از فیبرهای نوری، توسعه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی همزمان، توسعه سیستم بررسی ایمنی ساختمان‌ها و خانه‌ها با استفاده از اشعه مادون قرمز، ایجاد سیستم اطلاعات حمل و نقل و مخابرات، خرید هلیکوپتر برای واکنش در برابر سوانح.

درس ۲) مفاهیم کاهش اثر سوانح باید در برنامه‌ریزی شهری و برنامه‌ریزی تأسیسات زیربنایی به کار گرفته شود.

چنانچه اقدامات پیشگیرانده متناسب به کار گرفته نشوند، حتی مؤثرترین عملیات امدادرسانی قابل تصور در زمان رویداد سوانح نمی‌توانند از بروز فجایع جلوگیری نمایند. ساختن شهرهایی که در برابر تهدیدات سوانح مقاوم باشند کلید اطمینان از ایمنی شهروندان است. وزارت ساختمان در آوریل ۱۹۹۵ "توسعه مفهوم یک شهر مقاوم در برابر زلزله" را شکل داد. این مفهوم ترتیبات هماهنگ شده تسهیلات برای کاهش اثرات سوانح یا تسهیلات عملیات امدادرسانی در سوانح و فعالیت‌های بازیابی موقت را پایه‌ریزی می‌کند. در این مفهوم رسیدن به اهداف کوتاه مدت توسعه برای سه سال و اهداف میان مدت تا اوایل قرن بیست و یکم برنامه‌ریزی شده است.

درس ۳) آیین‌نامه‌های فنی و استانداردها باید بررسی و تجدید نظر شوند.

بسیاری از ساختمان‌ها و تأسیسات زیربنایی که در آنها آیین‌نامه‌ها و استانداردهای جدید به

1- Real time

کار رفته بود می‌توانستند از آسیب‌های شدید در امان بمانند. با این حال، چنین تشخیص داده شد که آیین‌نامه‌های رایج بر حسب کاربرد آنها و بزرگی نیروی لرزه‌ای که در نظر می‌گیرند باید تجدید نظر گردند. جامعه مهندسان عمران ژاپن طرحی را تحت عنوان "توصیه‌هایی بر آیین‌نامه‌های مقاوم در برابر زلزله سازه‌های مهندسی" پیشنهاد نمود. نکات اصلی این توصیه در جدول ۱ ارایه شده است. در حال حاضر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای هر بخش (جاده، خانه، فاضلاب و غیره) توسط وزارتخانه‌های ذیربط در حال بازنگری است.

درس ۴) قوانین و طرح‌های جامع در ارتباط با برنامه‌های کاهش اثرات سوانح طبیعی باید بازنگری شوند

درس‌های آموخته شده از زلزله کوبه باید با قوانین و طرح‌های جامع در هم آمیزد. در ۱۶ ژوئن ۱۹۹۵ "قانون مربوط به اقدامات ویژه برای رویارویی با سوانح زلزله" به مورد اجرا گذارده شد. این قانون، از طریق تجدید ساختار سیستم هماهنگی در میان سازمان‌های پژوهشی، به هماهنگی فعالیت‌های پژوهشی در ارتباط با زلزله کمک می‌نماید. قانون یاد شده همچنین در ارتقا راهکار تلفیق شده شهرداری‌ها در خط‌مشی‌های کاهش اثر سوانح، از طریق فرموله کردن "طرح‌های فوری توسعه منطقه‌ای در کاهش اثرات سوانح" بسیار موثر است. "قانون پایه برای پیشگیری از فجایع" همچنین در ماه مه ۱۹۹۵ تجدید نظر گردید. "طرح جامع ملی کاهش اثرات سوانح طبیعی" در ۱۸ ژوییه ۱۹۹۵ مورد تجدید نظر قرار گرفت، پس از آن طرح‌های جامع کاهش سوانح در سطح وزارتخانه بازنگری شد. متعاقباً طرح‌های جامع کاهش سوانح در سطح استان‌ها و شهرها تجدید نظر خواهند شد.

درس ۵) پژوهش بر روی زلزله‌ها باید ارتقا یابد.

پژوهش‌های بیشتری برای پیشگیری فجایعی مانند زلزله کوبه مورد نیاز است. وزارت ساختمان برای ارتقا پژوهش و توسعه درباره زلزله‌ها برنامه‌ریزی می‌نماید. مؤسسه ملی جغرافیا وابسته به وزارت ساختمان تعداد ۲۰۰ ایستگاه GPS[1] برای مشاهده زلزله‌ها خواهد

1- GPS, Global Positioning System سیستم موقعیت یاب جهانی

جدول ۱ـ خلاصه توصیه‌هایی برای آیین‌نامه‌های لرزه‌ای سازه‌های مهندسی (تمامی سازه‌ها بجز ساختمان‌ها)

۱ـ در زمان بررسی قابلیت مقاومت لرزه‌ای یک سازه مهندسی، دو مقیاس نیروی لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود: نخست نیروی زلزله‌ای که ممکن است در عمر مورد انتظار سازه یک یا دو بار به وقوع بپیوندد و دوم نیروی بزرگترین زلزله محتمل.

۲ـ قابلیت مقاومت لرزه‌ای یک سازه مهندسی، که می‌تواند میزان گستردگی آسیب‌های مجاز وارده به سازه را بر اثر زلزله طراحی تفسیر نماید، باید اهمیت سازه را به حساب آورد. اهمیت سازه باید آسیب‌های احتمالی سازه را بر زندگی انسان و شرایط اجتماعی ـ اقتصادی منعکس نماید.

۳ـ آیین‌نامه‌های لرزه‌ای رایج باید با در نظر گرفتن درس‌های آموخته شده از زلزله کوبه بازنگری شوند. نکاتی از جمله نیروی لرزه‌ای طراحی افزایش یافته، اثر تقویت امواج لرزه‌ای بر خاک، امکان حرکت افقی سازه ناشی از پدیده جوشش ناگهانی ماسه و غیره باید در این بازنگری مورد توجه قرار گیرند.

۴ـ سازه‌های موجود باید در ارتباط با توانایی مقاومت لرزه‌ای فوراً بررسی شوند. در صورت لزوم اقدامات تقویتی باید براساس اولویت‌بندی آنها انجام گیرد.

۵ـ تحقیق و توسعه لازم برای بازنگری آیین‌نامه‌های لرزه‌ای باید به سرعت انجام شود.

ساخت و دو ایستگاه مشاهده از نوع میدان الکترومغناطیسی و غیره را معرفی خواهد نمود. مؤسسه تحقیقات سازه‌ای وزارت ساختمان یک دستگاه بزرگ مولد شتاب لرزه‌ای خواهد ساخت. مؤسسه تحقیقات خدمات عمومی، تکنولوژی بازیافت آوارهای بتن آرمه را ایجاد خواهد نمود.

برنامه بازسازی استان هیوگو

بازسازی ویرانی‌های گسترده ناشی از زلزله بزرگ کوبه نیازمند برنامه‌ریزی‌های جامع و مفصلی است. پس از رویداد زلزله، پروژه‌های بازسازی متعددی به اجرا درآمده‌است که تمامی آنها تا سال ۲۰۰۵ میلادی تکمیل خواهند شد. براساس گفته مسئولین استان هیوگو، در طرح بازسازی از عقاید و نظریات افراد بسیار، کارشناسان زلزله و همچنین قربانیان زلزله بهره گرفته شد و با توجه به تمامی درس‌های آموخته شده از زلزله تنظیم گردید. در تلفیق با برنامه ده ساله، یک طرح سه ساله در اولویت قرار گرفته است که مشخصاً برای تجدید توسعه مسکن، صنعت و تأسیسات زیر بنایی طرح‌ریزی شده است. هدف اساسی طرح

عبارت است از به وجود آوردن همزیستی موزون بین مردم و طبیعت، مردم و جامعه، به منظور فراهم آوردن کیفیتی از زندگی که ایمن و آسوده باشد.

مقصود از بازسازی تنها بازگرداندن منطقه به شرایط قبل از رویداد زلزله نیست، بلکه ساخت شهر "جدیدی" است که در برابر تحولات و فراز و نشیب‌های گوناگون قرن بیست و یکم آمادگی داشته باشد. تحولات موردنظر شامل توسعه تسهیلاتی برای جمعیت سالخورده و بطور کلی مطابقت با نیازهای یک جامعه و اقتصاد بازتر است. همچنین قصد بر این است که یک بازسازی خلاق با دیدگاهی جدید انجام شود.

اهداف پنج‌گانه طرح گسترده بازسازی عبارتند از: ایجاد جامعه‌ای که رفاه و بهزیستی عموم را در آستانه قرن بیست و یکم مدنظر داشته باشد، جامعه‌ای که از نظر فرهنگی غنی و به روی جهان گشوده باشد، جامعه‌ای که صنایع موجود رشد کنند و صنایع جدید ایجاد گردند، کلان‌شهر مقاوم در برابر سوانح که مردم بتوانند به آسودگی و اعتماد به نفس در آن زندگی کنند و آخرسر تشکیل یک منطقه کلان شهری که دارای مراکز متعدد و شبکه‌وار باشد. طرح بازسازی، هم ساخت "سخت افزار" ـ شامل تأسیسات، مراکز، تأسیسات زیر بنایی ـ و هم ساخت "نرم افزار" ـ شامل سیستم‌ها، شبکه‌ها، و محلاتی که آنها را به اجرا در می‌آورند ـ را در بر می‌گیرد.

ساخت مسکن، در اولویت فوری استان هیوگو قرار دارد. در واقع، هدف ساخت ۱۲۵۰۰۰ واحد جدید در مدت سه سال است. بودجه ویژه‌ای نیز برای کسانی که بخواهند خانه‌های خود را بازسازی نمایند در دسترس قرار خواهد گرفت.

در یک اقدام مثبت دیگر، استان هیوگو طرحی برای ایجاد یک زون ویژه برای فعالیت‌های گوناگون دارد تا سطح سرمایه‌گذاری‌های داخلی و خارجی را در کوبه ارتقا دهد و آغاز معاملات خارجی را تشویق نماید. استان هیوگو برآورد می‌نماید که به کارگیری طرح، هزینه‌ای معادل ۱۷ تریلیون ین (۱۷۰ میلیارد دلار) در بر خواهد داشت. مشکلِ تحمل چنین

مبالغ سطح بالایی تنها از طریق کاهش ۶۳۰ میلیارد ینی (۶٫۳ میلیارد دلاری) مورد انتظار از درآمد خود استان در طی ده سال آینده جبران می‌گردد. این عمل با کوشش صنایع منطقه برای بازگشت به ظرفیت کامل امکان‌پذیر می‌شود. در این میان، یافتن راه حل برای مشکلات مالی بسیار مهم است. موضع اساسی دولت این است که کمبود منابع مالی نباید اجازه دهد تأثیری بر اتمام موفقیت‌آمیز طرح بگذارد. دولت تا آوریل ۱۹۹۵ به قول خود وفادار بوده و در سه بودجه تجدید نظر شده مبلغ ۳٫۲۳ تریلیون ین (۳۲٫۳ میلیارد دلار) برای پروژه‌های بازسازی در استان هیوگو اختصاص داده است. با این ترتیب انتظار می‌رود طرح‌ها و اهداف بلند مدت و کوتاه مدت بازسازی و نوسازی مناطق آسیب دیده برابر برنامه‌های تنظیم شده به پیش روند.

درس‌هایی برای ایران

درس‌های متعددی را می‌توان از طریق مشاهده آسیب‌های حاصل از زلزله‌های بزرگ فراگرفت. نزدیکی زلزله کوبه به یک منطقه مهم شهری مشاهدات آن را بویژه ارزشمند می‌سازد. خلاصه‌ای از درس‌های آموختنی برای ایران را می‌توان به قرار زیر عنوان نمود.

درس‌های ویژه

الف) زلزله‌شناسی و زمین‌ساخت

لرزه‌خیزی منطقه کوبه در ژاپن نسبتاً پایین انگاشته می‌شد و احتمال رویداد زلزله‌ای بزرگ در آن منطقه بسیار کم در نظر گرفته شده‌بود. با این حال، لرزه‌خیزی منطقه مذکور مشابه بسیاری از مناطق ایران است و به نظر می‌آید که ما نیز در ایران، در اثر چنین رویدادی به اندازه‌ای شگفت زده شویم که ژاپنی‌ها شدند.

زون باریک و طویلی از آسیب‌های شدید در کوبه وجود داشت. دو هفته پس از رویداد زلزله نقشه‌ای توسط انستیتو مهندسی ساختمان ژاپن (AIJ) تهیه گردید که یک زون باریک با عرض محدود یک کیلومتر را نشان می‌داد. متعاقب آن، مشاهدات گروه‌های کارشناسی نشان

داد که سطح آسیب‌های وارده با افزایش فاصله از زون مذکور به سرعت کاهش پیدا می‌کند. به نظر می‌رسید که با حرکت به سوی شمال باختر، در فاصله ۲ تا ۵ کیلومتر، شدت تکان از حدود ۱۰ درجه مرکالی در زون، به حدود ۶ تا ۸ درجه در کوهپایه کوه‌های رکّو واقع در شمال شهر کوبه کاهش یافته باشد. در حرکت به سمت جنوب خاور، در فاصله‌ای مشابه، شدت زلزله از حدود ۱۰ درجه مرکالی به حدود ۸ تا ۹ درجه در امتداد کرانه و در زمین‌های احیا شده بزرگ کاهش یافت.

در مقایسه با زلزله کوبه، انتظار می‌رود زلزله‌های حاصل از برخی از گسل‌های بزرگ و نزدیک شهرهای بزرگ کشور شدیدتر و دارای شکستگی گسلشی بیشتر باشد. برای نمونه می‌توان به گسل‌های شمال تهران و شمال تبریز اشاره نمود که در آنها بزرگای بالاتر و طول گسلش بیشتر مورد انتظار است. بنابراین زون آسیب دیدگی شدید که به طول گسلش بستگی دارد در طرفین این گسل‌ها واقع خواهد شد.

از سوی دیگر چنانچه زون آسیب دیدگی شدید به طریقی براساس عرض، ضخامت و ترکیب لایه‌های آبرفتی تعیین گردد، می‌توانیم انتظار داشته باشیم که مثلاً برای زلزله‌های گسل‌های شمال و جنوب تهران مجموعه‌ای از آسیب‌های شدید را، که به گروه‌های مختلفی از ساختمان‌های واقع در خاک‌های آبرفتی و در فواصل ۵ تا ۱۰ کیلومتر از گسل‌های فوق وارد می‌شوند، مشاهده نماییم. به علت نزدیکی خاستگاه، امواج با پریود کوتاه (فرکانس بالا) عمومیت خواهند داشت و در جنوب شهر پریودهای بلندتر مورد انتظار می‌باشد. همچنین زمین‌های رسی سست در نواحی جنوب شهر تهران که در فواصل بسیار نزدیک از گسل‌های جنوبی تهران قرار دارند ممکن است باعث تشدید اثرات زلزله گردند.

در اثر زلزله در منطقه کوبه تعدادی شتابنگاشت ثبت گردید و بیشینه شتاب‌های ثبت شده در روی زمین در محدوده g ۰٫۵ تا g ۰٫۸ بود و برخی از این شتابنگاشت‌ها در ساختگاه‌هایی در حدود ۱۰ کیلومتر از "زون گسل" به‌دست آمدند. همچنین شتاب‌های مشابهی در زمان رویداد زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ نورث‌ریج در کالیفرنیا به ثبت رسیدند.

شتاب‌هایی از این سطح در طراحی برخی ساختمان‌های ویژه در بعضی کشورها به کار رفته است. طیف‌های طراحی موجود در استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای شدیدترین زون لرزه‌ای بر مبنای بیشینه شتاب زمین ۳۵g/۰ است. این سطح بارگذاری ممکن است به درستی بازتاب خطر زلزله در دوره بازگشت ۵۰۰ ساله باشد، ولی به احتمال زیاد برآورد دست پایینی از خطر واقعی در نزدیکی گسل‌های فعالی است که در فواصل زمانی کمتر از ۵۰۰ سال شکسته می‌شوند. نمونه‌ای از این مورد، گسل شمال تهران می‌باشد. با توجه به این نکته که تعدادی از این گسل‌ها در تهران وجود دارند، نیاز برای در نظر گرفتن بخش ویژه "نزدیکی به گسل" در تجدید نظر آتی استاندارد ۲۸۰۰ ایران احساس می‌گردد. همچنین با توجه به وسعت زیاد تهران بزرگ و متفاوت بودن برخی فراسنج‌ها[1] از قبیل توپوگرافی، شرایط خاک، فاصله از گسل‌های اصلی و ... در محدوده شهر، تهیه فراسنج‌های طراحی پایه (از قبیل طیف‌های طراحی) را برای نواحی مختلف شهر تهران و برخی شهرهای دیگر کشور الزام‌آور می‌سازد.

ب) شریان‌های حیاتی

زلزله کوبه از نظر آسیب‌های واردهٔ گسترده به لوله‌های زیرزمینی و سازه‌های حمل و نقل واقع در بالاتر از سطح زمین قابل توجه بود. گستردگی آسیب‌ها می‌تواند بخشی به پراکندگی خاک‌های نرم و زمین‌های احیا شده و بخشی دیگر به منطقه شهری متمرکز در امتداد ۳۰ کیلومتر از طول خط گسل نسبت داده شود.

در حالی که بسیاری از ساختمان‌های جدیدتر واقع در زمین‌های احیا شده با تحمل آسیب‌های مختصری سالم مانده بودند، به نظر می‌رسید که لوله‌های زیرزمینی آسیب‌های نسبی سنگینی را متحمل شده باشند. همچنین جاده‌ها و راه‌های آهن واقع در بالاتر از سطح زمین در این مناطق آسیب دیدند، که از جمله آنها بزرگراه تکمیل شده جدید ونگان بود (شکل‌های ۴ و ۵). ادامه این شریان‌های حیاتی در فاصله‌های طولانی، آنها را در برابر

1- Parameters

شکل ۴ ـ نمونه‌ای از آسیب‌دیدگی اتصال بزرگراه ونگان

شکل ۵ ـ نمونه‌ای از نشست یکی از دهانه‌های ورودی بزرگراه ونگان

جابجایی‌های نامساوی بزرگ و تغییر شکل‌های دایمی زمین، که بطور مشترک در مناطق با خاک نرم تجربه می‌شود، آسیب‌پذیر می‌سازد. پیش‌بینی ظرفیت کافی جابجایی محوری و انعطاف‌پذیری جانبی در این شرایط اغلب مهمتر از مقاومت می‌باشد. شریان‌های حیاتی که مرزهای بین خاک‌های نرم و سنگ‌ها را قطع می‌نمایند و همچنین محل ورودی‌های لوله‌کشی‌های خدمات رسانی به ساختمان‌ها، بسیار آسیب‌پذیر هستند. با این حال، عملکرد خوب خطوط لوله فولادی جوشکاری شده شکل‌پذیر و خطوط لوله با اتصالات انعطاف‌پذیر نوید دهنده و تأیید کننده این واقعیت هستند که چنانچه در ایران نیز مواد به کار رفته در خطوط لوله بدین طریق طراحی و اجرا گردند می‌توانند تغییر شکل‌های قابل توجه زمین را تحمل نمایند.

آسیب‌های گسترده وارد به جرائقال‌های اسکله‌ها و سایر تأسیسات بندری نیز، نتیجه تغییرشکل‌های بزرگ زمین بود. این نوع آسیب دیدگی در بسیاری از زلزله‌های گذشته مشاهده شده است. آسیب‌پذیری این تأسیسات نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. چنانچه در کوبه مبالغ متعارفی برای تقویت لرزه‌ای تأسیسات بندری هزینه می‌گردید، می‌توانست از بسیاری از آسیب‌های وارده پیشگیری نماید. شایان ذکر است که در نظر گرفتن جابجایی‌های بالقوه زمین در طراحی و به حداقل رساندن تأثیرات ناشی از این جابجایی‌ها نیاز به توجه دقیق دارد.

تخریب‌های چندگانه بزرگراه‌ها، خطوط آهن و خطوط اصلی آب، ضرورت تأمین مسیرهای شریان‌های حیاتی را که از میان مناطق متفاوت جغرافیایی و ترجیحاً کمتر آسیب‌پذیر عبور نمایند، خاطر نشان می‌سازد. این امر بویژه به شریان‌های حیاتی موجودی که برای رفتار شکل‌پذیر طراحی نشده‌اند و یا در برابر جابجایی‌های بزرگ زمین آسیب‌پذیر هستند، کاربرد پیدا می‌کند. راه‌اندازی مجدد و سریع سرویس‌های راه‌آهن به مرکز کوبه از طریق تونل شین کوبه در زیر کوه‌های رکّو، ارزشمند بودن مسیرهای دسترسی کاملاً متفاوت را، نمایان می‌سازد. آسیب‌های گسترده وارد به سازه‌های واقع در بالاتر از سطح زمین همچنین ارزش جاده‌های سطحی شریانی جایگزین را به نمایش می‌گذارد. همچنین ضرورت دارد که

ایجاد سریع مسیر وسایط نقلیه فوریتی در اولویت قرار گیرد.

در مناطقی که شدیدترین آسیب‌ها را متحمل شده بودند، کابل‌های برق و تلفن که از بالای تیرها عبور می‌نمایند در اثر آتش‌سوزی، واژگونی و فروریزی تیرها و ساختمان‌ها بطور گسترده آسیب دیده بودند. فروریزی ساختمان‌ها در ایران نیز مشکل‌آفرین خواهدبود. به همین دلیل توجه خاصی برای آسیب پذیری تیرهای خدمات رسانی (برق و تلفن)، بویژه آنهایی که ترانسفورمرها بدانهامتصل می‌باشند، باید در نظر گرفته‌شود. در بسیاری از زلزله‌های گذشته ایستگاه‌های فرعی یکی از آسیب‌پذیرترین بخش‌های تأمین برق به شمار رفته‌اند.

در زمان بازسازی منابع تأمین برق مصرفی در کوبه، از واحدهای تولید کننده نصب شده بر روی کامیون‌ها به عنوان مکمل تأمین برق استفاده می‌گردید. سایر منابع جایگزین تولید برق مانند کشتی‌ها نیز می‌توانست در مقطع بازسازی به یاری گرفته شود.

بازسازی سریع خدمات برق‌رسانی و تعمیرات گسترده مشهود در طی نه روز پس از رویداد زلزله، نشان می‌دهد که کابل‌های عبوری از بالای تیرها می‌توانند نسبتاً به سرعت جایگزین و بازنشانی شوند، ولی در عین حال این نکته باید در نظر گرفته شود که در زمان وقوع یک زلزله بزرگ در ایران سطوح مشابهی از منابع مانند آنچه در کوبه موجود بود در دسترس نخواهد بود. ارقام رسمی همچنین خاطر نشان می‌سازد که به رغم بازیابی سریع تأمین برق، هزینه تعمیرات مستقیم شبکه توزیع برق بسیار بالا خواهد بود. همچنین لازم است استراتژی‌هایی پیش‌بینی گردد که خطر پذیری آتش سوزی‌های ناشی از اتصال مجدد برق را به حداقل برساند (تنها خانه‌هایی که مسکون هستند وصل مجدد صورت گیرد؟) و همچنین ضرورت دارد هماهنگی نزدیکی با تأمین کنندگان گاز انجام پذیرد.

مردم بسیاری در کوبه تا ۱۰ روز یا بیشتر پس از تخلیه، برای جمع‌آوری متعلقات خود به خانه‌های آسیب دیده‌شان باز نگشتند. بسیاری از آنها در حالی در تاریکی خانه‌های آسیب

دیده خود را ترک کردند که متعلقات شخصی آنها در اثر زلزله پراکنده و روی هم انباشته شده بود. از آنجا که در هنگام تخلیه افراد، خانه‌ها فاقد برق بودند، بسیاری از بخاری‌ها می‌توانستند در حالت روشن باقی مانده باشند. اهمیت خاموش کردن برق در ورودی اصلی ساختمان در این شرایط و قبل از تخلیه نیاز به تأکید بیشتر دارد.

چنانچه خطوط اصلی و شعبات گاز از نوع فولاد شکل‌پذیر (داکتایل) جوشکاری شده یا لوله‌های پلی اتیلن باشند انتظار می‌رود که سیستم توزیع در زمان رویداد زلزله‌های بزرگ، متحمل کمترین آسیب دیدگی شود. با این حال، تجربه زلزله نورث‌ریج در کالیفرنیا و زلزله‌های دیگر نشان داد که لوله‌های خانگی به عنوان یک منبع بالقوه نشت گاز و آتش‌سوزی باقی می‌مانند. بررسی دقیق و همراه با جزییات جنبه‌های اقتصادی و عملکرد سیستم‌های سنجش هوشیار که در منطقه کوبه به کار رفته بود، توصیه می‌گردد.

عملکرد خوب کابل‌های مخابراتی زیرزمینی ارزش آنها را در تأمین حفاظت در برابر جابجایی‌های زمین، حتی در صورت آسیب دیدن کانال‌ها، به نمایش گذاشت. با این حال، تخریب چندین سیستم ارتباطی اورژانسی قابل تعمق است و به نظر می‌رسد که لازم باشد نقاط ضعف بالقوه در سیستم‌های فوریتی بررسی و آزمایش گردند. تلفن‌های سلولی[1] می‌توانند در بسیاری از موقعیت‌ها به عنوان سیستم پشتیبانی، مورد استفاده قرار گیرند. از دیگر موارد جالب توجه این است که گرچه بلافاصله پس از رویداد زلزله، بار شبکه عمومی بسیار سنگین بود، ولی تلفن‌های عمومی قلک‌دار به دلیل استفاده از خطوط مجزا، بدون تأثیر باقی مانده بودند. چنانچه بتوان از وجود چنین سیستمی در ایران نیز استفاده نمود بسیار مفید خواهد بود. حصول اطمینان از کارآیی تلفن‌های قلک‌دار عمومی در مواقع بار سنگین مخابراتی، حداقل برای مناطق محلی تحت اثر شرایط اورژانسی، باید آزمایش گردد. تلفن‌های قلک‌دار در کوبه، وسایل ارتباطی با ارزشی را برای بازماندگان ناشی از زلزله فراهم آورد.

1- Cellular

پ) رفتار سازه‌های ساختمانی مهندسی ساز

ساختمان‌های جدید در کوبه، که براساس جدیدترین آیین‌نامه زلزله ژاپن (۱۹۸۱) طراحی و اجرا شده بودند، بطور کلی خوب عمل کردند. مقایسه این یافته‌ها با شرایط سازه‌های ایران باید با دقت نظر همراه باشد. نیروهای لرزه‌ای طراحی که در ژاپن در نظر گرفته می‌شود بیش از نیروهایی است که برای طراحی سازه‌های شکل‌پذیر در ایران به کار می‌رود. این نکته ضرورت اعمال هر چه قویتر استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی موجود در کشور را بیش از پیش مورد تأکید قرار می‌دهد و در عین حال ارتقا قابل توجه استانداردهای لرزه‌ای کنونی را که از اواخر سال ۱۳۶۶ تحت عنوان استاندارد ۲۸۰۰ معرفی گردید توجیه می‌نماید. ارتقا استاندارد می‌تواند با معرفی طراحی ظرفیت[1] و ارایه جزییات برای سطوح مختلف نیاز شکل‌پذیری[2] باشد.

بسیاری از ساختمان‌های قدیمی کوبه آن چنانکه باید عملکرد خوبی نداشتند، خصوصاً ساختمان‌های ساخته شده در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ که براساس استانداردهای قدیمی (که اکنون زیر استاندارد خوانده می‌شوند) طراحی شده بودند. تعداد زیادی از این ساختمان‌ها متحمل تخریب ستون‌ها (بتن آرمه، فولادی ـ بتن‌آرمه و فولادی) شدند که باعث فروریزی از نوع طبقه نرم گردیدند. چنین ساختمان‌هایی بر پایه استانداردهای روز زمان خود طراحی شده بودند. زلزله کوبه این ضرورت را بار دیگر مورد تأکید قرار می‌دهد که بسیاری از ساختمان‌های قدیمی نیاز به افزایش مقاومت لرزه‌ای براساس استانداردهای طراحی لرزه‌ای رایج را دارند. برخی از سازه‌های قدیمی بطور ذاتی قوی هستند و مقاومت قابل قبولی را در برابر زلزله‌ها دارا می‌باشند. تعدادی دیگر قوی نیستند و علاوه بر آن شکل پذیر نیز نمی‌باشند و نیاز به تقویت دارند. همچنین باید به خاطر بسپاریم همان‌طورکه در بالا نیز اشاره گردید، نیروهای لرزه‌ای به کار رفته در طراحی در ژاپن بزرگتر از نیروهایی است که برای طراحی شکل‌پذیر در ایران به کار می‌رود و بنابراین تأمین شکل‌پذیریِ بیشتری برای

1- Capacity design

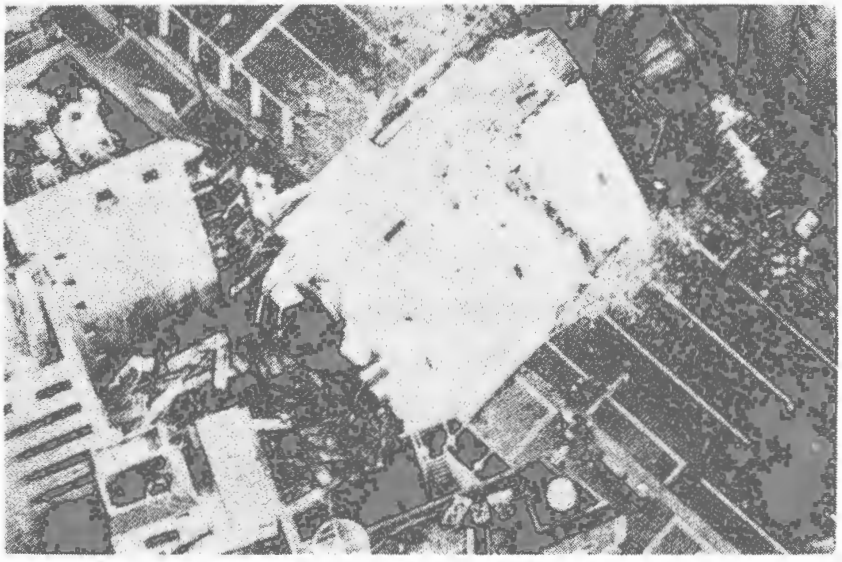
2- Ductility demand

سازه‌های شکل‌پذیر ایران مورد نیاز است تا بتوانند در برابر زلزله‌های شدیدی مانند زلزله کوبه ایستایی کافی داشته باشند.

درس ویژه این است که ساختمان‌هایی که از جزییات خوب لرزه‌ای برخوردار نبودند تا از رفتار شکل‌پذیر آنها در محدوده غیرخطی اطمینان حاصل گردد، اغلب عملکرد ضعیفی داشتند بطوری که در مناطق با تکان‌های قوی، آسیب‌های شدید و فروریزی‌ها در این گونه ساختمان‌ها مشترک بود (شکل‌های ۶ و ۷). تقریباً تمامی تخریب‌های ساختمان‌های با ارتفاع متوسط می‌توانند به فقدان طراحی ظرفیت برای پیشگیری از مکانیسم گسیختگی از نوع تردشکن و عدم وجود جزییات شکل‌پذیر نسبت داده شوند، مضافاً اینکه برخی از تخریب‌ها می‌توانند به عدم وجود مقاومت جانبی کافی مربوط گردند.

تردشکن شدن برخی از عناصر فولادی در نزدیکی اتصالات جوشکاری شده سازه‌های فولادی در زلزله‌های نورث‌ریج کالیفرنیا و کوبه ژاپن از موارد قابل توجه و مهم بود، بدین معنی که تعدادی از اعضای فولادی، شکست از نوع ترد را متحمل شدند. این شکست‌ها در محل جوش‌ها نبوده بلکه در نزدیکی جوش‌ها و در فولاد مبنا ایجاد شده بودند. این پدیده به اندازه‌ای شگفت‌آور بود که پس از کشف تصادفی تعداد بسیاری از این نوع شکست‌ها در اتصالات قاب‌های مقاوم خمشی فولادی در زلزله نورث‌ریج، عملکرد این سیستم سازه‌ای زیر سئوال برده شد و متعاقب آن مبالغ هنگفتی برای تحقیق و بررسی علل این شکست‌ها توسط کارخانه‌های سازنده فولاد و دانشگاه‌ها در آمریکا صرف گردید که هم اکنون نیز در جریان است. مشاهده موارد مشابه این نوع شکست‌ها در زلزله کوبه به نگرانی‌ها افزود و موجب به اجرا در آوردن پژوهش‌های گسترده‌تری شد. در این میان نکته‌ای که می‌تواند برای کشور ما مورد توجه قرار گیرد این است که با توجه به تجربه‌های با ارزش کسب شده از دو زلزله ویرانگر اخیر و تا قبل از یافتن راه‌حل‌های مناسب و عملی، بهتر است در طراحی ساختمان‌های با سیستم قاب مقاوم خمشی فولادی تنها به قاب‌های خمشی اکتفا نکرده و از سایر سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای جانبی از جمله دیوارهای برشی استفاده نماییم.

شکل ۶ ـ فرو ریزی یک ساختمان با پلان نامتقارن



شکل ۷ ـ ساختمان واژگون شده بر روی عرض خیابان

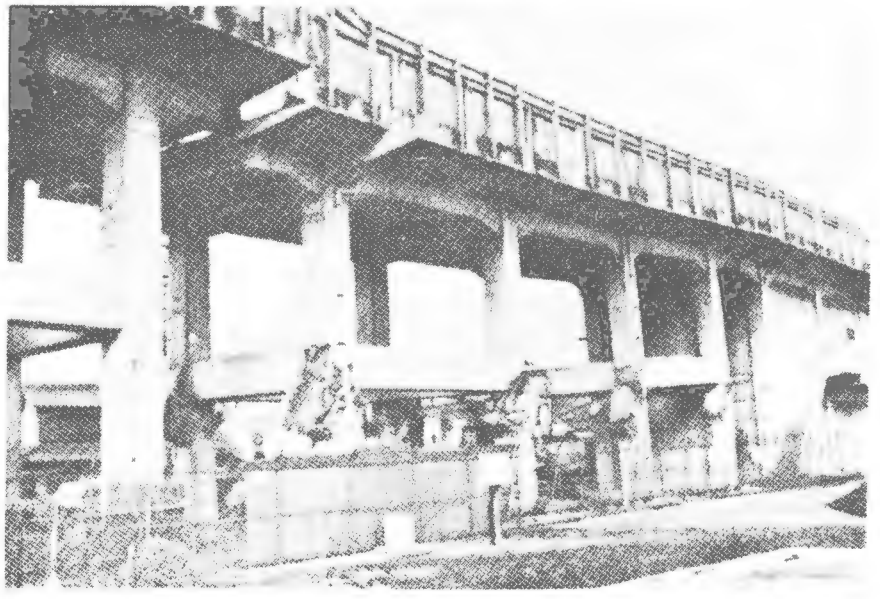
ت) پل‌ها

پل‌های طراحی و اجرا شده پس از سال ۱۹۸۱ بسیار خوب عمل کردند. آسیب‌های وارده به پایه‌های پل‌ها که باعث از دست دادن چندین دهانه گردید در وهله نخست در اثر روانگرایی و حرکت جانبی خاک بود. آسیب‌های وارده به تکیه‌گاه‌های پل‌ها و درزهای جاده‌ای بسیار گسترده بود. از آنجاکه تا همین اواخر آیین‌نامه ویژه‌ای برای طراحی و محاسبه پل‌ها در برابر زلزله در ایران وجود نداشت، پل‌های کشور ما معمولاً براساس یکی از آیین‌نامه‌های معتبر کشورهای دیگر طراحی و اجرا گردیده‌اند و به تبع آن عملکرد آنها در زمان رویداد زلزله‌ها منوط به کارآیی آیین‌نامه‌های مورد استفاده خواهد بود.

اخیراً آیین‌نامه طرح و محاسبه پل‌ها در برابر زلزله "ویژه شهر تهران" انتشار یافت و در اختیار کلیه مهندسان مشاوری که در منطقه تهران بزرگ به طراحی و محاسبه پل‌ها می‌پردازند، قرار گرفت. گرچه آیین‌نامه منتشر شده در نوع خود نخستین آیین‌نامه کشور در این زمینه محسوب می‌گردد، ولی انتظار می‌رود با رعایت ضوابط مندرج در آن در طراحی و محاسبه پل‌ها، در آینده آسیب‌های واره به پل‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد.

بطور کلی سازه‌های پل‌های واقع در بالاتر از سطح زمین قدیمی‌تر (قبل از ۱۹۸۰) در منطقه کوبه ضعیف عمل کردند. آسیب‌های عمده به پایه‌های پل‌های متعدد و تکیه‌گاه‌های پل‌ها، قلاب‌های لرزه‌ای و درزهای جاده‌ای وارد آمد. تعداد قابل توجهی از دهانه‌ها بطور کامل و یا بخشی از آنها فرو افتادند (شکل‌های ۸ و ۹). چنانچه پایه‌های این پل‌ها برای بهبود کاستی‌های شناخته شده آنها در برابر عملکرد لرزه‌ای تقویت شده بودند، آسیب‌های عمده و فروریزی‌هایی که به وقوع پیوستند، اگرچه کاملاً حذف نمی‌شدند ولی به مقدار زیادی کاهش می‌یافتند. این امر این ضرورت را مورد تأکید قرار می‌دهد که میزان آسیب پذیری پل‌های موجود کشور را بررسی و سپس به تقویت پل‌های ضعیف اقدام نمایند. فروریزی دهانه‌های پل‌های قدیمی‌تر در کوبه که دارای شکل‌پذیری ناکافی و یا جزییات نامناسب بودند ثابت کرد که این گونه پل‌ها آسیب‌پذیر هستند و لازم است به این موارد در ایران اولویت داده شود.

شکل ۸ ـ فرو ریزی یکی از دهانه‌های ورودی پل نیشی‌نومیا ـ کو



شکل ۹ ـ نمونه‌ای از آسیب‌دیدگی پایه بتنی در خط شینکانسن (قطار فوق سریع)

به نظر می‌رسد که نیروهای لرزه‌ای طولی در امتداد پل‌های طویل در زلزله کوبه بسیار قابل ملاحظه بوده‌باشد. این موضوع با فراهم شدن داده‌های بیشتر نیاز به مطالعه بیشتر دارد. از قرار معلوم هنگامی که عملکرد لرزه‌ای برای پل‌های طویل بررسی می‌شود، در نظر گرفتن چنین تأثیراتی که ناشی از انتشار امواج زمین است، باید مدنظر قرار گیرد.

گستردگی آسیب‌های وارده به انواع ساختمان‌ها و پل‌ها در منطقه کوبه گویای این واقعیت است که تکان‌های ایجاد شده در اثر زلزله دارای ویژگی‌هایی بود که از قبل پیش‌بینی نگردیده بود. مقدار و گستردگی آسیب‌های وارد به سازه‌های قدیمی به‌مراتب بیشتر از ساختمان‌های جدید بود. وجود تعداد بی‌شماری ساختمان‌های قدیم‌ساخت و فرسوده در شهرهای ایران که نوعاً از سیستم‌ها و مصالح غیرمقاوم در برابر بارهای ناشی از زلزله ساخته شده‌اند، آسیب پذیری تهران را از نظر فروریزی و یا آسیب دیدگی شدید انواع ساختمان‌ها بسیار بالا برده است. با این حال اثر زلزله کوبه به ساختمان‌های مدرن که براساس آیین‌نامه‌های جدید، طراحی و اجرا شده‌اند قابل توجه نبوده و این گونه ساختمان‌ها نوعاً به خوبی عمل کرده‌اند. بنابراین، از درس‌های مهم آموخته شده می‌توان به کاربرد عملی آیین‌نامه‌های جدید زلزله که براساس آخرین یافته‌ها و تجربیات حاصل از زلزله‌های اخیر تهیه و در اختیار قرار می‌گیرند، اشاره نمود. بدیهی است این مهم تنها از طریق ایجاد آگاهی و فرهنگ صحیح ساخت و ساز عملی می‌گردد و این فرهنگ بدون آموزش در سطوح مختلف پدید نخواهد آمد. بنابراین، آموزش باید به عنوان یک رکن، پیوسته در نظر مسئولین، دست‌اندرکاران امور ساختمانی و مردم قرار گیرد.

ث) تأسیسات صنعتی

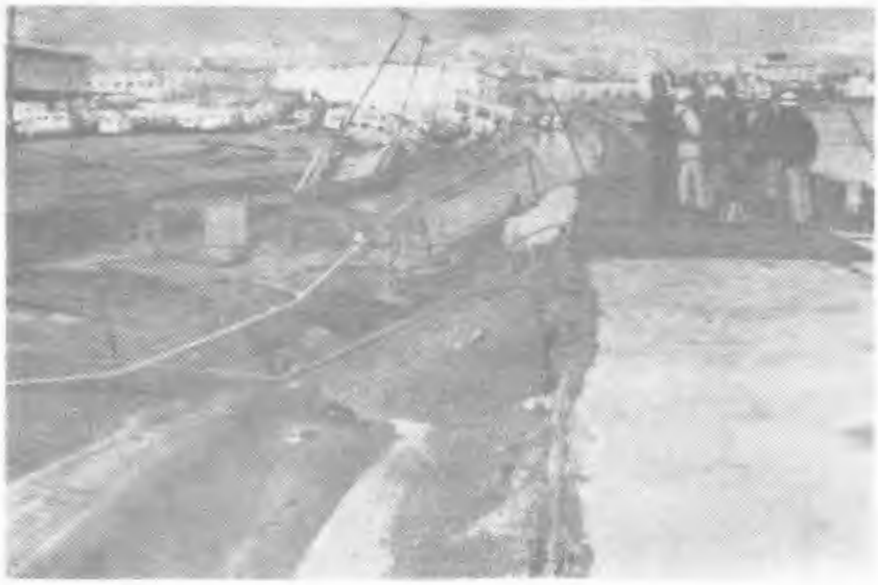
تأسیسات صنعتی متحمل آسیب‌های قابل‌ملاحظه گردید. صرف نظر از نوع صنعت، اختلال در امور بازرگانی در منطقه کوبه تقریباً برای تمامی صنایع به وقوع پیوست. صنایع در مناطق لرزه‌خیز باید مشخصاً برای چنین تأثیراتی برنامه‌ریزی گردند.

صنایعی که در مناطق با لرزه‌خیزی پایین قرار دارند و نیازهای خود را از مناطق با لرزه‌خیزی فعال تأمین می‌نمایند لازم است که امکان تأثیرگذاری بر روی کسب و کار خود را در نظر

گیرند. صنایع عمده خارج از منطقه کوبه به دلیل استفاده از فلسفه "درست به موقع" با ذخایر کم یا بدون ذخیره ماندند و به شدت مختل شدند.

ج) تأسیسات بندری

تقریباً تمامی زمین‌های احیا شده در خلیج ازاکا به وسیله دیوارهای کیسونی وزنی، حایل شده‌اند. این دیوارها هیچ یک بطور کامل تخریب نگردیدند، ولی در اثر نشست زمین، ترک‌خوردگی و روانگرایی ماسه‌های پشت به سمت خارج کج شدند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). دیوار کیسونی وزنی که حایلی برای جزیره‌های احیا شده بود چرخید و به صورت جانبی حرکت نمود و در نتیجه باعث حرکت جانبی پشت کارهای بندری تا حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر گردید. آسیب‌های شدیدی به جرائقال‌های کانتینری و ساختمان‌های مجاور وارد آمد (شکل ۱۲). این پدیده اهمیت آسیب‌پذیری این گونه سازه‌ها را در مناطق بندری و اسکله‌ها در کشور نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد کاربرد دیوار یا شمع‌های صفحه‌ای در مناطق احیا شده ساحلی عملکرد بهتری نسبت به آنچه در کوبه به وقوع پیوست داشته باشد.



شکل ۱۰ ـ جابجایی دیوار حفاظ دریا و آسیب‌های وارده همراه آن (مسیر ونگان)

شکل ۱۱ ـ تخریب دیوار و حرکت جانبی زمین (جزیره رگو)

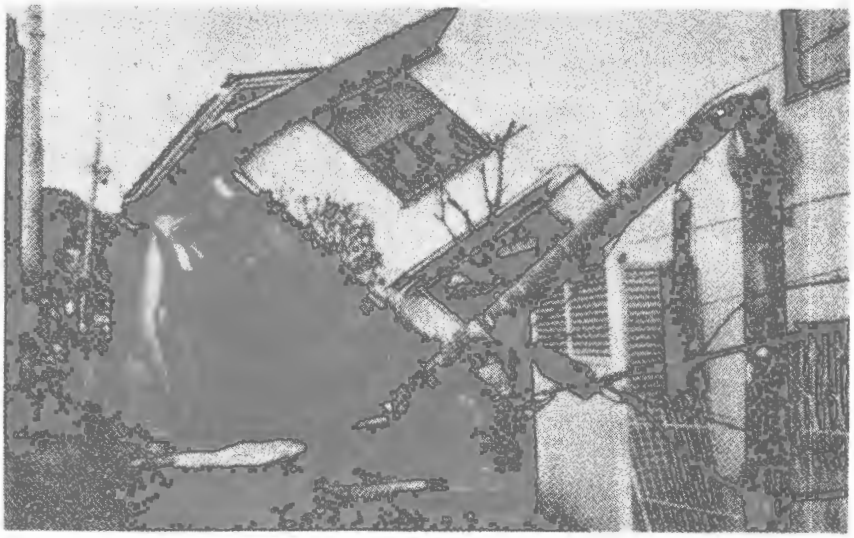
شکل ۱۲ ـ فرو افتادن جرائقال کانتینر (جزیره رگو)

آسیب‌های ناشی از زلزله که تمامی عملیات کانتینری بندر را برای مدتی متوقف ساخت در واقع بیانگر نیاز به درک موقعیت و پیش‌بینی اثراتی است که یک زلزله بزرگ بر روی چنین تأسیساتی خواهد گذاشت. به نظر نمی‌آید که بندر کوبه موقعیت سابق خود را برای مدت‌های طولانی بازیابد. تأثیر جدی آسیب‌های وارد شده به سازه‌های اسکله‌ها در عملیات بندری، راهکارهای محافظه کارانه‌ای را در طراحی این گونه سازه‌ها الزام‌آور می‌سازد. کاستن و محدود کردن میزان جابجایی‌ها به آسیب‌های کمتر سازه‌ها، ساختمان‌ها و جراثقال‌های مجاور منجر می‌گردد.

چ) *خانه‌ها*

عمده خانه‌های مسکونی کشور ما در شهرها از مصالح بنایی اعم از آجری، بلوک سیمانی و بعضاً سنگ ساخته می‌شوند ولی این نوع مصالح در ساخت خانه‌های ژاپنی عمومیت ندارد. به همین دلیل شواهد متعددی از عملکرد این گونه ساختمان‌ها در اثر زلزله کوبه مشاهده نگردید. با توجه به تجربه زلزله‌های ویرانگر گذشته ساختمان‌های با مصالح بنایی غیر مسلح در نقاط مختلف جهان عملکرد خوبی از خود نشان نداده‌اند. در این میان رفتار ساختمان‌های بنایی که دارای کلاف‌های افقی در زیر و بالای دیوارهای باربر و همچنین کلاف‌های قائم در گوشه‌های اصلی ساختمان بوده‌اند رضایت‌بخش بوده و از فروریزی‌های فراوانی جلوگیری به عمل آورده است. خوشبختانه این نکته در آیین‌نامه زلزله ایران "استاندارد ۲۸۰۰" مورد تأکید قرار گرفته و انتظار می‌رود ساختمان‌های بنایی ساخته شده براساس ضوابط مندرج در این آیین‌نامه در زلزله‌های آتی کشور از عملکرد مناسبی برخوردار باشند و حداقل از تلفات ناشی از زلزله‌های بزرگ در این گونه ساختمان‌ها به مقدار قابل توجهی کاسته شود.

از آنجا که در برخی مناطق ایران از جمله شمال کشور ساخت خانه‌های چوبی رواج دارد ذیلاً به نکاتی چند در ارتباط با درس‌های آموخته از تأثیر زلزله کوبه بر این گونه ساختمان‌ها اشاره می‌گردد. خانه‌هایی که به سبک سنتی ژاپنی ساخته شده بودند متحمل آسیب‌های فوق‌العاده زیادی در میان منازل مسکونی تخریب شده، شدند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). این



شکل ۱۳ ـ خانه واژگون شده در هیگاشینادا

شکل ۱۴ ـ خانه‌چوبی جدید متداول درژاپن(سمت‌چپ)،نوعی که‌بدون آسیب‌دیدگی آشکاریاقی مانده است.

خانه‌ها دارای بام‌های سنگین هستند که با پایه و تیر چوبی ساخته می‌شوند و به وسیله کام و زبانه به یکدیگر کلاف می‌گردند. در هر حال، زلزله کوبه برخی از کاستی‌های موجود در عملیات ساختمانی منازل مسکونی با قاب چوبی مقاوم در برابر زلزله را برای کشور ما نیز مشخص نمود. از جمله آنها می‌توان به ضرورت به کارگیری جزییات ویژه برای حصول اطمینان از رفتار شکل‌پذیر این گونه ساختمان‌ها اشاره کرد.

بسیاری از خانه‌های قدیمی چوبی در ایران دارای بام‌های سفالی سنگین هستند. همان طور که در زلزله اخیر نیز به نمایش درآمد، این سازه‌های با بام سنگین در معرض فروریزی از نوع طبقه نرم هستند، بویژه اگر اتصالات سازه‌ای کافی بین پوشش‌های بام، قاب دیوار و صفحات پایین وجود نداشته باشد. ورق‌های فلزی گالوانیزه سبکتر، بدون تغییر وضعیت در معماری بام‌های سفالی، وزن بام را کاهش می‌دهند.

دودکش‌های ساخته شده با مصالح بنایی غیر مسلح پیوسته در معرض فروریزی هستند. از این رو چفت و بست کردن این گونه دودکش‌ها به عناصر سقف از طریق بست‌های فولادی می‌تواند از فروریزی آنها در هنگام زلزله پیشگیری نماید. همچنین نورگیرها، محل بازی کودکان یا فضاهای پارکینگ نباید در نزدیکی دودکش‌هایی که در معرض فروریزی می‌باشند، قرار داده شوند.

همان طور که در این زلزله تجربه گردید، خانه‌ها می‌توانند در اثر ارتعاشات شدید زمین از شالوده‌های خود به حرکت درآیند، بنابراین لازم است خانه‌ها بطور مناسبی به شالوده‌ها مهار گردند. در غیر این صورت، این گونه حرکت‌ها می‌توانند در اثر شکستن لوله‌های گاز و آسیب دیدن شالوده، کف‌ها، دیوارها، پنجره‌ها و سایر اتصالات لوله‌کشی‌های سرویس‌ها و همچنین وسایل و محتویات خانه‌ها، باعث آتش‌سوزی گردند. بلند کردن خانه و بازگرداندن آن بر روی شالوده و تعمیر این آسیب دیدگی بسیار گران خواهد بود.

ح) برنامه‌ریزی شهری، معماری، عناصر ثانویه و سرویس‌های ساختمانی

فرایند برنامه‌ریزی شهری باید اثرات یک زلزله بزرگ را در هنگام بررسی موارد زیر مورد توجه قرار دهد: طراحی جاده، پیش‌بینی فضاهای باز بزرگ، مکان‌یابی ساختمان‌های استراتژیک و تأسیسات.

بطور مشخص، برنامه‌ریزی شهری باید به موارد زیر توجه ویژه نماید:

- ساخت مخازن آب زیرزمینی به عنوان بخشی از نوسازی شهری.
- تعریض برخی از خیابان‌های شهری به مقدار کافی که به عنوان موانعی برای گسترش آتش سوزی عمل نمایند.
- توسعه جاده‌های شهری با در نظرگرفتن مسیرهای دسترسی جایگزین.
- توسعه ساختگاه‌هایی در داخل شهرها که بتوانند به زون‌های فرود هلیکوپترها اختصاص یابند. برای نمونه، محدود کردن تیرهای انتقال سیم‌های برق، محدود کردن رشد درختان و غیره.
- پیشگیری از احداث ساختمان‌ها یا مجتمع‌های خدمات رسانی ضروری در انتهای "خیابان‌های بن‌بست". برای نمونه، بیمارستان واقع در جزیره رکّو تنها دارای یک شکل دسترسی است.
- کنترل رشد گیاهان به منظور محدود کردن یا پیشگیری نمودن از شتاب و آهنگ گسترش آتش‌سوزی، بویژه در نواحی تپه‌ای اطراف شهرها.

مهندسان معمار باید از تأثیر بارهای لرزه‌ای بر ساختمان‌ها آگاه باشند تا به عنوان یک عامل ورودی در فرایند طراحی مدنظر قرار دهند. همان گونه که کار طراحی به پیش می‌رود، نیازهای طراحی لرزه‌ای در سازه، پوشش‌ها، سرویس‌ها و عناصر ثانویه، همواره باید یک عامل ورودی اصلی نسبت به آنچه بطور غریزی توسط معمار درک شده است، باشد.

بررسی میزان مقاومت ساختمان‌های موجود در برابر زلزله و تقویت سازه آنها در صورت ضرورت می‌تواند تأثیر زلزله را به حداقل برساند. این اقدام در واقع کار بسیار با ارزش و سودمندی است.

همچنین، عناصر ثانویه در سرویس‌های ساختمانی، پوشش‌های ساختمانی، سایبان‌ها و ویترین مغازه‌ها باید به طریقی طراحی گردند که پیش‌بینی درزهای لرزه‌ای و بست‌های لرزه‌ای مناسب در آنها به عمل آمده باشد. محل استقرار سرویس‌های اصلی از قبیل منابع آب باید با در نظرگرفتن و تشخیص خطرات فعالیت‌های لرزه‌ای در ساختمان صورت پذیرد.

سازمان‌ها نیز باید تشویق شوند تا نسبت به بررسی و آرایش داخلی ساختمان‌ها و وسایل موجود از نظر خطر زلزله اقداماتی را انجام دهند، زیرا بی‌نظمی‌های حاصل از پراکندگی وسایل و آشفتگی‌های ناشی از رویداد زلزله می‌توانند تأثیرات سویی را در روند عادی کار تحمیل نمایند. ضرورت مهار کردن مناسب کابینت‌های پرونده‌ها، قفسه‌ها، تجهیزات کامپیوتری و نیغه‌های داخلی باید شناخته شود.

خ) آمادگی و واکنش اضطراری

زلزله کوبه تأثیر بسیار عمیقی در آمادگی ژاپن در برابر زلزله خواهد داشت. در آینده تأکید بیشتری بر آمادگی و واکنش اضطراری داده خواهد شد. در گذشته استراتژی پیشگیری از فجایع ژاپن به میزان زیادی به اقدامات سازه‌ای (استاندارد ساختمانی) وابسته بوده است. واکنش آهسته و آمادگی ناکافی در برابر تأثیرات یک زلزله بزرگ و ویرانگر انتقاداتی را به دولت ژاپن در پی داشت. آمادگی و واکنش اضطراری برای رویارویی در برابر یک زلزله بزرگ در تهران یا هر شهر و آبادی دیگر ایران نیز ضروری است.

با توجه به آنچه در بخش‌های قبلی عنوان گردید، گرچه از نحوه آمادگی برخی مسئولین و سازمان‌های ذیربط در رویارویی با زلزله اخیر در منطقه کوبه انتقاداتی به عمل آمد ولی باید اذعان داشت عزم ملی و همیاری مردم و همکاری سازمان‌های درگیر در عملیات نجات و امداد بلافاصله پس از رویداد زلزله بسیار چشمگیر و پسندیده بود و بدون وجود چنین عزم ملی و همیاری، مشکلات حاصل از زلزله می‌توانست به مراتب بیش از آنچه ظاهر گشت، باشد. این درس بزرگی برای ماست که قبل از هر چیز از برنامه‌ریزی صحیح برخوردار باشیم و در برنامه‌ریزی، همکاری و هماهنگی بین سازمان‌های درگیر در اقدامات امدادی را مد

نظر قرار دهیم. چراکه اقدامات هماهنگ و استفاده بهینه از امکانات موجود در زمان رویداد هر سانحه رمز موفقیت در مقابله با سانحه بوده و نتیجه آن کاهش تلفات و آسیب‌های ناشی از سانحه می‌باشد.

د) تأثیر آتش‌سوزی

گرچه تعدادی آتش سوزی در برخی مناطق کوبه و برای مدتی به وقوع پیوست که عمدتاً در اثر فقدان آب و عدم وجود سرویس‌های آتش نشانی بود، ولی بطور کلی تأثیر آتش سوزی در کوبه کمتر از آن بود که در واقع می‌توانست باشد. آتش از طریق خانه‌های چوبی نزدیک به هم، به سرعت گسترش یافت.

درس اصولی برای ایران غیر عملی بودن متوقف کردن گسترش آتش سوزی بدون وجود آب است. با فرض مختل شدن تأمین آب از طریق شبکه‌های لوله‌کشی، عملی‌ترین وسیله آبرسانی به آتش‌سوزی‌ها از طریق هوا خواهد بود. آتش‌نشانی از طریق هوا نیازمند و کنش سریع و هماهنگی خوب و مناسب، براساس طرح آماده شده از قبل می‌باشد. چنین طرحی ضرورت دارد که تغییرات بزرگی راکه ممکن است در منابع مورد نیاز برای اطفا حریق پدید آید، مورد توجه قرار دهد و این بستگی به محل رویداد زلزله، توپوگرافی و شرایط آب‌وهوایی غالب منطقه دارد.

در ایران نیز لازم است استراتژی‌های تهاجمی آتش‌نشانی توسعه یابد. این اقدام بویژه برای مناطقی که توسعه شهری در معرض خطر ناشی از تشعشعات انتقال گرما به دلیل وجود خانه‌های نزدیک به یکدیگر، قرار دارد و یا مناطقی که ترکیبی از تشعشعات و صعود انتقال گرما به علت واقع شدن خانه‌ها به صورت قائم در مجاورت هم و در نواحی تپه‌ای تند اطراف شهرها وجود دارد، ضرورت بیشتری خواهد داشت.

مناطق پیرامونی شهرها بیش از هر جای دیگری در معرض خطرپذیری ناشی از گسترش آتش‌سوزی قرار دارند. خطرپذیری نواحی صنعتی بستگی به نوع صنعت دارد.

ساختمان‌های چند طبقه با قاب بتنی و فولادی و همچنین ساختمان‌های با مصالح بنایی پایداری خوبی از نظر آتش‌سوزی پس از رویداد زلزله از خود نشان می‌دهند. با این حال، آتش از میان چنین ساختمان‌هایی نیز گسترش می‌یابد مگر آنکه سیستم‌های فعال فرونشانی آتش پس از وقوع زلزله به حالت آماده به کار باقی بمانند. برای نمونه، منبع ذخیره‌ای که بتواند آب تعداد پنج سر آبپاش را برای مدت ۳۰ دقیقه تأمین نماید، کمک قابل ملاحظه‌ای در کاهش اثرات آتش‌سوزی در ساختمان‌های چند طبقه خواهد کرد. این منبع باید در طبقه بالا قرار داشته باشد تا در صورت نیاز با استفاده از نیروی ثقلی، آب مورد نیاز را تأمین نماید.

نتیجه‌گیری‌های کلی

مدت ۲۰ ثانیه تکان نیرومند زمین در اثر زلزله کوبه درس‌های مهم بسیاری را برای مناطق شهری ایران به ارمغان آورده است. به چند نمونه از این درس‌ها که برای کشورمان بسیار مهم و حیاتی هستند بطور خلاصه اشاره می‌گردد:

- ما نباید در توجه‌مان به زلزله‌ها خشنود و راضی باشیم. وضعیت و یا اعتماد بر اینکه "آن رویداد برای ما اتفاق نخواهد افتاد" یا "به احتمال زیاد تنها در مناطق خاصی روی خواهد داد" باید از اذهان پاک گردد.
- بطور کلی ساختمان‌ها و پل‌هایی که براساس استانداردهای جدید زلزله، طراحی و ساخته شده‌اند در برابر زلزله عملکرد خوبی داشتند. این نکته به کارگیری استانداردهای جاری را (که سخت‌گیرتر از استانداردهای قدیمی هستند) توجیه می‌نماید و ضرورت رعایت کامل استانداردهای جدید را مورد تأکید قرار می‌دهد. علاوه بر آن تجدید نظر کردن مقطعی آنها را الزام‌آور می‌سازد.
- خطر لرزه‌ای سازه‌های قدیمی در این زلزله به خوبی به نمایش گذارده شد. بسیاری از ساختمان‌ها و پل‌های قدیمی در ایران ممکن است نیاز به تقویت داشته باشند.
- نیاز به مقاومت لرزه‌ای کافی شریان‌های حیاتی در شهرها بسیار آشکار بود. چنانچه پس از رویداد زلزله در یک شهر، خدمات عمومی متوقف شوند و حمل و نقل به

راحتی در جریان نباشد، زیان‌های اقتصادی و اختلالات شدیدی را به شهر تحمیل خواهد نمود.

- اهمیت آمادگی در برابر سوانح در این زلزله مورد تأکید مجدد قرار گرفت. بطور کلی جامعه باید از عواملی که به احتمال قوی، سهمی در کاهش توانایی سرویس‌های اورژانسی خواهند داشت آگاه باشد؛ همچنین باید به این واقعیت واقف شود که ممکن است با شرایط اجتناب‌ناپذیری مواجه گردد که اجباراً به خود متکی باشد.
- اهمیت خدمات واکنش اضطراری در سوانح نیز در این زلزله به نمایش گذارده شد. هماهنگی و همکاری متقابل بیشتری بین سازمان‌های ذیربط و درگیر مورد نیاز خواهد بود. اهمیت بیشتری باید به طرح‌ریزی داده شود. برای آنکه طرح‌ها مؤثر واقع شوند باید هم واقع بینانه و هم انعطاف‌پذیر باشند.

مراجع

1. Overseas Disaster Reduction Association, ODRA (1995), "The Hanshin-Awaji Earthquake, The Damage, Response and Lessons", Ministry of Construction.
2. Park, R. et al. (1995), "The Hyogo-ken Nanbu Earthquake of 17 January 1995", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 28, No. 1. 1995

نادر زاده، احمد، (۱۳۷۴)، "زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و درس‌هایی برای ایران". طرح مطالعات زلزله تهران بزرگ، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران.