انجمن ایرانی
مهندسان محاسب ساختمان

مجموعه مقالات
سمینار یک روزه

مباحثی در مهندسی زلزله و زلزله اخیر آذربایجان

A seminar on
Topics in Earthquake Engineering
and the recent earthquake in Azarbaijan

بهمن ماه ۱۳۹۱
January 2013

بسم الله الرحمن الرحيم

انجمن ایرانی
مهندسان محاسب ساختمان

با همکاری

آمود راه
مهندسین مشاور
amoodrah

مجموعه مقالات سمینار مباحثی در مهندسی زلزله و زلزله اخیر آذربایجان

دبیر علمی
مرتضی زاهدی

دبیر اجرایی
کامیار کرباسی ارانی

کمیته انتشارات انجمن

مرتضی زاهدی
امیر پیمان زندی
احمد نادرزاده
علی اصغر طاهری بهبهانی
علی اکبر نجفی
علی امین پور

بهمن ۱۳۹۱

انجمن ایرانی
مهندسان محاسب ساختمان

مباحثی در مهندسی زلزله و زلزله اخیر آذربایجان (۱۳۹۱ تهران)
مجموعه مقالات مباحثی در مهندسی زلزله و زلزله اخیر آذربایجان [برگزارکننده] انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان، مرتضی زاهدی ...
[ودیگران]

تهران، انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان، ۱۳۹۱.
ISBN: 978 - 964 - 04 - 4849 - 6

۸۸ ص
فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا
مرتضی زاهدی، امیرپیمان زندی، کامیار کرباسی آرانی، احمد نادرزاده، علی اصغر طاهری بهبهانی، علی اکبر نجفی،علی امین پور
۱- مهندسی زلزله -- کنگره ها ۲ - ساختمان ها - - اثر زلزله - - کنگره ها
۱۳۹۱ ۸۴ س / ۱۹۵ HT ۶۹۳/۵۸۲
کتابخانه ملی ایران
۱۹۴۸۴۳۹

عنوان: مجموعه مقالات مباحثی در مهندسی زلزله و زلزله اخیر آذربایجان
تالیف: انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
دبیر سمینار: مرتضی زاهدی، کامیار کرباسی ارانی
نوبت چاپ: اول
تاریخ انتشار: ۱۳۹۱
شمارگان: ۳۰۰۰
ناشر: انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
مجری: موسسه فرهنگی هنری امین قلم ۲-۶۶۹۰۹۱۴۱

آرای ارائه کنندگان مقالات، لزوما دیدگاه انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان نیست.

نشانی: خیابان سئول، خیابان ۱۲ متری اول، بن بست شبنم، شماره ۸
تلفن: ۸۸۰۳۳۰۳۰ تلفکس: ۸۸۰۶۵۰۵۰

حامی سمینار
و انتشار ویژه نامه

آمودراه
amoodrah مهندسین مشاور

مدیر عامل:
آقای مهندس اسفندیار صدیقی

نشانی: تهران میدان آرژانتین خیابان زاگرس خیابان بیست و نهم شماره ۱۰
تلفن ۸۸۶۴۲۱۶۰ و ۸۸۶۴۲۱۶۱ و ۸۸۶۴۲۱۶۲
نمابر: ۸۸۶۴۲۲۱۵
کدپستی: ۱۵۱۶۶۱۶۸۱۱

فهرست مقالات

گرایش های اصلی درتهیه نقشه جدید پهنه بندی خطر نسبی زلزله ایران به منظور کاربرد در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰
علی اکبر معین فر- احمد نادرزاده
۹

فرآیند بهسازی لرزه‌ای مدارس در کشور
مرتضی رئیسی دهکردی
۲۵

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس؛
ویژگی‌های زمین‌لرزه و آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های متداول
جواد فرید
۳۱

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس؛
آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های با اهمیت زیاد و اهمیت خیلی زیاد
جواد فرید
۴۳

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس؛
آسیب‌های وارد بر مساکن روستایی و ضرورت توجه به ساخت، نگهداری و بهسازی آن‌ها
جواد فرید
۵۵

بررسی رفتار و عملکرد لرزه‌ای دیافراگم‌ها در سیستم‌های سازه‌ای
اباذر اصغری - شاهرخ شعیبی
۶۷

ارائه روشی جدید دربهسازی لرزه‌ای ساختمانهای نیمه اسکلت موجود
محمد خان محمدی - حمداله بهنام
۸۳

سخن نخست

مهندسی زلزله به مجموعه‌ای از اطلاعات فنی و دانش‌ها گفته می‌شود که هدف آنها دستیابی بشر به سازه‌ها و ساختمان‌هایی مقاوم‌تر در برابر زلزله است. ساختمان‌هایی که جان و مال ساکنان خود را در زلزله‌های کوچک و متوسط به خطر نیاندازند و در زلزله‌های بزرگ تبدیل به تلی از آوار بر سر ساکنان خود نشوند. اگرچه اغلب این دانش‌ها جدید و حتی نسبت به سایر دانش‌های مهندسی اخیر به شمار می‌آیند، با این حال در چند دهه گذشته حجم آنها به نحوی چشمگیر و موثر افزایش یافته، چنانکه کشورهای زلزله‌خیزی که از این دانش‌ها در ساخت و سازهای خود بهره گرفته‌اند، موفق شده‌اند خطرات زلزله را برای مردمان خود به حداقل برسانند و از جان و مال آنان حفاظتی شایسته بنمایند.

اگرچه در بسیاری از دانش‌های جدید مهندسی، ایران در قافله پیشتاز جهانی قرار ندارد لیکن در زمینه مهندسی زلزله به دلیل علاقه و توجهی که در سطح ملی دانشگاهی و حرفه‌ای به کاهش خطرپذیری از ناحیه زلزله‌های متوسط و بزرگی که هر چند سال یکبار نقطه‌ای از کشور را به ویرانی می‌کشند، وجود دارد و به لطف استعدادهایی که جذب این زمینه شده‌اند، متخصصین ایرانی حرفهای زیادی برای گفتن دارند. در همین تابستان اخیر در معتبرترین همایش بین‌المللی در زمینه مهندسی زلزله که هر ۴ سال یکبار متخصصین جهانی را به خود جلب می‌نماید یعنی پانزدهمین کنفرانس جهانی زلزله که در لیسبون پایتخت پرتغال برگزار شد ایرانیان از داخل و خارج کشور با بیش از ۵۰۰ مقاله فعال‌ترین شرکت‌کنندگان بودند و تعداد ایرانیان کنفرانس از تمام ملیت‌های دیگر اعم از چینی، ژاپنی، آمریکائی و اروپایی بیشتر بوده است. این جدا از صدها نفر دانشجو، پژوهشگر و علاقه‌مندی است که برای شرکت در کنفرانس ثبت نام کرده بودند ولی به دلایل مختلف موفق به اخذ ویزا نشدند.

از دیدگاه حرفه‌ای نیز ویرایش چهارم آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله با نگاهی به آخرین پیشرفت‌های جهانی در دست تکمیل است و کشور حدود ۱۰ سال است دارای دستورالعملی فنی برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود می‌باشد. نظام‌های مهندسی ساختمان نیز در سراسر کشور گسترش یافته و ظاهراً بر رعایت دستورالعمل‌ها و استانداردهای فنی در ساخت و سازها نظارت دارند.

باز در همین تابستان گذشته زلزله‌ای متوسط با بزرگای ۶/۳ در مقیاس ریشتر در استان پرجمعیت آذربایجان شرقی خرابی‌های گسترده‌ای ایجاد نمود. این خرابی‌ها شامل بناهای روستایی و شهری،

بیمارستان‌های نوساز، ساختمان‌های سازمانی و مهمانسراهای مجموعه‌های مهم صنعتی منطقه و حتی مسکن‌های مهر در حال ساخت می‌شدند. به عبارت دیگر زلزله‌ای که در قاموس مهندسی زلزله متوسط به شمار می‌آید در یکی از غنی‌ترین استان‌های ایران از نظر فنی و اجرائی خسارات و تلفاتی در بر داشته که از شدیدترین زلزله‌ها نیز انتظار آن نمی‌رود.

اشکال کار در کجاست؟ آیا مردم عمداً قوانین ساخت و ساز ایمن در برابر زلزله را زیر پا گذاشته‌اند؟ آیا متخصصان ما از درک مفاد آیین‌نامه‌های ملی عاجز هستند؟ آیا ساخت و سازها به زمانی تعلق داشته که ضوابطی برای ایمنی ساختمان‌ها در برابر زلزله در کشور وجود نداشته است؟ آیا مهندسان مشاور و ناظران نظام مهندسی به وظایف خود عمل نکرده‌اند؟ آیا مصالح ساختمانی بدون استاندارد و نامناسب برای مناطق زلزله‌خیز هستند؟ آیا توجه به کلیات و ایستائی سازه معطوف شده و به جزئیات ساخت و ساز ایمنی در برابر زلزله خصوصاً ناسازه‌ها توجه کافی نشده است؟

پاسخ مناسب شاید ترکیبی از تمام موارد فوق باشد، یا عواملی دیگر را بتوان به فهرست فوق افزود؛ ولی یک چیز مسلّم است، در کشور ما ساز و کار مناسب جهت استفاده عامه مردم از دستاوردهای جهانی یا حتی ملی مهندسی زلزله فراهم نشده است. پژوهش‌های دانشگاهی انجام می‌شوند ولی راهی به حیطه صنعت ساختمان نمی‌یابند. از متخصصان جهانی مقیم داخل و خارج کشور در سیاست‌گذاری‌ها استفاده نمی‌شود. ارتباط انجمن‌های تخصصی مانند انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان با نظام‌های مهندسی قطع است و ارتباط مدیریت نظام مهندسی با بدنه مهندسی ساختمان کشور یا از طریق تقسیم عادلانه برگه‌های روزی است یا شورای انتظامی. از سوی دیگر عمیق تر شدن و تاکید آیین نامه بر مباحث فنی پیشرفته، مباحث ساده‌ای مثل جزئیات اجرائی دیوارها و نماها را در سایه بی‌توجهی قرار می‌دهد و نتیجه تمام این شرایط آن می‌شود که می‌بینیم.

آیا وقت آن نرسیده است که مردم کشور ما هم مانند بسیاری از کشورها که درگیر این پدیده طبیعی هستند، با همت محققان، مدیران و مهندسان خود در برابر زلزله احساس ایمنی نسبی نمایند؟ انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان آرزومند چنین روزی است و گفتگو در این زمینه را از وظایف خود و زمینه‌ساز دستیابی به این هدف انسانی، اسلامی و ملی می‌داند. برگزاری این سمینار تلاشی است برای شروع این گفتگو که امید است مورد توجه و استقبال از سوی همه دست‌اندرکاران قرار گیرد.

کمیته‌علمی‌سمینار
مباحثی‌در‌مهندسی‌زلزله‌وزلزله‌اخیر

دکترابادر اصغری
مهندس علی امین پور
دکترهژیرحائری
مهندس بهمن حشمتی
مهندس مسعود رهبری
دکترمرتضی زاهدی
مهندس امیر پیمان زندی
دکتر محمدرضا سروقدمقدم
مهندس شاپور طاحونی
مهندس علی اصغر طاهری بهبهانی
دکترساسان عشقی
مهندس فرهنگ قاجاریه
دکترکامیارکرباسی ارانی
مهندس علی اکبرمعین فر
مهندس احمد نادرزاده
مهندس رحیم واعظی

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۹ تا ۲۴

رتهیه نقشه جدید پهنه بندی ، ایران به منظور کاربرد در بهارم استاندارد ۲۸۰۰

علی اکبر معین فر
عضو انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
moinfar۱۳۸۹@gmail.com

احمد نادرزاده
عضو انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
naderzadeh@dpi.net.ir

چکیده:

در بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران) بخش مربوط به پهنه بندی خطر زلزله نیز مورد بازنگری قرار گرفت. به این منظور، کارگروه پهنه بندی خطر زلزله (شامل علی اکبر معین فر (مسئول کارگروه)، محمد حسن نبوی، منوچهر قرشی، ابراهیم مالکی، احمد نادرزاده (دبیر کارگروه)، فریدون سینایبان، علی بیت الهی، مرتضی طالبیان و مهدی زارع) طی بیش از دو سال و نیم صرف وقت با بررسی نقشه های موجود، نتایج پژوهش هایی را که در دهه اخیر به صورت موضعی در مناطق مختلف ایران انجام شده است، مورد ارزشیابی قرار داد و با انجام مطالعات تکمیلی اقدام به بازنگری نقشه پهنه بندی خطر نسبی زلزله کشور که در ویرایش سوم آیین نامه زلزله ایران آمده است، نمود که نتیجه آن در نقشه "پهنه بندی خطر نسبی زلزله در ایران" ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ بازتاب داده خواهد شد. هدف اصلی این بازنگری ارائه نقشه‌ای با تقریب قابل قبول برای معرفی شتاب مبنای زلزله در پی سنگ لرزه ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال بوده است. نقشه بازنگری شده با نقشه های مشابه در کشورهای همسایه مقایسه شد و ملاحظه شد که اعداد مورد استفاده در کشورهای همسایه باختری با اعداد نقشه پهنه بندی خطر نسبی زلزله در ایران سازگاری بیشتری دارد ولی اعداد مورد استفاده همسایگان خاوری با اعداد نقشه پهنه بندی ایران تفاوت های بسیار چشم گیر دارد.

واژه های کلیدی: استاندارد ۲۸۰۰ ایران، نقشه خطر زلزله ایران، نقشه خطر زلزله کشورهای همسایه ایران

مقدمه و سابقه

نخستین اقدام مربوط به تهیه آیین نامه ایمنی ساختمان ها در برابر زلزله در ایران پس از رویداد زلزله ویرانگر سال ۱۳۴۱ بویین زهرا (Ms ۷٫۲) صورت گرفت و در سال ۱۳۴۳ رعایت آن در سازه هایی که از بودجه های عمرانی کشور استفاده می کردند، اجباری گردید و سپس در سال ۱۳۴۹ به عنوان بخشی از استاندارد "حداقل بارهای وارده به ساختمان ها و ابنیه فنی- استاندارد شماره ۵۱۹ ایران" در آمد.

این آیین نامه فاقد نقشه پهنه بندی خطر زلزله بود و برای منظور نمودن اثر زلزله در محاسبات ساختمان ها به عنوان یک گام به جلو برای کلیه نقاط کشور به حداقل هایی اکتفا کرده عدد یکسانی داده بود. در آن زمان دانسته کافی برای برآورد خطر زلزله در نقاط مختلف کشور وجود نداشت.

با گذشت زمان و احساس نیاز برای به هنگام کردن بخش زلزله استاندارد شماره ۵۱۹ ایران (حداقل بارهای وارده به ساختمان و ابنیه فنی) تلاش هایی از طرف انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان به عمل آمد و با کوشش آرک مگردیچیان و همت چند تن از اعضای انجمن و کارشناسان خارج از انجمن در سال ۱۳۵۹ پیش نویسی برای تجدید نظر در بخش بارهای مربوط به زلزله استاندارد ۵۱۹ برای تصویب موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تهیه گشت. گرچه با توجه به نابسامانی های سال های اول پس از پیروزی انقلاب فرصت لازم برای بررسی و تصویب این پیش نویس فراهم نگشت ولی این پیش نویس تا چند سال دستور کار مهندسان محاسب برای طراحی زلزله در ساختمان ها و تکیه گاهی برای مهندسان مشاور بود. در
برای پهنه بندی نقشه ای داده نشده بود

در جریان بازنگری که در سال ۶۴،
تحقیقات ساختمان و مسکن در آیین نامه زلزله
صورت گرفت و منجر به تدوین آیین نامه جدید
درسال ۱۳۶۶ گردید (و به عنوان استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش یکم شناخته شد) احساس شد که پژوهش های انجام شده در ایران به حدی رسیده است که بتوان از آن در پهنه بندی خطر زلزله کشور استفاده نمود. این کار توسط گروه ویژه انجام گردید و بدون آن که دوره بازگشت خاصی برای نقشه پهنه بندی ذکر شود به عنوان خطر نسبی زلزله در مناطق مختلف کشور نقشه پهنه بندی معرفی گردید (پهنه بندی مقدماتی خطر زلزله در ایران به منظور کاربرد در آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله، نشریه شماره ۷۳ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، خرداد ۱۳۶۶، علی اکبر معین فر، مانوئل بربریان، منوچهر قرشی، علی اصغر ظهوریان ایزد پناه و احمد نادرزاده).

در این پهنه بندی کشور ایران از نظر خطر لرزه خیزی به سه منطقه به ترتیب با خطر نسبی بالا، خطر نسبی متوسط و خطر نسبی پایین تقسیم گردید ولی داوری از نظر مقدار شتاب قابل انتظار زلزله برای هر پهنه انجام نشد و در حقیقت تعیین عدد شتاب زلزله بر عهده تهیه کنندگان آیین نامه گذارده شد که با داوری کارشناسی خود و منظور داشتن عامل های مختلفی که در برآورد شتاب حرکت زلزله موثر هستند با توجه به ارقامی که درسطح جهانی در آیین نامه های زلزله سایر کشورها گزیده شده است، برای هر پهنه عددی را اختیار نمایند.

در ویرایش های دوم و سوم آیین نامه که درسال های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۴ انجام شد کارگروه های مربوط به پهنه بندی زلزله دانسته های جدید را مورد استفاده قرار دادند و نقشه های پهنه بندی آیین نامه را به هنگام نمودند. در این بازنگری ها نیز دوره بازگشت زلزله مشخص نگردید.

هدف

هدف اصلی این بازنگری ارائه نقشه ای با تقریب قابل قبول برای معرفی شتاب مبنای زلزله در پی سنگ لرزه ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال بوده است. تهیه کنندگان نقشه خود این واقعیت را باور دارند که ارائه چنین نقشه ای با تعیین عدد معینی برای دوره بازگشت زلزله (۴۷۵ سال) برای منطقه جغرافیایی و کشوری بزرگ با وسعت بیش از یک میلیون و ششصد هزار کیلومتر مربع توام با نادانسته هایی است و دستیابی به داده های دقیق باید طی سالیان دراز و با ادامه پژوهش های طولانی صورت گیرد. ولی از آنجا که در نبود داده های کامل دانسته های موجود می توانند ما را در انجام این هدف یاری رساند و تا میزان قابل قبولی به مقادیر واقعی نزدیک کند، با بهره گیری از داده های موجود اقدام به انجام این مهم شد که تا حدود قابل قبولی هدف مورد نظر تامین گردد. از سوی دیگر، برای پرهیز از به وجود آمدن مناطقی به صورت جزیره ای یا دماغه ای درسطح نقشه لازم است در پاره ای از موارد با داوری کارشناسی یکپارچگی و یکنواختی نقشه حفظ گردد. بنابراین، در نتیجه کار، دوره بازگشت ممکن است در برخی نقاط از عدد پیش بینی شده به صورت اضافی یا کاهشی تفاوت داشته باشد.

روش کار

برای تهیه نقشه پهنه بندی زلزله لازم است ابتدا داده های لازم در ارتباط با سرچشمه های لرزه زا در اختیار باشد. سرچشمه های لرزه زا عبارت است از سرچشمه های خطی (گسله های کارا و لرزه زا) و سرچشمه های نقطه ای (رومرکز زلزله هایی که تاکنون در ایران زمین روی داده است از دید جایگاه جغرافیایی) و افزون بر آن، درازا و سازوکار گسله ها و همچنین بزرگا و ژرفای زلزله ها. سپس باید با برآورد توانمندی گسله ها و توجه به دوری و نزدیکی پهنه های مختلف از سرچشمه های لرزه ای و با گزینش رابطه مناسب برآورد شتاب (Attenuation relations) که با در نظر گرفتن عامل هایی چون بزرگای زلزله مورد انتظار، دوری و نزدیکی نقطه از رومرکز یا گسله مسبب، سازوکار گسله های مسبب و بزرگای زلزله مورد انتظار و عامل های تعریف شده دیگر شتاب جنبش زمین را برآورد می کند، شتاب زلزله در پهنه های مختلف برای سطوح طراحی مورد نظر تعیین شود.

در زمینه زلزله شناسی و لرزه زمین‌ساخت ایران تاکنون گام هایی برداشته شده است. در چند دهه اخیر کوشش های ارزنده ای در این زمینه از طرف تعداد قابل توجهی از کارشناسان ایرانی و غیر ایرانی انجام شده و برای فراهم آوردن داده های قابل اعتماد تلاش هایی شده است، ولی هنوز کاستی هایی موجود است که ما را از دسترسی به ارقام صد در صد دقیق دور می دارد.

نگاشت های واقعی که از شتاب حرکت زلزله هایی که در ایران روی داده و به وسیله دستگاه های شتابنگار به دست آمده است، می تواند با پالایش و با توجه به گونه زمین و ژرفای پی سنگ لرزه ای کمک کاری در برآورد شتاب زلزله های پسین باشد. بنابراین، باید از داده های شتابنگاری بیشینه بهره گرفته شود.

بررسی های موردی که در بسیاری ار ساختگاه ها در ایران صورت گرفته است با همه تفاوت هایی که در روش های کار دارند و نیز پژوهش هایی که در پاره

ای از استان ها یا برخی شهرها تاکنون انجام شده است باید مورد بررسی و کسب فایده قرار گیرد.

تمامی این داده ها و دانسته ها باید در نقشه های با یک مقیاس بازتاب داده شده و به صورت سامانه لایه های اطلاعاتی (جی آی اس) مورد سنجش قرار گرفته و با داوری های کارشناسی پهنه های متفاوت پیشنهاد شود.

گسله ها

به طور کلی، پژوهش های زمین شناسی در ایران سابقه ای بیش از ۱۰۰ سال دارد و تاکنون مطالعات موردی در بسیاری از منطقه های کشور از طرف پژوهشگران ایرانی و غیر ایرانی و در سازمان های دولتی و غیر دولتی مختلف بیش تر در سازمان زمین شناسی کشور و شرکت ملی نفت ایران انجام گرفته و نقشه هایی تهیه گردیده است و در بسیاری از این نقشه ها گسله ها نیز بازتاب داده شده است.

وجود یک نقشه یکپارچه شامل کلیه گسله های کارا و لرزه زا با نمایش درازای گسله، سازوکار گسله، انتساب زلزله های پیشین به هر گسله و برآورد توانمندی گسله ها پیش نیاز پهنه بندی دقیق تر است و نبود آن با توجه به بزرگی کار و لزوم امکانات مالی و نیروی انسانی کافی، از کاستی هایی است که به سادگی قابل رفع نیست.

در نبود چنین نقشه ای، برای معرفی گسله های کارا و لرزه زای کشور در مقیاس متناسب، از آنجا که مطالعات موجود به صورت پراکنده و در سطح استانی یا شهری با مقیاس های متفاوتی انجام شده است، باید از داده های موجود بیشینه بهره را گرفت و نقشه های پراکنده موجود را بررسی و یک نقشه عمومی کشوری سامان داد. انجام این کار مشروط بر آن که داده های لرزه ای قابل اعتماد بوده و خوب بررسی شود، نتیجه را به حد قابل قبول می رساند که انجام آن از گرایش های اصلی کارگروه بوده است.

نقشه هایی که تاکنون برای گسله ها سامان داده شده تفاوت ها، کمبودها و هچنین دیدگاه های نابرابری دارند (نابرابری ها به ویژه در درازای گسله ها، در گزارش های سازمان های دولتی بسیار چشمگیر است).

برای دستیابی بیشتر به هدف تهیه نقشه گسله های کارا و ساده تر شدن کار بایسته دانسته شد که نکته های زیر در ساماندهی نقشه گسله ها به کار گرفته شود.

۱- گسله هایی در نظر گرفته شوند که درازای آنها بیش از ۲۰ کیلومتر باشد.

۲- مقیاس نقشه ۱۰۰۰۰۰۰: ۱ الگوی ۴ برگی سازمان زمین شناسی، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران باشد.

۳- تنها از گسله هایی که در نقشه های زمین شناسی با مقیاس ۲۵۰۰۰۰ :۱ و ۱۰۰۰۰۰ :۱ که انتشار یافته اند بهره گیری شود و از گسله های انگاشتی و یا پرسش بر انگیز پرهیز شود.

۴- تا آنجا که دانسته شده، ساز و کار جنبش گسله ها نموده شود.

۵- از نمایش گسله های پی سنگ مغناطیسی و یا خطواره های دیگر پرهیز شود.

۶- نام گسله ها (هرجا که شدنی است) نوشته شود و گسله های بی نام با شماره مشخص شوند.

۷- نقشه ای که به وجود می آید، بر گوینده کار نوین نیست و تنها بر پایه بررسی های زمین شناسان این سرزمین است که با در کنار هم نهادن و روش گزینش یادشده انجام شده است.

گسله هایی که در نقشه نموده شده اند از نگاه درازای گسله و اهمیتی که برای لرزه زایی داشته و دارند، در ۵ گروه زیر جای داده شده اند:

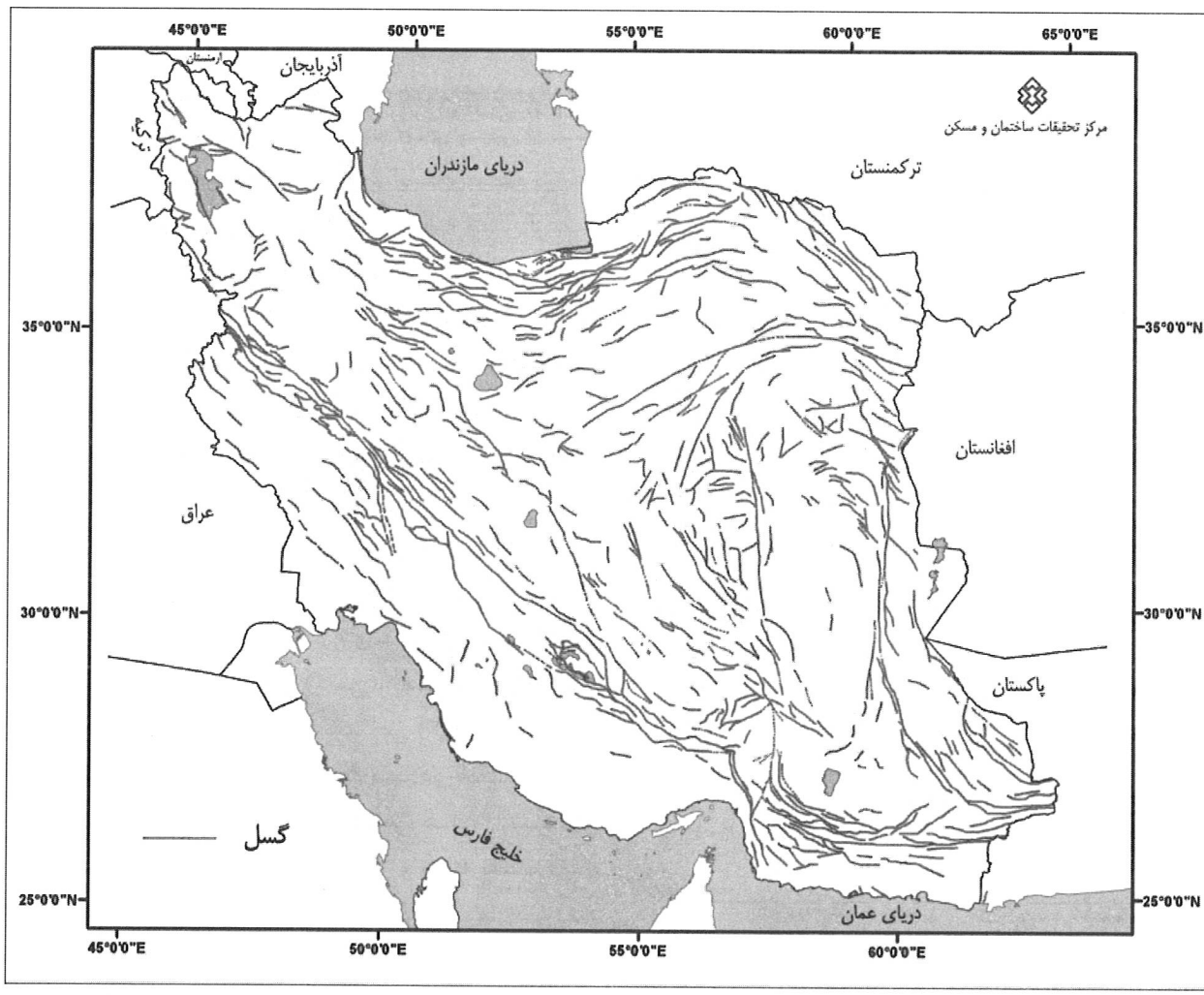
۱- گسله های لرزه زاد (گسله ای که هنگام رخداد زلزله دیده شده است و در رویدادهای زلزله هایی که در سده ۲۰ میلادی به بعد در ایران رخ داده است، جنبش داشته اند.

۲- گسله های کواترنر: گسله هایی هستند که گذر آنها در نهشته های کواترنر شناخته شده است.

۳- گسله های مرز کوه و دشت (مرز برونزد با نهشته های کواترنر): گسله هایی هستند که یا نشانه ای از وجود آنها در برونزدها وجود دارد و دنباله آنها مرز برونزدهاست یا تنها مرز برونزد با نهشته های کواترنر است که کم و بیش همراستا با روندهای تکتونیکی است.

۴- گسله های پوشیده: گسله هایی هستند که بخش هایی از آنها در برونزدها دیده می شود ولی بخش هایی دیگر زیر نهشته های کواترنر است و دیده نمی شوند، اما می توان وجود آنها را پذیرفت.

گسله های کارای ایران بر روی نقشه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- گسله های کارای ایران.

رویدادهای زلزله

در مورد رویدادهای زلزله در سرزمین ایران، اطلاعات تاریخی با ارزشی از زلزله های پیش از سده بیستم میلادی و در درازنای تاریخی بیش از ۲۰۰۰ سال موجود است که باید مورد توجه قرار گیرد و افزون بر آن باید با بررسی و بازبینی زلزله های دستگاهی قرن بیستم به بعد یک کاتالوگ مبنا فراهم گردد. این کار نیز به موازات کار اصلی کارگروه انجام گرفت.

زلزله هایی که تاکنون در ایران زمین روی داده است به دو بخش مهم زلزله های پیش از سده بیستم میلادی و زلزله های از ابتدای سده بیستم به بعد، تقسیم می شود. درمورد زلزله پیش از سده بیستم به ویژه زلزله های تاریخی، از نظر دارا بودن داده ها، با توجه به تمدن و پیشینه تاریخی و وجود کتاب ها و سیاحت نامه ها، کشور ایران بسیار غنی است. بهترین گردآوری که از داده های این دوران صورت گرفته است کتاب تاریخ زمین لرزه های ایران (۱۹۸۲) نوشته امبرسیز و ملویل [۲] می باشد که گرچه این داده ها، به سبب دریافت هایی که از نوشته های تاریخی شده و نیاز به برگردان آن ها به زبان دانش امروزی و تبدیل نوشته های چونی (کیفی) به چندی (کمی)، نمی تواند به دقت اعداد و داده های ثبت دستگاهی (که در جهان به تدریج از ابتدای سده بیست میلادی امکان یافت) باشد، ولی در بر گیرنده آگاهی های ارزشمندی است که در برآورد لرزه خیزی و تهیه نقشه پهنه بندی خطر نسبی زلزله کشور ایران بسیار سودمند بلکه تعیین کننده است. داده های به دست آمده دستگاهی نیز از نظر دقت، به دو دوره زمانی پیش از ایجاد شبکه جهانی لرزه نگاری و پس از آن تقسیم می شود که دوره دوم برخوردار از دقت و فراوانی بیشتری است.

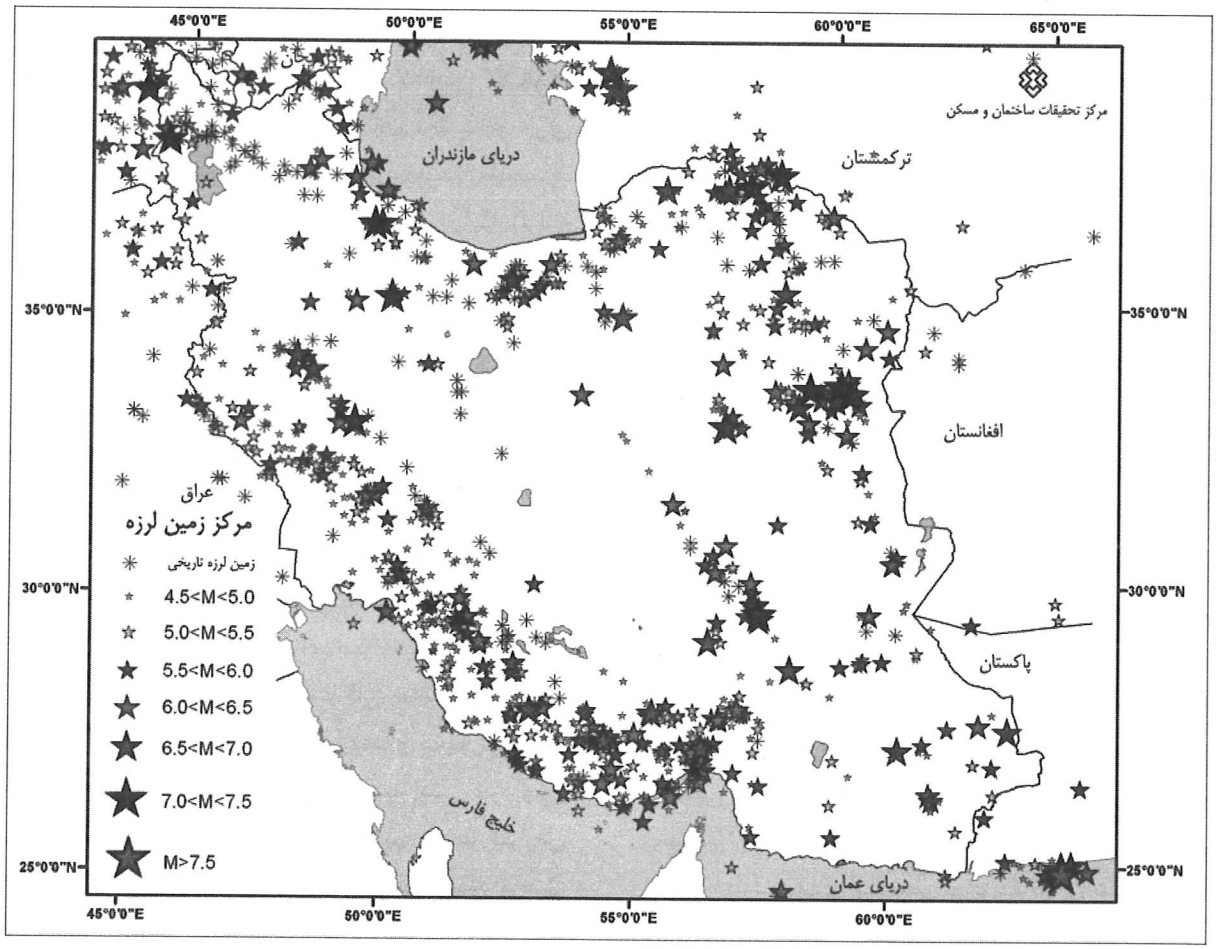
بسیاری از داده های دستگاهی شش دهه اول سده بیست میلادی توام با خطا است. این خطا در داده های دهه اول بیشتر چشم گیر است. به طور نمونه، خطایی که برای رومرکز زلزله ویرانگر سال ۱۹۰۹ میلادی سیلاخور (Ms ۷,۴) موجود است حدود ۴۰۰ کیلومتر است. رومرکز این زلزله در کتاب لرزه خیزی زمین (۱۹۴۹) نوشته گوتنبرگ و ریشتر [۱۷] درطول جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۳ درجه خاوری یعنی بین اردستان و نایین (۱۳۰ کیلومتری اصفهان) داده شده است ولی بنابر کارهای میدانی مهلرزه ای امبرسیز و معین فر [۳] که پس از گذشت بیش از ۶۰ سال از رویداد زلزله درسال های ۱۹۷۲ و ۱۹۷۳ میلادی صورت گرفت، رومرکز این زلزله در طول جغرافیایی ۳۳/۴۰ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۴۹/۱۳ درجه خاوری شناخته شد و گسله مسبب، گسله درود بود. فاصله این دو نقطه از هم بیش از ۳۶۰ کیلومتر است.

بنابراین، نیاز است که داده های این دوره بازنگری و مناسب ترین داده ها اختیار شود. این کار از دهه ها پیش به تدریج توسط عده ای از کارشناسان ایرانی و غیر ایرانی انجام و از طرف این کارگروه نیز مناسب ترین داده ها گزینش و کاتالوگی تهیه گردید که شامل رویداد زلزله ایران تا پایان سال ۲۰۱۱ می باشد.

از حدود ۵۰ سال پیش، از طرف برخی از پژوهشگران ایرانی و غیر ایرانی، هر از چندگاه، به صورت پراکنده، داده های زلزله ای شامل زلزله های تاریخی و زلزله های دستگاهی برای تمام کشور ایران یا گستره هایی که شامل پاره ای از

ساختگاه های مهم بوده گردآوری و منتشر و یا در پروژه هایی به کار گرفته شده است، این کاتالوگ ها و گزارش ها تفاوت هایی باهم داشته و دارای دیدگاه ها و داده های نابرابری می باشند. درگردآوری زیر نام "مجموعه اطلاعات پایه زلزله های ایران" (مجموعه اطلاعات پایه زلزله های ایران (۱۳۷۳). علی اکبر معین فر، عباس مهدویان و ابراهیم مالکی. موسسه نمایشگاه های فرهنگی ایران، سفارش مهندسی مشاور مهاب قدس) کوشش شده است تمامی این داده ها با بازتاب همه تفاوت ها، در یک جا جمع و برای هر رویداد زلزله هر آنچه تاکنون گزارش شده است بدون داوری ذکر شود و تنها به این بسنده گردیده است که تا آنجا که امکان دارد برای هر رویداد، گزارش و داده هایی که به باور گردآورندگان مجموعه از رتبه بالاتری از دقت برخوردارند در ابتدا و پیش از سایر گزارش ها آورده شود. به این ترتیب، این گردآوری در برگیرنده کلیه رویدادهای زلزله ایران (با گزارش های گوناگون) تا سپتامبر۱۹۹۲ می باشد و می تواند مبنای داوری قرار گرفته برای هر رویداد، یک گزارش بررسی و گزینش شده و رویدادهای زلزله سال های بعد نیز به کاتالوگ افزوده شود.

کارگروه پهنه بندی خطر زلزله در ایران به منظور کاربرد در بازنگری نقشه پهنه بندی خطر زلزله در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، کاتالوگ و نقشه ای را که بیان شد مبنای کار خود قرار داده است و باور دارد که نقشه رومرکز زلزله های ایران، نمودی است که از آنچه تاکنون توسط مرکزهای بین المللی و پژوهش های انجام شده به دست آمده است و تمام داده ها از یک دقت و درستی معین برخوردار نیستند. بعضی داده ها توام با پژوهش ها و یا بررسی های میدانی بیشتری است و برخی به آن میزان دارای دقت و درستی نمی باشند، گاهی رویداد یک زلزله تنها توسط یک پایگاه گزارش شده است و با فرض نبود دقت کافی، ناگزیر باید داده ها را پذیرفت ولی فزونی گزارش ها سبب بررسی بیشتر و افزونی دقت انتخاب می گردد. رومرکز زلزله های با بزرگای بیش از ۴/۵ ایران (شامل زلزله های تاریخی و زلزله های ثبت شده دستگاهی) در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- رومرکز زلزله های با بزرگای بیش از ۴/۵ ایران
(شامل زلزله های تاریخی و زلزله های ثبت شده دستگاهی).

داده های شتابنگاشتی

شبکه شتابنگاری کشور ایران در سال ۱۳۵۲ با تعداد ۶ دستگاه شتابنگار آنالوگ تاسیس گردید و طی مدت ۳ سال به ۳۳۰ دستگاه ترقی داده شد و در حال حاضر بیش از ۱۰۸۰ دستگاه دیجیتال در نقاط مختلف کشور نصب است.

بهره گیری از دست آوردهای شبکه شتابنگاری پس از پالایش های لازم با توجه به نوع زمین محل ایستگاه ها می تواند برای رسیدن به ارقام مناسب شتاب مبنا بسیار مفید باشد. این کوشش نیز انجام و نقشه ای حاوی شتاب های ثبت شده تهیه گردیده است که نیاز به پالایش های بعدی دارد.

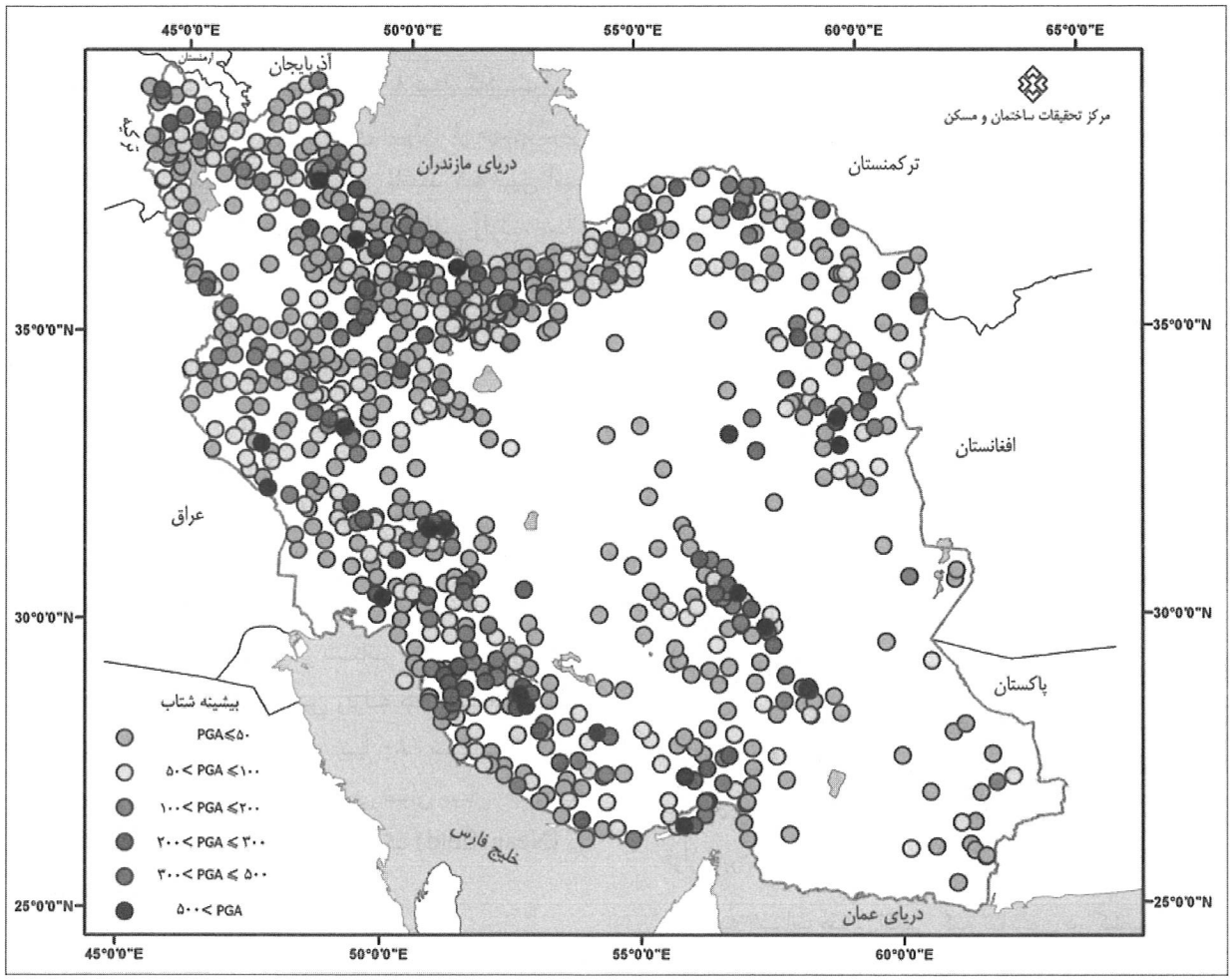
برای طراحی سازه های پایدار در برابر زلزله، شناخت جنبش های نیرومند زمین که انتظار می رود در عمر مفید سازه رخ دهد اهمیت ویژه دارد. بهترین راه شناخت ویژگی های واکنش زمین در هنگام رخداد زلزله، به دست آوردن نمودار شتاب حرکت زمین است که به وسیله دستگاه های شتابنگار (Strong Motion Accelerographs) انجام می گیرد. داده

هـای شـبکه شـتابنگاری ایـران در مرکـز تحقیقـات سـاختمان و مسـکن بـا حـدود ۸۰۰۰ شتابنگاشـت سـه مولفه ای از رویـدادهای زلزلـه هـای ایـران، از مهـم تـرین دست آوردهای چند دهـه اخیـر مـی باشـد کـه بـین آنهـا شتابنگاشـت هـای زلزلـه هـای مهمـی نظیـر زلزلـه سـال ۱۳۵۷ طـبس (Ms ۷,۴)، زلزلـه سـال ۱۳۶۹ منجیـل رودبـار (Ms ۷,۴)، زلزلـه سـال ۱۳۷۳ زنجیـران فـارس (Mb ۶,۱) و زلزلـه سـال ۱۳۸۲ بـم (Mw ۶,۶) قـرار دارند. محـل ثبـت ایـن زلزلـه هـا در مـورد زلزلـه منجیـل در آب بـر، (در نزدیکـی گسـله مسـبب) و در سـایر زلزلـه هـا در نزدیـک رو مرکـز زلزلـه هـا بـوده اسـت. بیشـینه شـتاب افقـی ایـن نگاشـت هـا بسـیار بـالا و در مـورد نگاشـت هـای طـبس و زنجیـران در مـرز ۱۰۰۰ گـال یعنـی همسـان و یـا افـزون از شـتاب گـرانش زمـین مـی باشـد. نگاشـت هـای قـائم ایـن زلزلـه هـا نیـز، از بیشـینه شـتاب بـالایی در حـدود ۶۰٪ تـا ۸۰٪ شـتاب گـرانش زمین برخوردارند. با این ترتیـب مـی تـوان بیـان کـرد کـه نگاشـت هـای خـوبی از میـدان نزدیـک (Near field) در ایران موجود است.

وجود چنـد هـزار شتابنگاشـت سـه مولفـه ای کـه از بـین آنهـا مـی تـوان چنـد صـد شتابنگاشـت راسـتای افقـی و شـمار زیـادی شتابنگاشـت راسـتای قـائم را گـزینش و بـا توجه به نوع زمینی کـه ایـن نگاشـت هـا در آن بـه دسـت آمـده و سـتبرا و گونـه نهشـته هـای زیـرین، آن هـا را بـه نگاشـت روی پـی سـنگ لـرزه ای تبـدیل کـرده و طیـف های مربوط به ویـژه طیـف هـای شـتاب را محاسـبه و بـه صورت نرمـال (بـدون بعـد) رسـم نمـود، ابـزار سـودمندی اسـت کـه مـی توانـد رونـد طیـف آیـین نامـه را بـرای گستره های گونـاگون ایـران زمـین تعیـین کنـد. کمتـرین کـاری کـه در ایـن بـاره مـی تـوان انجـام داد تهیـه طیـف شتاب برای رویه نهشته ها بـا کـاربرد نگاشـت هـا (کـه بـه طـور مسـتقیم بـه دسـت آمـده) بـرای گسـتره هـای گونـاگون اسـت کـه بـا ایـن ترتیـب اثـر گونـه خـاک و ستبرای نهشـته را خـود بـه خـود در بـر دارد. از آنجـا کـه این مبحـث بیـرون از نگـرش ایـن نوشـتار اسـت در اینجـا بـیش از ایـن از آن سـخنی گفتـه نمـی شـود. امیـد اسـت کوشش های بایسـته صـورت گیـرد کـه در ویـرایش هـای آینـده آیـین نامـه، از ایـن نگـاه کشـور ایـران بـه گسـتره هـای چنـدی بخـش و بـرای هـر گسـتره طیـف شـتاب درخوری پیشنهاد گردد.

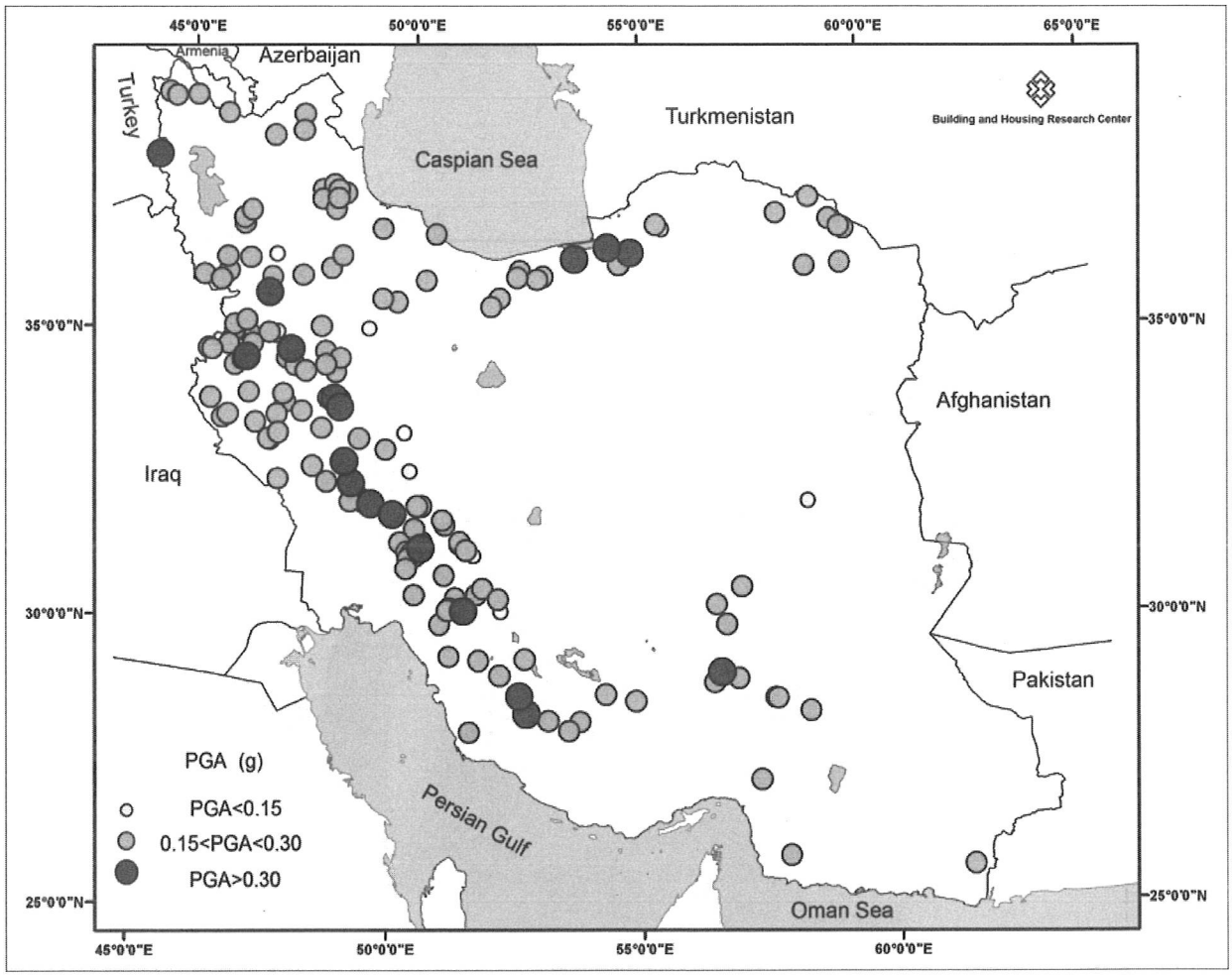
بهـره ای کـه از داده هـای شـتابنگاری گرفتـه شـده، نگـرش کـلان بـر بیشـینه شـتاب هـای بـه دسـت آمـده اسـت کـه گرچـه بیشـینه شـتاب، بـه تنهـایی نمـی توانـد مفهـومی در کـنش بـا سـاختمان داشـته باشـد ولـی بـه عنوان گمانه قابل توجه است. ایـن داده هـا مـی توانـد بـا بررسـی شتابنگاشـت هـا و مـدت دوام مـوثر (Duration) حرکـت و بـا داوری کارشناسـی بـا شـتاب هـای مبنـای مـورد نیـاز آیـین نامـه بـرای پهنـه هـای متفـاوت و تـا حـدودی بـرای دوره بازگشـت ۴۷۵ سـاله مـورد سـنجش قرار گیرد.

بیشـینه شـتاب هـای افقـی کـه تـاکنون در کشـورمان بـه دسـت آمـده اسـت در شـکل ۳ دیـده مـی شـود. ایـن بیشـنه شـتاب هـا در زمـین هـای گونـاگون و بـا خـاک های متفاوت به دسـت آمـده اسـت و بـه طـور مسـتقیم و بـدون داوری درسـت کارشناسـی کـاربردی نـدارد. در ایـن نقشـه بیشـینه شـتاب هـای افقـی جنـبش زلزلـه کـه از ابتدای نصب دستگاه هـای شـتابنگار تـا پایـان خـرداد مـاه ۱۳۹۱ بـه دسـت آمـده بـا دایـره هـای بـا رنـگ هـای متفاوت برای بازه هـای مختلـف نمـوده شـده اسـت. دایـره های سیاه بیشـینه شـتاب هـای افقـی اسـت کـه بـیش از ۵۰۰ گـال مـی باشـد (بـیش از نصـف شـتاب گـرانش زمین).



شکل ۳- بیشینه شتاب افقی زلزله های ثبت شده به وسیله شبکه شتابنگاری زلزله ایران تا پایان خرداد ۱۳۹۱.

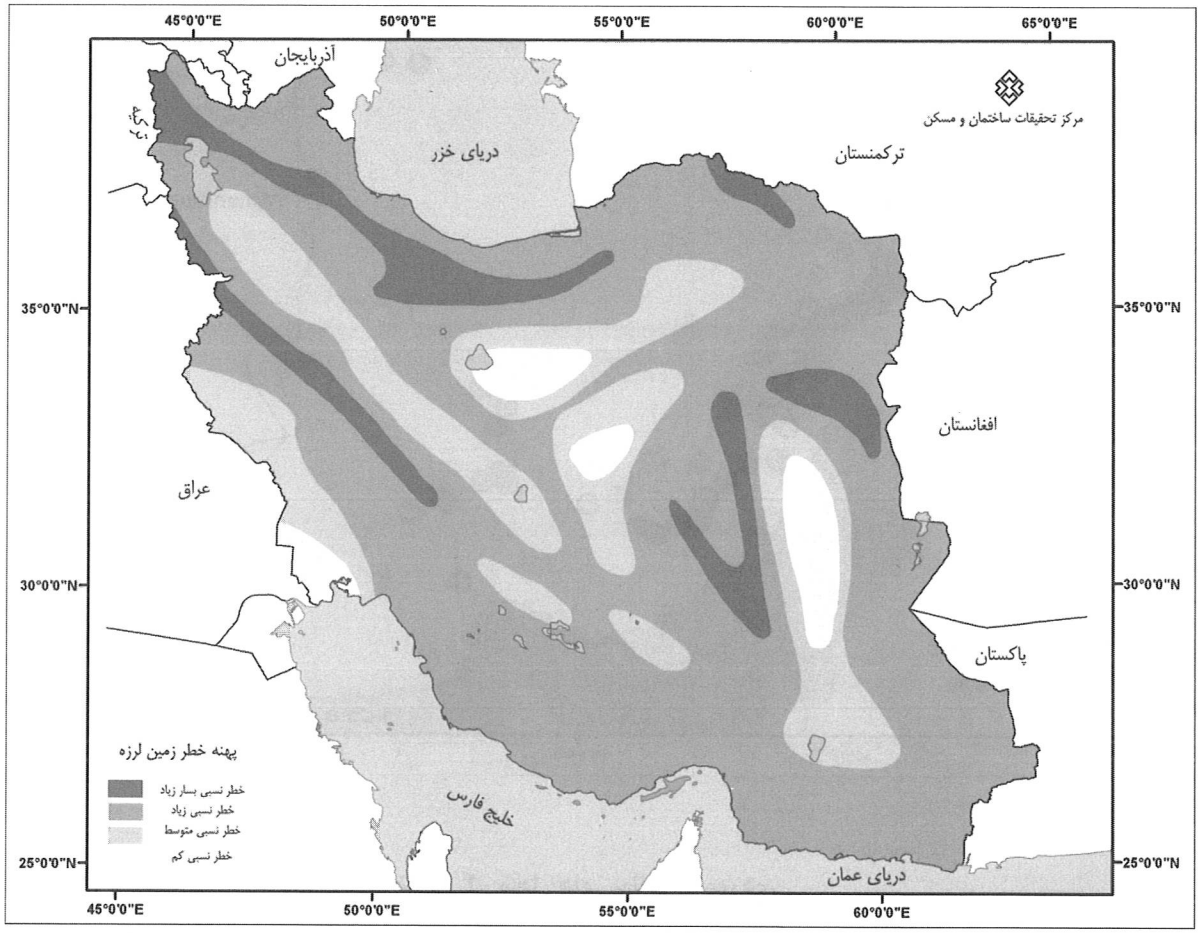
مطالعات موردی- در سال های اخیر برای بسیاری از ساختگاه ها و ابنیه مهم از قبیل سدها و نیروگاه ها که در نقاط مختلف ساخته شده یا می شود، با استفاده از روش های مختلف و روابط برآورد شتاب گوناگون مطالعات و محاسباتی انجام شده که گرچه این محاسبات همه از یک روند یکسان تبعیت نکرده است، ولی مجموعه آن ها می توانست پس از پالایش و همگونی قابل قبول برای انجام کار کارگروه مفید واقع گردد که این امر نیز انجام گردید. محل های مطالعات موردی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- محل های مطالعات موردی

پهنه بندی و شتاب مبنا

از مجموع مطالعات انجام شده و بررسی گزارش های لرزه خیزی که برای برخی از مناطق ایران انجام شده است و محاسبات موردی که به عمل آمد، با توجه به سابقه زلزله خیزی سرچشمه های لرزه زای مناطق مختلف و جزایر ایرانی واقع درخلیج فارس و دریای عمان و دریای مازندران نقشه ای سامان داده شد و کشور ایران به چهار پهنه: پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد، پهنه با خطرنسبی زیاد، پهنه با خطر نسبی متوسط و بالاخره پهنه با خطر نسبی کم تقسیم شده است که در بررسی های ابتدایی، شتاب مبنای آنها به ترتیب برابر با ۰/۳۵g، ۰/۳۰g ، ۰/۲۵g و ۰/۲۰g در نظر گرفته شده است. نزدیک به ۷۰ درصد مساحت این نقشه را منطقه با خطر نسبی زیاد تشکیل می دهد. نقشه جدید پهنه بندی خطر زلزله ایران در شکل ۵ ارائه شده است.



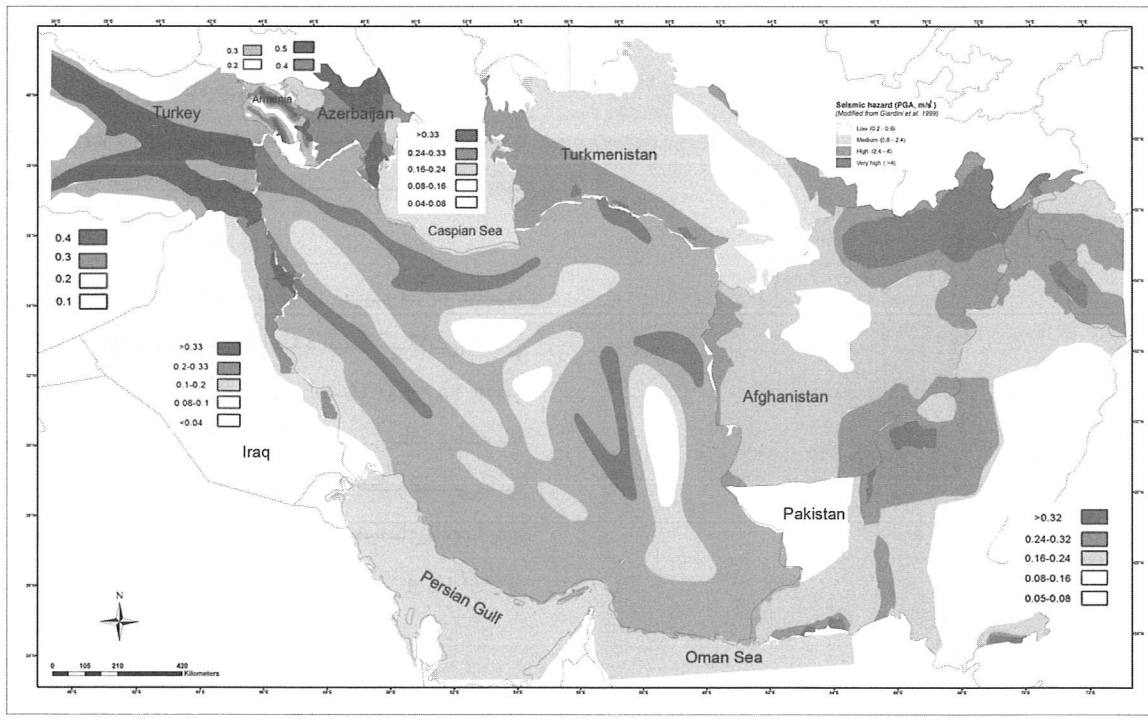
شکل ۵- نقشه جدید پهنه بندی خطر زلزله ایران.

مقایسه با کشورهای همسایه

کشور ایران از نظر جغرافیایی همسایگی تعداد قابل توجهی از کشورهای دیگر را دارد. برای آنکه مقایسه بین کار انجام شده و شتاب های مبنایی که در کشورهای همسایه در نظر گرفته شده است انجام گیرد، شتاب های پیشنهاد شده از طرف این کشورها مورد بررسی قرار گرفت و موارد توافق یا تفاوت های آنها با کار انجام شده مشخص گردید. در این مقایسه در درجه اول نقشه پهنه بندی زلزله مندرج در آیین نامه این کشورها (درصورتی که دارای آیین نامه زلزله باشند) و چنانچه دارای آیین نامه زلزله یا نقشه پهنه بندی نبوده اند، مطالعات موردی که در اختیار بوده

است مورد استفاده قرار گرفته است. میزان سازگاری و ناسازگاری اعدادی که برای شتاب مبنا در کشورهای همسایه اختیار شده با اعدادی که در نقشه پهنه بندی خطر نسبی زلزله در ایران در نظر گرفته شده است، در یک نقشه نشان داده شده است.

در این نقشه اعداد مورد استفاده در کشورهای همسایه باختری با اعداد نقشه پهنه بندی خطر نسبی زلزله در ایران سازگاری بیشتری دارد ولی اعداد مورد استفاده همسایگان خاوری (افغانستان و پاکستان) با اعداد نقشه پهنه بندی ایران تفاوت های بسیار چشم گیر دارد. مقایسه نقشه جدید پهنه بندی خطر زلزله ایران با کشورهای همسایه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- مقایسه نقشه جدید پهنه بندی خطر زلزله ایران با کشورهای همسایه.

نتیجه

این مقاله گرایش های اصلی، روش کار و نتیجه مطالعات تفصیلی انجام شده برای تهیه نقشه جدید پهنه بندی خطر نسبی زلزله در ایران به منظور کاربرد در ویرایش چهارم آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران) را ارائه نمود. افزون بر تحقیقات و مطالعات انجام شده، از مطالعات و داده های موجود و در دسترس دیگر مانند مطالعات موردی ساختگاهی سازه های خاص و غیر معمول (از قبیل سدها و نیروگاه ها) و داده های ثبت شده شتابنگاشتی بهره برداری به عمل آمد که سهم قابل ملاحظه ای در بالا بردن دقت نقشه تهیه شده ایفا نمودند.

در مقایسه با نقشه قبلی، برخی تغییرات در نقشه جدید خطر زلزله به وجود آمده است. با این حال مانند قبل، نقشه شامل چهار پهنه است: پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد، پهنه با خطرنسبی زیاد، پهنه با خطر نسبی متوسط و بالاخره پهنه با خطر نسبی کم که در بررسی های ابتدایی، شتاب مبنای آنها به ترتیب برابر با ۰/۳۵g، ۰/۳۰g، ۰/۲۵g و ۰/۲۰g در نظر گرفته شده است.

مقایسه نقشه بازنگری شده با نقشه های مشابه در کشورهای همسایه نشان می دهد که اعداد مورد استفاده در کشورهای همسایه باختری سازگاری بیشتری با اعداد نقشه بازنگری شده ایران دارد، در حالی که در اعداد مورد استفاده همسایگان خاوری تفاوت های بسیار چشم گیر با اعداد نقشه پهنه بندی ایران مشاهده می شود.

افزون بر نقشه پهنه بندی خطر زلزله ایران، مطالعات انجام شده نتایج دیگری به عنوان تولیدات جنبی دربر داشت که مهمترین آنها نقشه به روز شده و یکدست شده گسله های ایران و همچنین کاتالوگ به روز شده و یکدست شده سرچشمه های لرزه ای ایران (نقشه رومرکز زلزله های ایران) می باشند.

قدردانی

این مقاله با بهره گیری از مطالعات "کارگروه پهنه بندی خطر زلزله ایران- کمیته دایمی استاندارد ۲۸۰۰ ایران" تدوین شده است. پشتیبانی های مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن شایسته قدردانی است.

مراجع

۱. پهنه بندی مقدماتی خطر زلزله در ایران به منظور کاربرد در آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله، نشریه شماره ۷۳ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، خرداد ۱۳۶۶، علی اکبر معین فر، مانوئل بربریان، منوچهر قرشی، علی اصغر ظهوریان ایزد پناه و احمد نادرزاده.

۲. Ambrasys, N.N. and Melville, C.P. (۱۹۸۲). "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press. ۲۱۹ PP.

۳. Ambraseys, N. and Moinfar, A.A. (۱۹۷۳). "The Seismicity of Iran: The Silakhor, Lurestan Earthquake of ۲۳rd January ۱۹۰۹". Annali di Geofisic, Italy.

۴. Berberian, M. (۱۹۷۶). "Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II)", Geol. Surv. Iran, ۳۹, ۵۱۸ pp.

۵. Berberian, M. (۱۹۷۹). "Seismic Sources of the Transcaucasian Historical Earthquakes, Historical and Pre-historical Earthquakes in the Caucasus", D. Giardini and S. Balassanian (Eds), NATO Asi Series, ۲. Environment, vol. ۲۸, Kluwer Academic Press, The Netherlands, ۲۳۳-۳۱۱.

۶. Berberian, M. (۱۹۹۵). "Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran Prior to ۱۹۰۰", International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, ۶۰۳+۶۶ p.

۷. Berberian, M. (۱۹۹۵). "Master Blind Thrust Fault Hidden under the Zagros Fold: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics", Tectonophysics, ۲۴۱, ۱۹۳-۲۲۴.

۸. Berberian, M. and Yeats, R.S. (۱۹۹۹). "Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau", Bull. Seis. Soc. Am. ۸۹, pp. ۱۲۰-۱۳۹.

۹. Berberian, M. (۱۹۹۹). "The ۱۹۹۷ May ۱۰ Zirkuh (Qaenat) Earthquake Faulting along the Sistan Sutur Zone of Eastern Iran", Geophysical Journal International, ۱۳۶, ۶۷۱-۶۹۴.

۱۰. Boyd, O.S., Mueller, S.and Rukstales, K.S. (۲۰۰۷). "Preliminary Earthquake Hazard Map of Afghanistan", USGS, Open-File Report ۲۰۰۷-۱۱۳۷.

۱۱. Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (۲۰۰۳). "Updated Near-Source Ground Motion (Attenuation) Relation for the Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, and Acceleration Response Spectra", Bull. Seis. Soc. Am. ۸۹, pp. ۱۲۰-۱۳۹.

۱۲. Copley, A. and Jackson, J. (۲۰۰۶). "Active tectonics of the Turkish-Iranian Plateau", Tectonics, ۲۵, TC ۶۰۰۶, doi: ۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰۵ TC ۰۰ ۱۹۰۶.

۱۳. Cornell, C.A. (۱۹۶۸). "Engineering Seismic Risk Analysis", Bull. Seis. Soc. Am., Vol. ۹۳, No. ۱, pp. ۳۱۴-۳۳۱.

۱۴. Engdahl, E.R., Jackson, J.A., Myers, S.C., Bergman, E.A. and Priestly, K. (۲۰۰۶). "Relocation and Assessment of Seismicity in the Iran Region", Geophys. J. Int., ۱۶۷, ۷۶۱-۷۷۸.

۱۵. Geological Survey of Iran. "Geological Maps", ۱:۲۵۰،۰۰۰ Series, More than ۴۰ quadrangle maps.

۱۶. Giardini, D., Grunthal, G., Shedlock, K.M. and Zhang, P. (۱۹۹۹). "The GSHAP Global Seismic Hazard Map", Annali di Geophisica, Vol. ۴۲, N. ۶, Dec. ۱۹۹۹.

۱۷. Gutenberg, B. and Richter C.F. (۱۹٤۹). "Seismicity of the Earth". Princeton University Press.

۱۸. Hesami, Kh., Jamali, F. and Tabasi, H. (۲۰۰۳). "Major Active Faults of Iran", ۱:۲،۵۰۰،۰۰۰, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tehran.

۱۹. ICSRDB (۲۰۰۵). "Iranian Code of Practice for Earthquake Resistant Design of Buildings (Standard ۲۸۰۰)", ۳rd Edition, PN S ۲۵۳, Building and Housing Research Center of Iran.

۲۰. Karakhanian, A.S., et. al. (۲۰۰۴). "Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and Northwestern Iran", Tectonophysics, ۳۸۰, ۱۸۹-۲۱۹.

۲۱. Kijko, A. and Sellevoll, M.A. (۱۹۸۹). "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data File, Part I. Utilization of Extreme and Complete Catalogs with Different Threshold Magnitudes" Bull. Seis. Soc. Am., Vol. ۷۹, No. ۳, pp ۶۴۵-۶۵۴.

۲۲. Kijko, A. and Sellevoll, M.A. (۱۹۹۲). "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data File Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity", Bull. Seis. Soc. Am., Vol. ۸۲, No.۱, pp ۱۲۰-۱۳۴.

۲۳. Moinfar, A.A., Mahdavian, A. and Maleki, E. (۱۹۹۴). "Historical and Instrumental Earthquakes Data Collection of Iran", Iranian Cultural Fairs Institute.

۲۴. Moinfar, A.A., Maleki, E. and Naderzadeh, A. (۱۹۹۵). "Seismic Hazard and Iso-acceleration Map of Northwest of Iran", Proc. ۵th Int'l Conf. on Seismic Zonation. Vol. ۱, pp. ۴۷۲-۴۷۹. Nice, France.

۲۵. Moinfar, A.A., Naderzadeh, A. and Maleki, E. (۱۹۹۸). "A New Seismic Hazard Map for the Implementation in the National Physical Planning of Iran", Proc. Conf. on the occasion of the ۱۰th anniversary of the Spitak, Armenia earthquake. Yerevan, Armenia.

۲۶. Moinfar, A.A., Naderzadeh, A. and Nabavi, M.H. (۲۰۱۲). "New Iranian Seismic Hazard Zoning Map for New Edition of Seismic Code and Its Comparison with Neighbor Countries", Proc. ۱۵th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.

۲۷. Nabavi, M.H. (۱۹۷۶). "An Introduction to the Geology of Iran", Geological Survey of Iran.

۲۸. Nogol-Sadat, M.A.A. and Almasian, M. (۱۹۹۳). "Tectonic Map of Iran", Geological Survey of Iran.

۲۹. Sahandi, M.R. and Soheyli, M. (۲۰۱۱). "Geological Map of Iran", ۱:۱،۰۰۰،۰۰۰, Geol. Survey of Iran, Tehran.

۳۰. Shoja-Taheri, J., Naserieh, S. and Hadi, G. (۲۰۱۰). "A Test of Applicability of NGA Models to the Strong Ground Motion Data in the Iranian Plateau", Journal of Earthquake Engineering, ۱۴:۲۷۸-۲۹۲.

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۲۵ تا ۳۰

فرآیند بهسازی لرزه‌ای مدارس در کشور

مرتضی رئیسی دهکردی
معاون عمرانی وزیر آموزش و پرورش و رئیس سازمان نوسازی ، توسعه و تجهیز مدارس کشور
عضو هیئت علمی دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
mraissi@iust.ac.ir

چکیده :
وقوع زلزله طبس در سال ۱۳۵۷، زلزله منجیل در سال ۱۳۶۸ و زلزله بم در سال ۱۳۸۲ سه رخداد عظیم لرزه ای در تاریخ معاصر کشور از حیث تلفات انسانی سنگین و خسارت مالی فراوان بود. در تاریخ مهندسی چندین دهه کشور می‌توان زلزله طبس را " بیداری نخبگان " و زلزله منجیل را به " بیداری دولت " در زمینه رعایت اصول مهندسی زلزله در ساخت و سازها دانست. رخداد زلزله بم قدری متفاوت است و می‌توان از آن به " بیداری دولت در زمینه مقاوم‌سازی " تعبیر کرد.

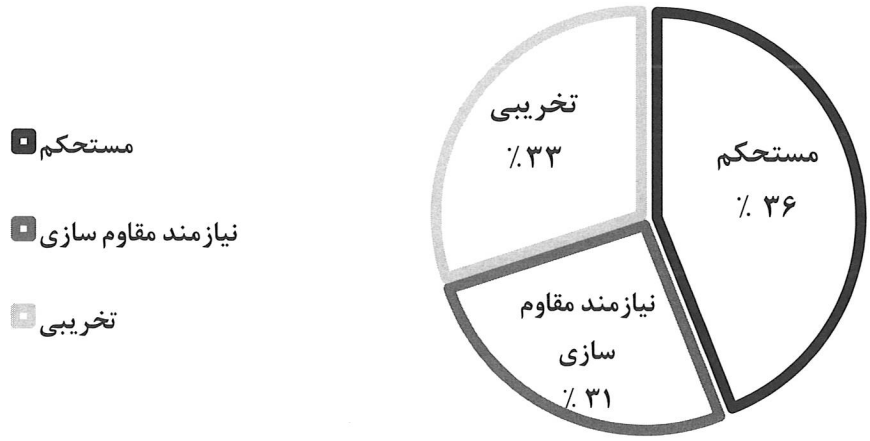
واژه‌های کلیدی : زلزله ، مقاوم‌سازی ، مدارس ، دانش‌آموزان ،مطالعه ، اجرا

۱- مقدمه

موضوع بهسازی لرزه‌ای در دنیا و به خصوص در کشور ما قدمت بالائی ندارد. اولین جرقه‌های مقاوم سازی در کشور در اواخر دهه هفتاد زده شد. به دنبال وقوع زلزله مهیب بم در سال ۱۳۸۲ و تلفات سنگین و خسارات فراوان ناشی از این رخداد ، مسئولین کشور موضوع بهسازی لرزه‌ای را جدی گرفتند. در سالهای ۸۲-۷۹ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود با اقتباس از نشریات FEMA تدوین شد. از سال ۱۳۸۳ طی یک فرآیند نسبتاً مهندسی ، ساختمانهای تمامی مدارس در کشور بازدید میدانی و ارزیابی از جهات مختلف (مخصوصاً در مقابل زلزله) صورت پذیرفت و در طی این روند مشخص شد که درصد قابل توجهی از مدارس کشور الزامات مندرج در ویرایش دوم آئین نامه ۲۸۰۰ را برآورده نمی‌کنند. نتیجه این بررسی منجر به تصویب قانون **" تخریب و بازسازی مدارس خطر آفرین و مقاوم‌سازی مدارس بدون استحکام "** در سال ۱۳۸۵ شد که بر اساس این قانون اعتباری معادل ۳/۹۵۴ میلیارد دلار به قیمت های سال ۱۳۸۵ برای تخریب و بازسازی حدود ۱۳ میلیون متر مربع فضای آموزشی خطرآفرین و حدود ۱۲ میلیون مترمربع فضای آموزشی نیازمند مقاوم سازی به تصویب رسید و از سال مذکور این پروژه بزرگ در کشور شروع شد.

۲- وضعیت ساختمانهای آموزشی در سال ۱۳۸۴

بررسیهای میدانی و نتایج حاصل از اجرای طرح شناسنامه مدارس طی سالهای ۱۳۸۴- ۱۳۸۳ نشان می‌دهد (شکل -۱) که از مجموع ۴۰۲/۵۰۰ کلاس درس کشور با زیربنای ۴۵/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰ مترمربع حدود ۱۳۲/۰۰۰ کلاس درس (۳۳٪) فاقد حداقل الزامات سازه‌ای برای مقاومت در مقابل زلزله بوده‌اند. بخش اعظم این کلاسها کاملاً بصورت غیر مهندسی و بصورت خشت و گلی ، سنگ و گلی ، آجری بدون کلاف قائم و افقی ، آجری بدون کلاف قائم و... بوده اند. بررسیهای اولیه نشان می‌داد که حدود ۱۲۶/۰۰۰ کلاس درس (۳۱٪) نیز با الزامات ویرایش دوم آئین‌نامه ۲۸۰۰ فاصله دارند و لذا باید مطالعات مقاوم‌سازی در مورد آنها صورت پذیرد. بررسیها نشان می‌داد که ۸۰٪ ساختمانهای نیازمند مقاوم‌سازی بصورت یک و دو طبقه آجری بوده و حدود ۸۰٪ سقف طبقات در این دسته از ساختمانها از نوع طاق ضربی می‌باشند.



شکل -۱ : نمودار وضعیت کلاسهای درس در کشور در سال (۱۳۸۴)

۳- دلائل مقاوم‌سازی مدارس

آمار دانش‌آموزی در سال ۱۳۸۴ بیانگر این است که حدود ۱۳ میلیون نفر از جمعیت ۱۸-۶ سال کشور در مدارس دولتی در حال تحصیل بودند که از این تعداد حدود ۴/۶ میلیون نفر در مدارس تخریبی و ۴/۳ میلیون نفر در مدارس نیازمند مقاوم‌سازی مشغول دانش‌آموختن بودند. جالب این است که بررسی‌های میدانی بیانگر این حقیقت بود که بیشتر مدارس تخریبی و نیازمند مقاوم‌سازی در شهرهای پرجمعیت و بافت‌های فرسوده شهری و مناطق با خطر نسبی زیاد یا خیلی زیاد قرار داشتند.

لذا به دلائل زیر تخریب ، بازسازی و مقاوم‌سازی مدارس در کشور آغاز شد :

- تلفات سنگین و غیر قابل جبران دانش‌آموزی در صورت بروز زلزله شدید یا خیلی شدید در زمان تحصیل ایشان.
- آسیب پذیری بیشتر دانش آموزان در مقیاس با سایر اقشار جامعه بطوریکه در صورت بروز تلفات دانش‌آموزی ، بشدت احساسات جامعه جریحه‌دار می شود.
- دانش‌آموزان سرمایه‌های انسانی وآینده‌سازان کشور محسوب می‌شوند.
- به علت فراوانی مدارس ، مقاوم‌سازی می‌تواند منجر به گسترش فرهنگ بهسازی لرزه‌ای در کشور شود.
- مدارس می‌توانند بعنوان پایگاههای امداد و نجات پس از زلزله و سایر حوادث طبیعی استفاده شوند.

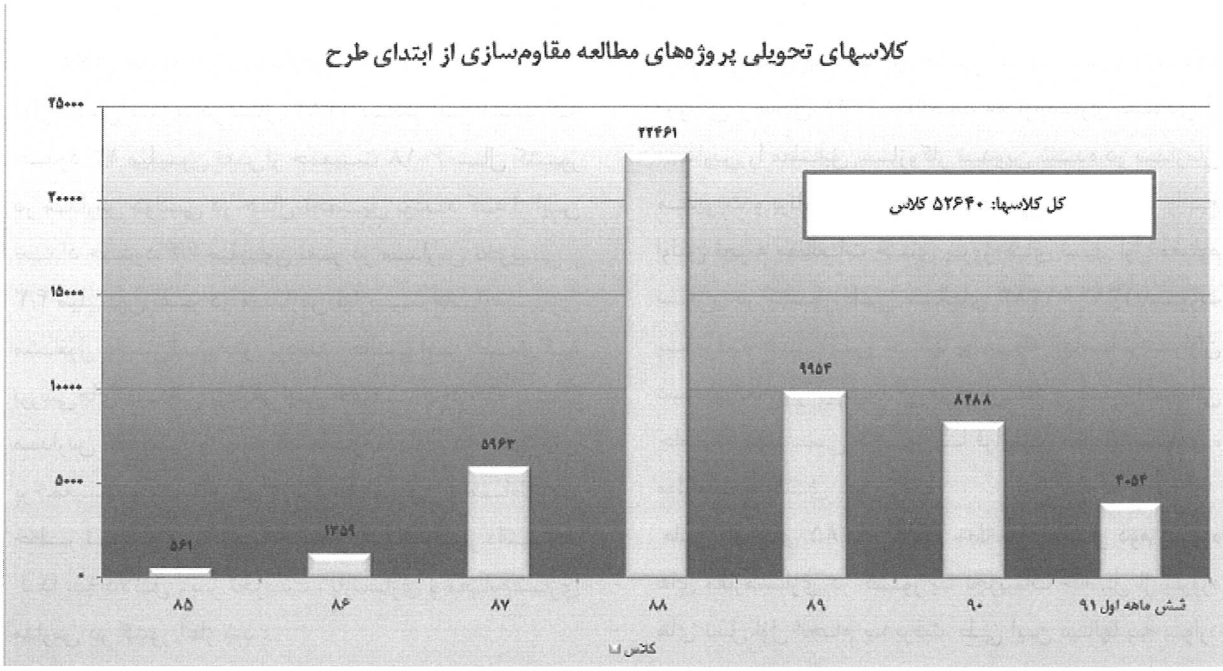
۴- شروع مطالعات مقاوم‌سازی مدارس در کشور

سازمان نوسازی مدارس کشور بعنوان اولین دستگاه اجرائی از سال ۱۳۸۴ مطالعات مقاوم‌سازی تعدادی از مدارس را مطابق سازوکار تدوین شده در سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی وقت شروع نمود و در واقع اولین تجربه مطالعات جدی پروژه‌های نسل اول مقاوم سازی در کشور طی سالهای ۱۳۸۳- ۱۳۸۲ صورت پذیرفت. طی این سالها بواسطه ابهامات فراوان دستورالعمل و پیچیدگی‌های زیاد و عدم آشنائی جامعه مهندسی کشور با فرآیند مقاوم‌سازی ، مطالعات به کندی پیش رفت.

طی سالهای ۱۳۸۵- ۱۳۸۳ مطالعات نسل دوم پروژه های مقاوم‌سازی در کشور با تجربیات حاصل از پروژه های نسل اول انجام پذیرفت. طی این سالها به موارد زیر توجه خاص شد :

- توسعه روشهای مطالعاتی
- ایجاد زمینه لازم برای افزایش قابل توجه مهندسان مشاور مقاوم‌سازی
- آموزش گسترده مبانی مقاوم‌سازی برای کارشناسان
- تعریف ساختار جهت مدیریت گسترده بر روند مطالعات مقاوم‌سازی در سطح کشور
- آموزش عوامل اجرائی (پیمانکاران) در سطح کشور

با تصویب قانون مقاوم‌سازی مدارس در سالهای ۱۳۸۵ ، نسل سوم مطالعات مقاوم‌سازی در کشور شروع و روند مطالعات مقاوم‌سازی شتاب روزافزونی گرفت و طی سالهای ۱۳۹۰-۱۳۸۵ تعداد پروژه و کلاس مورد مطالعه بصورت چشمگیری افزایش یافت (شکل- ۲).

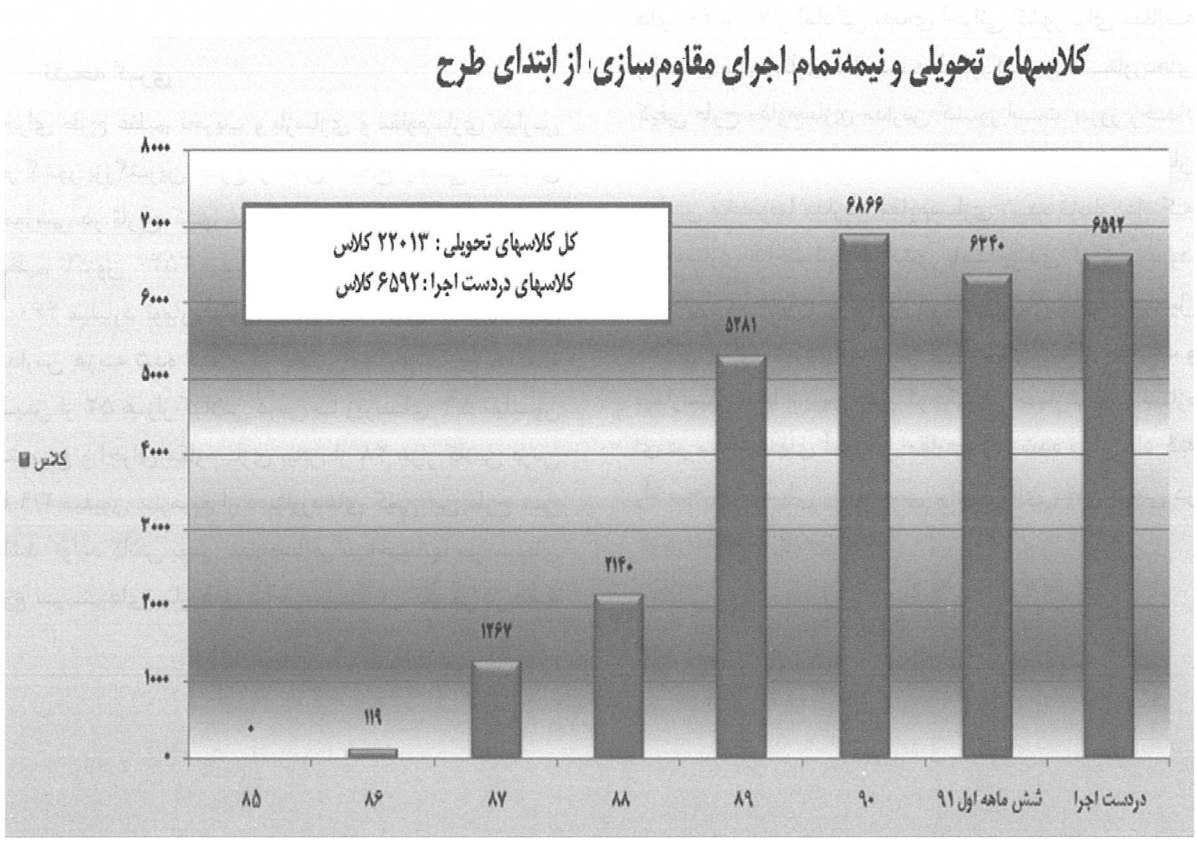


شکل – ۲ : تعداد کلاس مطالعه شده مقاوم‌سازی

طی این سالها دستورالعمل‌ها ، آئین‌نامه‌های همسان ، گزارشات فنی و روشهای مناسب و قابل اجرای مقاوم سازی در کشور نهادینه شد و در واقع کشور به یک دانش بومی در زمینه مقاوم‌سازی ساختمانها با توجه به نوع سیستم‌های سازه‌ای موجود در کشور دست یافت. ایجاد انسجام و هماهنگی در طرحهای مقاوم سازی ، گردش اطلاعات و انتقال تجربیات ، مستند سازی و انتخاب صحیح روشهای مقاوم‌سازی از ویژگیهای مهم نسل سوم مطالعات مقاوم‌سازی مدارس در کشور می‌باشد.

۵- روند اجرای مقاوم سازی مدارس در کشور

اولین پروژه مقاوم‌سازی مدارس در سال ۱۳۸۴ شروع شد ولی کار انبوه اجرای مقاوم‌سازی از سال ۱۳۸۶ در کشور آغاز شد. از سال ۱۳۸۶ تاکنون اجرای مقاوم سازی ۲۲۰۱۳ کلاس درس با زیربنای ۲/۲ میلیون مترمربع در اقصی نقاط کشور به پایان رسیده است و اکنون نیز مقاوم‌سازی ۶۵۹۲ کلاس درس با زیربنای ۷۰۰ هزار مترمربع در دست اجرا می‌باشد که تا آخر سالجاری به پایان خواهد رسید. به عبارتی جمهوری اسلامی ایران توانسته است طی کمتر از ۶ سال و با استفاده از توان فنی و مهندسی ایرانی حدود ۲/۹ میلیون مترمربع فضای آموزشی خود را مقاوم‌سازی نماید. همانطور که در نمودار (شکل – ۳) مشخص است ، عمده عملیات اجرای مقاوم‌سازی مدارس بعد از سال ۱۳۸۶ انجام شده است و با توجه به افزایش سرعت مطالعات و شناخت روشهای مقاوم‌سازی ، روند اجرای مقاوم‌سازی در سالهای آتی افزایش قابل توجهی خواهد یافت.



شکل – ۳ : نمودار اجرای مقاوم‌سازی مدارس کشور

۶- روشهای استفاده شده در مقاوم‌سازی مدارس

عمدتا برای مقاوم‌سازی ساختمانهای مدارس (مضافاً بر ایجاد انسجام) از ترکیب دو روش افزایش مقاومت جانبی و کاهش جرم ساختمان استفاده شده است. به جرات می‌توان گفت که از تمامی روشهای شناخته شده بهسازی لرزه‌ای (به جز استفاده از عایق ارتعاشی و استهلاک انرژی) در مطالعه و اجرای مقاوم‌سازی مدارس کشور بهره‌گیری شده است. روشهای عمده بکارگیری شده در بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای مدارس به شرح زیر می‌باشد :

- استفاده از شاتکریت داخلی یا پیرامونی یا ترکیبی در ساختمانهای آجری
- استفاده از دیوارهای برشی
- استفاده از قاب محیطی
- استفاده از هسته های مقاوم
- تقویت قابهای ساختمانی موجود
- روش تسلیح مغزه
- تقویت سیستم سازه ای موجود

۷- نتیجه گیری

اجرای طرح عظیم تخریب و بازسازی و مقاوم‌سازی مدارس در کشور بزرگترین طرح ارتقای سطح ایمنی فضاهای آموزشی در تاریخ کشور می‌باشد. برای اجرای این طرح عظیم تاکنون ۳۵۴۰ میلیارد تومان برای تخریب و بازسازی و ۴۶۰ میلیارد تومان برای مطالعه و اجرای مقاوم‌سازی مدارس هزینه شده است. در بخش مقاوم‌سازی مطالعه بیش از ۵۲ هزار کلاس درس با زیربنای ۵/۲ میلیون مترمربع و اجرای مقاوم‌سازی بیش از ۲۸ هزار کلاس درس با ۲/۹ میلیون مترمربع از دستاوردهای کمی این طرح می باشد. تولید دانش بومی مقاوم‌سازی ساختمانها بر مبنای نوع سیستم‌های سازه‌های ساخته شده در کشور در دهه های ۶۰ و ۷۰ و آمادگی بدنه‌ی اجرائی کشور برای مطالعه و اجرای مقاوم‌سازی ساختمانها از بزرگترین دستاوردهای کیفی طرح مقاوم‌سازی مدارس کشور است. بروز رخداد زلزله‌ی ورزقان در خردادماه سالجاری و مقاومت ساختمان مدارس مخصوصا مدارس مقاوم‌سازی شده نشان داد که مقاوم‌سازی ساختمانها در کشور باید جدی گرفته شود. اسکان هموطنان زلزله‌زده در این ساختمانها ، تبدیل مدارس مقاوم‌سازی شده به پایگاههای امداد ، نجات و بیمارستان و عدم بروز حتی کوچکترین خسارت غیر سازه ای در ساختمانهای آموزشی مقاوم‌سازی شده نشان داد که راه صحیح ، اصولی و مهندسی برای ارتقای سطح ایمنی در کشور مقاوم‌سازی می‌باشد.

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۳۱ تا ۴۲

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس؛ ویژگی‌های زمین‌لرزه و آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های متداول

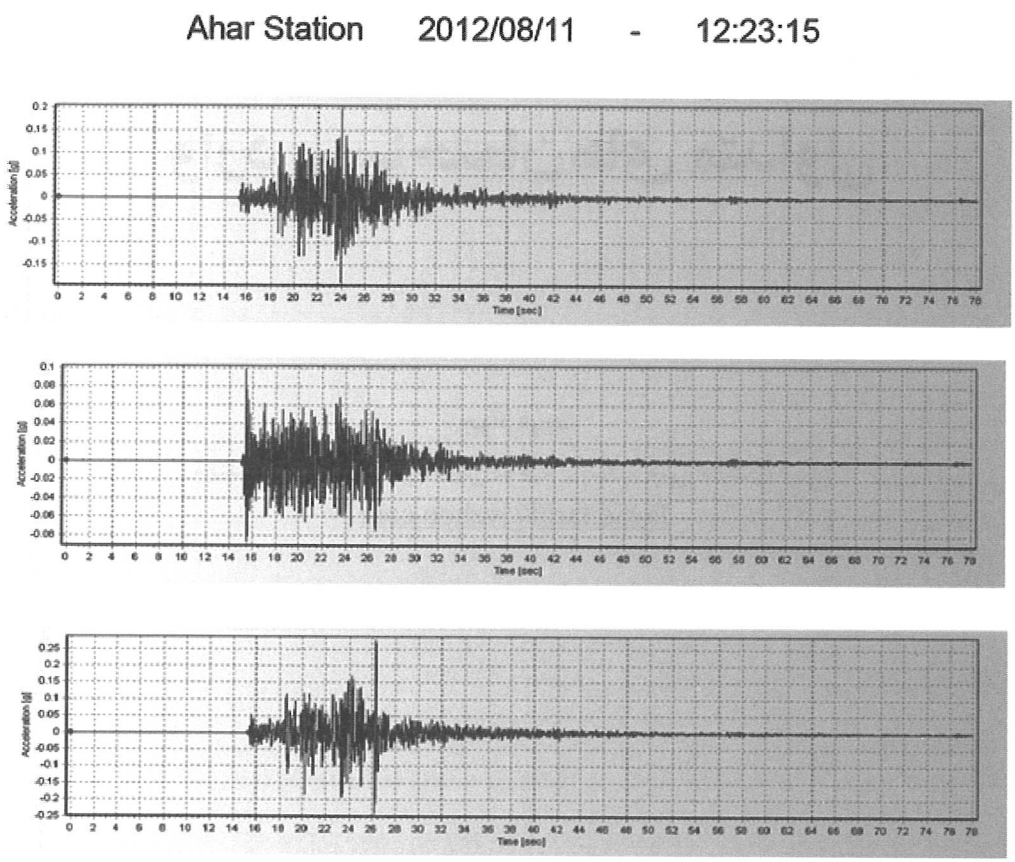
جواد فرید
مهندس راه و ساختمان، دانش‌آموخته دانشکده فنی، دانشگاه تهران
Javad.farid@yahoo.com

چکیده :
در بعد از ظهر ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱، دو زمین لرزه با اختلاف زمانی یازده دقیقه، گستره‌ی شهرهای اهر، ورزقان و هریس و روستاهای اطراف آن‌ها را لرزاندند و تلفات جانی و خسارات مالی قابل توجهی بر جای گذاشتند. در این مقاله، پس از اشاره به ویژگی‌های این زلزله دوگانه، به آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های متداول در منطقه زلزله‌زده پرداخته شده است.

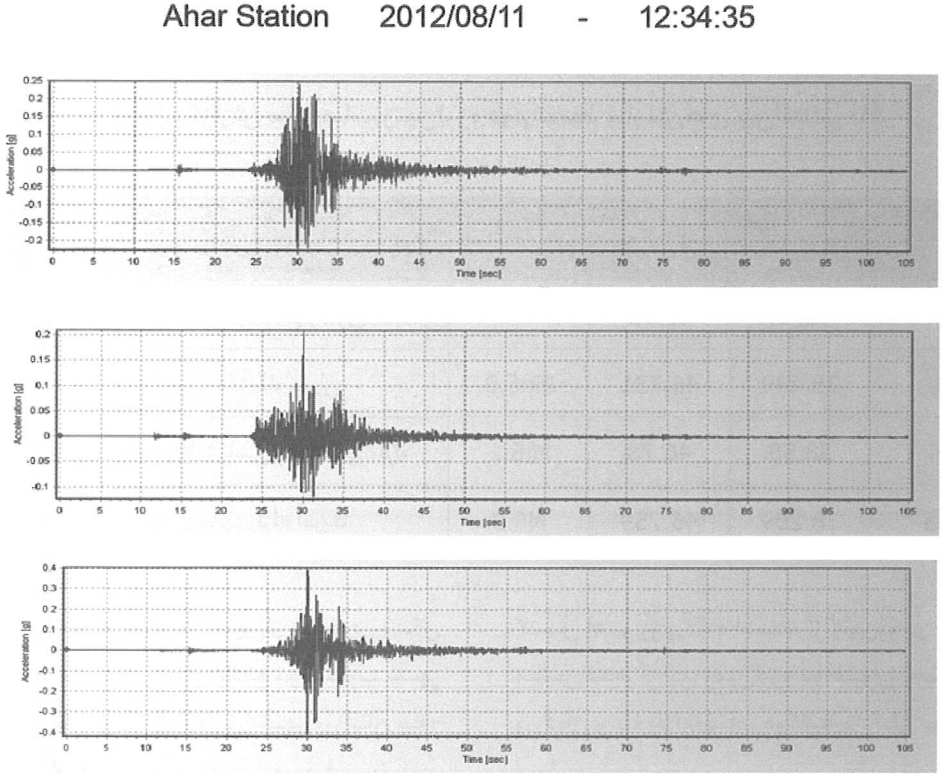
۱ـ ویژگی‌های زلزله

بعد از ظهر روز شنبه ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱، در ساعت ۱۶:۵۳:۱۵ به وقت محلی (ساعت ۱۲:۲۳:۱۵ به وقت بین‌المللی) زمین‌لرزه‌ای گستره شهرهای ورزقان، اهر، هریس و روستاهای اطراف آن‌ها را لرزاند. یازده دقیقه پس از این تکان، لرزه دیگری با شدتی بیشتر همین مناطق را لرزاند. در بازه زمانی این دو تکان اصلی، پس‌لرزه‌ای حدود ۶ دقیقه پس از رخداد زمین‌لرزه اول، روی داد. این لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های متعاقب، آن‌ها در برخی از مناطق استان‌های شمالی و شمال‌غربی کشور از جمله آذربایجان‌شرقی، آذربایجان‌غربی، اردبیل، زنجان، گیلان و کردستان احساس گردیدند.

بزرگای گشتاوری زمین‌لرزه اول، پس لرزه متعاقب آن و زمین‌لرزه دوم توسط موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به ترتیب برابر ۶٫۲ ، ۴٫۹ و ۶ گزارش شد و بیشینه شتاب این لرزه‌ها به ترتیب حدود ۴۷۸ سانتی‌مترمربع بر مجذور ثانیه (در ایستگاه سد ستارخان ۳، تاج سد) ۱۵۹ سانتی‌مترمربع بر مجذور ثانیه (در ایستگاه ورزقان) و ۵۳۴ سانتی‌مترمربع بر مجذور ثانیه (در ایستگاه ورزقان) ثبت شده است.



شکل ۱ـ نگاشت ثبت شده از زمین‌لرزه اول در ایستگاه اهر [۱]



شکل ۲ـ نگاشت ثبت شده از زمین‌لرزه دوم در ایستگاه اهر [۱]

بیش از ۷۵ ایستگاه شتاب‌نگاری، نگاشت‌های جالب توجهی از شتاب زمین ارایه داده‌اند. برای نمونه رکوردهای ثبت شده از زمین لرزه اول و دوم در ایستگاه اهر در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. جداول ۱ و ۲ نیز مشخصاتی را نشان می‌دهند که توسط سازمان‌های بین‌المللی برای دو تکان اصلی، ارایه شده‌اند.

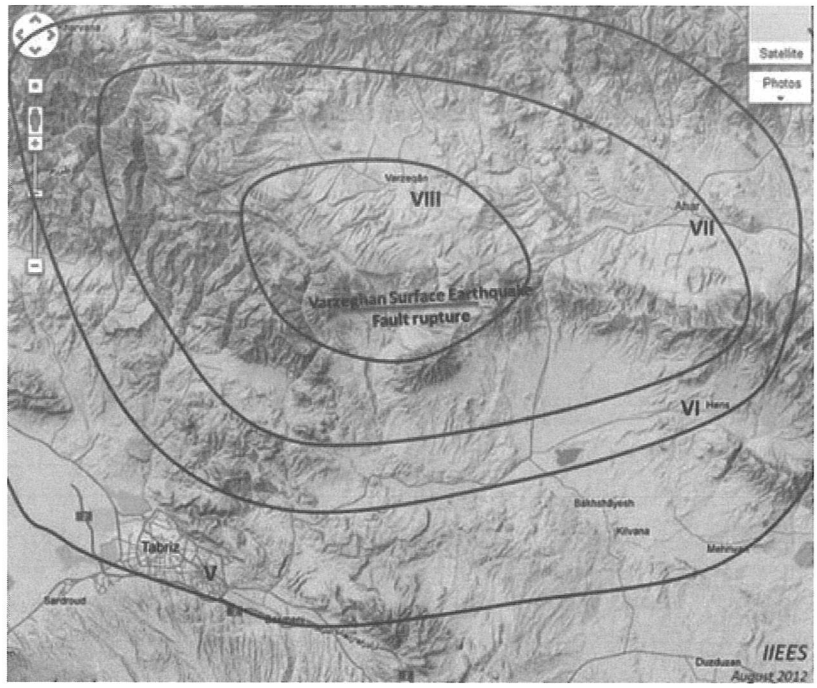
جدول ۱ـ گزارش مشخصات زمین‌لرزه اول توسط سازمان‌های بین‌المللی [۱]

نام	بزرگی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق (km)
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	-	46.86	38.52	-
موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران	Mn6.2	46.865	38.495	10
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله	Ml6.1	46.87	38.55	15
مرکز ملی اطلاع‌رسانی زلزله آمریکا	M6.4	46.888	38.322	9.5

جدول ۲ـ گزارش مشخصات زمین‌لرزه دوم توسط سازمان‌های بین‌المللی [۱]

نام	بزرگی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق (km)
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	-	46.75	38.45	-
موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران	Mn6.0	46.731	38.449	10
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	Ml6.1	46.78	38.58	14
مرکز ملی اطلاع‌رسانی زلزله آمریکا	M6.3	46.759	38.209	9.5

نقشه مقدماتی خطوط هم‌شدت زمین‌لرزه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. گسل واقع در جنوب شهر اهر و گسل قوشه داغ در نزدیکی شهر ورزقان به‌عنوان گسل‌های مسبب این دو زلزله معرفی شدند. گفتنی است چون زلزله نخست در نتیجه فعال شدن گسل اهر روی داده است، از این‌رو در مقالات فنی منتشر شده، از این زمین‌لرزه با عنوان زمین‌لرزه اهر - ورزقان و یا زلزله‌های دوگانه ورزقان نام برده شده است.



شکل ۳ـ نقشه هم‌شدت زمین‌لرزه [۲]

۲- آسیب‌های ناشی از زلزله

مانند اکثر زلزله‌هایی که در پنجاه سال گذشته در پهنه ایران روی داده‌اند این بار نیز مناطق روستایی، نخستین آماج زمین‌لرزه بودند.

۲۸۲ روستای واقع درناحیه کلان‌لرزه‌ای اهر، ورزقان و هریس و ۲۰ روستای واقع در شمال‌غربی تبریز، زلزله را با صدمات اساسی از سرگذراندند. بالغ بر ۲۲۰۰۰ خانه روستایی و ۱۸۰۰۰ ساختمان شهری آسیب دیدند و ۱۲۰۰۰ نفر تحت تاثیر مستقیم رخداد زلزله و آثار تبعی آن قرار گرفتند. تلفات جانی زلزله ۳۰۶ کشته و ۳۰۳۷ مجروح (براساس آمار وزارت بهداشت و درمان) گزارش گردید. شریان‌های حیاتی از جمله شبکه‌های برق، مخابرات، گاز، راه‌های دسترسی و آب روستایی نیز دچار آسیب‌های جدی شدند. هراس از پس‌لرزه‌ها و استمرار آن‌ها، موجب استقرار مردم در فضای باز در شهرهای مذکور و هم‌چنین در شهر تبریز گردید.

خسارات مالی ناشی از زلزله در یک برآورد اولیه بالغ بر یک هزار میلیارد تومان عنوان شد. از آن میان، مطابق گزارش‌های منتشر شده در رسانه‌های نوشتاری، خسارات مالی وارد بر شبکه‌های آب و برق ۷۲ میلیارد تومان، راه‌ها و ابنیه فنی مربوط ۵۲ میلیارد تومان و شبکه گاز ده میلیارد تومان اعلام گردید.

۳- آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های متداول

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس، آسیب‌های گوناگون با درجات متفاوتی را به ساختمان‌های متداول منطقه وارد کرده است. این آسیب‌ها به تبع اسکلت ساختمان، مصالح مصرفی، شیوه اجرا و... متفاوت‌اند. مطالعات محلی و بررسی نحوه رفتار و آسیب دیدگی این ساختمان‌ها در اثر زلزله، گام مهمی در ارزیابی پایداری انواع ساختمان‌ها و تعیین نقاط قوت و ضعف آن‌ها به شمار می‌رود.

این بررسی‌ها نشانگر اشتباه‌های طراحی، خطاهای اجرایی و به‌طور کلی نادیده گرفتن استانداردها و ضوابط فنی توسط دست‌اندرکاران احداث ساختمان‌ها است. جالب آن است که این موارد، هر بار که زلزله‌ای شدید و یا حتی متوسط، نقاطی از پهنه ایران زمین را لرزانده، از سوی متخصصان و صاحب‌نظران گفته یا نوشته شده است. آن‌چه هم در پی‌آمد به‌عنوان علل خرابی ساختمان‌های مختلف در زلزله‌ها آورده شده، در واقع چکیده نظرات و برداشت کارشناسان از زلزله‌های مختلف کشور می‌باشد. با این‌حال، این ندانم کاری‌ها منبعث از کم‌دانشی، غفلت در اجرا، آزمندی برای حصول سود بیشتر، فقر فرهنگی و اقتصادی صاحبان کار، هنوز هم ادامه دارد. زمین‌لرزه ۲۱ مرداد ماه ۹۱ اهر، ورزقان و هریس، انگیزه‌ای شد تا این سخن‌ها دوباره گفته شوند. از این‌رو در ادامه به بررسی عملکرد ساختمان‌های متداول در برابر زلزله پرداخته می‌شود.

۳-۱- ساختمان‌های بنایی آجری

ساختمان‌های بنایی، آن دسته از ساختمان‌ها هستند که دیوارهای آن‌ها، تمام یا بخشی از بارهای قائم را می‌برند و با آجر توپر، بلوک سیمانی و یا سنگ ساخته می‌شوند. سقف این گونه ساختمان‌ها می‌تواند تیرهای فولادی با طاق ضربی و یا تیرچه‌های بتنی با بلوک‌های سفالی یا سیمانی باشد. مطابق ضوابط فصل سوم آیین‌نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم)، ساختمان‌هایی که در آن‌ها بخشی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی و قسمتی دیگر توسط عناصر فلزی یا بتن مسلح تحمل می‌شوند، در ردیف ساختمان‌های بنایی به‌حساب می‌آیند. چنین ساختمان‌هایی موسوم به ساختمان‌های نیم اسکلت یا مختلط در منطقه زلزله زده موجود هستند که ساختمان مساجد در روستاهای آسیب‌دیده، نمونه بارز آن‌ها به‌شمار می‌روند.

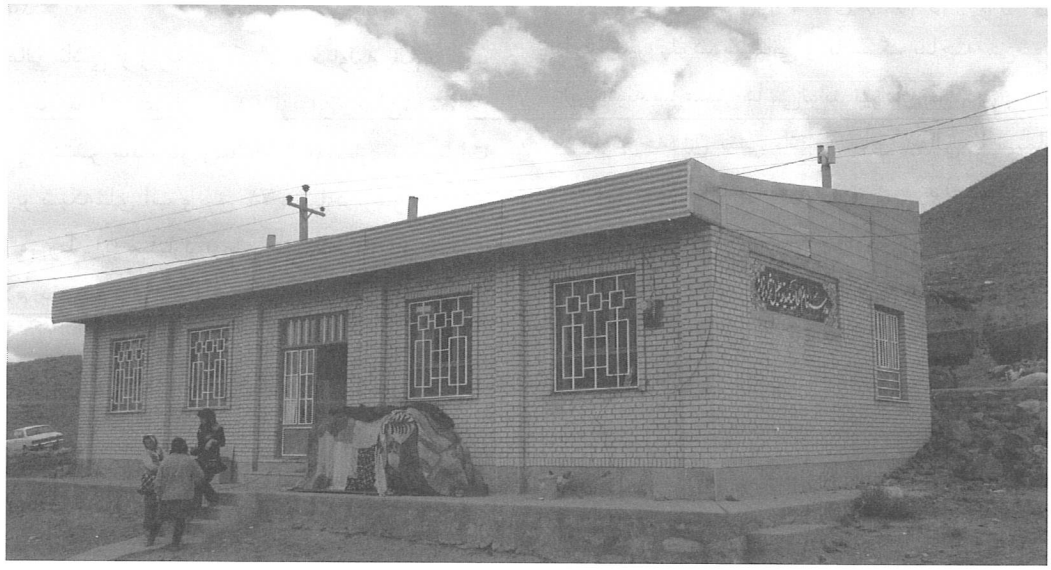
آسیب‌دیدگی ساختمان‌های بنایی آجری برحسب آن‌که ضوابطی نظیر مقررات فصل سوم استاندارد ۲۸۰۰، در طراحی و اجرای آن‌ها رعایت شده باشد یا نه، متفاوت است. رفتار نامناسب ساختمان‌های بنایی آجری را که تمام یا بخشی از ضوابط پیش‌گفته در طراحی و اجرای آن‌ها رعایت نشده، می‌توان چنین خلاصه کرد:

۱- استفاده از مصالح ساختمانی ضعیف و دیوار چینی‌های نامناسب
۲- عدم اتصال صحیح سقف‌ها به دیوارها و دیوارها به شالوده
۳- وجود بازشوهای بزرگ
۴- وجود دیوارهای آزاد با ارتفاع زیاد بدون پیش‌بینی پشت‌بندهای لازم
۵- عدم وجود ارتباط مناسب بین دیوارهای متقاطع
۶- وجود تیغه‌ها و حایل‌ها بدون مهار کافی از طرف سقف یا سایر دیوارها
۷- عدم رعایت ضریب حداقل دیوار نسبی [۳]

گفتنی است که در استاندارد ۲۸۰۰، کلاف‌بندی‌های افقی و قائم به عنوان سیستم مستقل و مجزا از دیوار چینی‌ها مطرح نمی‌باشند و می‌توان آن‌ها را همراه با دیوارهای بنایی اجرا نمود. به عبارتی، کلاف‌بندی‌ها تنها برای ایجاد انسجام بین اجزای مختلف و تامین رفتار یکپارچه ساختمان تعبیه می‌شوند. خرابی ساختمان‌های آجری کلاف‌بندی شده در زلزله‌های پیشین کشور ناشی بوده است از:

۱- حذف برخی از کلاف‌های قائم یا افقی
۲- عدم تامین پوشش لازم روی میلگردهای کلاف
۳- جایگذاری نادرست خاموت‌های کلاف‌ها
۴- عدم اتصال صحیح دیوارها به کلاف‌ها
۵- عدم اتصال صحیح سقف‌ها به کلاف‌ها
۶- آجر چینی نامناسب دیوارها
۷- وجود باز شوهای بزرگ [۳]

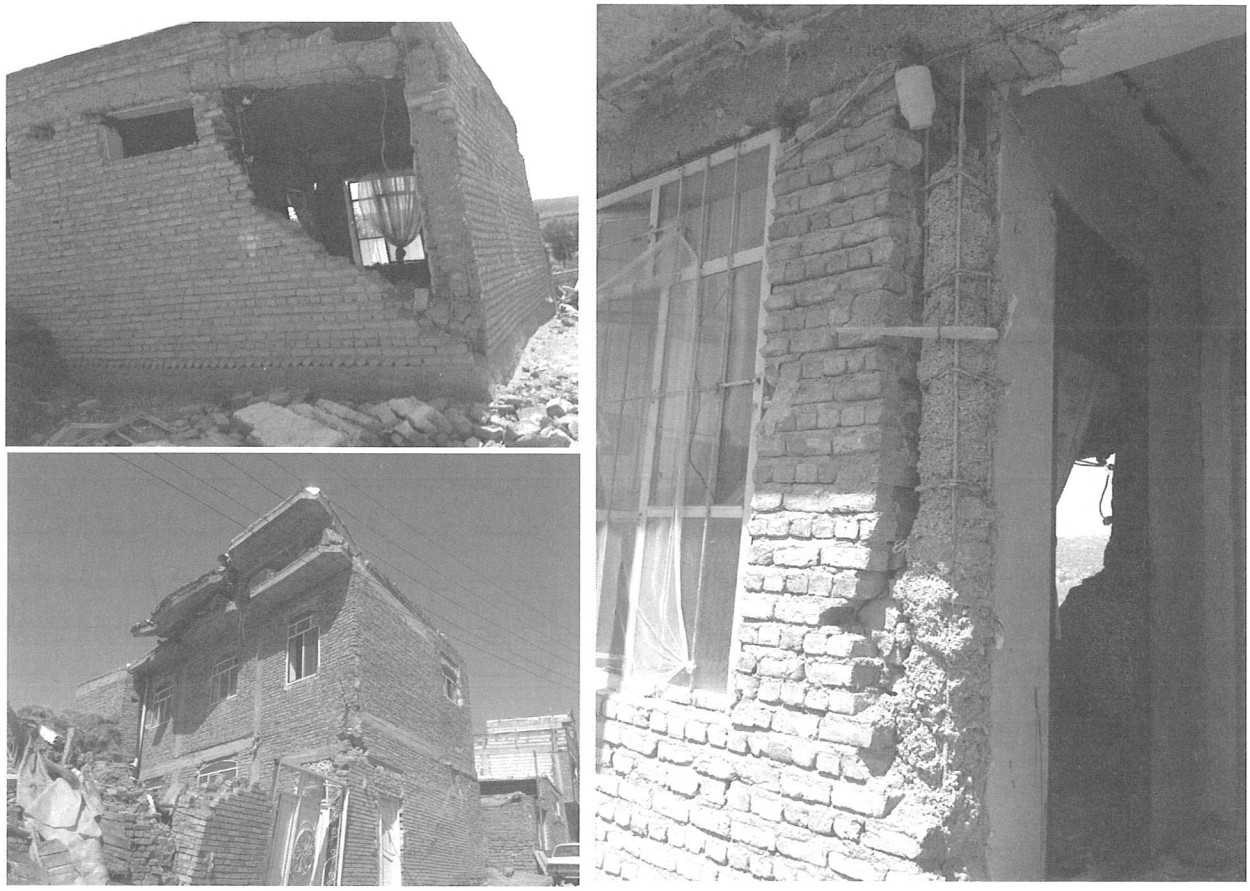
در این زلزله، ساختمان‌های بنایی آجری محصور در کلاف، حتی در صورت دارا بودن اشکالات جزئی، رفتار مناسبی داشته‌اند. برای نمونه می‌توان به مدرسه روستای چوبانلار اشاره کرد که هیچ‌گونه آسیب سازه‌ای یا غیرسازه‌ای در آن مشاهده نشده است (شکل ۴).



شکل ۴ـ ساختمان بنایی آجری مدرسه روستای چوبانلار بدون آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای

البته باید توجه داشت که صرف کلاف‌بندی ساختمان بنایی آن‌را به یک ساختمان پایدار در برابر زلزله تبدیل نمی‌کند. مشخصات مصالح مصرفی، پیوستگی آرماتورها، اتصال مناسب کلاف‌ها، کیفیت اجرا و در نهایت تامین پیوستگی المان‌های سازه‌ای از زمره موارد اساسی هستند که بر پایداری ساختمان‌های بنایی در برابر زمین‌لرزه تاثیر می‌گذارند. برای نمونه گسیختگی و خرابی حادث در در چند ساختمان بنایی آجری در منطقه زلزله‌زده که

کلاف‌بندی آن‌ها به‌گونه‌ای نامناسب انجام شده و مصالح مصرفی کیفیت لازم را ندارند، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل۵ـ خرابی چند ساختمان بنایی آجری با کلاف‌بندی نامناسب

خرابی سازه‌های نیم اسکلت یا مختلط نیز مطابق آن‌چه که در زلزله‌های پیشین کشورمان مشخص شده، یک یا چندین علل توام زیر را می‌تواند داشته باشد:

۱- عدم وجود سیستم سازه مقاوم در برابر بارهای جانبی و گاه قائم

۲- استفاده از پروفیل‌های ضعیف برای تیرها و ستون‌ها

۳- ناپیوستگی بخش‌های مختلف سازه از قبیل سقف با دیوارها و دیوارها با شالوده

۴- عدم اتصال تیرهای طاق ضربی با یکدیگر

۵- عدم اتصال دیوارهای متقاطع به یکدیگر

۶- عدم اتصال تیغه‌های داخلی به سقف، به کف و دیوارهای جانبی

۷- اجرای غیراصولی دیوار چینی‌ها

۸- استفاده از مصالح با کیفیت نامناسب [۴]

مسجد مرکزی روستای گیویچ، نمونه بارزی از مجموعه‌ی چنین اشتباهاتی است. یک سازه مختلط فولادی است با

ارتفاع دیوارهای آجری هفت متر بدون تعبیه کلاف‌های افقی و قائم با سقف طاق ضربی و بدون اتصال مناسب آن به دیوارها.

۳-۲- ساختمان‌های بنایی سنگی

در منطقه آسیب‌دیده از زلزله، از سنگ بیشتر به صورت لاشه‌چینی با ملات و یا بدون ملات و به‌عنوان بستری برای زیرسازی دیوارها (کرسی‌چینی) استفاده شده است. نمونه‌های اندکی از ساختمان های سنگی در منطقه وجود دارد که در آن‌ها دیوارهای باربر از سنگ تراشیده (قواره) با رگه‌های منظم ساخته شده باشند. شکل ۶، ترک‌خوردگی دیوارهای یک ساختمان بنایی سنگی در گوشه و شکل‌های ۷ و ۸، فروریزش بخشی از دیوارها و سقف ساختمان‌های سنگی را در منطقه آسیب‌دیده، نشان می‌دهند. خرابی و گسیختگی اجزای این‌گونه ساختمان‌ها، معمولا از نبود انسجام و یکپارچگی بین اعضای مختلف باربر روی می‌دهد. سنگ ساختمانی به دلیل مقاومت فشاری زیاد، مصالح ساختمانی مناسبی به‌شمار می‌رود، ولی در صورتی که در احداث ساختمان‌های سنگی، تمهیداتی مانند ضوابط فصل سوم استاندارد ۲۸۰۰، به‌کار نروند، این‌گونه ساختمان‌ها، پایداری لازم در برابر زلزله‌ها به‌ویژه زلزله‌های شدید را به‌دست نخواهند آورد. خرابی ساختمان‌های سنگی در زلزله‌های گذشته کشور نیز، دلایلی به شرح زیر داشته است:

۱- کیفیت ضعیف مصالح

۲- عدم یکپارچگی دیوارها به ویژه در محل تقاطع و گوشه‌ها

۳- نبود آرماتورها و یا کلاف‌های افقی و قائم در دیوارهای ساختمان

۴- نبود شالوده و یا کلاف افقی در زیر دیوارها

۵- عدم سنگ‌چینی به‌صورت چفت و بست

۶- استفاده از ملات گل با چسبندگی اندک

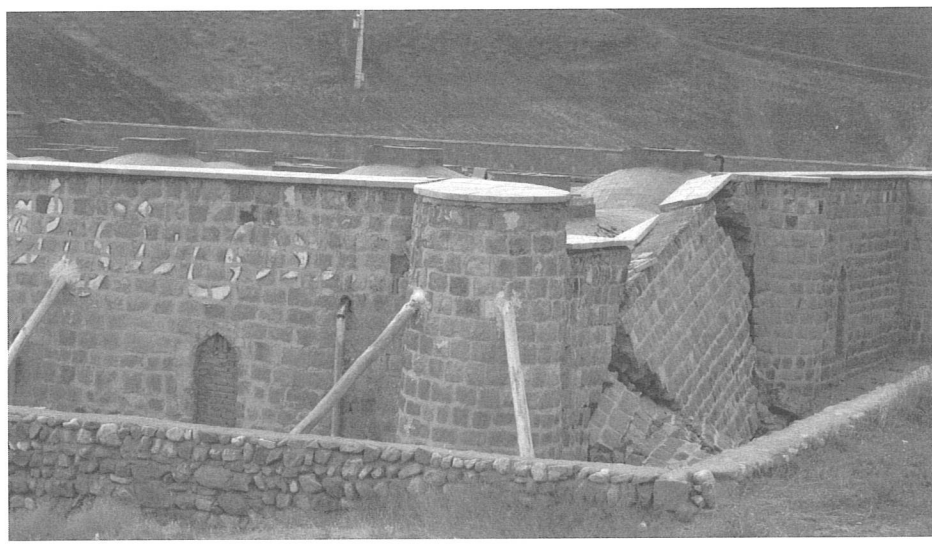
۷- وجود دیوارهای طویل و بلند

۸- وجود بازشوهای بزرگ و یا نزدیک به گوشه‌های دیوار

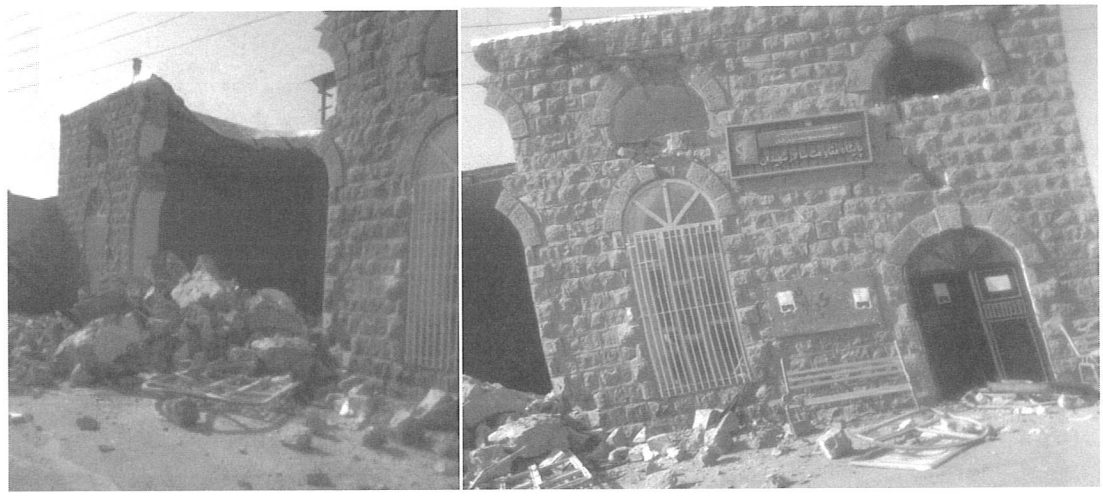
۹- کافی نبودن طول تکیه‌گاه برای تیرهای نعل درگاهی

۱۰- قرار گرفتن سقف به‌طور مستقیم بر روی دیوارها[۶]

شکل۶ـ ترک‌خوردگی دیوار یک ساختمان سنگی در گوشه آن



شکل ۷ـ فروریزش دیوار سنگی یک کاروانسرای تاریخی بازسازی‌شده



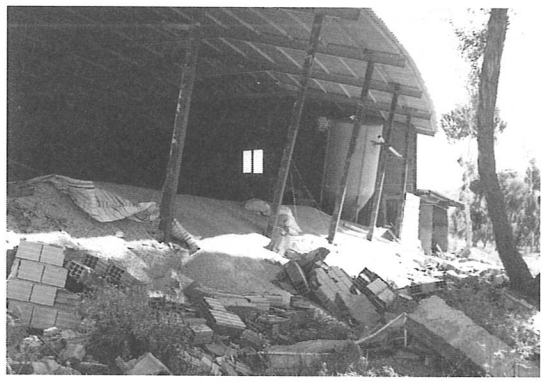
شکل ۸ـ فروریزش بخشی از دیوار و سقف یک ساختمان بنایی سنگی

۳-۳- *ساختمان‌های با اسکلت فولادی*

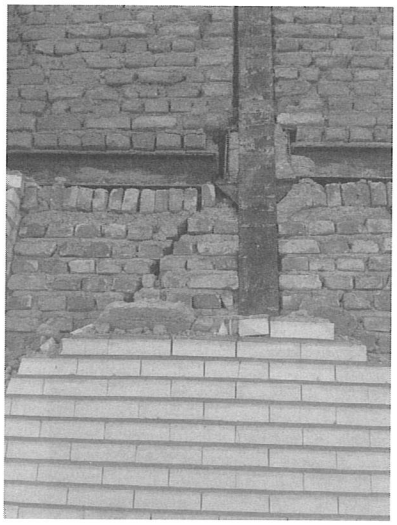
ساختمان‌های اسکلت فولادی در منطقه زلزله‌زده، درجات متفاوتی از خرابی و گسیختگی را تجربه کرده‌اند. آسیب‌دیدگی این ساختمان‌ها، طیف گسترده‌ای را تشکیل می‌دهد که از گسیختگی برخی المان‌های سازه‌ای تا انهدام کامل ساختمان را در بر می‌گیرد. شکل‌های ۹ انهدام کامل دو ساختمان اسکلت فولادی را در اثر زلزله نشان می‌دهد. به خاطر انهدام کامل، بررسی علل گسیختگی چنین ساختمان‌هایی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در برابر، برخی گسیختگی‌ها و علل بروز آن‌ها در تعدادی از ساختمان‌های فولادی، کاملا مشهود بود. به‌عنوان نمونه می‌توان به کمانش ستون‌های فولادی انبار یک مجتمع تولید طیور به دلیل ضعف مقطع (شکل ۱۰)، اتصال نامناسب تیر فرعی به تیر اصلی در یک اتصال

خـورجینی (شـکل ۱۱)، و یـا مقطـع ضـعیف و مسـتعد کمانش ستون فولادی (شکل ۱۲)، اشاره کرد.

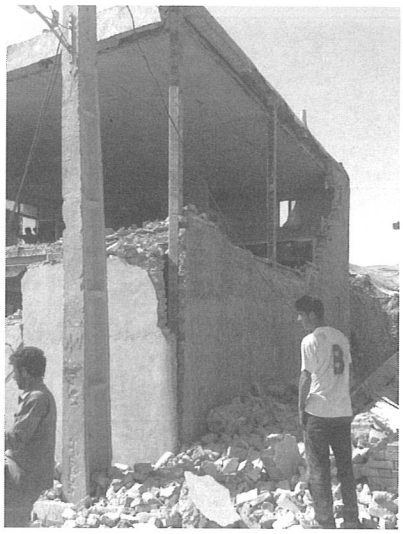
شکل ۹ـ انهدام دو ساختمان با اسکلت فولادی در منطقه آسیب‌دیده از زلزله



شکل ۱۰ـ کمانش ستون‌های فولادی یک انبار



شکل ۱۱ـ اتصال نامناسب تیر فرعی به تیر اصلی در یک اتصال خورجینی



شکل ۱۲ـ مقطع ضعیف و مستعد کمانش ستون‌های فولادی

به‌طور عام، علل عمده خرابی ساختمان‌های اسکلت فولادی در اثر زلزله‌ها را می‌توان چنین خلاصه کرد:

۱- اجرای قاب‌های ساختمانی با اتصالات ساده بدون پیش‌بینی سیستم مهاربندی جانبی

۲- استفاده از اجزای ضعیف برای تیرها و مستعد کردن آن‌ها برای خمش و برش غیرمجاز

۳- استفاده از مقاطع ضعیف و لاغر برای ستون‌ها و مستعد کردن آن‌ها به کمانش

۴- اجرای نامناسب اتصالات شامل اتصال تیر به ستون، بادبندها به تیر و ستون، بادبندها به یکدیگر و ستون به شالوده. چنین ضعف‌هایی معمولا به پارگی اتصال منجر می‌شوند.

۵- انتخاب المان‌های ضعیف برای مهاربندی‌ها و عدم توجه به احتمال کمانش آن‌ها

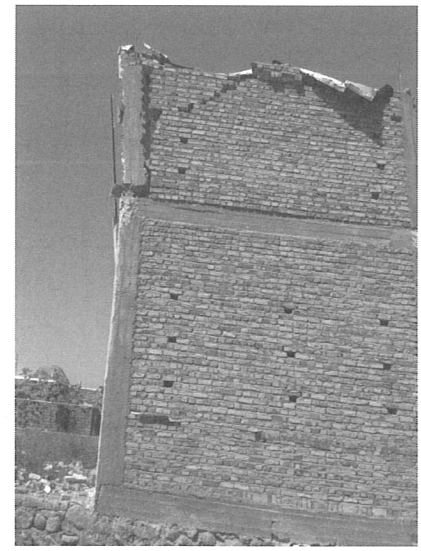
۶- جوشکاری یا بولت‌گذاری خارج از ضوابط فنی و با کیفیت نازل و کنترل نشده

۷- انتخاب جزئیات نادرست و غیراستاندارد برای وصله ستون‌ها به یکدیگر و تیرها به هم‌دیگر

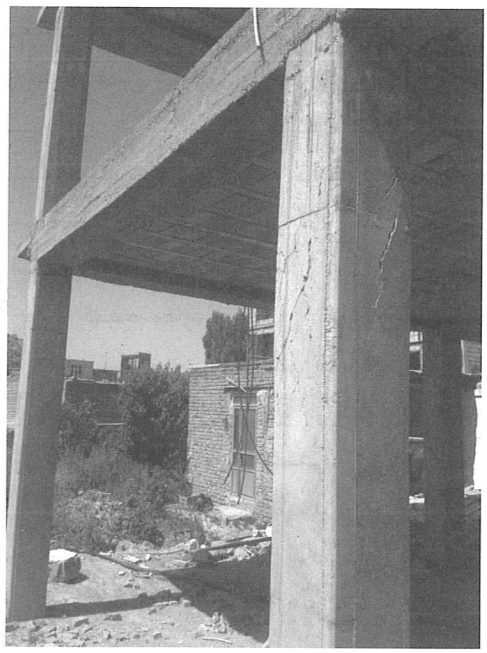
۸- عدم اتصال و یا اتصال نادرست نیم‌رخ‌های انتخابی برای قطعات فشاری و اعضای بادبندی

۳-۴- ساختمان‌های بتن‌آرمه

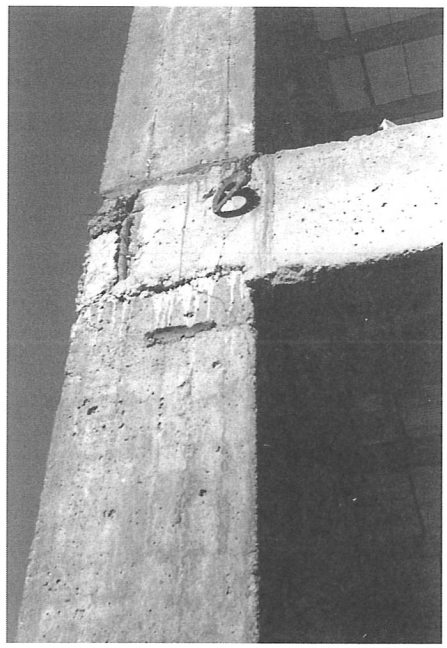
ساختمان‌های با اسکلت بتنی در منطقه زلزله‌زده خصوصا در شهرهای اهر، ورزقان و هریس به تعداد زیادی ساخته شده‌اند. این ساختمان‌ها، عموما دارای قاب‌های لنگرگیر در دو جهت هستند و استفاده از دیواربرشی در آن‌ها بسیار نادر است. سقف این ساختمان‌ها را، عموما تیرچه‌های بتنی همراه با بلوک‌های سفالی یا بتنی و یا بلوک‌های یونولیتی تشکیل می‌دهند.



شکل ۱۳ـ شکست ستون در محل اتصال



شکل ۱٤ـ ترک‌خوردگی و گسیختگی برشی ستون



شکل ۱۵ـ آسیب در محل اتصال تیر به ستون

خرابی و گسیختگی عمده ساختمان‌های بتنی در زلزله‌های گذشته کشور از کیفیت نامناسب مصالح مصرفی، خوردگی میلگردها، نامنظمی ساختمان‌ها در پلان و در ارتفاع، توزیع نامناسب جرم در ساختمان، جزئیات نامناسب اتصالات سرچشمه می‌گیرد. علاوه بر آن، موارد زیر نیز جزو نقاط ضعف ساختمان‌های بتنی در زلزله‌های پیشین کشور ذکر شده است:

۱- کمبود مقاومت برشی لازم در یک طبقه به دلیل اندک بودن تعداد ستون‌ها و دیوارهای برشی

۲ شکست ترد در تیر و یا در ستون به علت غلبه حالت شکست برشی به خمشی

۳- لغزش میلگرد و یا شکست برشی در اتصال تیر به ستون

۴- شکست برشی در دیوارهای برشی

۵- پیچش ناشی از عدم تطابق مراکز جرم و سختی در طبقات

۶- پیچش ناشی از افزایش ناخواسته سختی در یک سمت ساختمان

۷- تمرکز تخریب در یک طبقه نرم [۷]

ساختمان‌های بتن‌آرمه واقع در منطقه، زلزله را با صدمات جزئی سازه‌ای و در مواردی با آسیب‌های جدی سازه‌ای و آسیب‌های جدی و بسیار جدی اجزای غیرسازه‌ای از سرگذرانده‌اند. گرچه در مقایسه با ساختمان‌های اسکلت فولادی، انهدام ساختمان‌های بتن‌آرمه در منطقه زلزله‌زده، به‌ندرت اتفاق افتاده است. با این حال، تدقیق در گسیختگی المان‌های ساختمان‌های بتن‌آرمه، جدی بودن آسیب‌ها را نشان می‌دهد. از زمره این آسیب‌ها می‌توان به‌عنوان نمونه به شکست کامل ستون در محل اتصال به تیر و ستون طبقه پایین (شکل ۱۳)، ترک‌خوردگی و گسیختگی برشی ستون (شکل ۱۴)، و یا گسیختگی در محل اتصال تیر به ستون (شکل ۱۵)، اشاره کرد.

عمده‌ترین آسیب‌های وارد بر سازه‌های اسکلتی بتن‌آرمه، هم‌چنان‌که فولادی با کاربری مسکونی، اداری، تجاری و ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد و زیاد (بنا به تعریف استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم) مربوط به خرابی و گسیختگی اجزای غیرسازه‌ای آن‌ها است که به این مقوله در مقاله دیگری پرداخته شده است[۱۰].

مراجع

۱- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، "زمین‌لرزه‌های بیست و یکم مرداد ۱۳۹۱ ورزقان - اهر (استان آذربایجان‌شرقی)"

۲- زارع م. و همکاران، "گزارش شناسایی مقدماتی زمین‌لرزه‌های دوگانه ورزقان ۲۱ر۵ر۱۳۹۱"، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۳- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، " بم و زمین‌لرزه‌اش می‌آموزد" ، نشریه شماره ک ۴۰۷، ۱۳۸۳

۴- رزاقی آذر ن.، " اثرات زلزله اول تیر ۱۳۸۱ چنگوره - آوج بر ساختمان‌های بنایی و مختلط" ، مجموعه مقالات سمینار درس‌هایی از زلزله چنگوره - آوج، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مرداد ۱۳۸۱

۵- حاج اسماعیلی م. و همکاران، "بررسی عملکرد ساختمان‌های قزوین و همدان در برابر زلزله چنگوره - آوج" ، مجموعه مقالات سمینار درس‌هایی از زلزله چنگوره - آوج، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مرداد ۱۳۸۱

۶- ناطقی الهی ف. و همکاران، "گزارش تحلیلی زلزله لردگان چهارمحال بختیاری، ۱۴ اسفند ۱۳۷۰" ، موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۱

۷- مقدم ح. ، "مهندسی زلزله، مبانی و کاربرد"، نشر فراهنگ، ۱۳۸۱

۸- عشقی س.، زارع م. و همکاران، "گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم" ، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ۱۳۸۲.

۹- فرید ج.، اسلامپور آ.، رضازاده ف.، "زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ - اهر، ورزقان و هریس" ، فصلنامه پیام آبادگران آذربایجان، شماره ۲۲، تابستان ۱۳۹۱.

۱۰- فرید ج.، "رفتار اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها در زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ - اهر، ورزقان و هریس" ، در دست انتشار.

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۴۳ تا ۵۴

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس؛ آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های با اهمیت زیاد و اهمیت خیلی زیاد

جواد فرید
مهندس راه و ساختمان، دانش‌آموخته دانشکده فنی، دانشگاه تهران
Javad.farid@yahoo.com

چکیده :
در مقاله پیشین، ضمن اشاره به ویژگی‌های زمین‌لرزه ۲۱ مرداد ماه اهر، ورزقان و هریس، به آسیب‌های وارد بر ساختمان‌های متداول در اثر این زلزله پرداخته شده بود. در مقاله حاضر، خرابی و گسیختگی ساختمان‌های با اهمیت زیاد و با اهمیت خیلی زیاد، مطابق تعاریف آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم)، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱ـ ساختمان‌های با اهمیت زیاد

ساختمان‌های با اهمیت زیاد، گروه دوم از بند ۱-۷ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش سوم) را تشکیل می‌دهند و شا مل سه‌دسته زیر می‌باشند:

الف - ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها موجب تلفات زیاد می‌شود، مانند: مدارس، مساجد، استادیوم‌ها، سینما و تئاترها، سالن اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، ترمینال‌های مسافری، یا هر فضای سرپوشیده که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر در زیر یک سقف باشد.

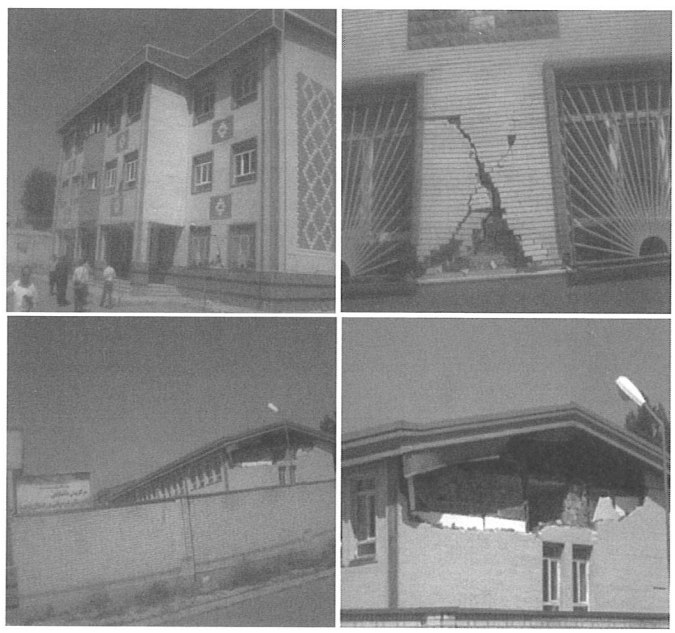
ب - ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها سبب از دست رفتن ثروت ملی می‌گردد، مانند: موزه‌ها، کتابخانه‌ها، و به‌طور کلی مراکزی که در آن‌ها اسناد و مدارک ملی و یا آثار پرارزش نگهداری می‌شود.

پ - ساختمان‌ها و تاسیسات صنعتی که خرابی آن‌ها موجب آلودگی محیط زیست و یا آتش‌سوزی وسیع می‌شود، مانند: پالایشگاه‌ها، انبارهای سوخت و مراکز گازرسانی [۱].

از میان سه‌دسته ساختمان‌های با اهمیت زیاد، و از بین ساختمان‌های رده الف، مدارس و مساجد جزو ساختمان‌هایی هستند که به تعداد زیاد در منطقه زلزله‌زده احداث شده و به تبع شیوه ساخت و ساز و دوری و نزدیکی به چشمه لرزه‌زا، آسیب‌های متفاوتی دیده‌اند.

۱-۱- مدارس

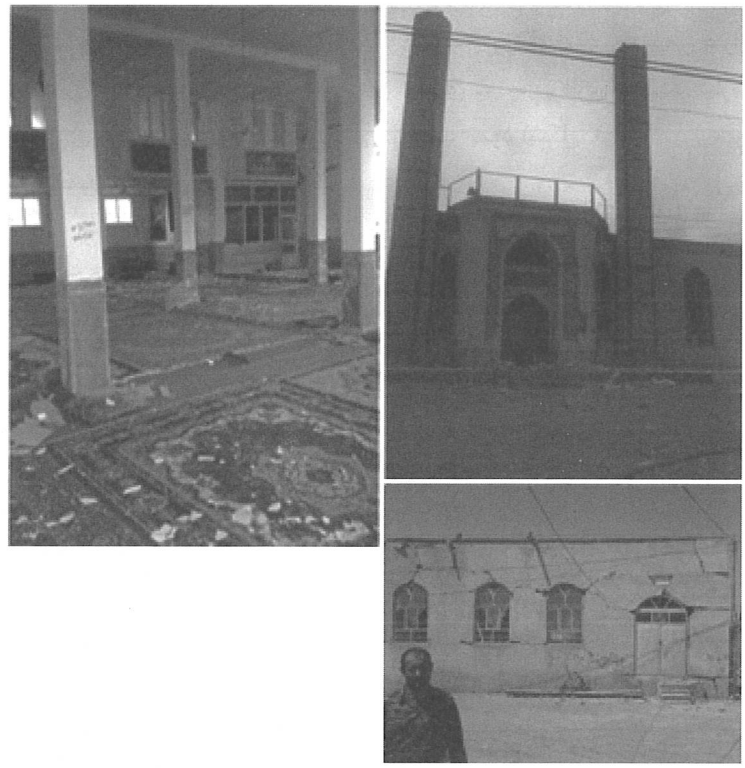
مدارس نوساز منطقه زلزله‌زده که از زمان ساخت آن‌ها کمتر از ده سال گذشته، عملکرد بسیار مناسبی در برابر این زمین‌لرزه نشان داده‌اند و آسیب‌های وارد بر آن‌ها منحصر به اجزای غیرسازه‌ای و به‌طور عمده مربوط به دیوارهای نما بوده است. ترک‌خوردگی‌های قطری در حد فاصل دو بازشو مربوط به مدرسه جوادالائمه ورزقان و فروریزش بخشی از دیوار نمای جانبی مدرسه توحید واقع در ورزقان از زمره این آسیب‌ها می‌باشند (شکل ۱). دیوارهای خارجی این مدارس، از نوع دوجداره با استقرار ورقه عایق یونولیتی در بین دو دیوار، می‌باشد. اما ضعف جزئیات اجرایی، به‌ویژه عدم تکافوی اتصال دو دیوار خارجی و داخلی به یکدیگر و به المان‌های سازه‌ای، عامل چنین خرابی‌هایی به‌شمار می‌رود.



شکل ۱ـ گسیختگی در نمای آجری دو مدرسه در ورزقان (بالا: مدرسه جوادالائمه - پایین: مدرسه توحید)

۱-۲- مساجد

ساختمان مساجد در اکثر روستاهای منطقه زلزله‌زده، از نوع مختلط یا نیم اسکلت می‌باشند. در این‌گونه ساختمان‌ها، بخشی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی و قسمت دیگر توسط عناصر فولادی یا بتن مسلح، تحمل می‌شوند. به دلیل تقدسی که مساجد برای روستائیان مانند همه هموطنان دارد، در ساخت آن‌ها تلاش می‌شود که ضمن استفاده از بهترین مصالح در دسترس، ساختمان‌ها از نظر کیفی از شرایط ویژه‌ای برخوردار باشند. این مورد به روشنی در همه روستاهای آسیب‌دیده از زلزله قابل تشخیص است. به عبارتی، ساختمان مساجد روستاها در مقایسه با بقیه ساختمان‌های روستا، از کیفیت بهتری برخوردارند. اما ویژگی معماری مساجد که ارتفاع زیاد و دهانه‌های نسبتا طویل تیرها و گاهی احداث نیم‌طبقه در برخی از قسمت‌های مساجد را الزامی می‌سازد، باعث شده است که در صورت عدم رعایت تمهیدات فنی، خرابی‌های شدید و قابل ملاحظه‌ای در آن‌ها ایجاد شده و تعمیر و مرمت اساسی آن‌ها را الزام‌آور بسازد. شکل ۲، چند نمونه از خرابی و گسیختگی مساجد را در روستاهای آسیب‌دیده نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ چند نمونه از خرابی مساجد در مناطق روستایی

۲- ساختمان‌های با اهمیت خیلی‌زیاد

این ساختمان‌ها، گروه نخست از بند ۱-۷ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش سوم) را تشکیل می‌دهند و بنابه مفاد بند مذکور به ساختمان‌هایی با اهمیت خیلی زیاد اطلاق می‌شود که قابل استفاده بودن آن‌ها پس از وقوع زلزله اهمیت خاص داشته و وقفه در بهره‌برداری از آن‌ها به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات شود، مانند: بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز و تاسیسات آبرسانی، نیروگاه‌ها و

تاسیسات برق‌رسانی، برج‌های مراقبت فرودگاه‌ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تاسیسات انتظامی، مراکز کمک‌رسانی و به‌طور کلی تمام ساختمان‌هایی که استفاده از آن‌ها در نجات و امداد موثر می‌باشد. ساختمان‌ها و تاسیساتی که خرابی آن‌ها موجب انتشار گسترده مواد سمی و مضر در کوتاه‌مدت و درازمدت برای محیط‌زیست می‌شوند، جزو این گروه ساختمان‌ها منظور می‌گردند [۱].

از میان ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد، مجتمع مس سونگون بزرگ‌ترین مرکز صنعتی واقع در منطقه زلزله‌زده است. این مجتمع عظیم صنعتی، کوچک‌ترین آسیب‌سازه‌ای یا ناسازه‌ای به خود ندیده است. ساختمان‌های اداری و خدماتی، سالن‌های بزرگ، کوره‌ها و دیگر ماشین‌آلات صنعتی، شالوده‌ها و سازه‌های بتنی یا فولادی مربوط به تجهیزات و دستگاه‌های مختلف با استواری تمام زلزله را تاب آورده و کوچک‌ترین وقفه‌ای در فعالیت‌های مجتمع در اثر زلزله پدید نیامده است.

ساختمان فرمانداری ورزقان را شاید بتوان جزو این گروه از ساختمان‌ها قرار داد، از آن‌رو که این ساختمان به‌عنوان ستاد بالاترین مرجع اداری منطقه، می‌بایستی زلزله را با حداقل آسیب ناسازه‌ای از سر می‌گذراند و پس از وقوع زلزله، قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه خود را حفظ و نقش خود را در مدیریت بحران ایفا می‌نمود. آسیب‌های وارد بر اجزای غیرسازه‌ای این ساختمان قابل ملاحظه بود. بخش بزرگی از نمای سنگی این ساختمان فرو ریخت و دیوارهای پرکننده داخلی آن در معرض ترک‌خوردگی‌های وسیعی قرار گرفت و ساختمان را برای بهره‌برداری مجدد، نیازمند عملیات ترمیم و تعمیر نمود (شکل ۳).

شکل ۳ـ خرابی و فروریزش بخشی از نمای سنگی ساختمان فرمانداری ورزقان

سه بیمارستان مهم دولتی واقع در اهر، ورزقان و هریس جزو ساختمان‌های با اهمیت خیلی‌زیاد منطقه زلزله‌زده به‌شمار می‌روند. این سه بیمارستان در خرابی اجزای غیرسازه‌ای با درجات متفاوت، مشترک‌اند.

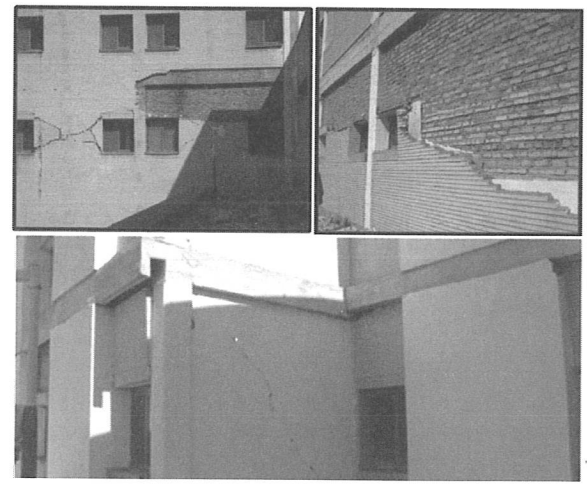
در بازدیدهای به‌عمل آمده از دو بیمارستان اهر و ورزقان، آسیب‌ها و صدمات سازه‌ای مشهودی ملاحظه نشد. البته ارائه حکم و نظر قطعی در این موارد نیازمند بررسی‌های فنی بیشتر و دسترسی کامل به اجزای سازه‌ای، خصوصا اتصالات مانند اتصال تیرها به ستون‌ها و یا اتصال ستون‌ها به شالوده است.

خرابی و گسیختگی‌های سازه‌ای در بیمارستان هریس کاملا مشهود است. این خرابی‌ها به‌طور عمده از کیفیت نامناسب و نازل بتن‌های ریخته شده و عدم رعایت جزئیات فنی مربوط به شکل‌پذیری قطعات بتن‌آرمه، خصوصا ستون‌ها حادث شده‌اند. علاوه بر آن، گسیختگی بتن برخی ستون‌ها در محل اتصال آن‌ها به تیرها جزو خرابی‌های سازه‌ای شاخص این بیمارستان به‌شمار می‌رود (شکل ۴).

شکل ۴ـ گسیختگی‌های سازه‌ای در بیمارستان هریس

بالا: کیفیت نامناسب بتن و آرماتوربندی پایین: گسیختگی بتن در محل اتصال تیر و ستون

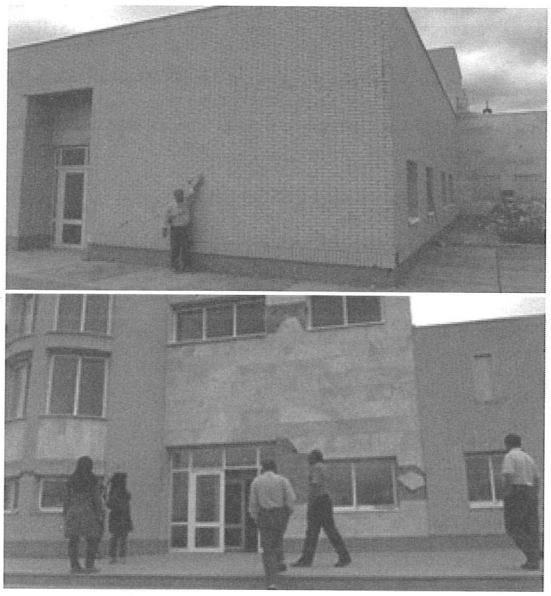
در بررسی‌های محلی مشخص گردید که زمانی طولانی (هیجده سال) صرف احداث این بیمارستان شده است. تطویل زمان احداث این ساختمان که المان‌های سازه‌ای آن را در معرض تغییرات جوی شبانه‌روزی و فصلی قابل ملاحظه‌ای قرار داده، یادآورد این مطلب هست که متاسفانه بسیاری از ساختمان‌ها و ابنیه‌های فنی کشور که از طریق بودجه‌های عمرانی احداث می‌شوند، به چنین مصیبتی گرفتارند. ضروری است مدیران اجرایی کشور، مساعی خود را در راستای اجرای پروژه‌هایی به‌کار ببرند که مطابق مشخصات فنی به‌هنگام شده و در زمان پیش‌بینی شده به اتمام برسند. این‌که، از سه بیمارستان مهم دولتی واقع در منطقه زلزله‌زده، بیمارستان‌های هریس و ورزقان، هنوز بهره‌دهی و پذیرش بیماران را آغاز نکرده در معرض صدمات سازه‌ای و ناسازه‌ای قرار گیرند، مطلب ناگوار و ناپذیرفتنی است.



شکل ۵ـ صدمات وارد بر نمای بیمارستان هریس
بالا: فروریزش بخشی از نمای آجری پایین: ترک خوردگی قطری دیوارهای اندود سیمانی

بیمارستان ۱۲۸ تختخوابی باقرالعلوم اهر، از سال ۱۳۷۷ شروع به فعالیت و خدمات‌رسانی نموده و ظرفیت آن طی سال‌های بعد به ۱۴۹ تختخواب ارتقا پیدا کرده است. اجزای غیرسازه‌ای بیمارستان اهر در مقایسه با دو بیمارستان دیگر، آسیب‌های کمتری را متحمل شده‌اند. عمده خرابی‌ها، مربوط به ترک‌خوردگی دیوارهای پرکننده داخلی به صورت قائم و در مرز جدایی دیوارها با ستون‌ها رخ داده است. باوجود صدمات قابل جبران که می‌توانستند وقفه اساسی هم در روند خدمات اضطراری پزشکی ایجاد نکنند، هراس از زلزله و استمرار پس‌لرزه‌ها موجب شده است که بیماران، کارکنان و پزشکان، ساختمان اصلی بیمارستان را تخلیه کنند. بدین ترتیب، کادر پزشکی و پرستاری بیمارستان، در ساعات نخست پس از زلزله و روزهای متعاقب آن، در هوای آزاد و یا در چادرهایی که در محوطه بیمارستان برپا شده بودند، به مداوای مجروحان زمین‌لرزه که از شهرهای اهر، هریس و روستاهای اطراف آن‌ها به بیمارستان اعزام می‌شدند، پرداخته‌اند.

در بیمارستان هریس، فروریزش بخش‌هایی از نمای آجری به دلیل مهارناکافی یا عدم مهار به سازه ساختمان و به دیوار پشت‌کار و ترک‌خوردگی‌های قطری در نمای اندود سیمانی قابل ملاحظه است (شکل ۵). همین نوع ترک‌خوردگی‌های قطری در نمای آجری بیمارستان ورزقان همراه با جداشدگی و فروریزش پلاک‌های سنگ، اتفاق افتاده است (شکل ۶).



شکل ۶ـ آسیب‌های وارد بر نمای بیمارستان ورزقان
بالا: ترک‌خوردگی قطری در نمای آجری پایین: کنده‌شدن و افتادن پلاک‌های سنگ

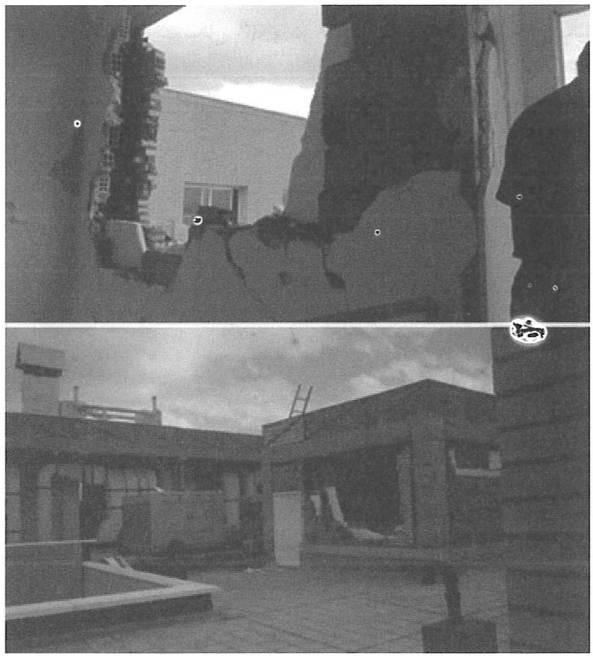
ترک‌خوردگی و گسیختگی تیغه‌ها و حایل‌های داخلی در هر سه بیمارستان رخ داده است. در مواردی، ترک‌خوردگی دیوارهای داخلی به‌طور عمده در مرز جدایی ستون‌ها و تیغه‌ها و به‌صورت کم‌وبیش قائم اتفاق افتاده (شکل ۷) و گاه شکل‌های مختلفی به‌خود گرفته و در نهایت به گسیختگی بخشی از تیغه‌ها خصوصا در محل راه پله‌ها و خرپشته‌ها انجامیده است (شکل۸). بخشی از خرپشته‌ها در تراز بام در هر سه بیمارستان به محل استقرار دستگاه‌ها و تجهیزات مکانیکی اختصاص یافته است. دیوارهای پیرامونی این قسمت از بام به‌ویژه در بیمارستان ورزقان به شدت آسیب دیده و گاه به بیرون از صفحه خود پرت

شـــده‌انـــد (شـــکل ۹)، و در مـــواردی باعـــث تخریـــب تجهیزات تاسیسات مکانیکی شده‌اند (شکل ۱۰).

شکل ۷ـ ترک‌های قائم در دیوارهای داخلی در مرز جدایی ستون‌ها
راست: بیمارستان ورزقان چپ: بیمارستان اهر

شکل ۸ـ بیمارستان ورزقان ترک‌خوردگی در محل راه‌پله

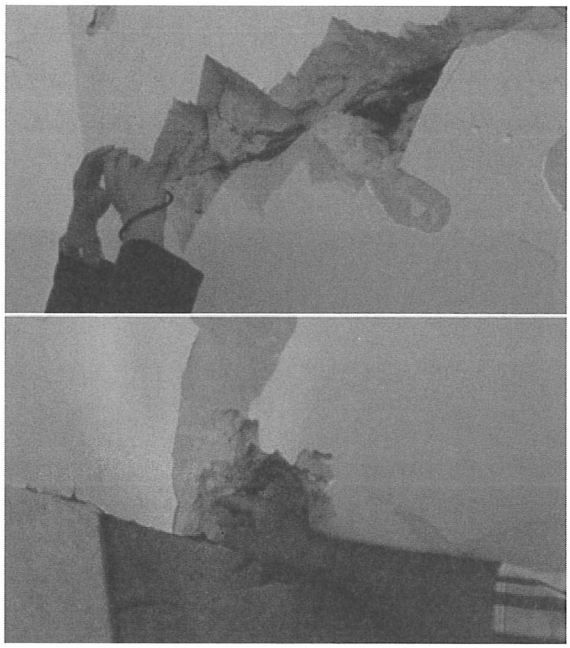
اجزای دیوارپوش در قسمت‌های داخلی بیمارستان‌ها، مانند اندودهای گچ و خاک و گچ پرداختی، سنگ‌کاری و کاشی‌کاری‌ها نیز آسیب دیده‌اند. اندودهای گچ و خاک به تبع ترک‌خوردگی دیوار زیرکار، ترک‌خورده و گسیخته شده‌اند. شکل ۱۱ نمونه‌هایی از ترک‌خوردگی اندودهای گچ و خاک و گچ پرداختی را در بخشی از بیمارستان ورزقان نشان می‌دهد. آن‌چه در این شکل، در وهله نخست به چشم می‌آید، ضخامت زیاد و غیرمتداول قشر اندود است که در پاره‌ای موارد به ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد. چنین ضخامتی ظاهرا برای جبران ناشاقولی دیوارهای بنایی زیرکار انتخاب شده و در تضاد با ضخامت ۲ تا ۳ سانتی‌متر این نوع اندود است که معمولا در بارگذاری دیوارها در محاسبات سازه ساختمان‌ها در نظر گرفته می‌شود.



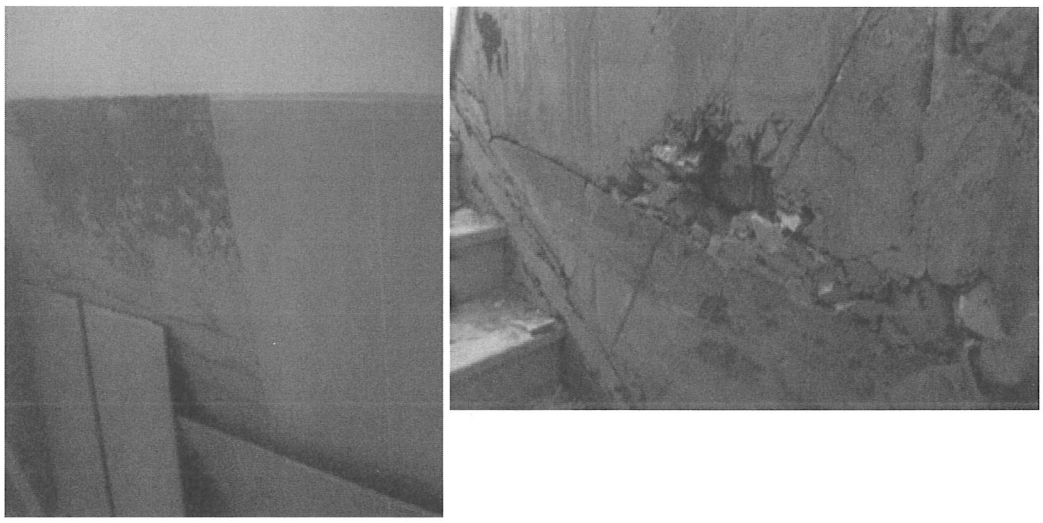
شکل ۹ـ بیمارستان ورزقان، خرابی دیوارهای پیرامونی خرپشته‌ها

شکل ۱۰ـ بیمارستان ورزقان، تخریب کولر آبی و کانال مربوط

پلاک‌های سنگ و قطعات کاشی‌کاری شده در بخش‌هایی از این سه بیمارستان گسیخته شده و فروریخته‌اند. شکل ۱۲ نمونه‌ای از گسیختگی پلاک‌های سنگ را در بیمارستان ورزقان نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ـ بیمارستان ورزقان، ترک‌خوردگی اندود گچ و خاک با ضخامت غیراستاندارد



شکل ۱۲ـ بیمارستان ورزقان، جداشدن پلاک‌های سنگ در فضای داخلی

سقف‌های کاذب به کارفته در این بیمارستان‌ها از نوع ورق‌های آلومینیومی سبک می‌باشند و علل آسیب‌های وارد بر آن‌ها در هر سه بیمارستان عبارتند از:

* ناپایداری کمانشی ناشی از حرکات دیوارهای واقع در دو سر المان‌های سقف کاذب و طول نسبتا زیاد آن‌ها (شکل ۱۳)

* مقید شدن دو سر المان‌های سقف کاذب و عدم امکان جابجایی آن‌ها مستقل از حرکات سازه ساختمان
* سقوط بخشی از تیغه‌ها و دیوارهایی که بالاتر از تراز سقف کاذب و بین سقف کاذب و سقف سازه‌ای قرار دارند. (شکل ۱۳).

عدم توجه به اجرای صحیح درزهای انقطاع و پرشدن آن‌ها از نخاله و دیگر ضایعات، از جمله مواردی است که باعث خرابی درزها شده و سهمی در آشفتگی بخش‌های داخلی بیمارستان‌ها ایفا کرده است (شکل ۱۴).

شکل ۱۳ـ بیمارستان هریس، خرابی سقف‌های کاذب
بالا: ناپایداری کمانشی ورق‌های سقف کاذب
پایین: سقوط بلوک‌های سیمانی و تخریب سقف کاذب

شکل ۱۴ـ بیمارستان هریس، اجرای نامناسب درز انقطاع

خرابی‌های حادث در این سه بیمارستان، اهمیت اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها، خصوصا ساختمان‌های عمومی و با اهمیت خیلی‌زیاد را روشن می‌سازند. گفتنی است، آن‌چه آیین‌نامه‌های موجود کشور در حال حاضر در مورد جزئیات اجرایی این عناصر ارایه می‌دهند، ناکافی و ناقص است.

آیین‌نامه ۲۸۰۰، در باره اتصال قطعات نما و دیگر قطعات غیرسازه‌ای به ساختمان‌های با اهمیت زیاد و اهمیت خیلی‌زیاد در فصل دوم، به سه بند در ۲ صفحه اکتفا نموده و برای تیغه‌ها، جان‌پناه‌ها، سقف‌های کاذب و خرپشته‌ها، کاربر را به فصل سوم "ضوابط ساختمان‌های با مصالح بنایی غیر مسلح" ارجاع می‌دهد، که در مجموع از ۲ صفحه و ۷ ماده تجاوز نمی‌کند.

این مواد آیین‌نامه‌ای، جزئیات اجرایی دقیقی را به محاسب و طراح ساختمان ارایه نمی‌دهند و اکثرا با استفاده از عبارت‌هایی نظیر "به نحو مناسب"، "مهار مناسب"، "تقویت مناسب" ، "گیرداری مناسب"، اتصال اجزای غیرسازه‌ای به المان‌های سازه‌ای ساختمان‌ها را به سلیقه طراح و مجری وا می‌گذارند [۱].

دفترچه "جزئیات اجرایی بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود" که در سال ۱۳۸۲ مشترکا از سوی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور منتشر شده، در فصل چهارم خود، طی ۱۵ نقشه، راهنمایی‌هایی در مورد مهار اجزای غیرسازه‌ای از نوع المان‌های داخلی و تزئیناتی و برخی اجزای برقی و مکانیکی ارایه می‌دهد. این راهنمایی، کلیه اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها، خصوصا ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد را در بر نمی‌گیرد [۲].

مباحث مختلف مقررات ملی ساختمان ایران، طراحی و جزئیات اجرایی اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها را کاملا مسکوت گذاشته‌اند. این در حالی است که اکثر آیین‌نامه‌های زلزله و ساختمان کشورهای زلزله‌خیز جهان خصوصا کشورهای پیشرفته زلزله‌خیز مانند امریکا، ژاپن و نیوزیلند، ضمن ارایه روابط طراحی این المان‌ها، جزئیات اجرایی دقیقی را برای رفتار و عملکرد مناسب آن‌ها در زلزله‌ها ارایه می‌دهند. مراجع ۳ و۴، آگاهی‌های مناسبی را در این زمینه در اختیار خواننده علاقه‌مند قرار می‌دهند. امید که در ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ ، نقیصه‌های ذکر شده برطرف گردد و مهندسان طراح و مجری ساختمان‌ها به جزئیات و روابط به‌هنگام شده و قابل

استفاده‌ای با توجه به مصالح مصرفی و شیوه‌های ساخت و ساز در ایران، دسترسی یابند.

مراجع

۱- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۳۸۴

۲- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و دفتر امور فنی و تدوین معیارها، جزئیات اجرایی بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، ۱۳۸۲.

۳- طارق مهدی، بررسی مقررات قطعات الحاقی ساختمان در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و ارزیابی موارد مربوط در استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول، ۱۳۸۹.

۴- حسینی مازیار، منتظرالقائم سعید، امینایی چترودی عبدالرضا، راهنمای کاربردی کاهش خسارات اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها در اثر زلزله، سازمان پیش‌گیری و مدیریت بحران شهر تهران، چاپ اول، ۱۳۸۷.

۵- فرید جواد، رفتار اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌ها در زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ - اهر، ورزقان و هریس، در دست انتشار.

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۵۵ تا ۶۶

زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱ اهر، ورزقان و هریس؛ آسیب‌های وارد بر مساکن روستایی و ضرورت توجه به ساخت، نگهداری و بهسازی آن‌ها

جواد فرید
مهندس راه و ساختمان، دانش‌آموخته دانشکده فنی، دانشگاه تهران
Javad.farid@yahoo.com

چکیده:
حدود سی درصد از مردم میهنمان در روستاها و اغلب در مساکن ناایمن در برابر زلزله زندگی می‌کنند. جان، خانه، اموال و دام‌های هموطنان روستایی، نخستین آماج زلزله‌ها به شمار می‌روند. به نظر نمی‌رسد که در آینده‌ای نزدیک در نحوه ساخت مساکن روستایی کشور، تغییری اساسی ایجاد شود و ساختمان‌هایی با مصالح استاندارد و پایدار در برابر زلزله جایگزین مساکن روستایی موجود بشوند.
در این مقاله، ضمن نگاهی به توزیع جمعیت و مساکن در شهرها و روستاهای ایران و ارائه آماری از زلزله‌های شصت سال گذشته ایران، خرابی‌ها و تلفات جانی حادث از آن‌ها در مناطق روستایی، بر امر آموزش و همیاری روستائیان در ساخت خانه‌های مسکونی، نگهداری و بهسازی این مساکن تاکید می‌شود.

۱ـ توزیع جمعیت و مساکن در شهرها و روستاهای ایران

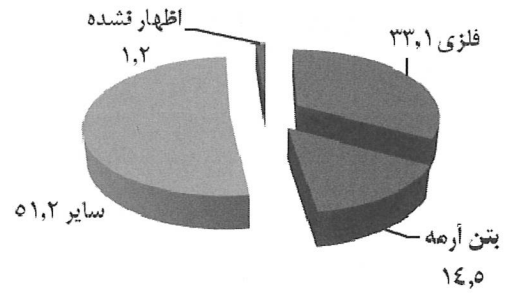
مطابق سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ کشور، از ۷۵۱۴۹۶۶۹ نفر جمعیت ایران، ۷۱ درصد آن در نقاط شهری و ۲۹ درصد آن در مناطق روستایی ساکن هستند. این نسبت‌ها در سرشماری سال ۱۳۸۵، که جمعیت ایران بالغ بر ۷۰ میلیون نفر بود، به ترتیب برابر ۶۹ و ۳۱ درصد بودند. کاهش نسبی جمعیت روستایی ایران در فاصله دو سرشماری، علل مختلفی دارد که مهاجرت روستائیان به‌ویژه جوانان روستایی به شهرهای اطراف در پی یافتن کار، از دلایل عمده آن به‌شمار می‌رود.

برطبق تعریف مرکز آمار ایران، **نقطه شهری** یا **شهر**، به هریک از نقاط جغرافیایی ایران اطلاق می‌شود که دارای شهرداری باشد. در برابر، منظور از **منطقه روستایی** یا به عبارتی **آبادی**، محدوده‌ای است واقع در یک دهستان، با حدود ثبتی یا عرفی مستقل و خارج از محدوده شهرها یا آبادی‌های دیگر که به دلیل وجود فعالیت انسان‌ها در تمام یا در بخشی از آن، قابل تشخیص بوده، معمولا نام و یا عنوان خاصی را دارا می‌باشد. آبادی در واقع یک نقطه جغرافیایی محسوب می‌شود و شامل اراضی کشاورزی و یا غیرکشاورزی و اماکن محل فعالیت یا سکونت انسان‌ها است.

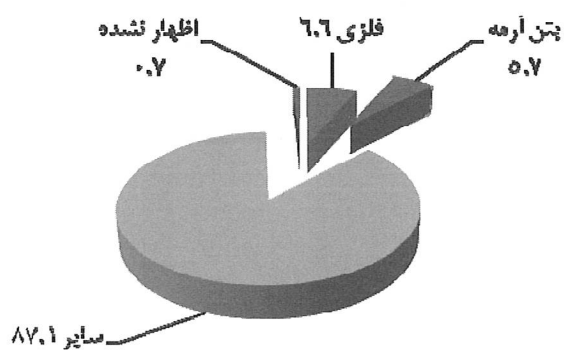
نسبت خانوارهای ساکن در مناطق شهری و روستایی به کل خانوارهای ایرانی در دو سرشماری پیش‌گفته با توزیع جمعیت در این مناطق هم‌خوانی دارد. برای نمونه در سرشماری سال ۱۳۹۰، از کل ۲۱۱۸۵۶۴۷ خانوار ایرانی، ۷۳ درصد آن در نقاط شهری و ۲۷ درصد آن در نقاط روستایی ساکن بودند. در سرشماری سال ۱۳۸۵ نیز از کل ۱۷۵۰۱۷۷۱ خانوار، ۷۱ درصد آن در نقاط شهری و ۲۹ درصد بقیه در نقاط روستایی مستقر بودند.

سرپناه حدود ۵۰ درصد خانوارهای شهری را طی دو سرشماری ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، ساختمان‌های اسکلت فلزی یا بتن‌آرمه تشکیل می‌دهد. درصورتی که این نسبت برای خانوارهای روستایی عددی پایین و متغیر بوده است: ۳ر۱۲درصد در سرشماری سال ۱۳۸۵، ۶ر۲۰ درصد در سرشماری سال ۱۳۹۰. شکل‌های ۱ و ۲ ، توزیع نسبی واحدهای مسکونی شهری و روستایی را به تفکیک نوع اسکلت بنا در سرشماری‌های سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ نشان می‌دهد [۱]. در این شکل‌ها، مراد از اسکلت فلزی یا بتن‌آرمه، فقط مصالح به‌کار رفته در این ساختمان‌ها است و هیچ‌گونه تفکیکی از نظر نوع سیستم ساختمان و یا سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی، آن‌گونه که فی‌المثل در استاندارد ۲۸۰۰ ایران (آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله) تعریف می‌شود، به‌عمل نیامده است. البته انتظار ارایه چنین تفکیکی در یک سرشماری عمومی نفوس و مسکن که هدف دیگری را دنبال می‌کند، امر بیهوده‌ای است. منظور از واژه **سایر** در شکل‌های پیش‌گفته و در مرجع مربوط، آن دسته از واحدهای مسکونی است که با هیچ یک از دو مورد قبلی مطابقت نداشته باشد. به‌عبارتی، مساکن خشت و گلی، ساختمان‌های سنگی، ساختمان‌های بنایی آجری از هر نوع (با کلاف‌بندی یا بدون کلاف‌بندی)، ساختمان‌های مختلط (نیم اسکلت) در این گروه قرار می‌گیرند. نسبت این‌گونه ساختمان‌ها در مناطق روستایی به نقاط شهری در هر دو سرشماری حدود ۷۰ر۱ است. با این تفاوت که، این‌گونه ساختمان‌ها در نقاط شهری خصوصا در شهرهای بزرگ، اگر بافت‌های فرسوده داخل شهری را مستثنی کنیم، در نواحی پیرامونی و حاشیه‌ای شهرها،

مستقرند، در حالی‌که تقریبا کلیت واحدهای مسکونی روستایی را چنین ساختمان‌هایی تشکیل می‌دهند و



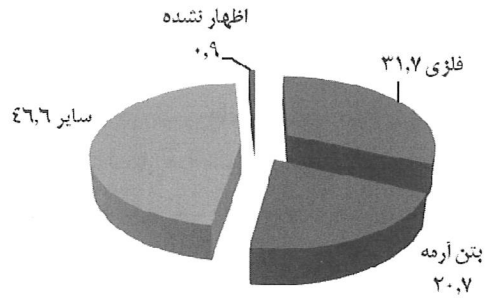
واحدهای مسکونی شهری



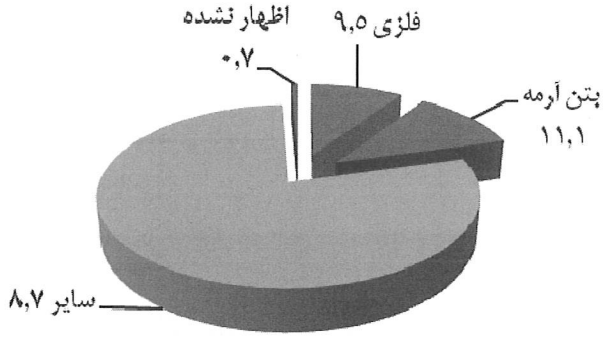
واحدهای مسکونی روستایی

شکل ۱ـ توزیع نسبی واحدهای مسکونی در نقاط شهری و روستایی به تفکیک نوع اسکلت در سال ۱۳۸۵ (به درصد) [۱]

پراکندگی آن‌ها کل پهنه روستا را در بر می‌گیرد.



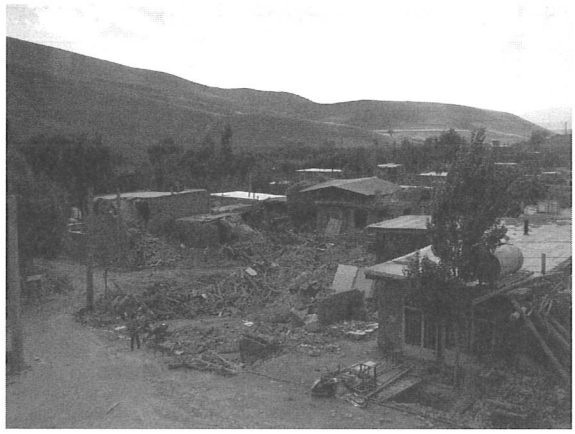
واحدهای مسکونی شهری



واحدهای مسکونی روستایی

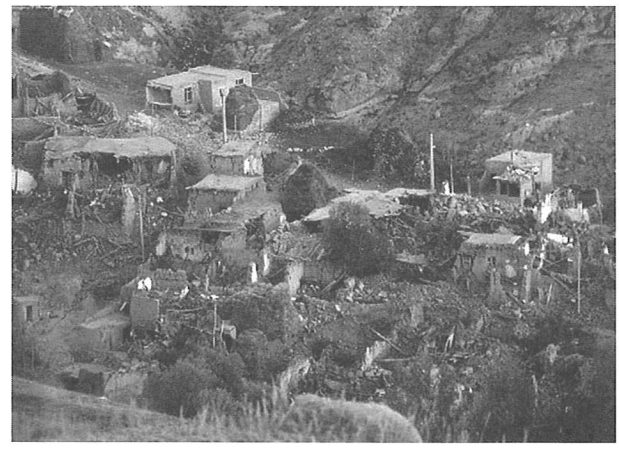
شکل ۲ـ توزیع نسبی واحدهای مسکونی در نقاط شهری و روستایی به تفکیک نوع اسکلت در سال ۱۳۹۰ (به درصد) [۱]

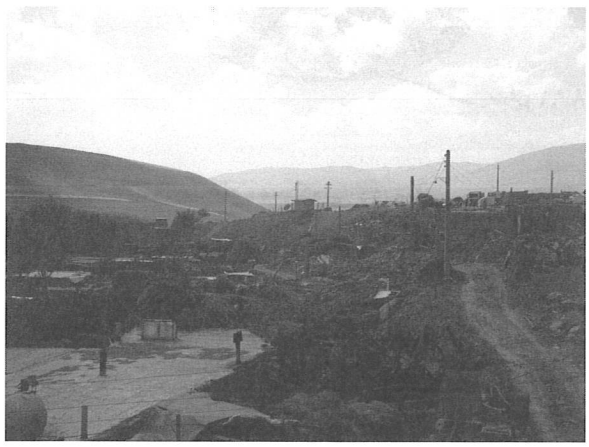
از طرف دیگر، گرچه مقایسه شکل‌های ۱ و ۲، بیان‌گر افزایش احداث ساختمان‌های بتن‌آرمه و فولادی در روستاهای ایران است، ولی واقعیت امر حاکی از آن است که احداث ساختمان‌های اسکلتی در روستاها، چندان تابع ضوابط فنی و تمهیدات آیین‌نامه‌ای نیست و اجرای آن‌ها کاملا دور از کنترل و نظارت-هایی صورت می‌گیرد که بر طراحی و اجرای این‌گونه ساختمان‌ها در شهرهای کشور، به‌ویژه شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها، اعمال می‌شود. انهدام تعدادی از ساختمان‌های اسکلت فولادی و یا گسیختگی اتصالات برخی ساختمان‌های بتن‌آرمه در زلزله ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۱، اهر، ورزقان و هریس، شاهدی بر این مدعا است.



۲ـ تاثیر زلزله‌های مختلف بر مساکن روستایی ایران

شکل۳، خرابی‌های عام و گسترده روستاهای اطراف ورزقان را در زلزله ۲۱ مرداد ماه ۹۱ نشان می‌دهد. این گونه تصاویر از خرابی‌های ناشی از زلزله، تصاویری دردآور ولی آشناست. در هر زلزله‌ای که در گوشه‌ای از میهنمان رخ داده، روستاهای کشور و هموطنان روستایی نخستین آماج آن بوده‌اند.



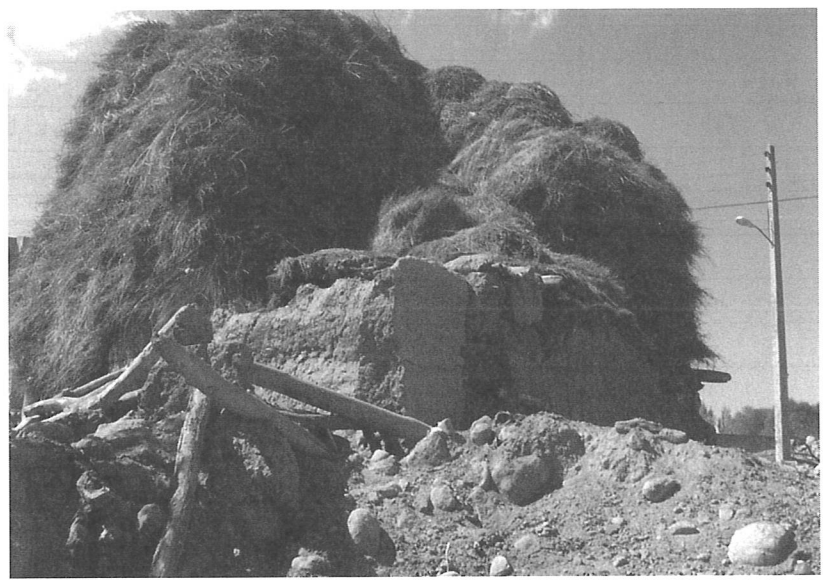


شکل ۳ـ نماهایی از خرابی روستاها

جدول یک، تعدادی از زلزله‌های مهم و با بزرگای بیش از ۶ را که در شصت سال گذشته در پهنه ایران رخ داده‌اند، نشان می‌دهد. در این جدول، اگر زلزله‌های طبس، ماکو، بندرعباس، منجیل ـ رودبار و زلزله اخیر اهر ـ ورزقان ـ

هریس را مستثنی کنیم که در آن‌ها نقاط شهری نیز همراه با مناطق روستایی لرزیده و آسیب دیده‌اند، بقیه زمین‌لرزه-ها مناطق روستایی را نشانه رفته‌اند و تعداد تلفات انسانی این مناطق، رقم بزرگی را تشکیل می‌دهد. البته باید توجه داشت که به غیر از بندرعباس، بقیه مناطق نام‌برده شده در زمان وقوع زلزله، بیشتر حالت شهر ـ روستا را داشته‌اند.

مساکن روستایی کشورمان به‌طور سنتی از گل و خشت خام ساخته شده‌اند. از مشخصات اصلی آن‌ها، ضخامت زیاد دیوارها (حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی متر) و سقف‌ها (حدود ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر) می‌باشد. دیوارهای این منازل متشکل از خشت با ملات گل، نقش سازه‌ای دارند و بار سقف را به پی منتقل می‌کنند. سقف ساختمان‌های روستایی در گستره بزرگی از کشور، از تعدادی تیرهای چوبی متکی بر روی دیوارها تشکیل می‌شود. فاصله بین تیرها، معمولا با تخته و روی آن‌ها با شفته گل یا کاه گل پوشیده می‌شوند. در اغلب موارد، شالوده این ساختمان‌ها متشکل از سنگ خشکه‌چین یا سنگ‌چین با ملات ماسه سیمان یا ملات ماسه آهک با پهنای نسبتا کم است و گاهی نیز دیوارها به‌طور مستقیم بر روی خاک قرار می‌گیرند. این ساختمان‌ها به‌رغم وزن نسبی زیاد، عایق حرارتی مناسبی هستند و تغییرات دمای محیط را با تاخیر بیشتری به فضای مسکونی منتقل می‌سازند. سقف این ساختمان‌ها اغلب به‌عنوان محل انبار و نگه‌داری علوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این صورت بار قابل ملاحظه‌ای را به پوشش ساختمان وارد می‌کنند (شکل ۴). گاهی بنا به مورد بخشی از دیوارها با آجر فشاری یا سنگ به‌صورت خشکه‌چین ساخته می‌شوند و در چنین حالاتی به مواردی نادر برخورد می‌شود که سقف آن‌ها را تیرهای فولادی با طاق ضربی تشکیل می‌دهند. به‌طور کلی می‌توان گفت که مصالح مصرفی در مساکن روستایی، تابع ضابطه خاصی نیست و برحسب مقتضیات و امکانات محلی از مصالح مختلف و شیوه‌های اجرایی متفاوت استفاده می‌شود. شکل ۵، یک ساختمان دو طبقه روستایی را در منطقه ورزقان نشان می‌دهد که هر یک از دیوارهای آن، از مصالح سنگی، آجری و خشتی ساخته شده‌اند.



شکل ۴ـ سربار دائمی بر روی سقف مسکن خشت و گلی

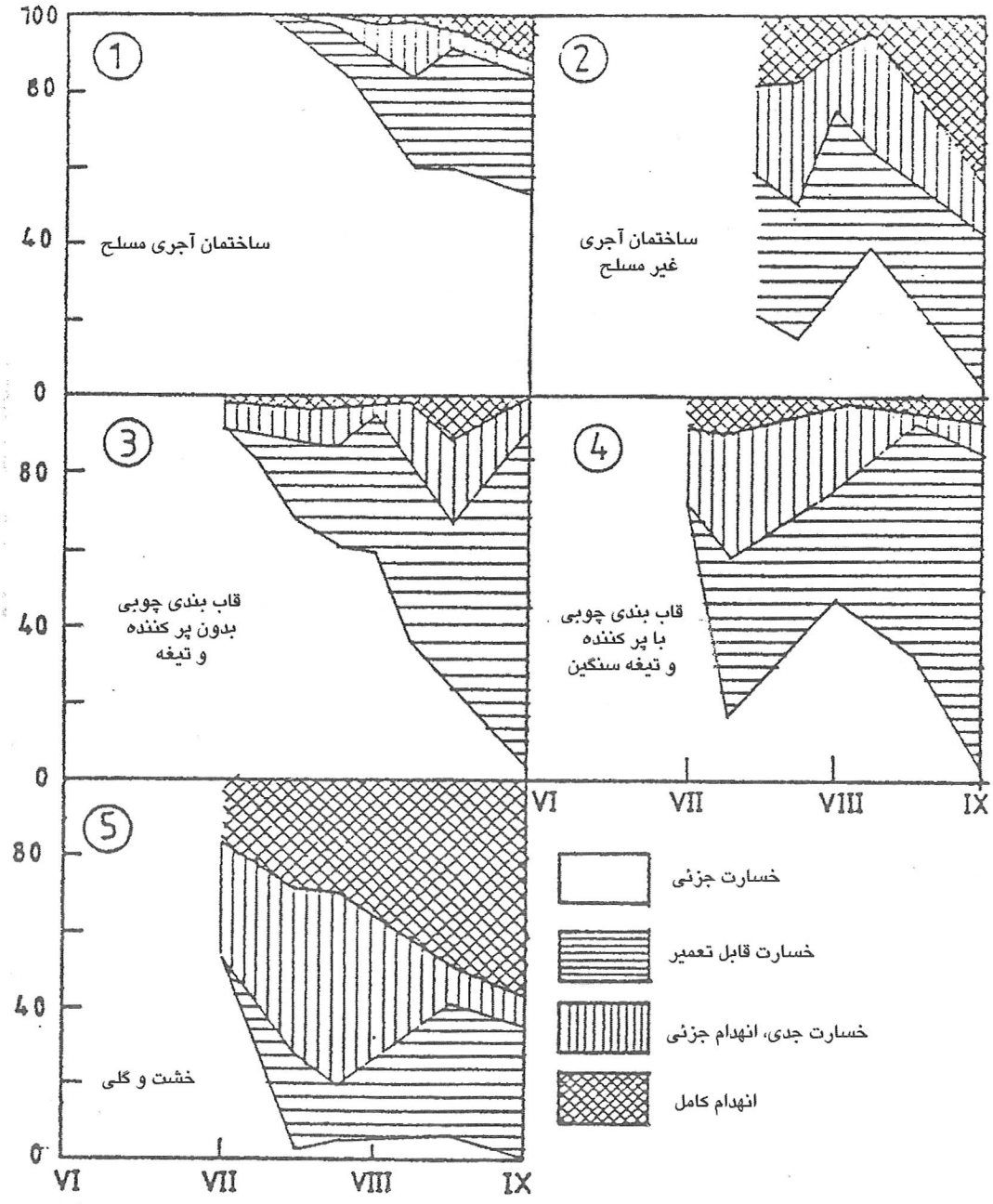
جدول ۱ـ زلزله‌های شصت سال گذشته ایران با بزرگای بیش از ۶

ردیف	محل وقوع	سال رویداد	بزرگا	تلفات جانی (نفر)	تعداد روستاهای آسیب دیده
۱	ترود	۱۳۳۱	۶٫۴	۶۰۰	۲۰۰
۲	گوده	۱۳۳۵	۶٫۷		
۳	سنگچال	۱۳۳۶	۷٫۳		
۴	فارسینج	۱۳۳۶	۷٫۲	۱۱۳۰	۲۰۰
۵	نهاوند	۱۳۳۷	۶٫۷	۱۹۱	۱۱۰
۶	لار	۱۳۳۹	۶٫۱	۱۵۰۰۰	
۷	دهکویه	۱۳۴۰	۶٫۸		
۸	بوئین زهرا	۱۳۴۱	۷٫۲	۱۲۲۰۰	۹۱
۹	دشت بیاض	۱۳۴۷	۷٫۳	۱۱۶۰۰	۶۱
۱۰	بمپور	۱۳۴۸	۶٫۷		
۱۱	مراوه تپه	۱۳۴۹	۶٫۷	۲۰۰	
۱۲	قیر و کارزین	۱۳۵۱	۷	۵۰۰۰	۶۶
۱۳	بندرعباس ـ سرخو	۱۳۵۳	۶	۶۰۰۰	
۱۴	ماکو	۱۳۵۵	۷٫۳		
۱۵	بندرعباس ـ خورگو	۱۳۵۶	۷	۱۲۸	
۱۶	طبس	۱۳۵۷	۷٫۷	۱۹۶۰۰	۶۱
۱۷	قائنات	۱۳۵۸	۶٫۶	۲۵۰	
۱۸	قائنات	۱۳۵۸	۷٫۱	۱۳۰	۱۵۰
۱۹	گلباف	۱۳۶۰	۶٫۷	۱۰۲۸	
۲۰	سیرج	۱۳۶۰	۷٫۳	۱۳۰۰	
۲۱	رودبار ـ منجیل	۱۳۶۹	۷٫۳	۳۷۰۰۰	۷۰۰
۲۲	سفیدآبه	۱۳۷۲	۶٫۶		
۲۳	سرعین	۱۳۷۵	۶٫۱	۹۶۵	۱۳۰
۲۴	گرمخان	۱۳۷۶	۶٫۱		
۲۵	زیرکوه قائنات	۱۳۷۶	۷٫۱	۱۵۶۸	
۲۶	گلباف	۱۳۷۶	۶٫۹	۵۰	
۲۷	کره‌بس	۱۳۷۷	۶٫۲	۲۲	
۲۸	چنگوره ـ آوج	۱۳۸۱	۶٫۵	۲۳۰	۸۵
۲۹	بم	۱۳۸۲	۶٫۴	۳۱۰۰۰	
۳۰	سیلاخور	۱۳۸۵	۶٫۱		
۳۱	اهر ـ ورزقان ـ هریس	۱۳۹۱	۶٫۱	۳۰۶	۳۰۲

شکل ۵ـ خانه روستایی با دیوارهایی متشکل از مصالح گوناگون

همان‌طور که در زلزله‌های پیشین کشورمان مشخص شده، ساختمان‌های خشت و گلی روستایی به دلیل ضعف باربری مصالح، مقاومت ناکافی در کشش و فشار، اجرای غیراصولی، عدم انسجام و یکپارچگی سازه، پایداری لازم را در برابر زلزله‌های متوسط و گاه ضعیف نیز ندارند و رفتار آن‌ها در برابر زلزله‌ها، تردشکن می‌باشد.

همین ضعف‌ها و نقصان‌های بر شمرده، باعث شده‌اند که ساختمان‌های خشت و گلی در زمین‌لرزه‌های متوسط و نه‌چندان شدید، با جدایی دیوارها از یک‌دیگر، جدایی دیوارها از شالوده و سقف، ترک‌خوردگی‌های مختلف دیوارها، فروریزش بخش یا تمامی سقف و در نهایت با انهدام کامل مواجه باشند. این‌گونه پدیده خرابی و انهدام مساکن خشت و گلی مختص روستاهای ایران نیست. طی بررسی‌هایی که پروفسور آریا و همکاران وی در دانشگاه رورکی هندوستان در باره عملکرد ساختمان‌های خشت و گلی در زلزله‌های هندوستان، افغانستان، ایران، شیلی، ایتالیا، ترکیه و چند کشور دیگر به عمل آورده‌اند، مشخص کرده‌اند که در زلزله‌های متوسط بین هفت تا هشت درجه مرکالی اصلاح شده و در مقایسه با دیگر ساخت و سازه‌های غیرمهندسی، حدود ۳۰ درصد از ساختمان‌های خشت و گلی با انهدام کامل و حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد آن‌ها با خرابی‌ها و گسیختگی‌های جدی مواجه‌اند. (شکل ۶) [۴].



شکل ۶ـ خسارات وارد بر ساخت و سازهای غیرمهندسی در زلزله‌ها [۴]

۳ـ بازسازی و یا بهسازی مساکن روستایی

با توجه به ضعف مساکن خشت و گلی روستایی در برابر زمین لرزه‌ها، در چند سال اخیر، تلاش‌هایی به‌ویژه از سوی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی برای بازسازی این‌گونه مساکن در برخی از روستاهای ایران آغاز شده است. برای نمونه، می‌توان در چند سال

پیش و بسیار پیشتر از وقوع زلزله اخیر، به سابقه تخریب چندین مسکن خشت و گلی در روستاهای اطراف ورزقان و بازسازی آن‌ها به‌صورت خانه‌هایی آجری با کلاف‌بندی‌هایی مطابق استاندارد ۲۸۰۰، اشاره کرد. این‌گونه ساختمان‌ها، حتی در صورت وجود برخی ایراد که به‌طور عمده در محل اتصال کلاف‌های قائم و افقی تعدادی از خانه‌ها مشخص بود، زلزله را به خوبی تاب آورده و جان و مال ساکنان را به‌درستی از آسیب حفظ کرده‌اند. اما سوال این است که آیا می‌توان تمام خانه‌های روستایی خشت و گلی کشور را با ساختمان‌های بنایی کلاف‌بندی شده جایگزین کرد؟ حتی اگر این امر را از نظر اقتصادی قابل حصول فرض کنیم، از نظر مداخلات بنیادی که این‌گونه جایگزینی‌ها در کالبد روستاها انجام می‌دهند، با مشکلات اساسی روبرو خواهیم شد. "تحقیق در تجربیات گذشته کشور، از جمله بازسازی روستاهای دشت قزوین پس از زلزله سال ۱۳۴۱ و یا بازسازی سکونتگاه‌های ناحیه طبس پس از زلزله سال ۱۳۵۷ و یا زلزله گلباف کرمان و از همه مهم‌تر، بازسازی‌های مناطق جنگ‌زده استان خوزستان از سال ۱۳۶۱ به بعد نشان داد که طراحی و ساخت در روستاها کار چندان ساده و پیش پا افتاده‌ای نیست. دست‌اندرکاران بازسازی مکرر شاهد بوده‌اند که چگونه این تصور که هر بنای مستحکم پایدار در برابر زلزله می‌تواند به‌راحتی مسکن یک خانواده روستایی قرار گیرد، در عمل اشتباه از کار در آمده است. مکرر دیده شده است که روستائیان ساختمان‌های محکم مقاوم در برابر زلزله را ترک کرده و مجددا با مصالح بومی برای خود خانه‌ای را ساخته‌اند که در همه ابعاد پاسخگوی نیازهای آن‌ها بوده است" [۲]. بدین ترتیب احتمال بسیار وجود دارد که تا سالیان متمادی، روستائیان کشور با استفاده از مصالح بومی منطقه، به‌ویژه خشت و گل به احداث سرپناه بپردازند. از این‌رو ضرورت دارد، سازمان‌هایی مانند بنیاد مسکن انقلاب اسلامی و یا ارگان‌های مستقل غیردولتی، با تشکیل گروه‌های کاری، با اعزام نیروهای متخصص به روستاها، با انتشار جزوات مصور، از همه مهم‌تر با همیاری و همدلی با روستائیان، آن‌ها را در ساخت مساکن روستایی که حداقل پایداری لازم را در برابر زلزله‌های متوسط دارا باشند، یاری رسانند. چنین پروژه‌هایی از سال‌های ۱۹۸۰، در کشورهایی مانند نیکاراگوئه، گواتمالا، شیلی، پرو، یونان، ترکیه و هندوستان اجرا شده و اغلب به نتایج جالب توجهی نیز منتهی شده‌اند. شکل ۷، نمونه‌ای از آگاهی‌های ارایه شده به روستائیان پرو برای ساخت سرپناه را نشان می‌دهد [۵]. شکل ۸ نیز، بخشی از راهنمایی‌های مشابهی را که توسط متخصصان دانشگاه کاتولیک شیلی تهیه و طی دفترچه‌ای در اختیار روستائیان شیلی قرار گرفته، نشان می‌دهد [۶].

در ایران، مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان "طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی"، فصل سوم خود را به "ساختمان‌های خشتی" اختصاص داده است [۳]. این فصل از مبحث هشتم، کم‌تر از دیگر فصول این مبحث، مورد استفاده مهندسان طراح یا مجری قرار می‌گیرد و قویا می‌توان گفت که هرگز توسط افراد فنی به‌کار برده نمی‌شود. از طرف دیگر، روستاییان کشور نه اطلاعی از مباحث مختلف مقررات ملی ساختمان دارند و نه این مباحث به‌خودی‌خود می‌تواند مورد استفاده آنان قرار گیرد. از این‌رو ضرورت دارد، نشریاتی مصور، ساده و قابل درک برای روستاییان، نظیر آن‌چه در پرو و شیلی منتشر شده است، تهیه و برای احداث مساکن روستایی در اختیار روستائیان کشور قرار داده شود.

مسئله مهم دیگر، نگه‌داری و بهسازی مساکن روستایی و ارتقای پایداری آن‌ها در برابر زلزله‌های نه‌چندان شدید و متوسط است، به قسمی که این مساکن در زلزله‌هایی مانند زلزله ۲۱ مردادماه اهر، ورزقان و هریس فرونریزند و باعث از دست رفتن جان و مال هم‌وطنان روستایی نگردند.

بیش از چندین دهه است که در کشورهای صنعتی زلزله-خیز جهان، بهسازی ساختمان‌های مهندسی‌ساز و ارتقای پایداری لرزه‌ای آن‌ها، همانند طراحی و اجرای سازه‌های جدید، براساس مبانی مشخص و شناخته شده‌ای استوار شده و آیین‌نامه‌ها، استانداردها و دستورالعمل‌های فنی خود را دارا می‌باشد.

در ایران، توجه رسمی به بهسازی سازه‌ها، عمری نزدیک به یک دهه دارد. در این مورد نیز هدف اصلی، معطوف به ساختمان‌های عمومی و خدماتی، با اهمیت زیاد و خیلی زیاد، و سازه‌های بتن‌آرمه، اسکلت فولادی و در نهایت ساختمان‌های با مصالح بنایی آجری مسلح یا غیرمسلح بوده است.

دلیل عدم استقبال از طراحی و یا بهسازی مساکن روستایی از نوع خشت و گلی، در وهله نخست آن است که در مجامع بین‌المللی، کنفرانس‌های جهانی و مجلات معتبر مهندسی سازه و مهندسی زلزله، تاکید اصلی بر روی حل مسائل سازه و زلزله کشورهای پیشرفته صنعتی و به‌طور عمده در باره سازه‌های ویژه مهندسی، آسمان‌خراش‌ها، پل‌های طویل و... متمرکز شده است. از این‌رو، به تبعیت از این نوع نگرش، در دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ایران نیز چندان انگیزه‌ای برای تحقیق بر روی مساکن خشت و گلی و حتی آجری و سنگی روستایی وجود نداشته است. دوم آن‌که، به دلیل ناهمگنی مصالح به‌کار رفته در مساکن خشت و گلی، مدل‌های ریاضی مناسبی از آن‌ها ساخته نشده است تا محققان را برای دستیابی به الگوهای محاسباتی رهنمون شوند.

اما همان‌طورکه پیشتر گفته شد، حدود ۳۰ درصد از هم-وطنان، یعنی بخش عظیمی از نیروهای مولد کشور در سرپناه‌های ناایمن، مسکن و ماوا دارند و هنوز امکان عینی برای ممانعت از ساخت و بهره‌برداری این نوع مساکن، وجود ندارد. از این‌رو، فرض است که هم در ساختن مساکن روستایی و هم در نگه‌داری و بهسازی آن‌ها، تمهیدات لازم به‌صورت الگوهایی ساده، کم هزینه، قابل اجرا توسط روستاییان اندیشیده شود. در این راستا نقش ارگان‌های دولتی، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، مجامع فنی و مهندسی و سازمان‌های مردم نهاد و... می‌تواند بسیار ارزشمند باشد.

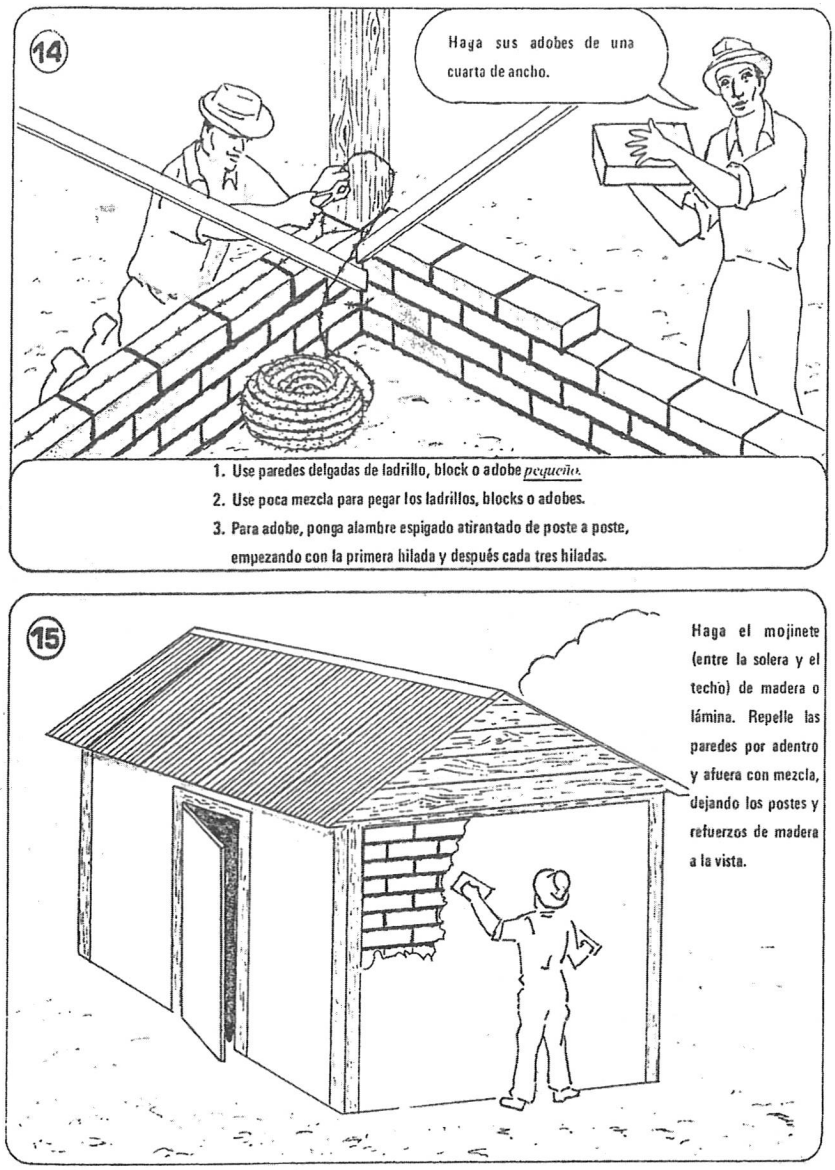
۴ـ نتیجه‌گیری

الف) حدود ۳۰ درصد از مردم کشور در روستاها و اغلب در مساکن ناایمن در برابر زلزله زندگی می‌کنند. به نظر نمی‌رسد که در آینده‌ای نزدیک در نحوه ساخت مساکن روستایی کشور، تغییری اساسی ایجاد شود و ساختمان‌های پایدار در برابر زلزله جایگزین مساکن روستایی موجود بشوند.

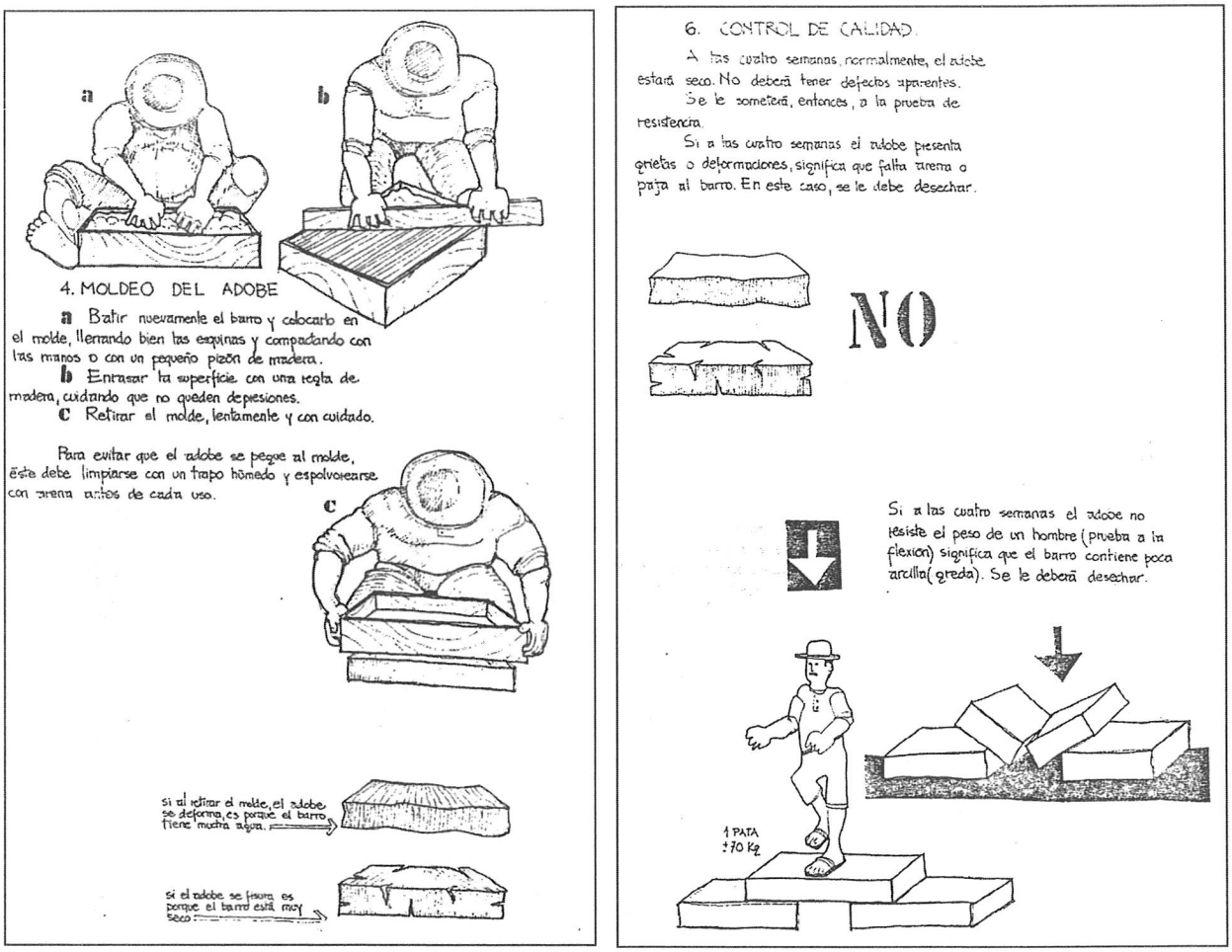
ب) جایگزینی مساکن موجود روستایی با ساختمان‌های مهندسی‌ساز، نباید به صورت پروژه‌های تحمیلی و مداخلاتی مغایر با فرهنگ، سنت، نحوه معیشت و... روستاییان انجام گیرد. تجربه‌های مختلف در ایران و در سایر کشورهای زلزله‌خیز هم‌سنگ ایران، نشان داده‌اند که هرگونه ساخت و ساز پس از سوانح طبیعی که بدون توجه به شرایط محیطی، فرهنگی و خواست روستاییان احداث شده، مورد پذیرش روستاییان واقع نشده‌اند.

پ) ساخت مساکن روستایی، نگه‌داری و نیز بهسازی آن‌ها، باید با همکاری و همیاری ارگان‌های دولتی، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، مجامع فنی و مهندسی، سازمان‌های مردمی نهاد، به امری ملی و همگانی تبدیل شود. دادن آموزش‌های مفید به روستاییان و کمک‌های فنی برای ساختن مساکن روستایی باید در اولویت قرار گیرند. در طی بیست سال گذشته بسیار پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکترا در پژوهشگاه‌ها و دانشکده‌های مهندسی عمران کشور، نگاشته شده‌اند. موضوع این پایان‌نامه‌ها اکثرا ملهم از مسایل فنی و مهندسی کشورهای پیشرفته صنعتی بوده است. این امر به خودی خود اشکالی ندارد و پیشرفت موسسات آموزشی و پژوهشی کشور را می‌رساند. اما لازم است که توانمندی‌های پژوهشی کشور در راستای ساخت و سازهای بومی و

ارتقای کیفیت آن‌ها به‌کار آیند. معدود میزهای لرزان نصب شده در پژوهشگاه‌ها باید برای بررسی عملکرد مساکن روستایی کشور تحت بارگذاری‌های مختلف، به‌کار گرفته شوند. پا به پای این تحقیقات باید روش‌های بهسازی کم هزینه، ساده و قابل اجرا برای مساکن روستایی موجود، تهیه و اجرایی شوند.



شکل ۷ـ آگاهی‌های ارایه شده به روستائیان پرو [۵]



شکل ۸ــ راهنمایی‌های ارایه شده به روستائیان شیلی [۶]

مراجع

۱ـ مرکز آمار ایران، "گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن" ، ۱۳۹۰

۲ـ دکتر اکبر زرگر "درآمدی بر شناخت معماری روستایی ایران"، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ پنجم، ۱۳۸۸

۳ـ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ، مبحث هشتم: "طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی"، چاپ دوم، ۱۳۸۴

۴- Arya A.S., Boen T., "Earthquake Resistant Construction of Earthen Housing", Proceedings of International Workshop on Earthen Buildings in Sesmic Areas , University of New Mexico, ۱۹۸۱.

۵- Ian Davis, "The roof of the pudding", Proceedings of International Workshop on Earthen Buildings in Sesmic Areas , University of New Mexico, ۱۹۸۱.

۶- Luis Crisosto A. "Recomendaciones Para Las Construcciones De Adobe En Regiones Sismicas" Proceedings of International Workshop on Earthen Buildings in Sesmic Areas , University of New Mexico, ۱۹۸۱.

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۶۷ تا ۸۲

بررسی رفتار و عملکرد لرزه‌ای دیافراگم‌ها در سیستم‌های سازه‌ای

اباذر اصغری
عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی ارومیه
abcd۱۳۸۶@gmail.com

شاهرخ شعیبی
کارشناس ارشد سازه
shsh۷۰@yahoo.com

چکیده:
سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای زلزله باید مجموعه‌ای از اعضاء و عناصری باشند که به نحو مطلوب و کارا (از نظر مقاومت و خدمت‌رسانی) و با تشکیل مسیر انتقال نیرویی مطمئن، نیروهای ناشی از زلزله (نیروهای ناشی از اینرسی) را از ابتدای ایجاد دریافت و به تکیه‌گاه‌ها منتقل نمایند. اولین عضو در تشکیل این مسیر دیافراگم می‌باشد. به همین دلیل شناخت رفتار و تحلیل و طراحی دیافراگم همانند سایر اعضای سیستم باربر جانبی (ستون، تیر، دیوار برشی و ...) حایز اهمیت می‌باشد. در کشور ما اهمیت بررسی دیافراگم‌ها، توسط مهندسین محاسب چندان جدی گرفته نشده و عموما به آنها به عنوان اعضاء فرعی نگریسته می‌شود. در این مقاله سعی شده تا با بررسی وظایف، اجزاء تشکیل دهنده، رفتار و عملکرد و نوع نیروهای وارد بر دیافراگم، اهمیت و لزوم نگرشی متفاوت به دیافراگم‌ها مشخص گردد. همچنین به تشریح انواع مدل‌سازی و تحلیل دیافرگم‌ها و نحوهٔ طراحی آنها پرداخته شده است.

۱- مقدمه

سازه‌های ساختمانی ترکیبی از عناصر افقی نظیر تیرها و سقف، عناصر عمودی نظیر ستون‌ها، مهاربندها و دیوارها و عناصر پی می‌باشند. تمامی این عناصر تشکیل دهندهٔ سیستم کاملی جهت مقاومت در برابر نیروهای جانبی و قائم می‌باشد. طرح لرزه‌ای سیستم‌های ساختمانی مستلزم کنترل تغییرمکان‌های ساختمان می‌باشد که عموماً از طریق سختی جانبی عناصر باربر سازه در برابر نیروهای ناشی از شتاب جرم ساختمان که بیشترین مقدار آن را جرم دیافراگم‌ها و کف‌ها تشکیل می‌دهد، تامین می‌شود. مقاومت نیز مجموعهٔ پیوسته ای از مسیر انتقال بار المان‌های گستردهٔ کف و دیافراگم به اعضاء قائم و مقاوم در برابر با زلزله (دیوارهای برشی، مهاربندها، قاب‌های خمشی و ...) و انتقال این نیروها به پی سازه می باشد.

دیافراگم‌ها اولین بخش از این مسیر انتقال بار می‌باشد که به‌طور افقی بین عناصر قائم مقاوم در برابر زلزله گسترده شده است. بدون این المان مقاومتی در برابر حرکت جرم وجود نخواهد داشت و عدم وجود آن سبب ایجاد تغییرشکل‌های بزرگ و حتی فرو ریختگی می‌شود. بنابراین دیافراگم‌ها جزء عناصر مهم در طراحی لرزه‌ای سازه بوده و رفتار و عملکرد لرزه‌ای آن در سازه‌های ساختمانی بایستی به دقت مد نظر طراحان قرار گیرد.

۲- وظایف دیافراگم‌ها

۲-۱- وظایف اصلی

دیافراگم‌ها برای مقاومت در برابرهای قائم و جانبی ساختمان وظایف متعددی را دارند و مهمترین این وظایف عبارتند از :

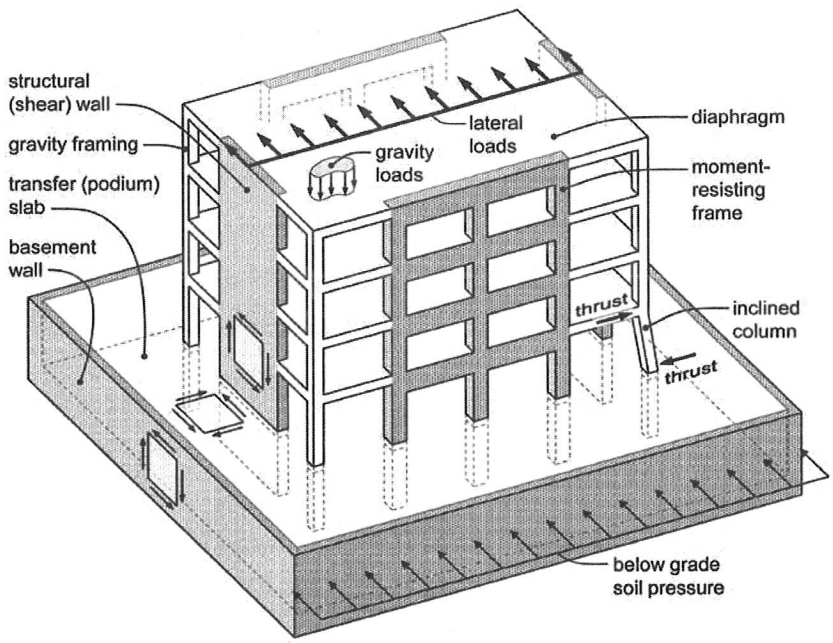
- **انتقال نیروهای اینرسی جانبی به اعضاء قائم سیستم باربر لرزه‌ای:** با توجه به اینکه سیستم کف عموماً شامل بیشترین جرم ساختمان می‌باشد، لذا نیروی اینرسی قابل توجهی در صفحهٔ دیافراگم بوجود می‌آید. اولین و مهمترین نقش دیافراگم هنگام زلزله تحمل این نیرو و انتقال آن به اعضاء قائم مقاوم در برابر نیروی زلزله می‌باشد.
- **مقاومت در برابر بارهای قائم:** بیشتر دیافراگم‌ها بخشی از سیستم کف بوده و لذا نیروهای قائم وزن را تحمل می‌نمایند. علاوه برآن در هنگام زلزله نیز دیافراگم‌ها نیروهای اینرسی ناشی از ارتعاشات قائم را تحمل و به اعضاء قائم منتقل می‌نمایند.
- **ایجاد تکیه‌گاه جانبی برای اعضاء قائم:** دیافراگم‌ها در هر طبقه به اعضاء قائم باربر جانبی سیستم مقاوم لرزه‌ای متصل شده و سبب ایجاد تکیه‌گاه جانبی در برابر کمانش و اثرات ثانویه ناشی از تغییر مکان‌های جانبی سازه می‌شود. علاوه برآن با اتصال اعضاء قائم باربر به دیافراگم‌ها، سیستم قاب‌بندی سه بعدی مقاومی در برابر نیروهای ناشی از زلزله تشکیل می‌گردد.
- **مقاومت در برابر نیروهای خارج از صفحهٔ دیوارهای پیرامونی:** نیروهای خارج از صفحه ایجاد شدهٔ ناشی از زلزله و یا باد در دیوارهای پیرامونی و نماها توسط دیافراگم در نقاط اتصال لبهٔ دیافراگم‌ها دریافت و مهار می‌گردد.
- **انتقال نیروها در داخل دیافراگم‌ها:** بر اساس پاسخ یک سازه در برابر نیروهای زلزله برش‌های جانبی در اغلب موارد باید از یک عضو باربر قائم به عضو دیگر باربر قائم انتقال پیدا کند. شدت نیروهای انتقال هنگامی که در اعضاء باربر قائم عدم پیوستگی یا جابه‌جایی در داخل صفحه و یا خارج از صفحهٔ عضو باربر بوجود آید، بیشتر می‌باشد. به‌طور مثال همانطور که در شکل(۱) دیده می‌شود عدم پیوستگی سیستم باربر در سازهٔ فوقانی و تحتانی (زیرزمین) سبب می‌شود تا نیروی برشی سازهٔ فوقانی از طریق دیافراگم تراز همکف به دیوارهای برشی زیرزمین‌ها انتقال یابد.
- **ایجاد تکیه‌گاه برای نیروهای ناشی از فشار خاک در ترازهای زیر زمین:** در سازه‌های دارای زیرزمین ، فشار خاک به دیوارهای زیرزمین و به

صورت خارج از صفحه دیوار وارد می‌شود. از طرفی چون دیوارهای زیرزمین در تراز طبقات زیرزمین به دیافراگم‌ها متصل می‌باشند لذا نیروهای ناشی از فشار خاک موجب ایجاد فشار قابل توجهی در لبهٔ دیافراگم و در داخل صفحه دیافراگم جهت انتقال آنها به عناصر باربر می‌گردد.

۲-۲- وظایف فرعی

سایر وظایف دیافراگم‌ها عبارتند از :

- **باز توزیع نیروها در اطراف بازشوها:** دیافراگم‌ها سبب باز توزیع و پخش نیروهای جانبی ایجاد شده در اطراف بازشوهای ساختمان نظیر بازشوی پله‌ها،داکتهای تاسیساتی، آسانسورها و پاسیوها می‌گردد.
- **باز توزیع نیروهای ناشی از پیچش:** در بعضی از ساختمان‌ها به لحاظ فرم معماری و یا ترکیب‌بندی سازه‌ای، تحت بارهای جانبی پیچش ایجاد می‌شود. در این سازه‌ها دیافراگم‌ها در صورت داشتن سختی و مقاومت کافی قادر به باز توزیع و پخش نیروها بین سیستم باربر جانبی مقاوم خواهند بود. دیافراگم‌های انعطاف‌پذیر قادر به توزیع نیروهای جانبی در اثر پیچش نخواهند بود.
- **مقاومت در برابر نیروی رانشی ناشی از ستون‌های مایل و یا خارج از محور:** در ساختمان‌هایی که به لحاظ فرم معماری از ستون‌های مایل و یا خارج از محور استفاده می‌شود، نیروی رانشی قابل توجهی در اثر بارهای قائم و یا واژگونی در صفحهٔ دیافراگم ایجاد می‌شود. علاوه بر آن، ستون‌های قائم نیز تحت تغییرمکان‌های جانبی قدری خمیدگی پیدا کرده و در این حالت نیز نیروهای رانشی در دیافراگم ایجاد خواهد شد. نیروهای رانش بسته به جهت خمیدگی می‌توانند به صورت کششی و یا فشاری به دیافراگم وارد شوند و دیافراگم باید قادر به تحمل این نیروها باشد.



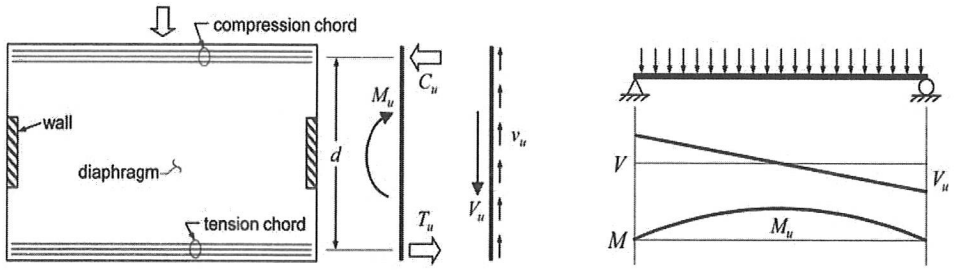
شکل (۱): وظایف دیافراگم

۳- اجزاء دیافراگم

دیافراگم‌ها دارای اجزاء مختلفی می‌باشند که هر کدام از این اجزاء باید در تعیین مقاومت و رفتار دیافراگم مد نظر قرار گیرند. این اجزاء شامل عرشه (Deck)، یالها (Chords)، جمع‌کنندها (Collectors) و اتصال دهنده‌ها (Fasteners) می‌باشند.

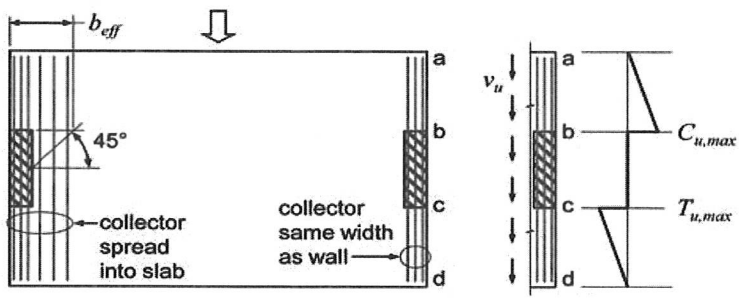
- **عرشه** (Deck) : عرشه عبارت است از بدنهٔ اصلی دیافراگم که معمولاً از دال بتنی یا دال مختلط و یا سقف های انعطاف پذیر تشکیل می‌شود.
- **یال** (Chord) : یال‌ها اجزایی هستند که برای مقاومت در برابر نیروهای کششی و یا فشاری ناشی از لنگرهای داخل صفحهٔ دیافراگم به کار می‌روند. این اعضا ممکن است قسمتی از عرشه دیافراگم (دال)، تیرها و یا ترکیبی از آن دو باشد.

مدل ساده‌ای از عملکرد داخل صفحه‌ای دیافراگم در برابر بارهای وارده در شکل (۲) نمایش داده شده است. این شکل شامل یک دیافراگم مستطیلی بوده که در دو طرف به دیوارهای برشی متصل می‌باشد. نیروی اینرسی زلزله نیز در بالای دیافراگم نمایش داده شده است. در این حالت دیافراگم می‌تواند مانند یک تیر ساده مدل شده که لنگر و برش آن به صورت شکل زیر می‌باشد. نیروهای یال در حقیقت همان نیروی کششی و فشاری ایجاد شده در داخل صفحهٔ دیافراگم (T_u و C_u) تحت اثر لنگر خمشی M_u می‌باشد.



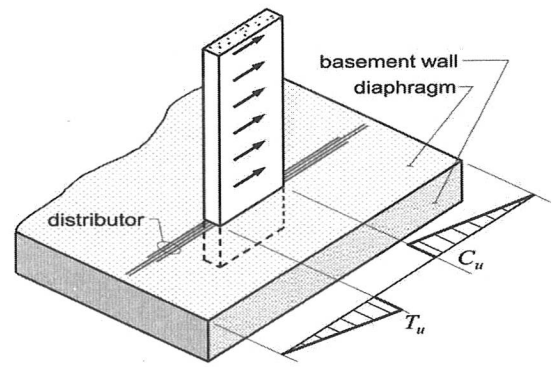
شکل (۲): یال‌های فشاری و کششی

- **جمع‌کننده‌ها** (Collectors): جمع‌کننده‌ها اجزایی هستند که در مقابل نیروهای افقی دیافراگم مقاومت کرده و وظیفهٔ انتقال این نیروها را به عناصر باربر قائم جانبی به عهدهٔ می‌گیرند. جمع‌کننده‌ها برای نیروهای محوری و یا برشی در داخل صفحهٔ دیافراگم طرح می‌گردند. همانطور که در شکل(۳) دیده می شود جمع کننده هادر انتهای دیافراگم (لبهٔ ad) نیروهای داخلی را توسط اعضاء کششی (cd)،اعضاء فشاری(ab) و مقاومت برشی (bc) به دیوار برشی منتقل می نمایند. اعضاء جمع‌کننده ممکن است قسمتی از عرشهٔ دیافراگم، تیرها و یا ترکیبی از آن دو باشد.



شکل (۳): جمع کننده ها

علاوه بر این دیافراگم‌ها نیروی داخلی اعضاء قائم سیستم باربر لرزه‌ای را به یکدیگر انتقال می‌دهد. المان‌هایی از دیافراگم که نیروهای اعضاء قائم را به داخل دیافراگم انتقال می‌دهند نوعی از جمع‌کننده‌ها می‌باشد که توزیع کننده نامیده می‌شود. توزیع کننده‌ها نیروها را از سیستم باربر قائم گرفته و در داخل دیافراگم توزیع می‌نمایند. یک مثال عمومی از این حالت در محل برخورد دیوارهای برشی و یا بادبندها با طبقات گسترش پیدا کرده در زیرزمین‌ها می‌باشد (شکل ۴). در این حالت برش ناشی از سیستم فوقانی در داخل دیافراگم توزیع شده و به دیوارهای زیر زمین منتقل می‌شود.



شکل (۴): توزیع کننده ها

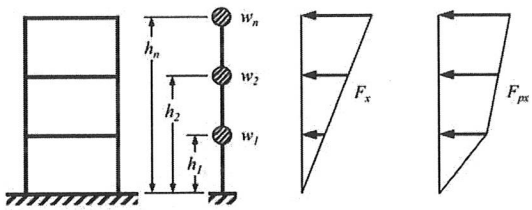
- **اتصال دهنده‌ها** (Fasteners): اتصال‌دهنده‌ها اعضایی هستندکه جهت اتصال عرشهٔ دیافراگم به سیستم قاب‌بندی ساختمان بکار می‌روند. در دیافراگم‌هایی که عرشهٔ آنها از بتن درجا می‌باشد، نیروهای ایجاد شده در اتصال‌دهنده‌ها چندان تعیین کننده نبوده و نیازی به در نظر گرفتن آنها نمی باشد. در دیافراگم‌های دارای عرشهٔ انعطاف‌پذیر و یا عرشهٔ از نوع بتن پیش ساخته ، نیروهای برشی اتصال‌دهنده‌ها مهم و تعیین‌کننده می‌باشد.

۴- بررسی رفتار دیافراگم‌ها و اصول طراحی

۴-۱ پاسخ دینامیکی سازه‌ها و دیافراگم‌ها

بر اساس مطالعات دینامیک سازه پاسخ شتاب تحت یک شتاب‌نگاشت، متغیری از زمان بوده و مقدار حداکثر آن تابعی از پریود ارتعاشی سازه می‌باشد. طیف‌های طراحی آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ ایران نیز بر این اساس تنظیم شده است. پاسخ دینامیکی سازه‌های چند طبقهٔ بر اساس میزان شکل‌پذیری آنها متفاوت می‌باشد و در سازه‌های با رفتار شکل‌پذیر بالا مقدار پاسخ دینامیکی کمتر خواهد بود.

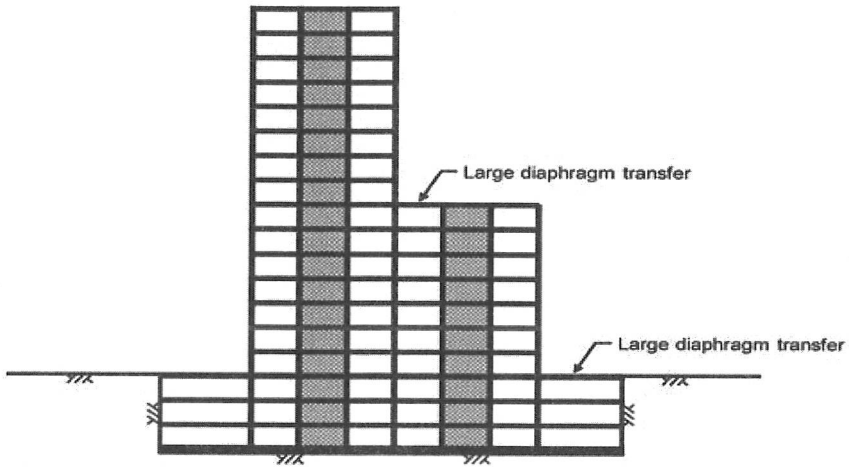
به سبب آنکه در ساختمان‌ها چند طبقه پاسخ مدهای بالاتر نیز موثر می‌باشد، لذا در طبقات مختلف، پاسخ شتاب‌ها متفاوت می‌باشد. دیافراگم هر طبقه باید برای حداکثر شتاب آن طبقه طراحی گردد ولی طراحی اعضاء قائم باربر جانبی بر اساس تمامی این نیروها به علت آنکه حداکثر شتاب‌های هر طبقه در یک زمان به وقوع نمی‌پیوندد، بسیار محافظه کارانه خواهد بود. به همین دلیل برای طراحی سازه‌ها و دیافراگم‌ها دو دسته نیرو وجود دارد ، یک دسته برای طراحی اعضاء سیستم باربرجانبی (F_x) و یک دسته برای طراحی دیافراگم‌های طبقات (F_{px}). (شکل۵).



شکل (۵): نیروهای طراحی برای سیستم سازه و سیستم دیافراگم

دیافراگم‌ها علاوه بر تحمل نیروهای اینرسی، باید قابلیت انتقال نیروهای بین عناصر قائم سیستم باربر جانبی را نیز در هنگام زلزله دارا باشند. به‌طور مثال در سیستم‌های باربر دوگانه نظیر ترکیب دیوار برشی و قاب‌خمشی، ارتباط نیرویی بین دیوار برشی و قاب‌خمشی توسط دیافراگم صورت می‌پذیرد. در بعضی از ساختمان‌ها نیز به علت عدم پیوستگی موجود در اعضاء قائم سیستم باربر جانبی، در

داخل دیافراگم‌ها نیروهای موثر و قابل توجهی ایجاد شده که این نیروها نیز باید در طراحی یک دیافراگم به نحو موثری در نظر گرفته شود. در شکل (۶) یک مثال متداول از عدم پیوستگی در اعضاء قائم سیستم باربر جانبی نشان داده شده است.



شکل (۶): نیروهای انتقال دیافراگم در نامنظمی ارتفاعی سیستم باربرجانبی سازه

۴-۲- هدف طراحی لرزه‌ای دیافراگم

هدف طراحی لرزه ایی برای دیافراگم ها تامین تغییرشکل‌های غیرالاستیک نبوده و پاسخ غیر الاستیک در برابر نیروهای زلزله عمدتاً محدود به اعضاء سیستم باربر جانبی می باشد. مهمترین اصل در طراحی لرزه‌ای دیافراگم عبارست از تأمین سختی نسبی و مقاومت لازم جهت اتصال، انتقال و یکپارچه نمودن کلیهٔ عناصر باربر قائم در برابر نیروهای زلزله. جهت دستیابی به این هدف در آیین نامهٔ ۲۸۰۰ ضوابطی تصریح شده است، ولی باید توجه داشت که طراحی دیافراگم تنها بر اساس این ضوابط ممکن است تمامی این اهداف را پوشش ندهد و لذا طراحی دیافراگم‌ها نیازمند توجه ویژه‌ای خواهد بود. برای رسیدن به هدف مطلوب در طرح لرزه‌ای دیافراگم، باید هم مسیر انتقال نیروها به اعضاء قائم مشخص گردد و هم توانایی ایجاد مقاومت در برابر بیشترین نیروهای حاصل از این انتقال بار تامین گردد.

۴-۳- دسته‌بندی دیافراگم‌ها

انجام تحلیل دقیق یک سیستم سازه‌ای، به طور مستقیم به سختی نسبی دیافراگم‌ها بستگی دارد. به طور کلی دیافراگم‌ها از نظر سختی نسبی به سه دستهٔ صلب، انعطاف‌پذیر و نیمه صلب تقسیم می‌شوند. نوع دیافراگم از نظر سختی در توزیع نیروهای جانبی بین اعضاء باربر قائم و قابلیت توانایی توزیع بارها در حالتهای پیچشی بسیار موثر می‌باشد. در سازه‌های دارای دیافراگم‌های صلب و یا نیمه صلب به جهت توزیع صحیح نیروهای جانبی، مدل سازی باید به صورت سه بعدی باشد.

- **دیافراگم صلب**

در سازه‌های با دیافراگم‌های صلب نیروی جانبی براساس سختی نسبی المان‌های باربر قائم در هر طبقه توزیع می‌شود. در این حالت سختی نسبی دیافراگم‌ها بیش از سختی جانبی سیستم باربر قائم و حرکت نسبی در صفحه دیافراگم ناچیز بوده و کل دیافراگم همانند یک صفحه صلب حرکت می‌کند. در این حالت تغییر شکل داخل

صفحهٔ دیافراگم کمتر از نصف تغییر مکان نسبی طبقه می‌باشد.

باید توجه داشت سختی نسبی دیافراگم ها باید در جهت‌های متعامد مد نظر قرار گیرد. به عنوان مثال دیافراگمی که یک جهت انعطاف‌پذیر باشد حتی اگر در جهت دیگر صلب باشد قادر به توزیع نیروها در اثر پیچش ناشی از زلزله نخواهد بود.

- **دیافراگم انعطاف‌پذیر**

در سازه‌های با دیافراگم انعطاف پذیر توزیع نیروی جانبی بین المان‌های باربر قائم بر اساس سطح باربر (از نظر بار جانبی) سیستم باربر قائم صورت می‌پذیرد. در این حالت سختی نسبی اعضاء قائم بیش از سختی دیافراگم می‌باشد. در صورتی که تغییر شکل داخلی دیافراگم تحت اثر بارهای جانبی بیشتر از دو برابر تغییر مکان نسبی طبقه باشد، دیافراگم به عنوان انعطاف‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. در این نو ع دیافراگم ها می توان از تحلیل دو بعدی استفاده نمود.

- **دیافراگم نیمه صلب**

در سازهایی که عملکرد دیافراگم به صورت صلب و یا انعطاف‌پذیر نباشد، دیافراگم به عنوان دیافراگم نیمه صلب در نظر گرفته می‌شود. در این حالت تحلیل سازه باید براساس سختی‌های واقعی دیافراگم و به صورت سه بعدی صورت گیرد.

۴-۴- ضوابط آیین‌نامه‌ای طراحی دیافراگم

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران ، طراحی لرزه‌ای دیافراگم‌ها باید برای کلیهٔ ساختمان‌ها صورت پذیرد. بر این اساس نیروهای جانبی طبقات برای طراحی اعضاء و سیستم باربر جانبی از رابطهٔ (۲-۹) این استاندارد بدست می‌آید (F_x) . مطابق این آیین‌نامه، نیروهای اینرسی موثر بر دیافراگم‌ها از رابطه (۲-۱۹) این آیین نامه بدست می‌آید (F_{px}). ضوابط مربوط به نوع دیافراگم از نظر سختی نیز در بخش۲-۹ موجود می‌باشد.جهت طراحی جمع‌کننده‌ها (collectors) در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ ضابطهٔ خاصی وجود ندارد ولی در آیین‌نامهٔ بارگذاری ASCE۷ در این خصوص مشخصات ویژه‌ای ارائه شده است. مطابق این آیین نامه کلیهٔ جمع کننده‌ها و اجزاء آن باید برای ترکیب بارهای شامل نیروهای تشدیدیافتهٔ زلزله (با ظریب Ω) طراحی گردند.

۴-۵- روش‌های دیگر تعیین نیروهای دیافراگم

یکی از روش‌های تحلیل و طراحی دیافراگم‌ها، استفاده از آنالیز غیرخطی بر اساس تاریخچهٔ زمان می‌باشد. در این روش با توجه به اینکه اثر کلیهٔ مدهای بالاتر نیز در نظر گرفته شده و پاسخ سازه و دیافراگم در هر زمان مشخص می‌باشد، لذا شتاب حداکثر و نیروهای داخلی دیافراگم در هر مرحلهٔ زمانی از تحلیل بدست می‌آید.

روش دیگری که در طراحی دیافراگم‌ها استفاده می‌شود طراحی بر اساس ظرفیت می‌باشد. در این روش بیشترین نیروهایی که از سیستم باربر جانبی به دیافراگم اعمال می‌شود به‌عنوان نیرو برای طراحی دیافراگم در نظر گرفته می‌شود. این روش برای بام‌ها و مواردی‌که نیرو های قابل توجه درداخل دیافراگم منتقل می‌شود روش مناسبی است. برای استفاده از این روش باید ظرفیت‌های مورد انتظار مقاطع، مکانیزم‌های مختلف خرابی و الگوهای بارگذاری مختلفی در نظر گرفته شود.

۵- روش‌های تحلیل دیافراگم‌ها

۵-۱- روش‌های مدل‌سازی و تحلیل

نیروهای داخلی دیافراگم‌ها توسط روش‌های مختلفی، از فرضیات ساده گرفته تا مدل‌سازی‌های پیچیده و تحلیل‌های کامپیوتری بدست می‌آیند. روش تحلیل باید طوری باشد که بتوان جریان و توزیع نیروهای جانبی داخل دیافراگم را تعیین نمود. در ساختمان‌های منظمی که دارای توزیع متعادل سیستم باربر جانبی نسبت به پلان سازه می‌باشند، برای تعیین نیروهای داخلی دیافراگم معمولاً از مدل‌های ساده‌ای استفاده می‌شود. برای ساختمان‌های نامنظم و یا با توزیع نامتقارن و یا نامنظم اعضای باربر جانبی در پلان، نیروهای داخلی قابل توجه و با توزیع پیچیده‌ای در

دیافراگم‌ها تولید گشته که نیازمند مدل‌سازی‌های دقیق‌تری جهت بدست آوردن آنها می‌باشد.

در ساختمان کوچک و با هندسه منظم در پلان و ارتفاع، استفاده از مدل‌های ساده نظیر تیر معادل جهت تحلیل دیافراگم بسیار مناسب می‌باشد. برای بررسی در یک راستا در صورتی که پلان دارای دو عضو باربر جانبی در دو انتها باشد، تیر معادل نظیر یک تیر دو سر ساده می‌گردد. در حالی‌که تعداد عناصر باربر جانبی بیش از دو عدد باشد به‌عنوان مثال برای سه عضو باربر جانبی، مدل تیر معادل کمی پیچیده تر شده و مانند تیر دو دهانه با تکیه‌گاه‌های صلب و یا فنری می‌باشد. توزیع نیروی اینرسی دیافراگم به اعضاء قائم می‌تواند از مدل کامپیوتری بدست آمده و با تیر معادل ترکیب گردد که نتیجهٔ دقیق‌تری خواهد داشت.

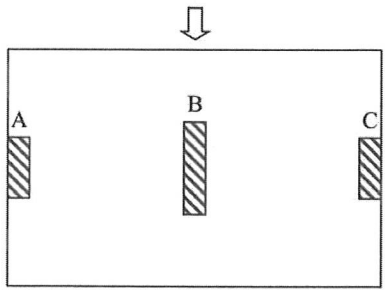
در ساختمان‌های چند طبقه که دارای نیروهای انتقال قابل توجهی در بین اعضاء قائم خود می‌باشند، تعیین این نیروها نیازمند مدل‌سازی کل ساختمان خواهد بود. توصیه می‌شود در این ساختمان‌ها به جهت تعیین دقیق‌تر نیروهای انتقال، از صلب فرض نمودن دیافراگم‌ها صرفنظر گشته و دیافراگم‌ها با سختی واقعی مدل شوند. برای ساختمان‌های دارای ناپیوستگی در سیستم باربر جانبی باید از مدل‌های پیچیده‌تری نظیر اجزاء محدود استفاده نمود.

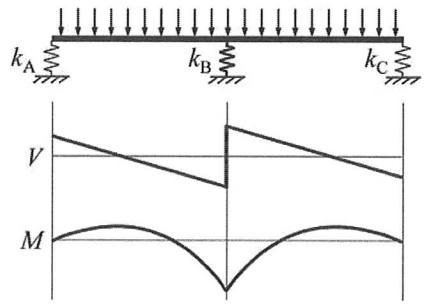
۵-۲- مدل تیر معادل

در مدل تیر معادل عملکرد دیافراگم مانند یک تیر افقی بوده که بر روی تکیه‌گاه‌های صلب قراردارد. تکیه‌گاه‌ها در واقع اجزاء قائم سیستم باربر جانبی می‌باشند (مانند دیوارهای برشی و قاب‌های مهاربندی‌شده). در شکل (۷) مثالی از تیر معادل دیده می‌شود و نمودارهای برش و خمش در واقع بیانگر عملکرد دیافراگم به‌عنوان تیر می‌باشد. با تحلیل تیر معادل بر روی تکیه‌گاه‌های صلب، نیروهای داخلی جهت طراحی اجزاء دیافراگم به راحتی قابل محاسبه هستند.

۵-۳- مدل تیر معادل روی فنر

در مدل تیر معادل روی فنر فرض می‌شود که دیافراگم مانند یک تیر افقی بر روی تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر قرار گرفته است (شکل ۷). این روش برای سازه‌های یک طبقه به علت راحتی درمحاسبهٔ سختی اعضاء قائم بسیار مناسب می‌باشد. در ساختمان‌های چند طبقه برای استفاده از این روش به علت آنکه تعیین سختی اعضای باربر جانبی پیچیده می‌باشد، باید مدل کل سازه تهیه شده و با بارگذاری در طبقه‌ای که نیاز به طرح دیافراگم می‌باشد تحلیل کامپیوتری انجام پذیرد. در این روش دیافراگم در مدل سازه می‌تواند صلب و یا نیمه صلب در نظر گرفته شود. روش تیر معادل بر روی فنر در مواقعی استفاده می‌شود که وجود نیروهای انتقال در دیافراگم محتمل باشد.



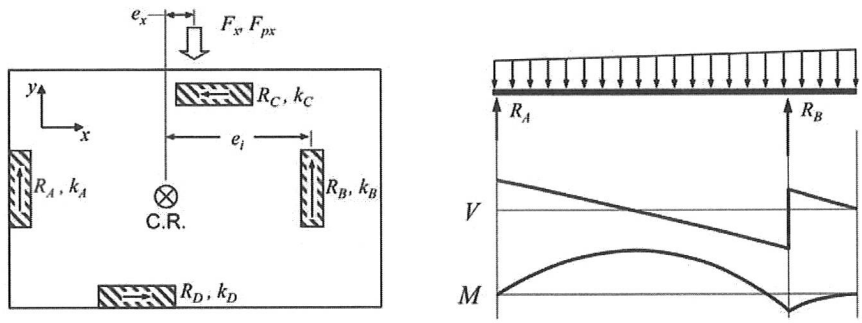


شکل (۷): تیر معادل برروی فنر

۵-۴- مدل تیر معادل اصلاح شده

مدل تیر معادل اصلاح شده برای مدل‌سازی دیافراگم‌هایی استفاده می‌شود که اندرکنش قابل توجهی بین اعضاء قائم سیستم باربر جانبی وجود داشته باشد. این حالت در مواقعی رخ می‌دهد ک سازه دارای پیچش، نامنظمی در ارتفاع و یا سختی‌های متفاوت در سیستم باربر جانبی باشد. اصول این روش بدین صورت می‌باشد که ابتدا نیروی انتقال داده شده از دیافراگم به کلیهٔ اعضاء قائم بدست می‌آید. سپس بارگذاری جانبی دیافراگم که در تعادل با نیروهای اعضاء قائم می‌باشد بدست آمده و سپس بر اساس این بارگذاری، نیروهای داخلی دیافراگم بدست می‌آید. در صورتی که طراحی سازه بر اساس روش استاتیکی معادل باشد، نیروی انتقال بین اعضاء قائم را می‌توان از اختلاف برش در عضو قائم باربر پایین و بالای دیافراگم بدست آورد. در ساختمان‌های کوچک و منظم نیروی داخلی در اعضاء قائم از نیروی اینرسی F_x $\left(F_{px}\right.$ و یا $\left.\right)$ و بر اساس سختی نسبی اعضاء قائم بدست می‌آید. مطابق شکل (۸) توزیع نیروهای اینرسی دیافراگم به عناصری قائم چنین است.

$$R_i = F_x \frac{k_{ix}}{\sum k_{ix}} + F_x\, e_x \frac{e_i k_i}{J_r}$$
$$= \sum e i^2 k_i$$



شکل (۸): مدل تیرمعادل اصلاح شده

که در رابطهٔ فوق R_i نیروهای موثر بین دیافراگم و عضو قائم i ، F_x برابر نیروی طبقه، k_{ix} سختی جانبی عضو قائم i در جهت x ، e_x برابر فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی، e_i فاصلهٔ عمودی بین مرکز سختی و سختی k_i از عضو i و J_r برابر ممان اینرسی قطبی می‌باشد.

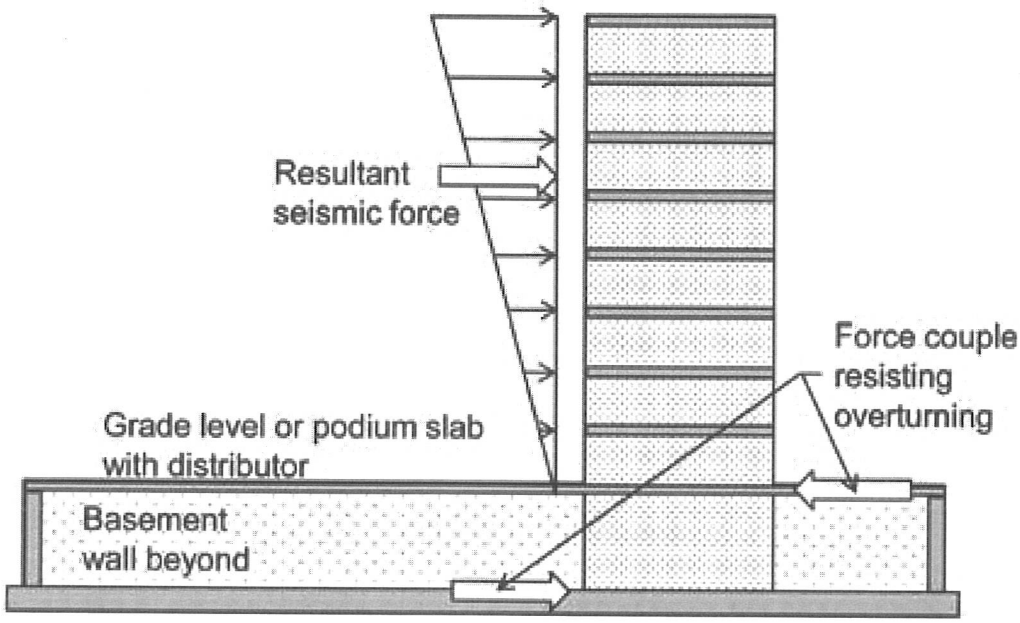
بر اساس نیروهای موجود در اعضاء قائم R_i و مجموع آنها در یک جهت (برای شکل (۸) برابر $(F_x = R_A + R_B)$ و مرکز اثر آنها با در نظر گرفتن تعادل، توزیع بار دیافراگم به صورت ذوزنقه‌ای شکل بر تیر معادل بدست می‌آید. نیروهای برشی و خمشی بدست آمده در این حالت برای طراحی دیافراگم مورد استفاده قرار می گیرد. همانطور که مشاهده می‌شود در این روش لنگرهای ناشی از نیروهای R_D و R_C در محاسبات به کار گرفته نشده است.

۵-۵- مدل اجزاء محدود

مدل‌سازی بر اساس روش اجزاء محدود مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش برای تحلیل و طراحی دیافراگم‌ها می‌باشد. توسط این روش تعیین نیروهای انتقال اعضاء قائم، تعیین توزیع نیروها در اطراف بازشوها و

تعیین اثر رمپ‌ها در پارکینگ‌های طبقاتی و تحلیل دیافراگم‌های با شکل‌های نامنظم و پیچیده به خوبی و با دقت بالا امکان‌پذیر می‌باشد. سختی دیافراگم در این نوع مدل‌سازی بسیار مهم می باشد. در سازه‌های دارای نامنظمی در ارتفاع در اعضاء قائم سیستم باربر جانبی، مدلسازی دیافراگم به صورت صلب سبب ایجاد نیروهای غیر واقعی بزرگی گشته که طراحی دیافراگم برای این نیروها غیر واقع‌بینانه خواهد بود. در سازه‌هایی که مدل‌سازی دیافراگم آنها به صورت نیمه صلب و با سختی واقعی انجام می‌پذیرد، توزیع نیروی انتقال در دیافراگم و مقدار آن واقعی‌تر تعیین خواهد گردید.

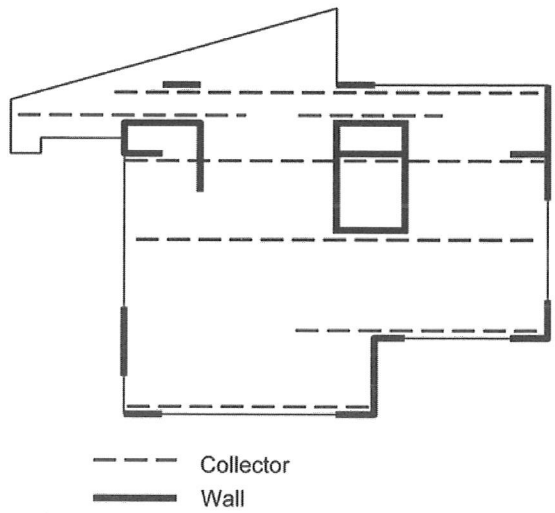
دیافراگم طبقهٔ همکف در بالای طبقات زیرزمین نیز معمولاً دارای نیروهای قابل توجهی ناشی از انتقال نیروهای موجود در سیستم باربر قائم در سازهٔ فوقانی به دیوارهای زیرزمین می‌باشد (شکل ۹) . مدل سازی دیافراگم با سختی واقعی و نیمه صلب در این طبقه، سبب کاهش قاب توجه نیروهای انتقال و همین‌طور کاهش اثرات مهار لنگر واژگونی (Back Stay) می‌شود.



شکل (۹): زوج نیروی مقاوم لنگر واژگونی (Back Stay effect) در تراز روی همکف

بطور کلی در دیافراگم‌هایی که دارای اشکال پیچیده و نامنظمی باشند روش قابل قبولی غیر از مدل‌سازی اجزاء محدود وجود نداشته و مدل‌سازی و تحلیل این دیافراگم ها باید بر اساس روش اجزاء محدود و با تحلیل‌های کامپیوتری صورت گیرد (شکل ۱۰). جهت مدل‌سازی مناسب انعطاف‌پذیری دیافراگم، تقسیم‌بندی المان‌ها در اجزاء محدود می‌تواند بین ۱/۱۰ تا ۱/۵ طول دهانه‌ها و یا دیوارها انجام پذیرد. برای در نظر گرفتن اثرات ترک‌خوردگی می‌توان سختی دیافراگم را کاهش داد.

مقادیر و توزیع نیروهای داخلی برشی و محوری در صفحهٔ دیافراگم را می‌توان از طریق برش زدن (section cut) در داخل دیافراگم بدست آورد. در نزدیکی مقاطع برشی، تقسیم‌بندی اجزاء المان‌هایی محدود باید به اندازهٔ مناسبی کوچکتر انتخاب شود.



شکل (۱۰): دیافراگم با شکل نامنظم و پیچیده

۶- مسیرهای انتقال نیرو در داخل دیافراگم

در صورتی که مدل‌سازی دیافراگم بر اساس روش اجزاء محدود و به صورت انعطاف‌پذیر باشد، مسیر انتقال و توزیع و مقادیر نیروها در داخل صفحهٔ دیافراگم براساس تحلیل جامع از کل دیافراگم و بر اساس اندرکنش بین اعضاء قائم و دیافراگم بدست خواهد آمد. طراحی دیافراگم باید بر اساس نیروهای داخل صفحه و خارج صفحهٔ دیافراگم و با قضاوت صحیح مهندسی در رابطه با نحوهٔ استفاده از نیروها، نواحی تمرکز نیروها و ترکیب نیروها انجام پذیرد.

در صورتی که مدل‌سازی دیافراگم با یکی از روش‌های تیر معادل باشد، در رابطه با مسیرهای انتقال بار دیافراگم‌ها، رفتار خمشی برشی، رفتار جمع‌کننده‌ها و نحوهٔ اتصال اعضاء قائم به دیافراگم و بازشوها باید بررسی‌های دقیق‌تری انجام پذیرد.

۶- ۱- رفتار خمشی

برای طراحی دیافراگم برای خمش از روش کلاسیک تئوری خمش و با فرض اینکه مقاطع تحت خمش به صورت صفحه‌ای باقی می‌مانند استفاده می‌شود. مقاومت در برابر نیروی خمشی معمولاً توسط یک زوج نیروی فشاری و کششی و توسط یال‌هایی که در دو انتهای لبهٔ دیافراگم قرار دارد تأمین می‌شود. نیروی یال‌ها از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$C_u = T_u = M_u/d$$

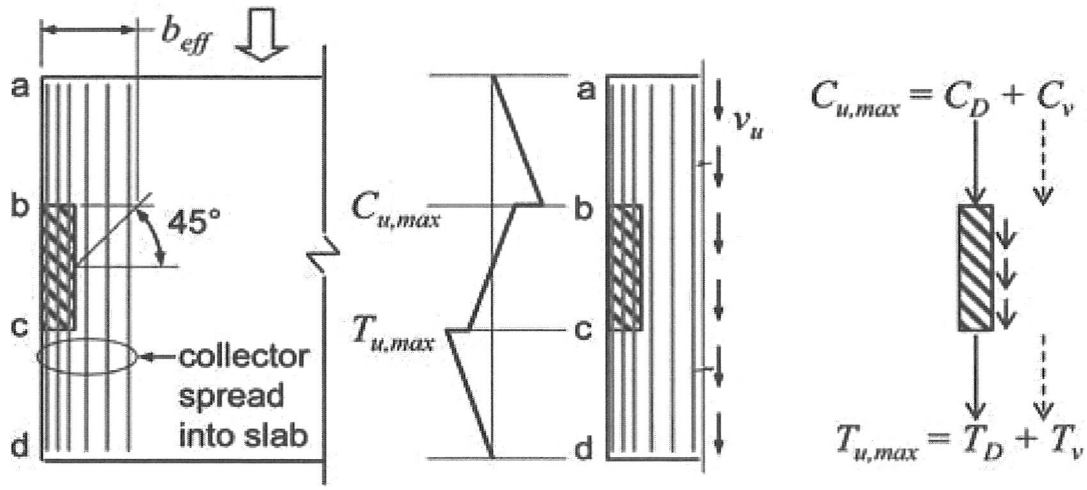
بر اساس روش بالا تنش برشی در داخل صفحهٔ دیافراگم به صورت یکنواخت برابر $V_u/t.d$ بدست می‌آید. که t ضخامت دال و d عرض دیافراگم در محل خمش می‌باشد. آرماتورهای مورد نیاز برای خمش نیز می‌تواند به صورت یکنواخت در دیافراگم توزیع گردد. ولی در هر صورت به علت کنترل ترک‌خوردگی به المان مرزی در دیافراگم‌ها نیاز می‌باشد. به‌عنوان یک روش ساده می‌توان آرماتورها کششی مورد نیاز را در یک چهارم عرض خمشی دیافراگم پخش نمود. جهت طراحی دیافراگم‌ها از ضوابط فصل بیست مبحث ۹ مقرارت ملی ساختمان می‌توان استفاده نمود.

۶- ۲- رفتار جمع کننده‌ها

همان‌طوری که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، جمع‌کننده‌ها عناصر کششی و فشاری هستند که وظیفه انتقال برش از دیافراگم به عناصر قائم را به عهده می‌گیرند. آنها همچنین نیروهای اعضاء قائم را به دیافراگم انتقال می‌دهند که در این حالت به آنها توزیع کننده می‌گویند. جمع‌کننده‌ها می تواند به صورت تیر و یا ناحیهٔ از دال با آرماتور باشند (شکل ۳).

در بعضی از حالت‌ها جمع‌کننده‌های فشاری و کششی در محدودهٔ عرض عضو قائم (دیوار برشی و...) قرار می‌گیرند و نیروهای کشش و فشار مستقیماً به پهنا دیوارها وارد می‌شوند. در این حالت نیروی برشی یکنواخت دیافراگم به صورت برش اصطکاک به لبهٔ طولی دیوارها وارد می‌شود. در صورتی که سیستم باربر جانبی فولادی باشد، این برش‌ها باید توسط برشگیرها به اعضاء تیر منتقل شوند.

در حالت‌های دیگر جمع‌کننده‌های فشاری و کششی در عرض پهن‌تر از عرض عضو قائم پخش می‌گردد. بنابراین قسمتی از نیروهای کششی و فشاری مستقیماً توسط پهنای عرض عضو قائم منتقل شد و بقیهٔ نیروها از طریق برش اصطکاک و یا برشگیر به اعضاء باربر متصل می‌گردد. در این حالت همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، جمع‌کننده شامل قسمت فشاری (نقطهٔ a تا b)، قسمت کششی (نقطهٔ c تا d) و قسمت انتقال برشی در طول دیوار (b تا c).



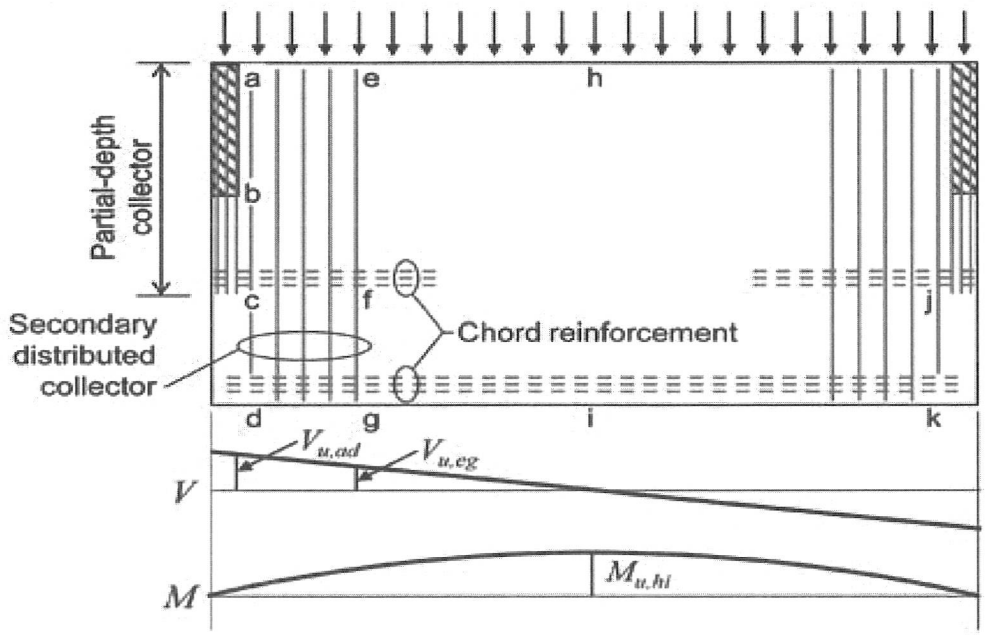
شکل (۱۱): نیروهای انتقالی هنگامی که جمع کننده ها در عرضی بزرگتر از اجزاء قائم پخش می‌شود.

ضوابط آیین‌نامه‌ای برای عرض موثر (b_{eff}) جمع‌کننده ها موجود نمی‌باشد (شکل ۱۱). در SEAOC (۲۰۰۵) برای عرض موثر (b_{eff}) جمع‌کننده مقدار حداکثری پیشنهاد شده است. حداکثر مقدار عرض موثر برابر است با عرض دیوار بعلاوهٔ عرضی در هر طرف دیوار معادل نصف طول تماس بین دیافراگم و دیوار .

طول جمع‌کننده‌ها می‌تواند به اندازهٔ تمام عمق دیافراگم (طول کامل) بوده و یا درصدی از عمق آن (طول نیمه کامل) باشد. جمع‌کننده‌های با طول کامل همانطور که در شکل (۱۱) نمایش داده شده با این فرض طرح می‌شود که کل برش یکنواخت دال توسط جمع‌کننده‌ها انتقال پیدا کند. بر این اساس مقدار نیروی جمع‌کننده در لبه‌های دال صفر بوده (در صورتی‌که جرم متمرکز در لبه‌ها نباشد) و به صورت خطی تا مقدار ماکزیمم در محل اتصال جمع‌کننده به عضو قائم افزایش پیدا می‌کند.

در جمع‌کننده‌های با طول نیمه کامل (شکل ۱۲) به انتقال برش مستقیم بین دیافراگم و اعضاء قائم بیشتر اعتماد می‌شود و به همین دلیل در این حالت نیروهای جمع‌کننده کمتر از حالت جمع‌کننده‌های با طول کامل می‌باشد. طراحی دیافراگم بر اساس فرض حداکثر نیروی برشی منتقل شده به طور مستقیم بین اعضاء قائم و جمع‌کننده‌ها، سبب طراحی جمع‌کننده با طول کوتاه‌تر و

نیروی کمتر می‌گردد. در حالت‌هایی که تمامی نیروها به طور مستقیم بین اعضاء قائم و دیافراگم منتقل شود جمع‌کننده‌ای نیاز نخواهد بود، ولی توصیه می‌شود به جهت کنترل ترک‌ها در نزدیکی لبه‌های انتهایی اعضاء قائم از جمع‌کننده‌ای با حداقل طول بیرون زدگی برابر یک دهانه و یا ۷٫۵ متر هر کدام که بزرگتر باشد استفاده شود. مسیر بار برای انتقال نیروی اینرسی در تمامی دیافراگم باید به گونه‌ای باشد که نیروها بتوانند به نواحی تمرکز برشی در نزدیکی اعضاء قائم و جمع‌کننده‌های نیمه کامل منتقل شود. برای این منظور از جمع‌کننده‌های فرعی استفاده می‌شود. جمع‌کننده‌های فرعی معمولاً آرماتورهای دال می‌باشد و در صورت نیاز می‌توان مقادیر آنها را افزایش داد.



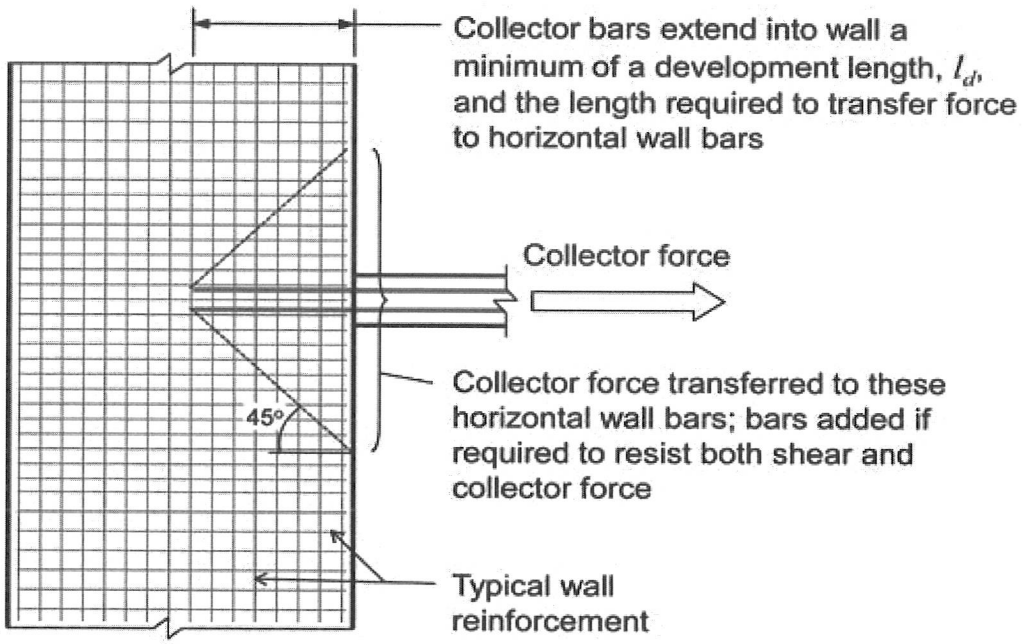
شکل (۱۲): جمع کننده های نیمه کامل

با توجه شکل(۱۲)، مراحل طراحی جمع‌کننده‌های نیمه‌کامل به این شرح می‌باشد که در نزدیکی وسط دهانهٔ دیافراگم تمامی عرض دیافراگم برای مقاومت در برابر خمش و برش استفاده شده است. بنابراین نیروی کششی یال برابر $T_u = (M_{u,hi}) / d$ می‌باشد که d برابر عرض کامل دیافراگم hi می‌باشد. در امتداد eg دیافراگم باید برای انتقال برش یکنواخت $V_{u,eg}$ طرح گردد. جمع‌کننده‌های فرعی باید توانایی تحمل برش در طول fg بعلاوهٔ نیروی اینرسی ناحیهٔ cdfg را به صورت کششی دارا باشند. در امتداد ac آرماتورگذاری دیافراگم باید قادر به تحمل برش Vu, ac را به صورت یکنواخت دارا باشند. جمع‌کننده‌های نیمه کامل در امتداد bc باید قادر به تحمل برش ناحیهٔ bc باشد. نهایتاً آرماتورگذاری یال در امتداد cf باید برای مقاومت در برابر ممان داخل دیافراگم با عمق موثر ef طرح گردد. باید توجه کرد در صورتی که از جمع‌کننده‌های فرعی استفاده نشود، عمق موثر برای لنگر داخل دیافراگم در تمام طول دیافراگم برابر ef می‌گردد. در این حالت مقدار آرماتورهای یال افزایش پیدا کرده و در داخل محدودهٔ cdjk باید از توزیع کننده برای انتقال نیروی اینرسی این ناحیه استفاده نمود. رفتار دیافراگم در این حالت و با عمق کم ef باعث ایجاد

ترک‌های بزرگی در لبه‌های کششی دیافراگم می‌گردد.

۶- ۳- انتقال نیرو از دیافراگم به اعضاء قائم

انتقال برش‌های دیافراگم توسط جمع‌کننده‌ها و یا برشگیرها و یا به صورت برش اصطکاک به عناصر قائم صورت می‌گیرد. در جایی که آرماتورهای جمع‌کننده وارد اعضاء قائم نظیر دیوار برشی می‌شوند، نیروها به صورت مستقیم وارد این اعضاء می‌گردند. با این وجود آرماتورهای جمع‌کننده باید به اندازه‌ای بزرگتر از طول مهاری در اعضاء قائم امتداد یابند. طول گسترش یافتهٔ آرماتورهای جمع‌کننده در داخل دیوار باید برای انتقال نیروی جمع کننده در داخل دیوار همان طوری که در شکل (۱۳) نیز نمایش داده شد تعیین گردد. آرماتورهای افقی دیوار باید قابلیت تحمل نیروهای ناشی از جمع‌کننده‌ها و نیروی برشی دیوار را تواماً داشته باشد. بنابراین آرماتورهای افقی موجود در دیوار برابر مجموع آرماتورهای مورد نیاز برای جمع‌کننده و آرماتور مورد نیاز برای برش دیوار بالای دیافراگم می‌باشد.



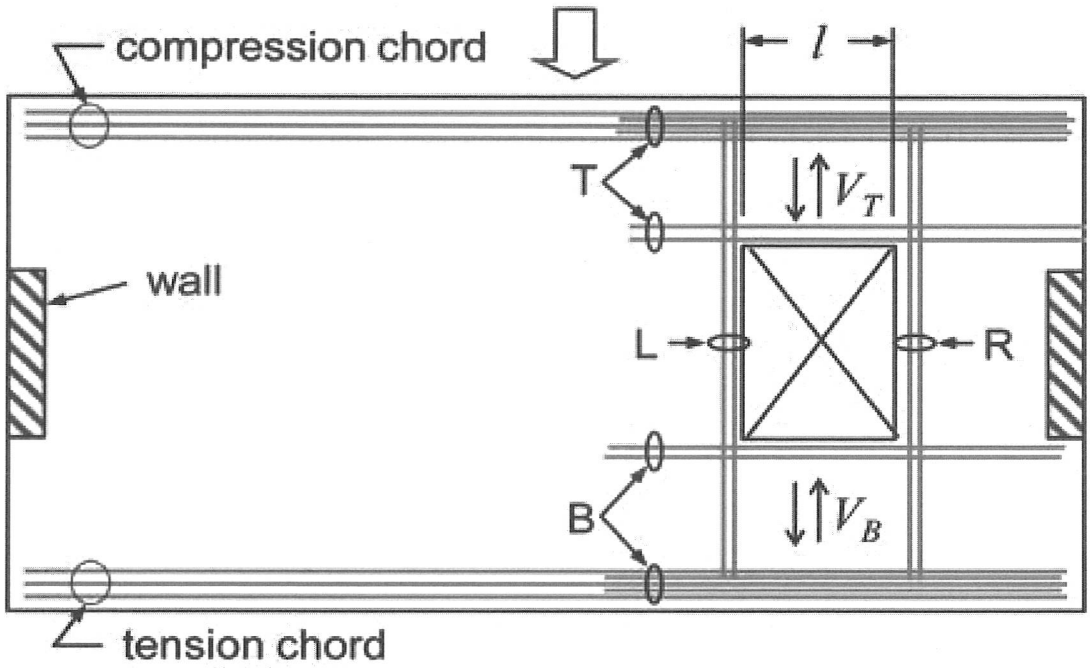
شکل (۱۳): انتقال نیروی جمع کننده به دیوار برشی

در صورتی که پهنای جمع‌کننده بیش از عرض اعضاء قائم باشد (شکل ۱۱)، آن قسمت از نیروها که مستقیم وارد دیوار می‌شود T_D و C_D برای طراحی مستقیم به کار می‌رود و بقیهٔ نیروها C_V و T_V به صورت برش اصطکاک

در طول دیوار انتقال پیدا می‌کند. جهت طراحی برش اصطکاک، به نیروهای فوق نیروهای ناشی از برش دیافراگم هم اضافه خواهد شد.

۶- ۴- بازشوهای بزرگ

طراحی دیافراگم با بازشوهای بزرگ شبیه طرح یک تیر با بازشو مانند تیر لانه زنبوری می‌باشد (شکل ۱۴). یکی از روش‌های تقریبی که در تحلیل و طراحی نیروهای اطراف بازشو استفاده می‌شود بدین صورت می‌باشد که برای آرماتورهای L فرض می‌شود که این آرماتورها، برش سمت چپ بازشو را باید به نواحی پایین و بالای بازشو به نسبت سختی هر قسمت انتقال دهند. آرماتورهای R نیز نظیر L بوده و براساس برش سمت راست بازشو طرح می‌شوند. آرماتورهای T و B نیز بر اساس لنگر داخلی هر قسمت بدست می‌آید. با فرض نقطهٔ عطف در وسط بازشو، لنگر داخلی در بالای بازشو برابر $(V_T . \ell) / ۲$ و در پایین بازشو برابر $(V_B . \ell) / ۲$ می‌باشد.



شکل (۱۴): دیافراگم با بازشوهای بزرگ

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به وظایف گسترده‌ای که به عهدهٔ دیافراگم‌ها می‌باشد نقش حساس این عضو در ترکیب با سیستم مقاوم باربر جانبی بخوبی مشخص می‌باشد. عدم توجه به نحوهٔ توزیع و انتقال نیروهای جانبی در داخل دیافراگم حتی برای سیستم‌هایی که در آنها اعضاء باربر جانبی برای نیروهای زلزله بخوبی طرح شده‌اند نیز می‌تواند فاجعه بار باشد. به همین دلیل مهندسین محاسب باید علاوه بر اعضاء سیستم باربر جانبی مقاوم، سیستم دیافراگم را هم در طراحی مد نظر داشته باشند. توصیه می‌گردد تنها در صورتی که پلان سازه ساده و توزیع عناصر باربر آن متقارن باشد،

جهت تحلیل و طراحی دیافراگم‌ها از روش‌های متداول تیر معادل استفاده گردد. در غیر اینصورت تحلیل و طراحی دیافراگم‌ها باید بر اساس مدل اجزاء محدود و با سختی واقعی انجام گیرد.

۸ - مراجع

[۱] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان

[۲] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان

[۳] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان

[۴] Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors (NEHRP Seismic Design Technical Brief No.۳)

[۵] Seismic Design of Composite Steel Deck and Concrete-filled Diaphragms (NEHRP Seismic Design Technical Brief No.۵)

[۶] Minimum Design Loads for Buildings and other Structures. "ASCE Standard ASCE/SEI ۷-۱۰."

انجمن ایرانی مهندسان محاسب ساختمان
سمینار مباحثی در مهندسی زلزله
زمستان ۱۳۹۱ صفحات ۸۳ تا ۹۲

ارائه روشی جدید دربهسازی لرزه‌ای ساختمانهای نیمه اسکلت موجود

محمد خان محمدی
استادیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران
mkhan@ut.ac.ir

حمداله بهنام
فرهیخته کارشناسی ارشد زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
h.behnam@ut.ac.ir

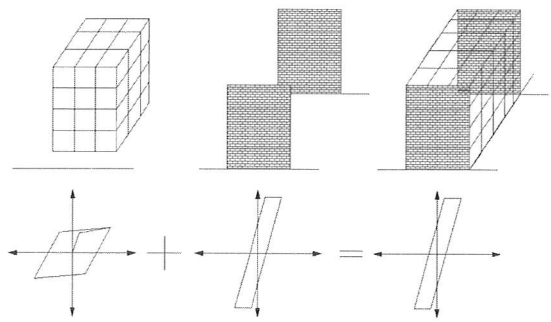
چکیده:
ساختمانهای قدیمی نیمه اسکلت در سرتاسر جهان موجود می باشند و مباحث بهسازی و مقاوم سازی این نوع از سازه ها جزء دقدقه‌های مهندسین می‌باشد. در این نوع سازه ها عمدتا بدلیل معماری داخلی و احتراز از دیوارهای حجیم، سازه باربر ثقلی میانی آنها اسکلت بتنی و یافولادی با شکل پذیری کم می‌باشد و دیوارهای باربر آجری در پیرامون سازه قرار می‌گیرند. بدلیل رفتار ترد برشی در دیوارهای آجری سازه در زمان زلزله، رفتار این نوع سازه نیرو کنترل می‌گردد و پس از فرو ریزش دیوارها، شکست کلی در سازه اتفاق خواهد افتاد. در مقاله پیش رو روشی جهت بهسازی رفتار لرزه‌ای این نوع از سازه‌ها ارائه گردیده است. در این روش دیوارهای طویل با ایجاد حفراتی تبدیل به پایه های ضعیف و تیرهای عمیق می گردد به گونه‌ای که رفتارحاکم بر اجزاء پایه چرخشی بوده و تیرها مشارکتی در تامین تغییر شکل ننمایند. بدین ترتیب می توان انتظار داشت مقاومت و شکل پذیری از طریق دیوارهای آجری چرخش–کنترل تامین گردد و استهلاک انرژی در سیستم قاب نیمه شکل پذیر تولید گردد. مقایسه دوحالت قبل و بعد از بهسازی یک ساختمان نیمه اسکلت و بررسی رفتار آنها در زلزله نشان می دهد که روش ارائه شده می‌تواند بصورت چشمگیری باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه گردد.

واژه‌های کلیدی: ساختمان نیمه اسکلت، دیوار آجری غیر مسلح، رفتار داخل صفحه، اندرکنش، رفتار چرخش کنترل

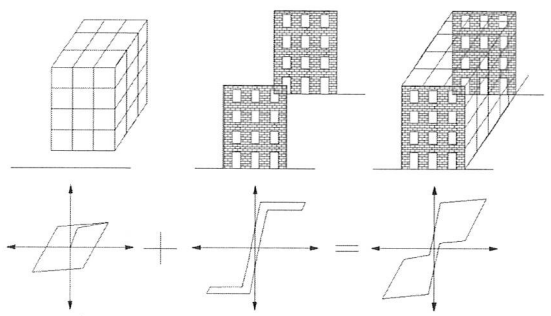
۱.مقدمه

ساختمانهای نیمه اسکلت با دیوارهای آجری غیر مسلح و نیز ساختمان های آجری غیر مسلح در دنیا حجم زیادی از سازه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و در زلزله های مخرب گذشته خسارات مالی و جانی بسیاری را تحمیل نموده‌اند.[۳-۱]رفتار مشاهده شده از زلزله های گذشته در ساختمانهای آجری موجود نشان داده است این دسته از ساختمانها بدلیل عدم شکل‌پذیری کافی و جذب انرژی نامناسب دارای مودهای گسیختگی ترد برشی می‌باشند که علاوه بر از دست رفتن مقاومت درون صفحه، ظرفیت حمل بارهای قائم نیز از دست می‌رود. از طرفی تخریب و بازسازی این نوع ساختمانها نیازمند هزینه‌های مالی بسیار و صرف وقت فراوان خواهد بود.

روشهای مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای نیمه-اسکلت و آجری بصورت روزافزونی در حال پیشرفت است. از روشهای سنتی قدیمیتر تا به روشهای مدرن امروزی نمونه های متعددی در دسترس می‌باشند. از این قبیل روشها در ادبیات فنی می‌توان به تحقیقات[۴-۶] اشاره نمود. درساختمانهای موجود عمدتا بدلیل معماری داخلی و احتراز از دیوارهای حجیم، سازه باربر ثقلی میانی آنها اسکلت بتنی و یافولادی کم‌شکل‌پذیر می‌باشد. از همین رو در شرایط سازه‌های موجود چنانچه بتوان دیوارهای طویل را با ایجاد حفراتی تبدیل به پایه‌های ضعیف و تیرهای عمیق نمود به گونه‌ای که رفتارحاکم بر اجزاء پایه چرخشی بوده و تیرها مشارکتی در تامین تغییر شکل ننمایند، می-توان شکل‌پذیری کافی را برای ساختمانهای آجری فراهم نمود. لیکن جذب انرژی بسیار کم مود چرخشی از نگرانی های جدی می باشد. از همین رو می‌توان بهسازی را به گونه‌ای انجام داد که مقاومت و شکل‌پذیری از طریق دیوار-های آجری چرخش–کنترل تامین گردد و استهلاک انرژی در سیستم قاب ایجاد گردد. شکل۱ نمایشی از این ایده را ارایه می‌نماید. در این شکل رفتار هیسترزیس سازه تحت بار جانبی و در حالتی که دیوارهای سازه بصورت توپر می باشند نشان داده شده است. بدلیل رفتار ترد برشی دیوار آجری، رفتار سازه متاثر از رفتار دیوار خواهد گردید و پس از رسیدن به مقاومت نهایی به شدت افت خواهد نمود. شکل ۲ همان سازه را در حالتی نشان می دهد که در دیوار آجری طرفین حفره‌هایی ایجاد گردیده است بطوریکه رفتار پایه های باقی مانده از نوع چرخش-کنترل گردد و رفتار تیرها نیز الاستیک باقی بماند. با توجه به خاصیت مرکز گرایی مود چرخش انتظار می‌رود تا رفتار سازه بصورت پرچمی شکل درآید که در این حالت جذب انرژی از طریق سیستم قاب و خاصیت برگردانندگی از طریق دیوارهای آجری تامین می‌گردد.(شکل ۲)



شکل۱- رفتار هیسترزیس ساختمانهای نیمه اسکلت دارای دیوارهای باربر بدون بازشو و مود ترد شکست برشی



شکل۲- رفتار هیسترزیس ساختمانهای نیمه اسکلت دارای دیوارهای باربر با بازشو و مود شکل‌پذیر خمشی

۲. مدلسازی دیوار با استفاده از المانهای رشته‌ای

روشهای متعددی در ادبیات جهت مدلسازی ریاضی رفتار در المانها ارایه شده است. از جمله این روشها می توان به روشهای مبتنی بر مفاصل متمرکز، پلاستیسیته گسترده، روشهای چند فنری، و روشهای رشته‌ای اشاره نمود. در ساختمانهای آجری بدلیل ماهیت رفتار بخصوص رفتارهای ترد برشی در غالب موارد امکان استفاده از روشهای فوقالذکر وجود ندارد و استفاده از روشهای مبتنی بر اجزاء محدود دقیق و روشهای مفاصل متمرکز از روشهای جاری می‌باشند. استفاده از روشهای رشته‌ای بدلیل فرضیات آن در دیوارهای چرخش کنترل مناسب به نظر می‌رسد. استفاده از روشهای رشته ای در این نوع از دیوارها در جهت میان صفحه دیوار با توجه رفتارهای مشاهده شده در نمونه‌های آزمایشگاهی بسیار مناسب خواهد بود. ابعاد ستون معادل در دیوارها همانند ابعاد دیوار، ممان اینرسی کلی برابر ممان اینرسی مقطع کامل دیوار خواهد بود. طول ناحیه پلاستیک که درآن انتظار می رود شروع و توسعه کرنشهای غیر خطی در مصالح و المان شکل بگیرد ۰/۱ طول دیوار در پایین،۰/۱ طول دیوار در بالا برای رفتار غیر خطی داخل صفحه میباشد. اساس انتخاب این طول بر پایه کالیبراسیون تمامی دیوارها بوده است.

۳. اعتبارسنجی رفتار داخل صفحه دیوار

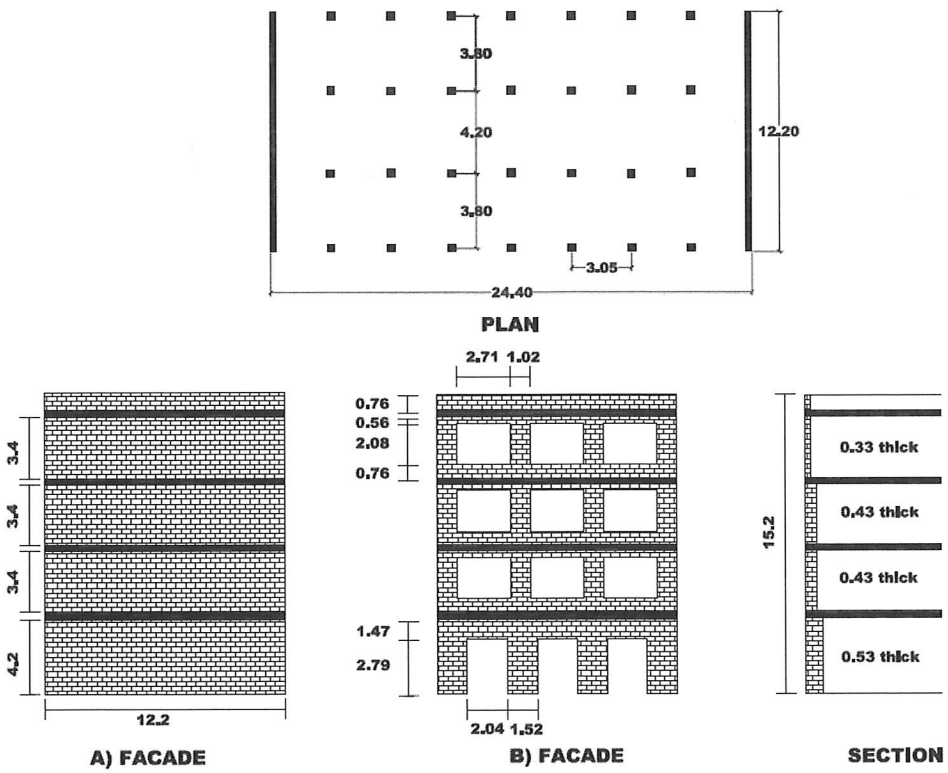
به جهت کالیبره نمودن رفتار داخل صفحه و اعتبار سنجی مدل از نتایج ۱۱ تست آزمایشگاهی چرخش- حاکم موجود در ادبیات بهره برده شده است. مکانیسم شکست خمشی همراه با ظهور ترکهای کششی در بندهای افقی واقع در منطقه کششی آغاز می گردد. این ترکها از پایین ترین بند افقی آغاز شده و متناسب با افزایش بار در جهت افقی و قائم (ظهور ترک در سایر بندهای افقی) گسترش می یابند. در جدول۱ مشخصات دیوارها به همراه نتایج حاصل از مدلسازی ارائه گشته است. نتایج مقاومت حاصل از مدلسازی نشان می‌دهد که مدلسازی رشتهٔ ای انجام شده به خوبی توانسته است پیش بینی مقاومت نمونه‌های آزمایشگاهی را بنماید.

جدول۱- مشخصات دیوارها و نتایج حاصل از تست و مدلسازی رفتار داخل صفحه

دیوار	ارتفاع cm	عرض cm	ضخامت cm	گیرداری	تنش محوری (kg/cm^2)	kg/cm^2	E kg/cm^2	نتایج تست	نتایج مدل
۱F[۷]	۱۵۰۰	۸۳۰	۲۰۰	یک سر	۲,۹	۷۸,۶	۴۴۰۰۰	۱۴,۷	۱۴,۹
۲F[۷]	۱۵۰۰	۸۳۰	۲۰۰	یک سر	۱,۷۲	۷۸,۶	۴۴۰۰۰	۸,۹	۹,۴
۶F[۷]	۱۵۰۰	۸۳۰	۲۰۰	یک سر	۵,۸۶	۷۸,۶	۴۴۰۰۰	۲۵,۸	۲۷,۶
۶Fb[۷]	۱۵۰۰	۸۳۰	۲۰۰	یک سر	۸,۲۷	۷۸,۶	۴۴۰۰۰	۳۴,۳	۳۷,۵
URM۳[۸]	۱۴۰۰	۱۲۵۰	۱۶۰	یک سر	۱,۶	۳۰	۹۰۰۰	۱۸	۱۸
Wall A۱[۹]	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۳۵۰	یک سر	۰,۱	۱۵۰	۸۲۰۰۰	۲۵	۲۵,۸
Wall A۲[۹]	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۳۰	یک سر	۳,۵	۱۱۰	۸۲۰۰۰	۹۶,۷	۹۱,۶
HW۱[۱۰]	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۲۵۰	دو سر	۶	۶,۲	۳۴۰۰۰	۷۲	۷۸
۳[۱۱]	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۲۵۰	دو سر	۶,۳	۸۶	۴۷۵۰۰	۸۷	۸۴
W-۱,۲-L۲-a[۱۲]	۲۷۰۰	۱۲۰۰	۱۹۰	دو سر	۲,۵	۶۱,۸	۳۴۰۰۰	۳۵,۹	۳۴,۱
W-۱,۸-L۲-a[۱۲]	۲۷۰۰	۱۸۰۰	۱۹۰	دو سر	۲,۵	۶۱,۸	۳۴۰۰۰	۶۳,۴	۶۵

۴. تحلیل ساختمان نیمه اسکلت چهار طبقه با استفاده از مدل ارائه شده

جهت تشریح مراحل مدلسازی و نیز بررسی کارایی روش بهسازی ارائه شده، یک ساختمان قدیمی نیمه اسکلت چهارطبقه مورد مطالعه قرار گرفته است. پلان و نمای ساختمان مورد بحث در شکل ۳ نشان داده شده است. در طرف بلند ساختمان که در مجاورت با ساختمان های دیگر قرار دارد، دیوارهای آجری غیر مسلح باربر بدون هیچ گونه بازشو قرار گرفته است. سازه در قسمت میانی از المانهای تیر و ستون (قاب) بتنی تشکیل شده است. فرض شده است که سقف سازه ظرفیت برشی مناسبی دارد و در مدلسازی بصورت صلب در نظر گرفته شده است. در حالت اول که دیوارهای آجری باربر ساختمان بدون حفره می باشند، مدلسازی با فرضیات قاب معادل و استفاده از روش چند فنری (Multi Spring) صورت گرفته است. اما با توجه به هدف این مقاله که ارائه روشی جهت بهسازی این گونه ساختمانها است بازشوهایی در دیوار به نوعی ایجاد گردیده است تا با توجه به ابعاد دیوارها و وجود بازشوهای بزرگ، رفتار لرزه‌ای دیوارهای ساختمان، چرخش-کنترل گردند. با استفاده از روابط FEMA۳۵۶ [۱۳] می‌توان اثبات کرد که رفتار دیوارهای آجری در شکل ۳a از مود ترک قطری است که یک مود شکننده و غیر شکل پذیر است می باشد و همینطور می توان ثابت کرد که رفتار دیوارها در شکل۳b از نوع چرخش کنترل می باشند که به جهت اختصار از ذکر آن صرفنظر می‌گردد. دیوارهای باقی مانده پس از ایجاد بازشو با استفاده از فرضیات المان رشته-ای مبتنی بر تیر ستون معادل که در بخش قبل توضیح داده شد، سازه مدلسازی گردیده اند.



شکل۳.سا ختمان نیمه اسکلت قدیمی مورد مطالعه

ضخامت دیوارهای آجری در طبقه اول ۵۳ سانتیمتر، طبقه دوم و سوم ۴۳ و طبقه چهارم سازه ۳۳ سانتیمتر می‌باشد. بار زنده طبقات و بام به ترتیب ۲۰۰و۱۵۰کیلوگرم بر متر مربع و بار مرده طبقات و بام نیز به ترتیب برابر ۶۵۰ و۵۰۰کیلوگرم بر متر مربع فرض شده است. وزن مخصوص دیوارهای آجری ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است و از ۲۵٪ بار زنده و کل بار مرده جهت برآورد بار لرزه‌ای ساختمان استفاده شده است. ستونهای بتنی طبقات اول و دوم ۳۵×۳۵ با ۸ میلگردبه قطر ۲۰میلیمترمی‌باشند و ستونهای طبقات سوم و چهارم سازه نیز ۳۰×۳۰ با ۸ میلگرد به قطر ۲۰ میلیمتر می‌باشند. تیرهای بتنی طبقات اول و دوم سازه ۳۵×۳۵ و تیرهای طبقات سوم و چهارم ۳۰×۳۰ می‌باشند که در هر دو حالت ۶ میلگرد با قطر۱۶میلیمتر در آنها وجود دارد. مقاومت فشاری بتن ۲۵مگاپاسکال، مقاومت فشاری مصالح آجری ۷/۳ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته مصالح آجری۹۵۰ مگاپاسکال می‌باشد. کلیه اتصالات به صورت گیردار اجرا شده است، لیکن اتصال تیرهایی که روی دیوارهای آجری قرار گرفته‌اند بصورت دو سر مفصل مدلسازی شده است.

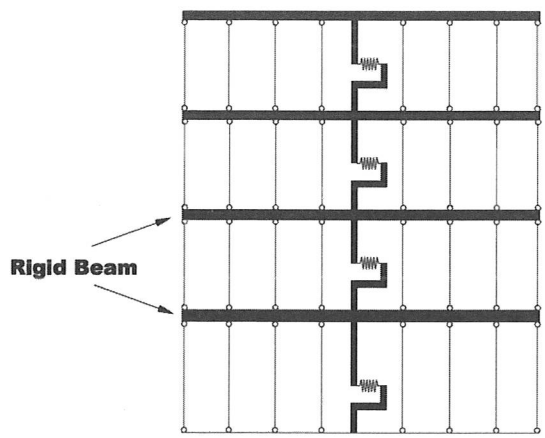
۵. تعیین منحنی ظرفیت سازه قبل و بعد از بهسازی

مدلسازی ساختمان در حالت الف که دیوار طرفین توپر می باشند با استفاده از فرضیات قاب معادل و روش چندفنری صورت پذیرفته است. مطابق این روش دیوارهای هر طبقه بصورت یک المان تیر ستون صلب که رفتار برشی را مدل می‌کند و چندین المان رشته‌ای که در فاصله‌های برابر از یکدیگر قرار می‌گیرند مدل می‌گردد. در المان برشی نیروی محوری آزاد شده است و نیروی محوری توسط اعضای رشته‌ای منتقل می‌گردد. در شکل۴ نحوه مدلسازی دیوارهای آجری در حالت توپر نشان داده شده است. معیارهای تسلیم مقاومتی و تسلیم تغییر شکلی فنر برشی از روش قاب معادل اخذ شده در مراجع۱۵ تا ۱۷ انتخاب گردیده است. طبق این مراجع مقدار برش از کمترین مقدار بدست آمده از دو رابطه زیر بدست می آید.

$$V_u = \frac{1.5c + \mu\sigma_.}{1 + \frac{3\alpha_v c}{\sigma_.}} . D.t \qquad (1)$$

$$V_u = \frac{c + \mu.\sigma_.}{1 + \alpha_v} . D.t \qquad (2)$$

که در این روابط c ضریب اطصکاک ۰/۶ و μ ضریب چسبندگی ۰/۲ مگاپاسکال، α_v نسبت ارتفاع به طول دیوار در نظر گرفته شده است. مطابق همین مراجع مقدار تغییر شکل در مود برشی ۰/۴ درصد ارتفاع طبقه در نظر گرفته شده است. در شکل ۴ نمایی از مدلسازی دیوارهای آجری نشان داده شده است.



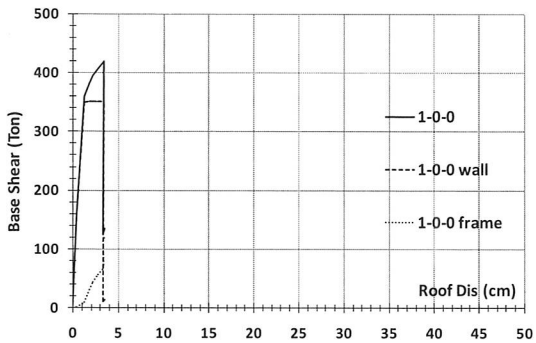
شکل ۴- نمایی از نحوه مدلسازی دیوارهای آجری سازه در نرم افزار

آنالیز مودال سازه در این حالت نشان داد مودهای اول و دوم سازه در جهت خارج صفحه دیوارها می‌باشند و

پریـود مـود اول سـازه برابـر۱/۰۵ بـا ضـرایب مشـارکت جرمـی ۰/۸۵ مـی باشـد. بـدلیل سـختی بسـیار بـالای دیوارهـای آجـری در جهـت داخـل صـفحه، مـود سـوم سـازه بـا مقـدار ۰/۳۶ در جهـت دیوارهـای آجـری بـا ضریب مشارکت جرمی۰/۸۱ می‌باشد.

مدل غیرخطی تیر و ستونهای بتنی، از دستورالعمل FEMA۳۵۶ اخذ شده است. مطابق این دستورالعمل با توجه به گیردار بودن اتصالات تیر و ستون‌های بتنی در دوسر تیرها و ستونها مفاصل پلاستیک بصورت نقطه‌ای و در فواصل ۰/۰۵و۰/۹۵ طول المان اختصاص یافته است. تیرهای متصل به دیوارهای آجری بصورت دو سر مفصل مدلسازی شده اند.

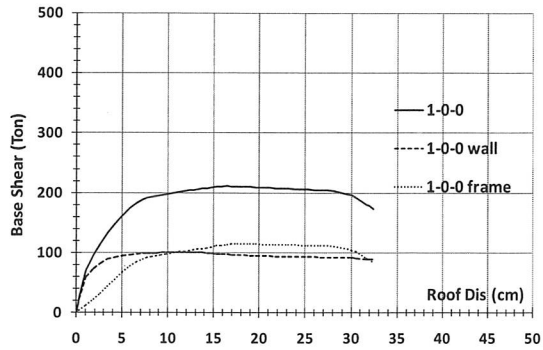
با توجه به اینکه توزیع بار جانبی ناشی از زلزله، تابع مشخصات دینامیکی سازه و رفتار غیرخطی آن است و در طول زلزله تغییر میکند، در حل این مسئله از توزیع بار یکنواخت و توزیع متناسب با مود اول سازه استفاده گردید. پس از تکمیل مدل غیرخطی ساختمان، آنالیز غیرخطی بر روی سازه انجام شده است و منحنی تغییر مکان بام به برش پایه بدست آمده است. سهم قاب و سهم دیوار نیز بصورت مجزا مشخص گردیده است که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. منحنی پوش سازه موجود و سهم ناشی از دیوارهای دوطرف ساختمان و نیز قاب بتنی میانی

همانطور که مـی‌دانـیم در دیوارهـای کوتـاه بـدلیل اینکـه نیـروی برشـی بزرگـی جهـت بسـیج نمـودن مقاومـت خمشـی در کـف مـورد نیـاز اسـت، عمومـا رفتـار غیـر خطـی بوسـیله بـرش خـالص کنتـرل مـی‌شـود . بـرای تعیـین منحنـی ظرفیـت بـرش جـانبی یـک سـاختمان، منحنـی‌هـای بـرش- تغییـر مکـان بـرای کلیـه دیوارهـای بـاربر و منحنـی ظرفیـت سـازه تعیـین شـده و سـپس بـا استفاده از آنهـا منحنـی ظرفیـت سـاختمان بدسـت مـی-آید. برای مثـال در سـاختمان مـورد مطالعـه مقـدار بـرش دیوارهـای طبقـه اول سـاختمان برابـر ۳۶۰ تـن مـی‌باشـد کـه از فرمـول‌هـای۱ و۲ بدسـت آمـده اسـت و همـانطور که نتایج آنـالیز نیـز نشـان مـی دهـد ایـن موضـوع تاییـد مـی گـردد. یعنـی مقـدار بـرش بدسـت آمـده از سـهم دیوارها مربـوط بـه دیوارهـای طبقـه اول سـاختمان اسـت و این دیوارهـا غیـر خطـی شـده انـد و دیوارهـای طبقـات بالا بصورت الاستیک باقی مانده است.

از آنجا که هـدف ایـن مقالـه ارائـه روشـی جهـت بهسـازی لرزه‌ای ایـن گونـه سـازه هـا مـی‌باشـد، حفـره‌هـایی درون دیوارهـای آجـری در طـرفین سـازه بصـورت متقـارن بنحـوی ایجـاد گردیـده کـه پایـه‌هـای بـاقی‌مانـده رفتـار چرخش کنتـرل داشـته باشـند. در ایـن حالـت مدلسـازی پایـه‌هـای آجـری سـازه بـا اسـتفاده از روش المـان‌هـای رشـته‌ای توضـیح داده شـده در بخـش اول مقالـه صـورت گرفتـه اسـت. آنـالیز مـودال سـازه نشـان داد کـه دوره تناوب مـود اول سـازه برابـر ۱/۱۸ثانیـه و در جهـت عمـود بـر دیوارهـای آجـری و بـا ضـریب مشـارکت جرمـی ۰/۸۳مـی‌باشـد. مـود دوم سـازه در جهـت دیوارهـای آجـری پریـود سـازه ۰/۵۹ ثانیـه و بـا ضـریب مشـارکت جرمـی ۰/۸۰ اسـت. بـه جهـت انجـام مقایسـه بـین رفتـار دو سـاختمان، کلیـه پارامترهـای دیگـر مدلسـازی از قبیل مدلسازی تیـر سـتونهای بتنـی هماننـد مـدل قبلـی مـی‌باشـد. پـس از تکمیـل مـدل غیـر خطـی سـاختمان آنالیز غیـر خطـی بـر روی سـاختمان انجـام شـده اسـت و منحنی برش پایه بـه تغییـر مکـان اسـتخراج گشـته اسـت که در شکل ۶ نشان داده شده است.

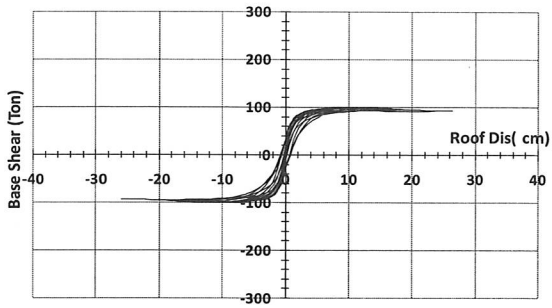


شکل ۶. منحنی پوش سازه بهسازی شده و سهم ناشی از دیوارهای دوطرف ساختمان و قاب بتنی

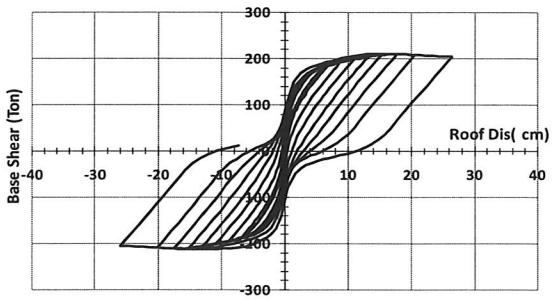
همانطور که نتایج حاصل در شکلهای ۵ و ۶ نشان می‌دهد مقدار نیروی تحمل شده توسط ساختمان در حالت بهسازی نشده (۴۱۹ تن) دو برابر حالت بهسازی شده (۲۱۱ تن) است لیکن مقدار تغییر مکان تحمل شده در حالت بهسازی شده هفت برابر حالت بهسازی نشده می‌باشد. بایستی توجه داشت بخش عمده ای از این کاهش مقاومت ناشی از کاهش بار مرده ناشی از ایجاد حفرات در دیوار می‌باشد. نکته قابل توجه در مورد حالت سازه موجود اینکه با رسیدن مقاومت دیوارها به حداکثر مقدار خود، به یکباره مقاومت از دست می‌رود و سازه مقاومت خود را از دست می دهد.. با ضعیف کردن دیوارهای آجری و انتظار رفتار شکل پذیر چرخش کنترل در پایه‌ها در حالت بهسازی شده، رفتار سازه بصورت چشمگیری بهبود یافته و روند شکل‌گیری مفاصل در ارتفاع و طبقات ساختمان پخش می‌گردد که از مزیت های قابل توجه روش بهسازی ارائه شده می باشد.

۶. منحنی هیسترزیس قاب-دیوار و استفاده از خاصیت برگردانندگی دیوار و میرایی قاب

همانطور که ذکر گردید در سازه‌های موجود چنانچه بتوان دیوارهای طویل را با ایجاد حفراتی تبدیل به پایه‌های ضعیف و تیرهای عمیق نمود به گونه‌ای که رفتارحاکم بر اجزاء پایه چرخشی بوده و تیرها مشارکتی در تامین تغییر شکل ننمایند، می‌توان شکل‌پذیری کافی برای ساختمانهای آجری فراهم نمود. به این ترتیب می‌توان بهسازی را به گونه‌ای انجام داد که انتظار داشت مقاومت و شکل‌پذیری از طریق دیوارهای آجری چرخش-کنترل حاکم تامین گردد و استهلاک انرژی در سیستم قاب تولید گردد. به همین منظور آنالیز استاتیکی غیر خطی معکوس شونده بر سازه وارد گردید و منحنی های هیسترزیس سازه و سهم دیوارهای آجری و قاب بتنی میانی استخراج گردید. همانطور که انتظار می رفت، نتایج بدست آمده موید این نکته است که رفتار دیوارهای آجری کاملا چرخش-کنترل و دارای خاصیت مرکز گرایی می باشد. منحنی های هیسترزیس بدست آمده برش پایه به جایجایی در اشکال ۷ و ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷. منحنی هیسترزیس سهم ناشی از دیوارهای آجری



شکل ۸. منحنی هیسترزیس ساختمان پس از بهسازی

مطابق این اشکال سهم کل دیوارها برابر ۱۰۰ تن می باشد که این مقدار حدودا نصف برش کل ساختمان می باشد. مقدار جابجایی باقی مانده در این حالت در حدود ۱۱ سانتیمتر بعد از تجربه جابجایی کل ۲۷ سانتیمتر است. به جهت بررسی دقیقتر مساله و آگاهی از تاثیر رفتار قاب میانی بر رفتار کل ساختمان، در حالتهایی از تعداد قابهای بتنی در سازه کاسته شد تا اثرات دیوار بیشتر از قبل نمایان گردد و در حالتهای دیگری به تعداد قابهای میانی افزوده شد تا اثرات دیوار کمتر گردد. نتایج حاصله در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول۲- دریفت باقی مانده با افزایش و یا کاهش تعداد قابهای میانی(واحدها کیلو نیوتن و سانتی متر)

	تغییر نسبت مقاومتها	مقاومت کل سازه	مقاومت دیوار آجری	مقاومت قاب بتنی	نسبت مقاومت قاب به دیوار	دریفت باقی مانده بام(سانتی متر)
۱	افزایش مقاومت قاب به دیوار	۲۸۰۰	۱۰۰۰	۱۸۰۰	۱,۸	۱۷
۲	افزایش مقاومت قاب به دیوار	۲۴۶۰	۱۰۰۰	۱۴۶۰	۱,۴۶	۱۶
۳	افزایش مقاومت قاب به دیوار	۲۲۸۰	۱۰۰۰	۱۲۸۰	۱,۲۸	۱۴
۴	بدون تغییر	۲۱۱۰	۱۰۰۰	۱۱۱۰	۱,۱۱	۱۲
۵	کاهش مقاومت قاب به دیوار	۱۹۱۰	۱۰۰۰	۹۱۰	۰,۹۱	۸
۶	کاهش مقاومت قاب به دیوار	۱۷۱۰	۱۰۰۰	۷۱۰	۰,۷۱	۴
۷	کاهش مقاومت قاب به دیوار	۱۵۳۰	۱۰۰۰	۵۳۰	۰,۵۳	۲
۸	کاهش مقاومت قاب به دیوار	۱۳۲۰	۱۰۰۰	۳۲۰	۰,۳۲	۰,۶

مقادیر بدست آمده در جدول شماره ۲ نشان می دهد که با افزایش مقاومت قابهای بتنی، سهم برش تحمل شده توسط دیوارهای آجری نسبت به برش کل کاهش می‌یابد در این حالت‌ها اگرچه برش تحمل شده توسط دیوارها مقدار ثابت ۱۰۰۰ کیلو نیوتن می باشد لیکن با توجه به اینکه مقاومت قابهای میانی افزایش یافته، رفتار قابها سازه را تحت تاثیر قرار می-دهد. منحنی شکل ۸ نشان می دهد که رفتار مرکز گرا در کل سازه شکل گرفته است و این موضوع از مزیت‌های سازه‌های با رفتار چرخش کنترل می‌باشد.

۷.نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جهت بهسازی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها نیم اسکلت موجود ارائه گردیده است بدین صورت که چنانچه بتوان دیوارهای طویل را با ایجاد حفراتی تبدیل به پایه های ضعیف و تیرهای عمیق

نمود به گونه‌ای که رفتارحاکم بر اجزاء پایه چرخشی بوده و تیرها مشارکتی در تامین تغییر شکل ننمایند، می توان انتظار داشت مقاومت و شکل پذیری از طریق دیوارهای آجری چرخش–کنترل تامین گردد و استهلاک انرژی در سیستم قاب تولید گردد.

با استفاده از روش مدلسازی ارائه شده، ساختمان نیمه اسکلت قدیمی چهار طبقه و سه دهانه در دوحالت قبل و بعد از بهسازی مورد مطالعه قرار گرفته است و منحنی‌های برش پایه به تغییر مکان بام آنها استخراج گشته است. نتایج آنالیزهای استاتیکی افزایش یابنده و معکوس شونده نشان داد مدل ارائه شده می‌تواند بصورت چشمگیری باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه گردد. این نوع از بهسازی سازه ها باعث می گردد نه تنها مودهای ترد رفتار دیوارهای آجری حذف گردد که رفتار مرکزگرا در سازه نیز ایجاد گردد و این به نوبه خود به پایداری بیشتر سازه در هنگام زلزله می انجامد.

۹.مراجع

۱.Fabio nardone, Gerado Maio Verderame, Andrea Prota and Gaetano Manfredi, "Comparative analysis on the seismic behavior of combined RC masonry Buildings," *Journal of Structural Engineering,* ASCE

۲.Jitendra K. Bothara,
Rajesh P. Dhakal, and John B. Mander, "Seismic performance of an unreinforced masonry building: An experimental investigation," Earthquake Engng Struct. Dyn. ۲۰۱۰; ۳۹:٤٥–٦٨

۳. Magenes, G., and Calvi, G. M. ۱۹۹۷. "In-plane seismic response of brick masonry walls."*Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, ۲٦(۱۱), ۱۰۹۱-۱۱۱۲.

٤. Nunan, W. L., Goel, S. C., and Rai, D. C. _۱۹۹٦_. "Seismic strengthening of unreinforced masonry buildings using steel bars and tendons embedded in ferrocement strips." *Rep. No. UMCEE ۹٦-۱۸*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Mich.

٥. Rai, D. C., and Goel, S. C. _۱۹۹۷_. "Seismic strengthening of unreinforced masonry piers with steel elements." *Earthquake Spectra*, ۱۲_٤_, ۸٤٥–۸٦۱.

٦. ElGawady, M. A., Lestuzzi, P., and Badoux, M. _۲۰۰٦_. "Aseismic retrofitting of unreinforced masonry walls using FRP." *Composites, Part B*, ۳۷_۲–۳_, ۱٤۸–۱٦۲.

۷. Franklin, S., Lynch, J. and Abrams, D. P., "Performanceof Rehabilitated URM Shear Walls: Flexural Behavior ofPiers," Department of Civil Engineering, University of Illinoisat Urbana-Champaign Urbana, Illinois, ۲۰۰۱.

۸. خانمحمدی، محمد و همکاران، (۱۳۸۸)، " گزارش تفضیلی آزمایشات ۲۰ نمونه دیوار آجری"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران

۹. Russell,A.P., Mahmood, H., and Ingham, J.M. (۲۰۰۷).,"Pseudo-static in-plane testing of typical New Zealand unreinforced masonry walls," ۸th Pacific Conference on Earthquake Engineering.

١٠. Anthoine, A., Magonette, G. and Magenes, G., "Shear- Compression Testing and Analysis of Brick Masonry Walls," Proceedings of the ١٠th European Conference on Earthquake Engineering, Duma, the Netherlands, ١٩٩٥.

١١. Magenes,G. and Calvi, G.M.,١٩٩٥,.Shaking Table Test on Brick Masonry Walls,.١٠th European Conference on Earthquake Engineering

١٢. Jung,H.Lee, Chenghao Li, Sang,H, Won,J and Waon,H "Evaluation of Rocking and Toe Crushing Failure of Unreinforced Masonry Walls,. Advances in Structural Engineering Vol. ١١ No. ٥ ٢٠٠٨, ٤٧٥-٤٨٩

١٣. Federal Emergency Management Agency (FEMA). (٢٠٠٠). "Prestandardand commentary for the seismic rehabilitation of buildings."FEMA٣٥٦, Washington, D.C.

١٤. Magenes, G., and Della Fontana, A., "Simplifiednonlinear seismic analysis of masonry buildings", Proc.of the British Masonry Society, Vol. ٨, ١٩٠-١٩٥,(١٩٩٨).

١٥. Magenes, G., "A method for Pushover analysis inSeismic assessment of masonry buildings", ١٢ WCEE,Papar No. ١٨٦٦, (٢٠٠٠).

١٦. GR.G.Penelis., An efficient approach for pushover analysis of URM structures, Journal of eq.eng, ٢٠٠٥