

www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسیین عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران
ارائه دهنده برترین و بروزترین مطالب علم عمران
دانلود کتابها و جزوات آموزشی مهندسی عمران
دانلود پروژه و گزارشهای کارآموزی نمونه
دانلود برنامه های کاربردی عمران

تقویت، ترمیم، بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ها



مهندس علی جلالی مارناتی

فهرست مطالب

بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتنی ۳

ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای ساختمان های موجود (پس از ترمیم و
بهسازی) ۳۱

عملکرد لرزه ای ۴۰

کاربرد کامپوزیتهای FRP در تقویت و بهسازی سازه های بتنی و بنایی ۴۸

بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتنی

Seismic Rehabilitation Strengthening Of RC Buildings

دکتر عباسعلی تسنیمی - دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه : برای دستیابی به بهترین طرح بهسازی و مقاوم سازی ساختمان های بتنی مسلح باید به نحوی اقدام کرد که سطح عملکرد مناسب (که در هدف طرح تعیین شده است) تامین گردد. از این رو باید زیر بنای تمام گام های مربوط به فرآیند بهسازی و مقاومسازی لرزه ای به خوبی درک و شناخته شود .

۱- هدف بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای :

از مهمترین اهداف بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای تحقق موارد زیر است :

- أ. تامین مقاومت در برابر زلزله های خفیف بدون هیچگونه آسیب
- ب. تامین مقاومت در برابر زلزله های متوسط بدون هیچگونه آسیب سازی ، ولی احتمال برخی خسارت های غیر سازه ای وجود دارد .
- ج. تامین مقاومت در برابر زلزله های شدیدی که درمحل سازه قبلا رخ داده یا قابلیت وقوع دارد ، بدون فروریزی ، ولی احتمال برخی خسارت های سازه ای و غیر سازه ای وجود دارد.

۲- گام های کلی و ویژه در فرآیند بهسازی و مقاوم سازی :

۲-۱- گام های کلی

این گام ها برای کلیه ساختمان ها اعم از فولادی ، بتنی ، و مصالح بنایی قابل اعمال است و بیشتر جنبه عمومی یا کلی داشته و به هیچ نوع از انواع ساختمان ها اختصاص ندارد . تقسیم بندی کلی این گام ها به شرح زیر است :

- أ. مبانی بهسازی و مقاوم سازی و تعیین سطوح عملکرد
- ب. مبانی و روش های تحلیل
- ج. روش های مقاوم سازی

در این قسمت با این فرض که خواننده گرامی با گام های کلی آشنایی کامل و وسیع دارد ، ضرورتی برای طرح مجدد و مشروح آنها وجود ندارد، لیکن مختصراً به برخی از اجزای آنها به عنوان یاد آوری اشاره می شود .

۱-۱-۲- مبانی بهسازی و تعیین سطوح عملکرد

اجزای این قسمت عبارتند از :

۱-۱-۱-۲- تعیین مشخصات ساختمان

مشخصات هر ساختمان می تواند شامل اطلاعات مربوط به پیکر بندی از نظر معماری و از نظر سازه ای و همچنین اطلاعات مربوط به اعضای سازه ای و غیر سازه ای که احتمالاً در هنگام رخداد زلزله بر روی نیروها و تغییر مکان های اعضای سازه ای اثر گذارند ، باشد. در این قسمت باید اطلاعات مربوط به خواص مهندسی مصالح به کار رفته و نحوه استقرار اعضای سازه ای و اتصال آنها به یکدیگر نیز تعیین شود.

۱-۱-۲-۲- تعیین مشخصات ساختگاه

یکی دیگر از اجزای مربوط به گام های عمومی در فرآیند مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای مشخص کردن وضعیت ساختگاه از نظر شرایط زیر سطحی و سطحی است که مشتمل بر نوع خاک و طبقه بندی آن است . در این مرحله وضعیت شالوده نیز باید در پی بررسی های میدانی و انجام آزمایش های لازم مشخص گردد.

۱-۱-۲-۳- بررسی وضعیت ساختمان های مجاور

در این قسمت اثر برخورد ساختمان های مجاور به « ساختمان هدف » و احتمال بروز آسیب یا خسارت در هنگام رخداد زلزله باید مورد بررسی قرار گیرد. در چنین شرایطی لازم است تا آسیب یا خسارت محتمل در هنگام رخداد زلزله پیش بینی و تخمین زده شود. به عنوان مثال ، سقوط اجزای سست مانند قطعات نما و یا احتمال انفجار ، آتش سوزی ، نشست مواد آلاینده ، از جمله اطلاعاتی است که باید برای اتخاذ تصمیم نهایی گرد آوری شود.

۱-۱-۲-۴- تعیین سطوح عملکرد مورد انتظار

برای تعیین سطح عملکرد مورد انتظار برای ساختمان هدف ، لازم است ، مهندس مسئول طرح بهسازی با همکاری کارفرما ، به دلایلی که در قسمت های قبلی مشخص کرده است ، یکی از سطوح عملکرد را ، تحت خطر زلزله معین

انتخاب نماید . لازم به ذکر است که سطوح عملکرد ، شامل چهار سطح اصلي و دو سطح مياني است .

سطوح عملکرد اصلي عبارتند از :

- قابليت استفاده بي وقفه Fully operational \ Immediate occupancy
- ايمني جاني Life Safety \ Operational
- آستانه فروريزش Near Collapse
- لحاظ نشده (تعيين نشده)

سطوح عملکرد مياني عبارتند از :

- خرابي محدود Limited Collapse
- ايمني جاني محدود Limited Life Safety

۲-۱-۲- اهداف سطح عملکرد (Performance Objectives):

هر سطح عملکرد به دو قسمت اصلي وابسته است ، يکي سطح آسيب و ديگري سطح خطر لرزه اي . به عبارت ديگر براي عملکرد هر ساختمان در هنگام رخداد زمين لرزه ، بايد سطح خطر را دانست و متناسب با آن آسيب قابل قبول يا مورد انتظار را تعريف کرد . فلذا سطح هر آسب بايد متناظر با سطح خطر بوده باشد . از اين رو عملکرد لرزه اي عبارت است از تعيين حداقل خسارت مجاز (سطح عملکرد) براي پذيرش خطر لرزه يا معين (حرکت زمين ناشي از زلزله)

هدف از يك سطح عملکردمي تواند مشتمل بر سطوح مختلفي از آسيب براي سطوح مختلفي از حرکت زمين باشد . که در اين صورت به نام هدف دوگانه يا چندگانه تعبير مي شود . سطح عملکرد بيانگر شرايط حدي مربوط به ميزان و نحوه خسارت وارده بر سازه است که براي يك ساختمان معين و تحت اثر يك زلزله معين قابل قبولي تلقي مي شود . اين شرايط تا حدي بوسيله خرابي هاي فيزيکي در خود سازه ، خطر جاني براي ساکنين ساختمان و ميزان قابليت سرويس دهی سازه پس از وقوع زلزله توصيف مي گردد. سطوح عملکردي براي سيستم سازه اي و غير سازه اي به طور جداگانه تقسيم مي شود .

سطح عملکرد هدف به دو دسته تقسيم مي گردد.

أ. سطح عملکرد سازه اي (Structural Performance Level) SP – n
ب. سطح عملکرد غير سازه اي (Non-Structural Performance Level) NP –n

هر يك از اين دو سطح مي تواند مستقل از يكدیگر و يا با تركيب هر دو سطح ، عملکرد كلي ساختمان را به دست دهد . سطوح و محدوده هاي عملکرد سازه اي با يك عنوان و يك عدد معرفي مي شوند . عدد مذکور را « عدد عملکرد سازه اي » مي نامند و به طور مخفف به $Sp - n$ نمايش مي دهند . سطوح عملكردي سازه اي كه عبارتند از : « قابليت استفاده بي وقفه » ، « ايمني جاني » و « آستانه فرو ريزش » وضعيتهاي خرابي مجزايي هستند كه مي توانند مستقيماً در ارزيابي و بهسازي براي معرفي معيارهاي فني به كار روند . ساير عملكردهاي سازه اي تعيين شده كه عبارتند از « خرابي محدود » و « ايمني جاني محدود » و « غير قابل قبول » در حقيقت موقعيت هايي در سيستم طبقه بندي و شماره گذاري هستند كه به صاحب ساختمان اجازه مي دهد كه بتواند به دلخواه عملکرد ساختمان را در اين محدوده انتخاب كند . ذيلاً تعريف و توضيح وضعيت خرابي در سطوح مختلف عملکرد ارائه مي شود .

۱-۲-۱-۲- سطوح عملکرد سازه اي عبارتند از :

أ. استفاده بي وقفه يا اشغال فوري $Sp - 1$ (Immediate Occupancy)
در اين سطح از عملکرد ، ساختمان داراي عناصر اساسي افقي و قائم كه در برابر زلزله مقاوم باشند (سيستم هاي لرزه بر) بوده و كليۀ خواص و شاخصه ها ي قبل از زلزله و ظرفيت لرزه اي خود را حفظ مي نمايند . اين سطح عملکرد بر روي منحنی ظرفیت در شکل ۶ با محدوده A تا B مشخص شده است .

ب. کنترل خسارت يا خرابي محدود ، $Sp - 2$ (Damage Control)
اين سطح از عملکرد ، بيان عملكردي است كه بين دو سطح عملکرد يا استفاده بي وقفه و ايمني جاني قرار مي گيرد . اين سطح عملکرد بر روي منحنی ظرفیت در شکل ۶ با محدوده B تا G مشخص شده است .
در اين حالت در اثر وقوع زلزله خرابي هاي محدودی ايجاد مي گردد ، به گونه اي كه با انجام مرمت بخشهاي آسیب دیده ، ادامه بهره برداري ميسر مي باشد . اين حالت در حقيقت يك سطح عملكردي نيست بلكه يك محدوده اي از خرابي پس از زلزله است كه بين سطح $Sp - 1$ (قابليت استفاده بي وقفه) و $Sp - 3$ (ايمني جاني) متغير است . اين وضعيت مي تواند معرف بسياري از حالاتي باشد كه در آن بخواهيم خرابي سازه را به يك سطح بالاتر از ايمني جاني محدود كنيم ولي مسئله سکونت موردتوجه است . مثالي از اين حالت « خرابي محدود » حفظ جنبه معماري آثار برجسته مثل ساختمان هاي تاريخي و يا سازه هاي محتوي وسايل ارزشمند مي باشد . لازم به توضيح است كه اين محدوده غالباً براي مشخص كردن حالات بين سطوح عملکرد « استفاده بي وقفه » و « ايمني جاني » بكار مي رود و عملکرد قابل انتظار از اكثر ساختمانهاي جديد براي زلزله اي با ۱۵ درصد احتمال در ۵۰ سال دربر مي گيرد .

ج. ایمنی جانی Sp-3 (Life Safety)

در این حالت بر اثر وقوع زلزله در سازه خرابی ایجاد می شود ولی میزان خرابی در حدی که منجر به خسارت جانی شود نیست . این سطح عملکرد معرف وضعیت از خرابی پس از زلزله است که در آن خسارت قابل توجهی به سازه اعمال شده ولی هنوز حاشیه اطمینان تا سقوط کل یا بخشی از سازه وجود دارد. سطح خرابی از آنچه که برای سطح عملکرد " آستانه فرو ریزش " در نظر گرفته می شود کمتر است. اعضای اصلی و بزرگ سازه ای از جای خود بیرون نزده و نیفتاده اند و خطر جانی در داخل یا خارج ساختمان وجود ندارد. گرچه در خلال زلزله صدمه دیدگی و جراحات ممکن است اتفاق بیفتد ولی احتمال صدمه جدی منجر به مرگ ناشی از خرابی سازه ای بسیار کم است . این سطح از عملکرد ، فاصله قابل توجهی با فرو ریزش کامل یا جزئی دارد و بر روی منحنی ظرفیت در شکل ۶ در اطراف نقطه G مشخص شده است.

د. ایمنی جانی محدود ، Sp-4 (Limited Life Safety)

در این سطح عملکرد ، خسارت ها یا آسیب ها به میزانی است که ما بین دو حد ایمنی جانی و پایداری سازه ای واقع می شود. در این حالت بر اثر وقوع زلزله در سازه خرابی ایجاد می شود ولی میزان خرابی در حدی است که خسارت جانی حداقل شود. این حالت نیز در واقع یک سطح عملکرد نیست بلکه یک محدوده ای از وضعیت خرابی پس از زلزله است که شرایطی بدتر از سطح عملکرد " ایمنی جانی " و بهتر از سطح عملکرد " آستانه فرو ریزش " دارد و معرف موقعیتی در طبقه بندی سطوح عملکرد است که شرایطی بهتر از سطح آستانه فرو ریزش دارد. این شرایط ، حالتی را شامل می شود که تامین سطح ایمنی جانی به طور کامل ، مقرون به صرفه نیست. سطح عملکرد غیر سازه ای که در این محدوده به کار می رود متغیر است و به هدف کنترل بستگی دارد و محدوده G تا I را بر بروی منحنی ظرفیت که در شکل ۶ آمده مشخص می کند.

ه. آستانه فرو ریزش با پایداری سازه ای ،

(Structural Stability or Near Collapse) Sp-5

در این حالت بر اثر وقوع زلزله خرابی گسترده ای در سازه ایجاد می شود ولی ساختمان فرو نمی ریزد و تلفات جانی حداقل می باشد. این سطح عملکرد، حد نهایی وضعیت خرابی پس از زلزله است که در آن کل یا بخشی از سیستم سازه ای ساختمان در شرف فرو ریختن می باشد. خسارتهای اساسی به سازه وارد شده و شامل کاهش شدید سختی و مقاومت در سیستم باربر جانبی است . ولی در عین حال تمام اجزای اصلی سیستم باربر قائم همچنان قادر به ادامه باربری هستند. اگر چه ساختمان پایداری کل خود را حفظ می کند ولی احتمال صدمه دیدگی ناشی از سقوط اعضای سازه ای هم در داخل ساختمان و هم در خارج آن به شدت وجود دارد و احتمال سقوط ساختمان در صورت وقوع پس زلزله زیاد

است. باید توجه شود که قبل از اسکان مجدد د ر ساختمان حتما تعمیرات سازه ای اساسی انجام شود. در این وضعیت برای ساختمان های بتنی قدیم بسیار محتمل است که خسارت ایجاد شده به هیچ وجه از نظر اقتصادی و فنی قابل جبران و تعمیر نباشد. در این سطح عملکرد خطر سقوط اجزا وجود دارد و به همین دلیل سطح عملکرد غیر سازه ای $Np - E$ (غیر قابل قبول) معمولا با این سطح عملکرد سازه ای ترکیب می شود.

و. سطح عملکرد لحاظ نشده ، $Sp - 6$ (Not Considered)

این حالت يك سطح عملکرد نیست بلکه موقعیتی را در طبقه بندی سطوح عملکرد نشان می دهد که تنها ارزیابی سیستم غیر سازه ای را در بر می گیرد. لازم به توضیح است که بهسازی لرزه ای برای اجزای غیر سازه ای بدون در نظر گرفتن سازه معمول نیست ، ولی در مواردی که آسیب پذیری زیادی محتمل است، مثل اتاق کامپیوتر و یا دستگاه های مهم و حساس ، می توان وجود سطح عملکرد سازه ای “ غیر قابل قبول ” را در طبقه بندی سطوح عملکرد ساختمان ابزار مناسبی برای ارتباط طراح و مالک ساختمان تلقی نمود. به طور خلاصه در این سطح از عملکرد فقط عناصر غیر سازه ای برای تقویت یا بهسازی در نظر گرفته می شوند.

۲-۲-۱-۲- سطوح عملکرد غیر سازه ای

سطوح عملکرد غیر سازه ای به طور مخفف به شکل $Np - n$ نمایش داده می شود. سطوح عملکرد غیر سازه ای که عبارتند از “ خدمات رسانی بی وقفه ” ، “ قابلیت استفاده بی وقفه ” ، “ ایمنی جانی ” و “ ایمنی جانی محدود ” وضعیتهای خرابی مستقلی هستند که می توانند مستقیما در امر ارزیابی و بهسازی به منظور تعیین معیارهای فنی به کار برده شوند. دیگر عملکرد غیر سازه ای یعنی “ غیر قابل قبول ” صرفا برای تکمیل طبقه بندی در نظر گرفته شده و به کارفرما امکان انتخاب بیشتری برای تعریف عملکرد مورد نیاز می دهد .

ز. قابلیت خدمات رسانی ، $Np - A$ (Operational)

در این حالت اجزای غیر سازه ای بر اثر زلزله دچار خرابی بسیار جزئی می شوند، به گونه ای که خدمت رسانی ساختمان به طور پیوسته فراهم است. این سطح بیانگر وضعیتی از خرابی پس از زلزله است که در آن اجزا و سیستم های غیر سازه ای عموما در جای خود هستند و بدون خرابی قادر به انجام وظایفشان می باشند. گرچه مقدار کمی به هم ریختگی و نیاز به تعمیر کردن قابل انتظار است ولی تمام وسایل و ماشین آلات باید در حال کار پابرجا بمانند. وسایل کمکی که ممکن است به علت خرابی های قابل توجه در خارج از ساختمان در دسترس نباشد، باید تامین شود و تمهیدات لازم برای مواجه با مشکلات احتمالی در زمینه حمل و نقل، ارتباط با خارج ساختمان و در دسترس بودن مایحتاج باید در نظر گرفته شود.

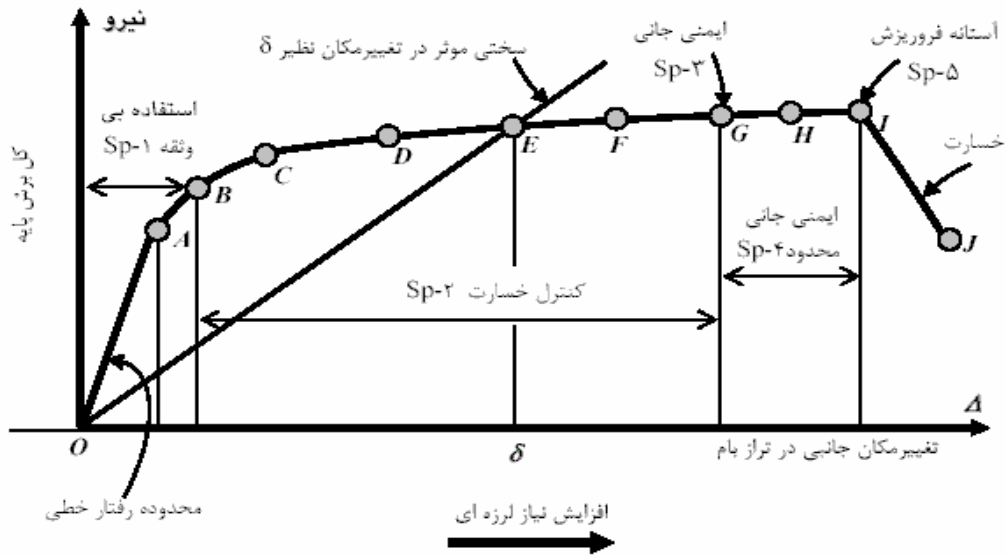
ح. بهره برداري بي وقفه، (Immediate Occupancy Level) Np – B
وضعيتي از خرابي پس از زلزله است که در آن عموماً اجزا و سيستم هاي غير سازه اي در جاي خود باقي مي مانند مقدار کمي به هم ريختگي و نياز به تعمير کردن به خصوص به علت خرابي يا جا به جا شدن محتويات آنها ، محتمل است. با وجود اينکه ماشين آلات و وسايل عموماً بسته شده و مهار شده هستند ولي قابليت کارايي آنها پس از زلزله هاي شديد چندان مورد اطمینان نيست و ممکن است در استفاده از آنها محدوديتهايي ايجاد شود. راههاي دسترسي و فرار مانند درها، راهروها ، پله ها و آسانسورها مختل نشده و استفاده از ساختمان بي وقفه ميسر مي باشد.

ط. ايمني جاني، (Life Safety) Np- C
در اين وضعيت پس از وقوع زلزله ممکن است خرابي هاي اساسي در سيستمها و اجزاي غير سازه اي اتفاق بيفتد ولي نبايد شامل سقوط و فرو ريختن وسايل سنگين که باعث بروز مصدوميت هاي شديد چه در داخل ساختمان و چه در خارج آن مي شود باشد. خطرات ناشي از شکستن لوله ها و نگهدارنده هاي مواد سمی و يا لوله هاي مربوط به سيستم جلوگیری از آتش سوزي نبايد وجود داشته باشد. سيستمهاي غير سازه اي ممکن است در وضعيتي باشند که بدون تعمير و يا جا به جا کردن قابل استفاده نباشد. با وجود اينکه بروز صدمه دیدگي در خلال زلزله ممکن است اتفاق بيفتد ولي خطر صدمه دیدگي شديد و خطر جاني به علت خرابي اجزاي غير سازه اي بسيار کم است.

ي. کاهش خطر ، (Reduced Hazard) Np – D
در اين وضعيت ، آسیب هاي جدي به عناصر غير سازه اي ، وارد مي شود ، ولي نبايد عناصر سنگين و بزرگ دچار آسیب شده باشند که در اثر آن ساکنين صدمه ببينند.

ك. لحاظ نشده (منظور نشده) ، (Not Considered) Np – E
اين حالت يك سطح عملکرد نيست بلکه معرف حالت عامي است که اجزاي غير سازه اي مورد ارزيابي و بررسي قرار نمي گيرد مگر آنکه اثر مستقيمي بر رفتار سازه داشته باشند ، مثل ديوارهاي پرکننده بامصالحبنايي و ساير جداگرهاي سنگين . اين موقعيت در طبقه بندي براي توصيف دقيق سطح عملکرد ساختمان در حالت " آستانه فرو ريزش " که در آن اجزاي غير سازه اي در نظر گرفته نمي شود، بايد در نظر گرفته شود . اين سطح براي اينکه با سطح عملکرد سازه اي Sp-4 ترکيب شود در طبقه بندي در نظر گرفته شده است . به علاوه انتخاب اجزاي غير سازه اي در سطح " نامشخص " در بعضي موارد يك راه حل مديريتي ريسک است که در ترکيب با ساير سطوح عملکرد بالا مورد استفاده قرار

می‌گیرد. در نظر گرفتن سطح عملکرد Np - E در طبقه بندی وسیله مناسبی برای ارتباط طراح و مالک ساختمان می‌باشد.



شکل ۶- منحنی ظرفیت در حالت کلی

۲-۱-۲- سطوح عملکرد ساختمان

برای بدست آوردن سطح عملکرد ساختمان لازم است، ترکیبی بین سطح عملکرد عناصر سازه ای و غیر سازه ای به وجود آید. در جدول ۵ این ترکیب برای سطوح عملکرد مختلف آورده شده است. به طور خلاصه سطوح عملکرد ساختمان را می‌توان به صورت زیر دسته بندی کرد.

الف - سطح عملکرد بهره برداری (خدمت رسانی) (Operational)

(A-1) یا (SPNP-A-1)

از ترکیب دو سطح عملکرد بهره برداری بی وقفه اعضاي سازه ای و عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه اعضاي غیر سازه ای سطح عملکرد بهره برداری بی وقفه برای ساختمان به دست می‌آید. در این سطح از عملکرد، آسیب وارده به ساختمان چندان اندک است که زندگی عادی در آن ادامه خواهد داشت و برای

تعمیر قسمت های آسیب دیده هیچگونه مزاحمتی برای ساکنین به وجود نخواهد آمد. همچنین خسارت های وارده به عناصر غیر سازه ای نیز اندک است به نحوی که مشکلی برای ساکنین به وجود نمی آورد. و از همه مهمتر سرویس های موقت و با اهمیت که از بیرون ساختمان تامین می گردند (مانند خطوط تلفن و حمل و نقل، ورود، پارکینگ ها و ...) امکان پذیر می باشد.

ب- سطح عملکرد بهره برداری بی وقفه (Immediate Occupancy)
(B-1) یا (SPNP - B - 1)

این سطح عملکرد مرادف با حالتی است که فضاهای داخلی ساختمان و آمد و شد در آن عادی خواهد بود و اغلب سرویس های پابرجا می باشد ولی تداوم این سرویس ها به صورت عادی مقدور نیست و ممکن است برخی از آنها خسارت دیده باشند.

ج - سطح عملکرد ایمنی جانی (Life Safety) (SPNPC - 3) یا (C - 3)
سطح عملکرد ایمنی جانی به شرایطی اطلاق می شود که پیش بینی خرابی اعضای سازه ای و غیرسازه ای، مانند افتادن بخش هایی از قسمتهای غیر سازه ای ساختمان، به صورت خطر جدی ساکنین را تهدید نکند. معمولاً این سطح از عملکرد پایین تر از سطح عملکرد آیین نامه های طراحی لرزه ای جدید است.

د - سطح عملکرد در آستانه فرو ریزش (Structural Salability)
(E-5) یا (SPNPE - 5)

در این سطح عملکرد عناصر سازه ای در حالی تحمل بارهای قائم (ثقلی) را دارند که بارهای جانبی ناشی از زلزله تحمل نمی شود. در این حالت برای پس لرزه های احتمالی، از نظر مقاومت محدوده رزرو وجود ندارد و عناصر غیر سازه ای ممکن است فرو ریزند و حتی خسارت ها و آسیب های سازه ای نیز محتمل است.

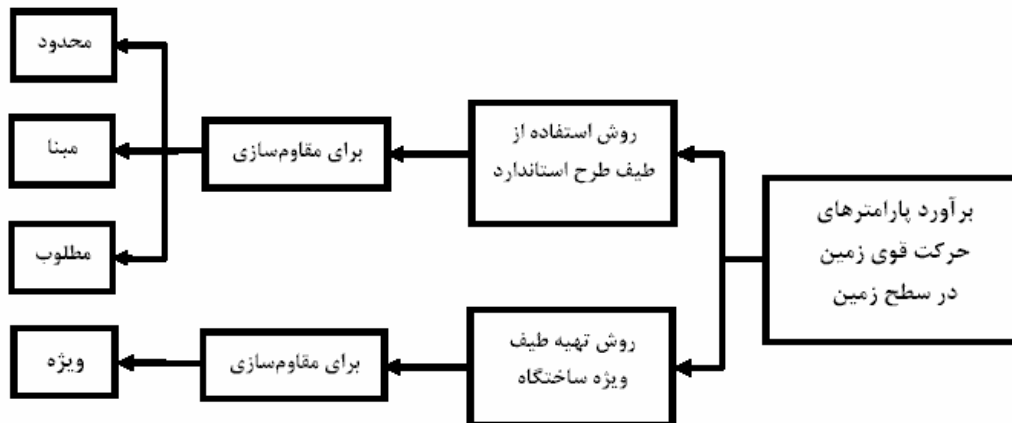
جدول ۱- ترکیب سطوح عملکرد اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای تعیین سطوح عملکرد ساختمان

سطوح عملکرد ساختمان						سطوح عملکرد اعضای غیر سازه‌ای
Sp-۶	Sp-۵	Sp-۴	Sp-۳	Sp-۲	Sp-۱	
لحاظ نشده	آستانه فروریزش	ایمنی جانی محدود	ایمنی جانی	کنترل خسارت (خرابی محدود)	قابلیت استفاده بی وقفه	
NR A-۶	NR A-۵	NR A-۴	NR A-۳	A-۲	خدمت رسانی بی وقفه A-۱	NP-A قابلیت خدمت رسانی بی وقفه
NR B-۶	NR B-۵	NR B-۴	B-۳	B-۲	B-۱	NP-B قابلیت استفاده بی وقفه
C-۶	C-۵	C-۴	ایمنی جانی C-۳	C-۲	C-۱	NP-C ایمنی جانی
D-۶	D-۵	D-۴	D-۳	D-۲	NR D-۱	NP-D ایمنی جانی محدود
NR E-۶	NR E-۵	E-۴	E-۳	NR E-۲	NR E-۱	NP-E لحاظ نشده

سطوح عملکرد ساختمان، قابل ارجاع
سایر سطوح عملکرد ساختمان، محتمل
عدم توصیه در ترکیب عملکردهای SP-NP

۲-۱-۲-۴- تحلیل خطر زلزله و تهیه طیف طراحی

برای هر گونه طرح بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای لازم است عوامل مربوط به حرکت قوی زمین را در سطح زمین برای سطوح خطر مختلف برآورد کرد. روشهای این برآورد به صور شماتیکی بدین صورت است:



سطوح مختلف خطر زلزله که ناشی از نوع حرکت زمین است به صورت های زیر تعریف می شود:

- **سطح خطر - ۱ مرادف با زلزله سطح طراحی**

(Design Base Earthquake or Design Earthquake) DBE or DE

این سطح خطر بر مبنای سطحی از لرزش های زمین است که احتمال وقوع زلزله ای بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۱۰ درصد می باشد، بازگشت زلزله سطح طراحی ۴۷۵ سال می باشد. این سطح خطر مرادف با سطح زلزله استاندارد ۲۸۰۰ است.

- **سطح خطر - ۲ مرادف با بیشینه زلزله محتمل**

(Maximum Probable Earthquake) MPE

این سطح خطر بر اساس ۲ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال تعریف می شود که دوره بازگشت متوسط آن ۲۴۷۵ سال است.

- **سطح خطر انتخابی**

این سطح خطر برای موارد خاص و با ملاحظات ویژه مناسب می باشد و در واقع می تواند معرف زلزله ای با هر احتمال رویداد در ۵۰ سال باشد.

- **زلزله سطح بهره برداری (Serviceability Earthquake) SE**

زلزله سطح بهره برداری، زلزله خفیف یا متوسطی است متناظر با سطحی از لرزشهای زمین که بر مبنای تئوری احتمالات، احتمال وقوع زلزله ای بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۵۰ درصد است. دوره بازگشت متوسط زلزله سطح بهره برداری حدود ۷۲ سال می باشد که تقریباً آن را ۷۵ سال معرفی می کنند. این سطح زلزله عموماً در حدود نصف زلزله سطح طراحی است. زلزله سطح بهره برداری که در مدت ۵۰ سال احتمال وقوع آن بیش از ۹۹/۵ درصد می باشد. به عبارت دیگر این زلزله در طول عمر ساختمان اتفاق می افتد.

- **زلزله سطح بیشینه (Maximum Earthquake) ME**

زلزله سطح حداکثر به عنوان حداکثر سطح زلزله ای که از یک منطقه با شرایط زمین شناسی معین انتظار می رود تعریف می شود. به صورت احتمالاتی زلزله سطح حداکثر بیانگر سطحی از لرزش های زمین است که احتمال وقوع زلزله بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۵۰ درصد می باشد.

- **طیف طرح**

پس از آنکه زلزله مورد نظر به منظور تعیین هدف عملکردی انتخاب شد، باید مشخصات آن به نحو مناسبی بیان گردد. نحوه بیان و استفاده از مشخصات زلزله مورد نظر به روشی که برای طراحی بر اساس عملکرد به کار گرفته می شود بستگی دارد. معمولاً بیان مشخصات زلزله به دو صورت انجام می گیرد، یکی با

استفاده از طیف پاسخ زلزله مورد نظر و دیگری با استفاده از شتاب نگاشت و به شکل تاریخیچه زمانی. برای بیان مشخصات زلزله مورد نظر با استفاده از طیف پاسخ، می توان از طیف پاسخ استاندارد ذکر شده در آئین نامه ها استفاده کرد و یا اینکه طیف ویژه ساختگاه را تهیه و استفاده کرد.

• طیف طرح استاندارد

طیف طرح استاندارد به دو عامل مهم بستگی دارد. یکی شتاب مبنای (A) و دیگری ضریب بازتاب ساختمان (B). شتاب مبنای طرح را با استفاده از نقشه های پهنه بندی لرزه ای که در آنها میزان بیشینه شتاب زمین برای دوره های مختلف بازگشت آورده شده است به دست می آورند. میزان شتاب مرادف با سطح خطر - ۱ در نقشه پهنه بندی شتاب با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال) تعیین می گردد. طیف طرح مرادف با سطح خطر-۱ با میرایی ۵٪ در استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای ۴ نوع زمین به عنوان طیف استاندارد ارائه شده است.

• طیف طرح ویژه ساختگاه

طیف طرح ویژه ساختگاه که بر مبنای تحلیل خطر ویژه مورد استفاده قرار می گیرد به چند عامل بستگی دارد. این چند عامل عبارتند از: شرایط ساختگاه - بزرگای زلزله - فاصله گسل تا ساختگاه - نوع خاک و رابطه کاهندگی مربوط و روش برآورد سطح خطر. برای تحلیل خطر ویژه ساختگاه باید گسل های فعال در اطراف ساختگاه و تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری تعیین گردد. پارامترهای لرزه خیزی را باید بر اساس بانکهای اطلاعاتی زلزله و پیشینه لرزه خیزی منطقه تعیین کرد. با توجه به شرایط ساختگاه از نظر ژئوتکنیکی، لرزه زمین ساختی و زلزله شناختی، باید رابطه کاهندگی مناسبی را به دست آورد.

• سطوح مقاوم سازی

با توجه به سطوح عملکرد مورد انتظار، روش و سطح مقاوم سازی متفاوت خواهد شد. سطوح مقاوم سازی به ۴ دسته زیر تفکیک می شوند.

۱- بهسازی و مقاوم سازی محدود:

در این سطح از بهسازی و مقاوم سازی پایین ترین سطح عملکرد در نظر گرفته می شود، به نحوی که ساختمان مقاوم شده تحت اثر زلزله ای که خفیف تر از زلزله سطح خطر - ۱ باشد ایمنی جانی ساکنین تامین گردد.

۲- بهسازی و مقاوم سازی مبنا:

در این حالت انتظار می رود که ساختمان مقاوم سازی شده تحت اثر زلزله سطح خطر - ۱ ایمنی جانی ساکنین را تامین کند.

۳- بهسازی و مقاوم سازی مطلوب:

در این سطح بهسازی و مقاوم سازی ، انتظار می رود که :
اولاً - هدف بهسازی مبنا تامین گردد.
ثانیاً - ساختمان مقاوم شده تحت اثر زلزله سطح خطر - ۲ فرو نریزد.

۴- بهسازی و مقاوم سازی ویژه :

در این سطح باید ساختمان مقاوم شده از عملکرد بهتری نسبت به سطح بهسازی مطلوب داشته باشد. به عبارت دیگر ساختمان مقاوم شده باید عملکرد بالاتری نسبت به سطح مطلوب در مقابل اثرات زلزله سطح خطر - ۲ داشته باشد.

۲-۱-۳- مبانی و روش های تحلیلی

روش های تحلیلی که برای تعیین نیروهای داخلی و تغییر شکل های اعضای سازه در اثر نیروهای ناشی از زلزله سطح خطر به کار می روند عبارتند از:

۱. روش استاتیکی خطی
۲. روش دینامیکی خطی
۳. روش استاتیکی غیرخطی
۴. روش دینامیکی غیر خطی

همانطور که ملاحظه می شود این چهار روش در واقع در دو گروه روش های خطی و غیرخطی قرار می گیرند که کاربرد هر یک از این گروه ها دارای محدوده معینی است . که در این قسمت های بعد به صورت مختصر به آنها اشاره می شود.

۲-۲- گام های ویژه

منظور از گامهای ویژه ، اقداماتی است که باید برای سازه های مختلف از نظر نوع یا مصالح آنها به کار برده شود. در این قسمت گام های ویژه مربوط به ساختمان های دارای اسکلت بتنی تشریح می شود.

۲-۲-۱- مشخصات مصالح و اجزای موجود :

لازم است ظرفیت اعضای سازه ای و اتصالات آنها برای استفاده در تحلیل مشخص شود. برای اینکار باید اطلاعات زیر از ساختمان موجود یا از طریق اسناد و مدارک فنی (در صورت موجود بودن) به دست آید، و یا با انجام آزمایش های ضروری تعیین گردد. اطلاعات در دو دسته زیر طبقه بندی می شود:

۱- مشخصات مصالح به کار رفته

۲- مشخصات اعضای سازه ای

۱- مشخصات مصالح به کار رفته :

برای مصالح به کار رفته و هر نوع میلگرد مصرفی یا قطعه فولادی که در اعضای سازه ای اتصالات تعبیه شده، باید مقدار تنش تسلیم و مقاومت نهایی تعیین شود. چنانچه لازم باشد از طریق آزمایش این کمیت ها تعیین گردند، در آن صورت با به دست آوردن منحنی های تنش - کرنش، می توان اطلاعات دیگری از رفتار مصالح به دست آورد. اطلاعات به دست آمده از اسناد و مدارک فنی از قبیل دفترچه محاسبات یا نقشه های اجرایی را مشخصات کرانه پایین تلقی کرده و برای اینکه آنها به سطح مورد انتظار تبدیل گردند، باید به نحو صحیحی افزایش داده شوند. برای این کار از ضریب تبدیل استفاده می شود که در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ - ضرایب تبدیل مشخصات مصالح از کرانه پایین به سطح مورد انتظار

مشخصات مصالح	ضریب تبدیل
مقاومت فشاری بتن	۱/۵
تنش کششی و تسلیم میلگرد	۱/۲۵
تنش تسلیم سایر مصالح فولادی (مثل میل مهارها و غیره)	۱/۵۰

۲- مشخصات اعضای سازه ای :

برای کلیه اعضای سازه ای باید اطلاعات زیر بررسی و مشخص شود. لازم به یادآوری است که تطبیق این اطلاعات با شرایط واقعی که در عمل اجرا شده است در تعیین مشخصات اصلی ساختمان بسیار موثر است.

الف - ابعاد مقطع اعضاء و پیکر بندی کلی ساختمان

- ب - مشخصات اتصالات (میل مهارها ، مهاربندها ، سخت کننده ها و ...)
 ج - برآورد آسیب و شدت آن در شرایط موجود
 د - بررسی شرایط محیطی آسیب رسان

۲-۲-۲- روش های آزمایش برای تعیین مشخصات مکانیکی مصالح :

برای مدل سازی رفتار غیر خطی اعضای سازه ای و سنجش معیار پذیرش پاسخ ها ، باید کرانه پایین مشخصات مصالح و هم چنین مشخصات مورد انتظار مصالح معلوم باشند . کرانه پایین برای عناصر و پارامترهایی که پاسخ آن توسط نیرو کنترل می شوند و مشخصات مورد انتظار برای پاسخ هایی که توسط تغییر مکان کنترل می شوند به کار می روند . برای تعیین مشخصات مکانیکی مصالح به دو روش می توان آزمایش ها را انجام داد که این روش ها به شرایط ساختمان ، هدف بهسازی و سطح عملکرد بستگی دارد .

- ۱- روش آزمایش های مخرب
 ۲- روش آزمایش های غیر مخرب

◀ آزمایش های مخرب :

برای نمونه برداری باید مقاطعی انتخاب شود که به لحاظ شرایط بارها ی ثقلی و تخمین شرایط بارهای ناشی از زلزله ، تحت کمترین تنش ها قرار می گیرند . این نمونه ها بعداً در آزمایشگاه تحت آزمایش های استاندارد تعیین مشخصات می شوند . تعداد نمونه ها باید به نحوی باشد که بتوان با میانگین گیری نتایج آنها کرانه پایین را به عنوان ، مشخصات مصالح تعیین کرد .

{ کرانه پایین مشخصات مصالح } = (میانگین مشخصات نمونه ها) - (انحراف معیار)

آزمایش های مخرب که منطبق بر استانداردهای شناخته شده هستند عبارتند از :

◀ مغزه گیری (Core Test) :

آزمایش مغزه گیری باید بعد از تعیین و تخمین محل استقرار میلگردها به نحوی انجام شود که در عملیات مغزه گیری آسیبی به میلگردها وارد نشود . برای تخمین محل میلگردها از دستگاه میلگردیاب (Scanning) استفاده می شود . پس از مغزه گیری باید محل مغزه توسط بتن یا ملاتی که خواص مکانیکی آنها حداقل در حد مشخصات بتن موجود باشد ، پر و ترمیم گردد . در آزمایش کردن که آسیب جدی به سازه وارد نمی کند ، ترمیم سطحی آن کافی است . این آزمایش ها برای

تکمیل کردن اطلاعات انجام می شود. مقاومت به دست آمده از مغزه گیری باید کالیبره شده و به روش قابل قبولی به مقاومت فشاری بتن تبدیل گردد. از جمله استانداردهای مغزه گیری می توان به استاندارد ASTM C42M-99 مراجعه نمود. روش آزمایش نیز بر طبق استانداردهای زیر قابل انجام است:

ASTM C391C39M-99 ❖
ASTMC41/C42M-99 ❖
ASTM C496-96 ❖

◀ آزمایش های غیر مخرب :

از جمله آزمایش های غیر مخرب که می تواند در تعیین مشخصات مکانیکی بتن به کار رود می توان به آزمایش های فرا صوت (اولترا سونیک) بر طبق استاندارد ASTM C597 و روش مقاومت نفوذ ASTM C803 و روش سختی سطحی یا برگشت ASTM C805 اشاره نمود. آزمایش های غیر مخرب نباید به طور کامل جایگزین آزمایش های مخرب شوند ولی می توانند به صورت مستدل جایگزین برخی از آزمایش های مخرب شوند که عملاً انجام آنها غیر ممکن است. لازم به ذکر است که نتایج آزمایش های غیر مخرب چندان با مقاومت واقعی بتن همخوانی ندارد و از این رو باید به نحو مناسبی آنها را کالیبره کرد. برای تعیین مشخصات مکانیکی میلگردهای مصرفی باید به دفترچه محاسبات و نقشه های اجرایی مراجعه کرد که در صورت در اختیار بودن آنها می توان به عنوان کرانه پایین تلقی کرد و با استفاده از جدول ۱ مشخصات مصالح مورد انتظار را به دست آورد .

روش آزمایش برای تعیین نقش جاری شدن کششی و مقاومت نهایی میلگردها را می توان در استانداردهای معتبر و از آن جمله ASTM A370-97a استفاده کرد . چنانچه از میلگردهای موجود در سازه ساختمان برای آزمایش استفاده شود لازم است برای مرمت از میلگردهای جایگزین وصله هایی که موجب پیوستگی میلگردهای مقطع موردنظر شود ، استفاده کرد تا خللی در مقاومت مقطع سازه ایجاد نگردد. اگر در ساختمان از میلگردهای بدون آج استفاده شده باشد ، باید مقدار آنها را در برآورد مقاومت نصف در نظر گرفت . برای تعیین تعداد نمونه های مورد نیاز آزمایش ها می توان به جدول ۳ مراجعه نمود .

تعیین حداقل نمونه های موردنیاز ، بستگی به نوع برنامه ای که در آن برنامه قرار است مشخصات مکانیکی مصالح تعیین گردد دارد . مثلاً اگر قرار است در یک برنامه متعارف و معمول ، این مشخصات تعیین شود ، تعداد نمونه ها با نمونه هایی که در یک برنامه جامع و کامل لازم است متفاوت خواهد بود . پس اگر برنامه گردآوری اطلاعات در حد متعارف باشد تعداد کمتر است ولی برای یک برنامه جامع تعداد بیشتری خواهد بود که جدول ۳ آن را مشخص کرده است .

حداقل تعداد آزمایش درحالت کلی به عواملی مانند موارد زیر بستگی دارد :

۱. سن ساختمان
۲. ابعاد ساختمان
۳. امکان دسترسی به اعضای سازه
۴. وجود فرسایش و گسترده‌گی آن در اعضا
۵. دقت مورد نیاز
۶. هزینه انجام آزمایش ها
۷. میزان اطلاعات معتبر

جدول ۳- تعداد نمونه‌های لازم برای تعیین مشخصات مکانیکی مصالح

شرایط مورد بررسی	نتایج آزمایش	حداقل تعداد نمونه
مقاومت طراحی	مشخص است	آ نمونه برای هر طبقه، هر ۲۰۰ متر مکعب بتن یا هر ۷۰۰ متر مربع سطح سازه هر کدام تعداد بیشتری ایجاب کند. در صورت تطبیق نتایج سه آزمایش اول با نتایج قبلی تعداد به $\frac{1}{3}$ تقلیل یابد، ولی برای کل ساختمان حداقل ۶ نمونه لازم است.
	مشخص است	آ نمونه برای هر طبقه، هر ۲۰۰ متر مکعب بتن یا هر ۷۰۰ متر مربع سطح سازه هر کدام تعداد بیشتری ایجاب کند. در صورت تطبیق نتایج سه آزمایش اول با قبلی تطبیق داشت تعداد به $\frac{1}{3}$ تقلیل یابد ولی در کل برای ساختمان حداقل ۶ نمونه
	مشخص نیست	۶ نمونه برای هر طبقه، و در هر ۲۰۰ متر مکعب بتن یا هر ۷۰۰ متر مربع سطح سازه هر کدام تعداد بیشتری ایجاب کند. در صورت تطبیق نتایج سه آزمایش اول با قبلی تعداد به $\frac{1}{3}$ تقلیل یابد. در هر حال برای رده‌های مختلف بتن هر رده ۶ نمونه لازم است.
در صورت استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب برای تیرها- دال‌ها	موجود نیست	به ازای هر کاهش در تعداد مغزه‌گیری، ۵ آزمایش غیر مخرب ضروری است. در صورت پراکندگی نتایج با نظر مهندس مسئول تعداد غیر مخرب یا مخرب افزایش یابد
مشخصات میلگردها در دفترچه محاسبات و نقشه‌ها س اجرایی موجود است	موجود نیست	حداقل ۲ نمونه به صورت تصادفی از هر نوع عضو سازه ای
نبود مشخصات میلگردها در دفترچه محاسبات و نقشه‌های اجرایی، ولی میلگردها در تمام ساختمان یکسان است	موجود نیست	حداقل ۲ نمونه به صورت تصادفی برای هر عضو سازه‌ای به ازای هر سه طبقه از ساختمان
اگر مشخصات میلگردها در تمام ساختمان یکسان نباشد	موجود نیست	حداقل ۶ نمونه به صورت تصادفی برای هر عضو سازه‌ای به ازای هر سه طبقه از ساختمان

۲-۳- ارزیابی وضعیت موجود :

وضعیت موجود ساختمانی که قرار است بهسازی و مقاوم سازی شود باید قبل از هرگونه تحلیل و تعیین شرایط لازم برای تامین سطح عملکرد مورد انتظار به خوبی بررسی و شناخته شود. بدین منظور لازم است کلیه اعضا و قطعاتی که در

مقاومت در برابر بارهای جانبی مشارکت دارند ارزیابی کردند. این ارزیابی شامل ۴ قسمت است که عبارتند از:

۱. ارزیابی وضعیت قطعات و اتصالات برای مواردی مانند نقاطی که دارای ضعف‌هایی از قبیل وارفنگی، خزش، ترک خوردگی، افتادگی‌ها، خوردگی‌ها، کاستی‌های اجرایی می‌باشند.

۲. بررسی و ارزیابی بیکربندی، شکل هندسی قطعات، اتصالات، وجود یا عدم وجود پیوستگی در مسیرهای انتقال بارهای ثقلی و جانبی، تراز بودن و نحو، استقرار اعضای سازه‌ای.

۳. وجود هر گونه شرایط دیگری که بر عملکرد ساختمان موجود مانند دیوارهای مشترک با ساختمان‌های مجاور، تغییرات انجام شده در اعضای غیر سازه‌ای، تغییر کاربری و وجود برخی موانع در تحقق عملیات مقاوم‌سازی.

۴. فراهم آوردن شرایط لازم برای استفاده از ضریب آگاهی، که هر چه ارزیابی وضعیت موجود کاملتر انجام شود، بیشتر خواهد بود و به‌طور کلی متناسب با هدف انتخاب شده برای بهسازی و مقاوم‌سازی تعیین می‌گردد.

اگر هدف بهسازی دستیابی به سطح مطلوب یا سطح پایین باشد و اطلاعات در حداقل ممکن یا در حد متعارف باشد، ضریب آگاهی به ترتیب برابر ۰/۷۵ یا ۱/۰ خواهد بود. همچنین اگر هدف بهسازی دستیابی به سطح ویژه عملکردی باشد، و اطلاعات ساختمان در حد متعارف باشد، ضریب آگاهی ۰/۷۵ و اگر در حد جامع باشد برابر با ۱/۰ خواهد بود.

در صورتی که برای عضوهای نتوان مشخصات مصالح را معلوم کرد، یا ضریب تغییرات مشخصات مکانیکی بیش از ۲۵٪ باشد یا در خلال ارزیابی خسارت و زوال یافتگی به نحوی باشد که انجام آزمایش‌های اضافی ضروری تشخیص داده شود، باید ضریب آگاهی را ۰/۷۵ اختیار کرد.

۳- مدل سازی :

برای مدل سازی ساختمان‌های بتنی لازم است ارزیابی نیاز و ظرفیت لرزه‌ای اعضای بتن مسلح در مقاطعی از آنها انجام گیرد که ویژگی‌های زیر را دارا باشند:

۱. رفتار عضو (پاسخ آن) در مقابل بارهای ثقلی و جانبی بیشتر باشد.

۲. شکل مقطع تغییر می‌کند (به نحوی که سختی تغییر می‌کند)

۳. تعداد میلگردها تغییر می کند به نحوی که مقاومت کاهش می یابد.
۴. تغییرات ناگهانی در مقدار میلگردها که موجب تمرکز تنش یا گسیختگی زودرس شود.

در مدل سازی باید ویژگی های سازه ای اعضا مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. از مهمترین آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد :

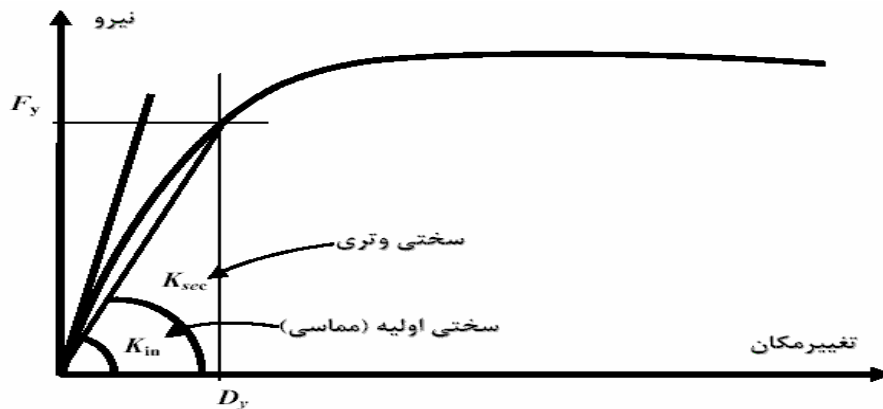
۱. سختی
۲. مقاومت
۳. برش و پیچش
۴. طول گیرایی و وصله های میلگردها
۵. اتصال ها

۳-۱-۱- سختی :

سختی اعضای سازه ای را باید به یکی از دو روش خطی و غیر خطی تعیین کرد. سختی را باید با توجه به اثرات سختی محوری ، برشی و خمشی اعضا در نظر گرفت. میزان تغییر شکل ناشی از بارهای ثقلی و جانبی در سختی اعضا اثر مستقیم دارد که لازم است در برآورد سختی مورد توجه قرار گیرد.

۳-۱-۱-۱- روش خطی :

در روش خطی ، سختی موثر عضو در منحنی نیرو - تغییر مکان عبارت است از: خطی که مبدا را به نقطه تسلیم وصل می کند. اگر نتوان مقدار سختی را تعیین کرد، می توان از مقادیر داده شده در جدول ۴ استفاده نمود.



شکل ۱- منحنی رفتاری و سختی اولیه و سختی وترتی

جدول ۴- مقادیر تقریبی سختی مؤثر در روش خطی

عضو سازه ای	سختی محوری	سختی برشی	سختی خمشی
تیر بتن مسلح	-	$\frac{1}{3} E_c A_w$	$\frac{1}{3} E_c I_g$
تیر پیش تنیده	-	$\frac{1}{3} E_c A_w$	$E_c I_g$
ستون با بار محوری فشاری ناشی از بارثقلی طراحی بزرگتر از $\frac{1}{3} A_g f_c$	$E_c A_g$	$\frac{1}{3} E_c A_w$	$\frac{1}{3} E_c I_g$
ستون با بار محوری کششی یا بار محوری فشاری کمتر از $\frac{1}{3} A_g f_c$	$E_c A_g$	$\frac{1}{3} E_c A_w$	$\frac{1}{3} E_c I_g$
دیوار بدون ترک	$E_c A_g$	$\frac{1}{3} E_c A_w$	$\frac{1}{3} E_c I_g$
دیوار با ترک	$E_c A_g$	$\frac{1}{3} E_c A_w$	$\frac{1}{3} E_c I_g$
دال تخت بتن مسلح	-	$\frac{1}{3} E_c A_g$	$\frac{1}{3} E_c I_g$
دال تخت پیش تنیده	-	$\frac{1}{3} E_c A_g$	$\frac{1}{3} E_c I_g$

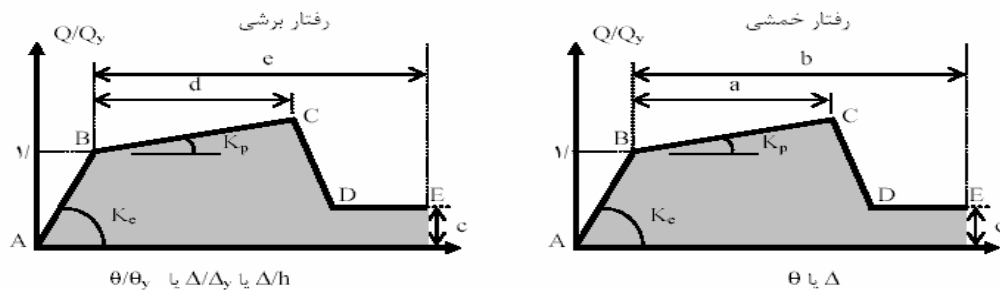
چنانچه بار محوری ستون ها بین دو مقدار ارائه شده باشد باید از درون یابی خطی استفاده کرد.

۳-۱-۲- روش غیر خطی :

در روش غیر خطی منحنی نیرو - تغییر مکان به صورت غیر خطی و بر پایه نتایج آزمایش تعیین می شود. برای سرعت بخشیدن به تحلیل منحنی نیرو - تغییر مکان را ایده آل سازی می کنند. در هر صورت می توان با توجه به روش تحلیل از منحنی های ایده آل شده پیشنهادی استفاده نمود.

۳-۱-۲-۱- سختی برای روش تحلیل استاتیکی غیر خطی :

سختی مورد نیاز را می توان بر طبق شکل ۲ که رابطه کلی نیرو - تغییر مکان را نشان می دهد استفاده کرد. یا اینکه منحنی های دیگری که رفتار عضو را تحت افزایش یکنوای تغییر شکل به دست می دهد، به کاربرد.



الف- تغییر شکل
 $K_p = K_c \cdot 0.1$
 ب- نسبت تغییر شکل
 $K_e =$ طبق روش خطی

شکل ۲- رابطه بار - تغییر شکل کلی برای اعضای بتن مسلح

مقادیر عددی a, b, c, d متناسب با شرایط عملکردی و نوع رفتار عضو تعیین می گردد که در دستور العمل بهسازی لرزه ای داده شده است .

۳-۱-۲-۲- محدود کاربردهای خطی :

برای کاربرد روش های خطی لازم است شرایطی متناظر با رفتار خطی برای کل ساختمان حاکم باشد . از این رو دو حالت روش استاتیکی خطی و روش دینامیکی خطی را به طور جداگانه در نظر می گیریم . اگر شرایط هفت گانه زیر برقرار باشد می توان از روش استاتیکی خطی استفاده کرد .

۱. زمان تناوب اصلی ساختمان کوچکتر از T_0 باشد ($T_0 = 2/5$ زمان تناوب مشترک بین دو ناحیه شتاب ثابت و سرعت ثابت در طیف بازتاب طرح و مقدار آن بر اساس بند ۲-۴-۳ استاندارد ۲۸۰۰ به دست می آید .)
۲. تغییر در ابعاد پلان در طبقات متوالی به استثناء خرپشته کمتر از ۴۰ درصد باشد.
۳. حداکثر تغییر مکان جانبی در هر طبقه و درهرراستا کمتر از $1/5$ برابر تغییر مکان متوسط آن طبقه باشد.
۴. اختلاف بین تغییر مکان متوسط جانبی در هر طبقه ، به استثنای خرپشته ، کمتر از ۵۰ درصد با طبقه بالا یا پایین باشد.
۵. سازه دارای سیستم باربر جانبی متعامد باشد.
۶. نسبت نیرو به ظرفیت (DCR) در تمام اعضای باربر جانبی کوچکتر از ۲ باشد .

۷. نسبت نیرو به ظرفیت در تعدادی از اعضای اصلی برابر جانبی بیش از ۲ باشد ، اما هر سه شرط اضافی زیر برقرار باشد :

(۱) انقطاع در سیستم برابر جانبی چه در ارتفاع ، چه در پلان وجود نداشته باشد.

(۲) متوسط نسبت نیروی برشی به ظرفیت برشی اعضا در هر طبقه بیش از ۲۵ درصد با متوسط نیروی برشی به ظرفیت برشی یک طبقه بالاتر یا پایین تر اختلاف نداشته باشد.

(۳) نسبت نیروی برشی به ظرفیت برشی ناشی از پیچش سازه ، و یک عضو از طبقه بیش از ۵۰ درصد با عضو دیگر در نقطه مقابل آن نسبت به مرکز پیچش اختلاف نداشته باشد .

چنانچه یکی از دو شرط بندهای ۶ یا ۷ فوق محقق شود ، می توان از روش دینامیکی خطی استفاده کرد .

لازم به ذکر است که برای تعیین DCR ، ابتدا باید نیروی اعمالی در اعضا را که برابر با حاصل جمع نیروهای ناشی از بارهای ثقیلی و زلزله است ، به دست آورد ، سپس ظرفیت اعضا را بر اساس مقاومت نهایی اجزای آنها محاسبه می شود . نسبت این دو مقدار برابر DCR خواهد بود .

$$DCR = \frac{\text{نیرو در عضو}}{\text{ظرفیت عضو}}$$

هم چنین برای بدست آوردن متوسط نسبت نیروی برشی می توان از نسبت وزنی مطابق رابطه زیر استفاده کرد:

$$DCR = \frac{\sum_{i=1}^n DCR_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

که در این رابطه V_i نیروی برشی در عضو i از طبقه مورد نظر و DCR_i نسبت نیروی برشی به ظرفیت برشی عضو i بوده و n تعداد کل طبقات را مشخص می کند .

۳-۱-۲-۳- محدود کاربرد روش های غیر خطی :

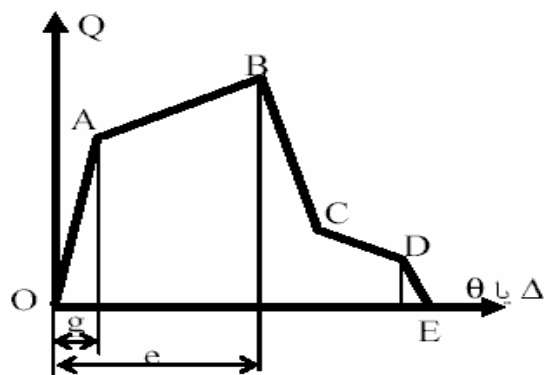
چنانچه لازم باشد که از روش های غیر خطی استفاده شود، باید نیروهای داخلی اعضا را بر مبنای رفتار غیر خطی آنها به دست آورد. برای این کار باید توجه داشت که اگر برش حاصل از تحلیل دینامیکی خطی در طبقه ای (با در نظر گرفتن ۹۰ درصد جرم موثر) ۳۰ درصد بیشتر از برش حاصل از مورد اول باشد، باید از روش استاتیکی غیر خطی به همراه روش دینامیکی خطی استفاده کرد. در این حالت لازم است معیار پذیرش برای هر دو روش کنترل شود. با این تفاوت که برای پذیرش اعضایی که به روش تغییر مکان کنترل می شوند، در تحلیل دینامیکی خطی می توان ۳۰ درصد تخفیف قایل شد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی باید توسط یک گروه متخصص و با تجربه در این زمینه کنترل شود. برای آشنایی با معیارهای پذیرش لازم است به دستورالعمل بهسازی لرزه ای مراجعه شود.

۳-۱-۳- کنترل رفتار اعضای سازه ای :

رفتار اعضای سازه ای که متناسب با نوع تلاش آنها و منحنی رفتاری (نیرو - تغییر شکل) بیان می شود به دو صورت مورد ارزیابی قرار می گیرد که عبارتند از :

۱. کنترل رفتار با تغییر شکل
۲. کنترل رفتار با نیرو

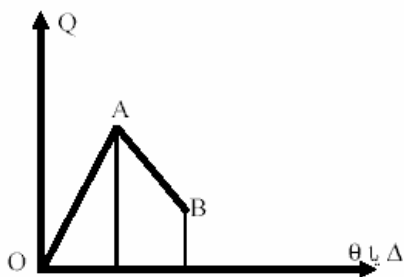
چنانچه منحنی رفتاری عضو سازه ای مانند شکل ۳ باشد رفتار آن را شکل پذیر می گویند. در این شکل ناحیه ارتجاعی از OA، و از AB ناحیه غیر ارتجاعی با سخت کرنشی است. از B تا C رفتار عضو دارای کاهش شدید مقاومت است و از C تا D ضمن کاهش در مقاومت رفتاری نرم و شکل پذیر در قلمرو غیر ارتجاعی دارد و در نهایت از D تا E مرحله فروریزی خواهد بود.



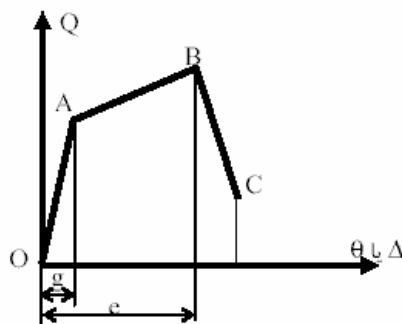
شکل ۳- منحنی رفتار عضوهای شکل پذیر

برای عضوهای اصلی چنانچه نسبت $e/g >$ باشد می گویند رفتار عضو توسط تغییر شکل قابل کنترل است یا اصطلاحاً کنترل شونده توسط تغییر شکل می گویند. ولی برای اعضای غیر اصلی هر نسبتی که برای e/g در نظر گرفته شود، رفتارشان توسط تغییر شکل قابل کنترل است.

در شکل ۴ منحنی رفتاری عضوهای شکل پذیر نشان داده شده است. این منحنی چنانکه مشخص است دارای سه قسمت است. قسمت OA که رفتار ارتجاعی خطی و قسمت AB رفتار غیر ارتجاعی یا خمیری با سخت کرنشی است و در نهایت قسمت BC ناحیه رفتار زوال مقاومت یا تغییر شکل بسیار اندک است.



شکل ۵- منحنی رفتار عضوهای ترد و شکننده



شکل ۴- منحنی رفتار عضوهای نیمه شکل پذیر

برای اینکه رفتار اعضای اصلی یا غیر اصلی را بتوان توسط تغییر شکل کنترل کرد لازم است نسبت $e/g \geq$ باشد. در غیر این صورت رفتار توسط نیرو کنترل می شود. اما اگر منحنی رفتاری مطابق شکل ۵ دارای دو قسمت OA و AB

باشد بدان مفهوم است که این رفتار ترد و شکننده خواهد بود . در این حالت رفتار عضوهای اصلی و غیر اصلی را می توان با نیرو کنترل نمود که اصطلاحاً کنترل شونده توسط نیرو می گویند .

۲-۲-۳- مقاومت :

مقاومت اعضا بر مبنای اینکه رفتار آنها تحت چه کمیتی قابل کنترل است تعیین می شود . در هر صورت مقاومت و تغییر شکل اعضای بتن مسلح باید بر مبنای مقادیر به دست آمده از بارگذاری زلزله شامل حداقل سه چرخه کامل رفت و برگشتی تا سطح تغییر مکان طراحی باشد .

۱-۲-۳- مقاومت اعضا در شرایطی که رفتار توسط تغییر شکل کنترل می شود :

در این حالت مقاومت اعضاء همان مقاومت مورد انتظار است که برابر مقاومت های آزمایشگاهی یا مقاومت های به دست آمده از روش های محاسباتی بر اساس اصول متداول مقاومت مصالح می باشد. ارزیابی مقاومت بر مبنای تنش تسلیم محتمل خواهد بود و همان روش های مندرج در آیین نامه بتن ایران (آبا) برای محاسبه مقاومت های نهایی طراحی استفاده می گردد . تنها تفاوت در این است که ضرایب جزئی ایمنی برای بتن و فولاد برابر یک فرض می شود . علاوه بر این برای مقاومت مشخصه فولاد به دلیل مقاومت افزون و سخت کرنشی به میزان ۲۵ درصد نسبت به مقاومت تسلیم ، اضافه مقاومت در نظر گرفته می شود.

۲-۲-۳- مقاومت اعضا در شرایطی که رفتار توسط نیرو کنترل می شود:

در این حالت برای تعیین ظرفیت مقاومت و تغییر شکل اعضا باید شرایط کرانه پایین را برای مقاومت در نظر گرفت زیرا رفتار یا به صورت نیمه شکل پذیر است و یا به صورت ترد و شکننده ، لذا لازم است به صورت محافظه کارانه ، از کرانه پایین مقاومت مصالح استفاده کرد که شرح آن در قسمت مصالح

گذشت در این وضعیت نیز ضرایب جزئی ایمنی بتن و فولاد برابر یک در نظر گرفته می شود.

۳-۳- طبقه بندی نیاز شکل پذیری برای اعضای سازه ای :

میزان نیاز شکل پذیری هر عضو سازه ای برای رفتار خطی و رفتار غیرخطی باید به نحو قابل قبولی محدود و طبقه بندی شود. این طبقه بندی بر اساس نوع رفتار شکل پذیر عضوهای سازه ای که عبارتند از: شکل پذیری کم، متوسط و زیاد مشخص می شود. بنابراین نیاز شکل پذیری می تواند در سه دسته کم، متوسط و زیاد طبقه بندی گردد. چنانچه از روش تحلیل (استاتیکی یا دینامیکی) استفاده شود، طبقه بندی نیاز شکل پذیری بر پایه بیشترین مقدار نسبت نیاز به ظرفیت (DCR) که قبلاً به آن اشاره شد صورت می گیرد. و اگر از روشهای غیر خطی (استاتیکی یا دینامیکی) استفاده شود، طبقه بندی نیاز شکل پذیری بر طبق جدول ۵ خواهد بود.

جدول ۵ - طبقه بندی نیاز شکل پذیری اعضای سازه ای

نیاز شکل پذیری	حداکثر مقدار (DCR) یا شکل پذیری تغییر مکانی
کم	کوچکتر از ۲
متوسط	بین ۲ تا ۴
زیاد	بزرگتر از ۴

۴- سیستم های سازه ای :

سیستم های سازه ای مورد بحث بهسازی و مقاوم سازی لرزه ای تفاوتی با سیستم های مورد استفاده در طراحی لرزه ای ندارد. این سیستم ها به ۴ دسته کلی تقسیم می شوند :

۴-۱- قابهای خمشی بتن مسلح :

الف - قابهای خمشی تیر - ستونی
ب - قابهای خمشی تیر - ستونی پیش تنیده

ج - قابهای خمشی دال - ستونی

۴-۲- قابهای بتنی پیش ساخته

- الف - قابهای بتنی پیش ساخته معادل قابهای خمشی درجا
- ب - قابهای بتنی پیش ساخته با گره های خشک
- ج - قابهای بتنی پیش ساخته ای که مستقیماً در برابر بار جانبی مقاوم نیستند.

۴-۳- قابهای بتنی با میانقاب

- الف - میانقاب های متصل به قاب
- ب - میانقاب های منفصل از قاب
- ج - میانقاب های مصالح بنایی
- د - میانقاب های بتنی

۴-۴- قاب های بتنی مهاربندی شده

- ۴-۵- دیوارهای برشی بتنی
- ۴-۶- دیوارهای برشی بتنی پیش ساخته
- ۴-۷- دیافراگم های بتنی در جا
- ۴-۸- دیافراگم های بتنی پیش ساخته
- ۴-۹- شالوده های بتنی

الف - شالوده های سطحی

ب - شالوده منفرد

ج - شالوده های نواری

د - شالوده های مرکب

ه - شالوده های گسترده مرکب

قابهای خمشی بتن مسلح تیر - ستونی

د - قاب های خمشی تیر - ستونی پیش تنیده

ه - قابهای خمشی دال - ستونی

ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانهای موجود (پس از ترمیم و بهسازی)

علی بخشی، استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف
محمدرضا تابش پور، دانشجوی دکتری دانشکده مهندس عمران، دانشگاه صنعتی
شریف
آرش بهار، عضو هیئت علمی دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

چکیده:

سازه های بسیاری در مناطق زلزله خیز جهان واقع شده اند که نیاز به تقویت و بهسازی جهت اصلاح رفتار سازه ای در برابر زلزله های شدید دارند. در میان این سازه ها، عملکرد پلهای اصلی درون شهری و شاهراه های ارتباطی بین شهری و ساختمان های مهم و حیاتی مانند مراکز امداد، بیمارستان ها، ساختمان های دولتی حساس (مراکز تصمیم گیری)، نیروگاه ها، پالایشگاه ها و غیره که نقش کلیدی در کنترل بحران ناشی از وقوع زلزله دارند. از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود. مطالعات آسیب پذیری ساختمانهای موجود که بر اساس دانش و تجربه دوره های مختلف طراحان بنا شده اند، نشانگر درصد بالایی پذیرش خطر و ضرورت اقدام جدی در راستای شناخت عمیق تر این معضل و در نتیجه ارائه راهکار عملی از دیدگاه اجرایی و اقتصادی می باشند. به عنوان مثال ارزیابی نتایج تحلیل آسیب پذیری یک ساختمان هشت طبقه که در قسمت اول این تحقیق ارائه شد نشان دهنده این واقعیت آشکار است که سطح آسیب پذیری در مناطقی که نزدیک به گسله های فعال لرزه زا هستند، بسیار بالاتر از حد خطر پذیری قابل قبول است. در این مقاله ابتدا با مرور تجربیات روشهای ترمیم و تقویت در کشورهای ژاپن و آمریکا روشهای کارآمد برای سازه های بتنی پیشنهاد شده است.

کلید واژه ها: آسیب پذیری لرزه ای، شاخص خرابی، طرح ترمیم و بهسازی، روشهای تقویت سازه های بتنی.

۱- مقدمه:

ضوابط آئین نامه های طراحی سازه ها در دهه های اخیر، روند رو به توسعه داشته است و نیز افزایش دانش فنی و تجربه عملکرد لرزه ای سازه های موجود تحت زلزله های مختلف، نقش اساسی در رشد استانداردهای طراحی ایفا نموده اند. وقوع دو زلزله مخرب سانفرانسیسکو (۱۹۷۱) آمریکا و میاگی (۱۹۷۸) ژاپن، نقطه عطفی در ساختار تصمیم گیری جامعه مهندسی دو کشور محسوب می شود. به گونه ای که از یک سو قوانین جامعی برای اعمال ضوابط طراحی لرزه ای به

اجرا گذاشته شد و از سوي ديگر ضرورت برنامه ريزي در بودجه هاي عمراني سالانه جهت بهسازي و تقويت سازه هاي حياتي و كليدي همانند پلهاي اصلي، بیمارستانها . مراکز پلیس و امداد و غيره ايجاد گرديد. البته يك روند مشابه در کشور چین، پس از وقوع زلزله مرگبار تانگشان (۱۹۷۶) پایه ريزي شده است که حاصل آن ، مقاوم سازي پل هاي مناطق با خطر پذيري بالا بوده است [۱]. قبل از آغاز يك پروژه بهسازي لرزه اي، دو تصميم بنيادين بايد نهايي گردد. اول اينکه بر اساس نتايج ارزيابي لرزه اي دقيق، احتمال خطر پذيري و خرابي يك سازه مهم به حدي باشد که راهکار تقويت، امري ضروري به حساب آيد. بلافاصله پس از تصميم اول به نفع بهسازي و تقويت، تصميم دوم اين خواهد بود که چه حدي را بايد ملاک طراحي در تقويت اعضا ضعيف منظور نمود. البته در تعيين اين حد نياید از انتظار جامعه که خرابي يك سازه مهم تقويت شده را غير قابل قبول مي پندارد چشم پوشي کرده هر چند که ممکن است آن سازه با تحليل و ارزيابي سود - هزينه ، حد افزايش مقاومت بر مبناي خطر پذيري متوسط يا فقط حفظ جان انسان ها ترميم شده باشد .

در خصوص سازه هاي حياتي توجیه منطقي اين است که حد ماندگاري و سرويس دهی کامل پس از وقوع يك زلزله شديد ، معيار طراحي قرار گیرد [۲]. در مورد پارامترهاي مهم در تحليل خرابي سازه ها مطالعات زيادي صورت گرفته است [۳]. در اين تحقيق ، تکنیکهاي کاربردي و روشهاي اصلاحي موثر در ترميم سازه هاي بتني مورد توجه قرار گرفته است و بر همين اساس يك ساختمان هشت طبقه بتني مطابق با مشخصات مرجع [۴] مورد بررسی واقع شده است .

۲- روشهاي متداول تقويت در سازه هاي بتني:

در اغلب سازه هاي بتني، ستونها به دليل نا کار آمدی در شکل پذيري خمشی و ضعف مقاومت برشي يا خمشی در مقاطع بحراني که عمدتاً ناشي از کمبود فولاد عرضي و يا همپوشاني فولاد طولی می باشد ، آسیب پذیرترین اعضا بوده اند . به همني دليل تکنیک هاي ترميم و تقويت ستونها و همچنين آزمایش نمونه هاي واقعي و مدلهاي مقياس شده از آنها ، توجه محققين را به خود معطوف داشته است [۶-۷ و ۲].

تکنیکهايي که از نظر کاربردي و اجرايي مناسب ترين تشخيص داده شده اند شامل پوشش فولادي، ايجاد يکپارچگی با کابلهاي پيش تنيدگی، پوشش مواد مرکب اعم از الياف شیشه اي و الياف کربن با چسب مخصوص و بهره گيري از تکنیکهاي لرزه اي همانند LRB¹ و FPS² می باشند [۵]. در اين تحقيق مثال عددي براي سه روش يعني عايق لرزه اي ، پوشش فولادي و پوشش الياف کربن ارائه مي شود و نتايج مقايسه مي گردد.

۲-۱- تکنیک عايق لرزه اي در مرمت سازه ها :

¹ - Lead Rubber Bearing

²- Friction Pendulum System

بکارگیری عایق زلزله در مناطقی که خطر لرزه ای بالایی دارند، در چند سال اخیر روند رو به رشد فزاینده ای را داشته است. عایق زلزله بعنوان یک روش مؤثر در بهسازی عملکرد سازه های حساس، دو مزیت کلیدی را به همراه دارد. اول اینکه نیازی به از کار انداختن کاربری سازه مانند تخلیه ساختمان، مسدود کردن پل و غیره نخواهد بود. مزیت دوم مربوط به سرعت بالای عملیات اجرایی این تکنیک نوین می باشد. شایان ذکر است که یک تفاوت عمده بین عملکرد این روش و دیگر روشهای قید شده مرمت وجود دارد و آن مربوط به این واقعیت است که با جداسازی لرزه ای یک سازه در پایه (محل اتصالات ستونهای پایین ترین طبقه و پی)، تقریباً کل سازه به یک میزان از افزایش ضریب ایمنی بهره مند می شود، در حالی که در سایر روشها، اصلاح ضعفهای موضعی هدف اصلی می باشد تا بتوان عملکرد مناسب تری را در کل سازه مشاهده نمود [۵،۸].

با توجه به مشخصات هندسی و خواص مکانیکی اجزاء ساختمان و شرایط لرزه خیزی تهران، پارامترهای طراحی زیر پیشنهاد می شوند:

- چهار عدد ایزولاتور جداساز از نوع LRB استوانه ای با قطر ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر برای هر قاب سه دهانه (زیر هر ستون یک عایق)
 - پریرود مؤثر برابر ۲/۵ ثانیه برای کل سازه
 - رفتار مکانیکی دو خطی با سختیهای K و K/7 (در Q= 0.05W)
 - بیشینه جابجایی نسبی عایق $D = 40 \text{ cm}$
- با توجه به وزن طبقات در هر قاب برابر ۷۲ تن، مقادیر سختی معادل (K_{equ}) و سختی اولیه (K) عایق لرزه ای از روابط زیر قابل محاسبه می باشند.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_{equ}}} = 2\pi \sqrt{\frac{8 \times 72000}{9.81 K_{equ}}} = 2.5 \Rightarrow K_{equ} = 372^t / m$$

$$K_{equ} = K + \frac{Q}{D} \Rightarrow K = 300^t / m \Rightarrow K_2 = \frac{K}{\gamma} = 42.8^t / m$$

۲-۲ تکنیک پوشش فولادی

این تکنیک ابتدا برای ستونهای دایروی مدون گردید. دو نیم پوسته از ورقهای نازک فولادی لوله شده با قطری حدود ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر بزرگتر از قطر ستون، دور ناحیه ای که هدف ترمیم است قرار می گیرد و با جوش طولی در دو طرف جداره استوانه ای، لوله حلقوی ستون را احاطه می کند. فاصله بین روکش و دیواره ستون با تزریق دوغاب سیمان پر می شود. غالباً پوشش فولادی در دو انتها، باید فاصله ای حدود ۵۰ میلیمتر با لبه تیر در بالا و پی در پایین (طبقه زیرین) داشته باشد تا از درگیر شدن پوشش فولادی با اعضاء دیگر در جابجائیهای بزرگ جلوگیری شود. این کار برای پیشگیری از افزایش بیش از حد مقاومت خمشی در محلهای مفاصل پلاستیک که موجب افزایش نیروهای برشی و خمشی در تیرهای منتهی به اتصال و بر روی پی می شود، نیز می باشد. باید

توجه داشت که میزان یکپارچگی که پوشش فولادی ایجاد می کند، بستگی به مقاومت حلقوی و سختی روکش فولادی دارد.

در ستونهای مربعی و مستطیلی بعنوان یک روش عملی مؤثر، به ترتیب پوشش دایروی و بیضوی توصیه شده است. به نحوی که فضای بین پوسته روکش و ستون با بتن معمولی به جای دو غاب سیمان، پر می شود تا عمل محصور شدگی پیوسته و متناسب با تنش حلقوی که ارتباط مستقیم با انحناء پوشش دارد، فراهم گردد.

همانطوریکه جدول (۲) از مقاله اول [۴] نشان می دهد، سهم شاخص خرابی ستونهای طبقات اول و دوم در تحلیل دینامیکی غیر خطی، حدود ۵۰ درصد می باشد. همان جدول سهم خرابی تیرهای طبقات اول و دوم را حدود ۲۳ درصد تخمین می زند. با توجه به پیچیدگی دسترسی به تیرها، تقویت ستونها از نظر اقتصادی نیز در اولویت بالایی برخوردار خواهند بود. در نتیجه در این تحقیق، ابتدا تقویت ستونهای طبقات اول و دوم طراحی می شوند تا اثر گسترش شاخص خرابی در دیگر اعضاء و کل سازه بررسی گردد.

برای مثال حاضر، مطابق با ضوابط طراحی ارائه شده توسط پریستلی [۲]، اگر تنش تسلیم فولاد پوششی 2800 Kg/cm^2 باشد، ضخامت ورق پوشش ۴ میلیمتر بدست می آید. بدیهی است که قطر مقطع تقویت شده $1/41$ برابر اندازه ضلع ستون مربعی اولیه می باشد.

۲-۳- تکنیک پوشش الیاف کربن

تحقیقات گسترده ای در خصوص بکارگیری مواد مرکب شامل الیاف کربن، الیاف شیشه ای و کولار که توسط چسب مخصوص به عضو مورد نظر بعنوان روکش ترمیم و تقویت، انجام گرفته است. ژاپنیها پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبه، بیشتر سازه های قابل ترمیم را با این تکنیک اصلاح و مرمت کرده اند. دو دلیل اصلی، سرعت بالایی اجرای کار و صرفه اقتصادی، در بکارگیری این روش نقش داشته اند. روشن است که بدلیل مقاومت و سختی بالاتر در الیاف کربن نسبت به الیاف شیشه ای منعطف، ضخامت پوشش نازکتری نیاز می باشد. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی نشان می دهد که بهره گیری از این تکنیک با هر دو مواد، برای ستونهای دایروی بسیار مؤثر می باشد. برای ستونهای مستطیلی، هر قدر مقطع ستون به فرم بیضوی نزدیکتر شود، مؤثرتر خواهد بود ولی این تنها روشی است که حتی بدون هیچ تغییر عمده در شکل مقطع نیز مقاومت و شکل پذیری ستونها را به حد مطلوب افزایش داده است. در این تحقیق، از الیاف کربن با خواص مکانیکی $E_j = 840 \text{ t/cm}^2$ و $f_{uj} = 10.5 \text{ t/cm}^2$ و $E_{uj} = 0.0125$ استفاده شده است که ضخامتی حدود $t_j = 5 \text{ mm}$ برای مثال مورد نظر بدست می آید.

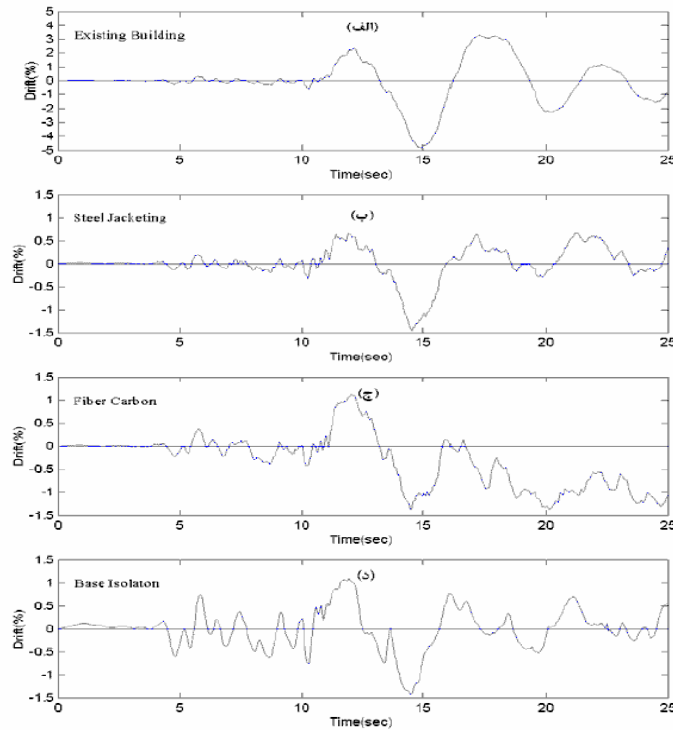
۳- ارائه نتایج عددی

ساختمان بتنی هشت طبقه که در مقاله اول مورد مطالعه قرار گرفت، مطابق با جزئیات ذکر شده در تکنیکهای تقویت، تحت اثر زلزله ۱۳۵۶ طیس (0.5g) مقیاس شده) تحلیل دینامیکی غیر خطی شده است.

در مدلسازی عددی و محاسبات تحلیلی برای اعضاء ساختمان تقویت شده، در حالت استفاده از پوشش فولادی و یا الیاف کربن، ابتدا لازم است منحنی رفتار برای اعضاء تقویت شده استخراج گردد. بدین منظور می توان از یک برنامه کامپیوتری جداگانه که با استفاده از روش المانهای الیافی (Fiber Elements) منحنیهای خمش - انحناء را برای مقاطع بدست می آورد، بهره جست و سپس رفتار مکانیکی بدست آمده را به برنامه IDARC معرفی نمود [۹]. اما در این مطالعه، با توجه به خواص مصالح مورد استفاده در تقویت اعضاء ابتدا ممانهای تسلیم و نهایی محاسبه شده اند و سپس مقطع معادل بتن مسلح متناظر با خواص مشابه عضو مورد نظر تعیین گردیده اند. در تعیین مقاومت و غیره در نظر گرفته شده است. در نتیجه هر چند مقادیر متناظر برای انحنای ترک و تسلیم در مقایسه با نتایج روش المانهای فیبری، اندکی تفاوت دارد، ولیکن با توجه به ماهیت آماري داده ها و عدم قطعیت ذاتی برای پارامترهای سازه ای نظیر مقاومت بتن، فولاد و اعضاء مرکب، این خطای محاسباتی قابل اغماض می باشد. به منظور مدلسازی عددی جداساز LRB در برنامه IDARC دو گزینه انتخابی وجود دارد. در گزینه اول، با معرفی منحنی رفتار (نیرو - تغییر مکان برشی) برای اعضاء جداساز و مستهلک کننده های آنها در برنامه، تحلیل قابل انجام است. در گزینه دوم، جداسازها را بصورت ستونهای کوتاهی که دارای سختی خمشی قابل ملاحظه و سختی برشی اندک (محاسبه شده) می باشند و برش تسلیم یکسان با مقادیر متناظر تعیین شده برای عایق لرزه ای دارند، معرفی می شوند.

شکل (۱) پاسخ تاریخیچه زمانی جابجایی نسبی طبقات برای ساختمان مورد نظر را در چهار حالت (شرایط موجود، تقویت شده با پوشش فولادی، تقویت شده با الیاف کربن و ترمیم شده توسط عایق لرزه ای) نمایش می دهد. همانطوریکه در این شکل نشان داده شده است، بیشینه مقادیر جابجایی نسبی برای سه حالت تقویت شده، حداقل به حد یک سوم مقدار متناظر خود در ساختمان موجود کاهش می یابد که نشانگر اصلاح رفتار دینامیکی در شرایط تقویت شده می باشد.

در مقایسه نتایج سه حالت تقویت، باید این نکته را در نظر داشت که جابجایی نسبی بحرانی برای هر دو شرایط پوشش فولادی و الیاف کربن که فقط ستونهای طبقات اول و دوم را شامل شده است، در طبقات فوقانی رخ داده است، در حالیکه برای حالت عایق لرزه ای، تقریباً پاسخ کلیه طبقات یکسان شده است، چرا که ساختمان جابجایی انتقالی صلب (Rigid-Body) داشته است و مودهای ارتعاشی دیگر سهم بسیار اندکی در پاسخ دینامیکی داشته اند.

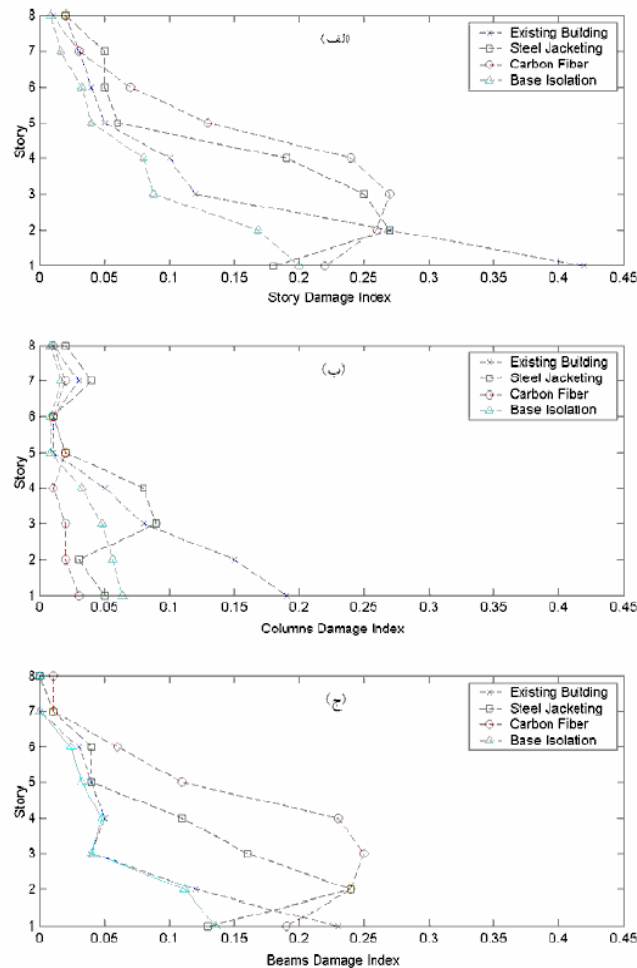


شکل ۱: پاسخ تاریخیچه زمانی جابجایی نسبی بحرانی طبقات برای شرایط موجود، تقویت با پوشش فولادی، تقویت با پوشش الیاف کربن و تقویت با عایق زلزله LRB

نتایج عددی حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی بیانگر این واقعیت است که شاخص خرابی کل سازه اولیه برابر $0/27$ می باشد. در حالیکه پس از انجام مراحل تقویت، شاخص خرابی کل ساختمان برای روشهای پوشش فولادی، الیاف کربن و عایق لرزه ای پایه، به ترتیب برابر $0/18$ ، $0/20$ و $0/14$ می شود. در اینجا هدف اصلی مقایسه مقادیر این شاخص ها با یکدیگر نیست، بلکه گسترش شاخص خرابی در اعضاء و طبقات مختلف از اهمیت بالاتری برخوردار می باشد. به همین منظور و برای روشن شدن اثر روشهای مختلف تقویت، مقدار شاخص های خرابی طبقات، تیرها و ستونها، در شکل (۲) با یکدیگر مقایسه شده اند. چنانکه در شکل (۲-الف) مشاهده می شود، در هر دو روش پوشش فولادی و الیاف کربن، انجام تقویت در ستونهای طبقات اول و دوم، باعث کاهش قابل ملاحظه ای در شاخص خرابی این طبقات است.

افزایش مقاومت و سختی طبقات زیرین، موجب می شود تا طبقات بالاتر سهم بیشتری از نیروها را متناسب با ظرفیت خود دریافت نمایند، در نتیجه با انتظار اولیه که شاخص های خرابی طبقات فوقانی (که اتفاقاً تقویت نشده اند) نسبت به حالت بدون تقویت، افزایش یابند، سازگار باشد. در خصوص طبقه دوم يك تعادل نسبی بین شرایط فوق از يك طرف و افزایش ظرفیت ناشی از انجام تقویت ستونهای این طبقه از طرف دیگر، برقرار گردد و لذا تقریباً شاخص خرابی تغییر چندانی نداشته باشد. نکته قابل توجه این است که بهره گیری از روشهای تقویت

پوشش فولادي و الياف کربن، موجب استفاده بهينه از ظرفيت مقاومتی موجود در ساير اعضاي سازه می گردد. شکی نیست که توزيع نسبتاً يکنواخت شاخص خرابی در طبقات مختلف به معنی استفاده بهينه از ظرفيت نهايي سازه می باشد. شاين ذکر است که در خصوص تکنیک نوين عایق لرزه ای، گرچه شاخص خرابی کل ساختمان کاهش چشمگیری می یابد، ولی از ظرفیتهای موجود در اعضا طبقات فوقانی، استفاده ای صورت نمی پذیرد و سهم عمده خرابی در خود ایزولاتورهای جداساز متمرکز می شود. از دیدگاه قضاوت مهندسی می توان چنین تفسیر نمود که روش عایق لرزه ای برای سازه هایی که اغلب طبقات آنها دارای مقاومت و سختی کافی می باشند، چندان مناسب نیست. در مقابل، این روش در سازه هایی که تمام طبقات آنها نقصان ظرفیت نسبتاً يکنواختی دارند، از ارجحیت انتخاب بالاتری برخوردار است.



شکل ۲: مقایسه شاخص خرابی برای چهار حالت قید شده و بصورت مجزا برای ستونها و تیرها

از شکل (۲- ج) می توان دریافت که در روشهای پوشش فولادي و الياف کربن، سهم شاخص خرابی تیرها بصورت قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. یا به عبارت دیگر با انجام این دو روش تقویت نه تنها شاخص خرابی کل کاهش یافته

است، بلکه مکانیزم خرابی نیز به نحوی اصلاح شده است که عملکرد ستون قوی – تیر ضعیف در سازه حاکم شده و احتمال فرو ریزش ساختمان به شدت کاهش می یابد. نکته قابل توجه در ارزیابی آسیب پذیری سازه های موجود و فرآیند تقویت آن است که باید تحلیل آماری با توزیع های مناسب بر روی خواص سازه ای، شرایط ساختگاه و همچنین تحریک ورودی انتخابی صورت پذیرد تا تصمیم گیری نهایی بر مبنای حد احتمال مورد نظر، مثلاً ۵۰٪، ۸۴٪ و غیره اتخاذ گردد [۱۰].

۴- خلاصه و نتیجه گیری

مطالعات آسیب پذیری ساختمانهای موجود که بر اساس دانش و تجربه دوره های مختلف محققین و طراحان بنا شده اند، حاکی از درصد بالایی خطر پذیری است و لذا ضرورت اقدام عملی در راستای کاهش خطر لرزه ای را آشکار می سازد. در این مقاله با مرور روشهای کارآمد تقویت برای سازه های بتنی، یک مثال عددی برای بهره گیری از پوشش فولادی، پوشش الیاف کربن و عایق لرزه ای در یک ساختمان هشت طبقه ارائه گردید. نتایج نشان دادند که شاخص خرابی در سازه تقویت شده با هر سه روش، کاهش چشمگیری دارند. با بکارگیری پوشش فولادی و الیاف کربن در ستونها نه تنها طبقه اول، سهم اجزاء در ضریب خرابی کل به صورت بهینه در اجزاء مختلف تقسیم گردید و از شکست موضعی ستونهای طبقات اول و دوم جلوگیری نمود، بلکه شاخص خرابی کل را نسبت به ساختمان موجود کاهش قابل ملاحظه ای نیز داد نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی برای حالت ترمیم به روش عایق لرزه ای در پایه نشان داد که این روش برای ساختمانهای با ضعف در کلیه اجزاء بخصوص طبقات فوقانی و تیرها، مناسب ترند و با انتقال شاخص خرابی از سازه اصلی به اجزاء عایق در پایه، شاخص خرابی کل را بشدت کاهش می دهند.

۵- مراجع

[۱] بخشی، ع.، "بهسازی، ترمیم و تقویت شریانهای حیاتی موجود"، مجموعه مقالات دوره مهندسی زلزله، وزارت نفت، ص ۱۳۳-۲ تا ص ۱۴۹-۲، آبان ۱۳۸۱.

[2] Priestley, M. J. N., et al., "*Seismic Design and Retrofit of Bridges*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.

[۳] بخشي، ع.، و تابش پور، م.ر.، "آناليز خرابي سازه ها در برابر زلزله"، هشتمين همایش ملي رفتار سازه ها تحت اثر زلزله، دانشگاه گیلان، خرداد ۱۳۸۱.

[۴] بخشي، ع.، و تابش پور، م.ر.، "بررسي آسیب پذيري لرزه اي ساختمانهاي موجود"، ششمين کنفرانس بين المللي مهندسي عمران، دانشگاه صنعتي اصفهان، اصفهان، ايران، اردیبهشت ۱۳۸۲ (آماده چاپ).

[5] Naeim, F., and Kelly, J. M., "*Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*", John Wiley & Sons Inc., New York, 1999.

[6] Matin, S. A., et al., "*Evaluation and Retrofitting of Multilevel and Multiple-column Structures-Phase 3: An Analytical, Experimental, and Conceptual study of Retrofitting Needs and Methods*", Report No. UCBEERC-9706, University of California at Berkeley May 1997.

[7] Sabnis, G. M., et al., "*Seismic Rehabilitation of Concrete Structures*", ACI, 1996, sp-160.

[8] Li, C., and Reinhorn, A. M., "*Experimental and Analytical Investigation of Seismic Retrofit of Structures with Supplemental Damping: part II- Friction Devices*", Technical Report NCEER-95-0009, State University of New York at Buffalo, 1995.

[9] Reinhorn, A. M., Kunnath S. K., and Valles-Mattox, R., *IDARC 2D Version 4.0: users manual*. Department of civil Engineering, State University of New York at Buffalo, 1996.

[10] Bozorgnia Y., and Bertero, V. V., "Improved Shaking and Damage Parameters for Post-Earthquake Applications", *Proc. of the SMIP01 Seminar on Utiligation of Strong – Motion Data-Los Angeles, California*, Sep. 12, 2001, pp. 1-12.

عملکرد لرزه ای

عملکرد میان قاب ها مثل آجر بسیار حساس است. آزمایش ها و تجارب زلزله گذشته شاهدهی بر آثار نامطلوب متقابل دیوارهای آجری پرکننده و قاب های بتنی است. ضربات متقابل میان قاب ها و ستون بندی موجب تخریب ستون بتنی می شود و همچنین به علت شکل پذیری قاب، شکست برشی در آن رخ می دهد. در زلزله منجیل، بعضی از ساختمان های بتنی عملکرد مناسب و قابل قبولی نداشتند که عمدتاً به دلیل ضعف های بسیار زیاد اجرایی بین سازه ها بوده است. در کل، رفتار این گونه ساختمان ها در مقایسه با رفتار ساختمان های فلزی، ضعیف تر ارزیابی می شود.

به طور کلی سازه های بتنی نسبت به سازه های فولادی دارای نرمی کمتری هستند و عملکرد لرزه ای ضعیفتری در زلزله های مخرب از خود بروز داده اند. اما در کشورمان بدلیل عدم رعایت ضوابط فنی در طرح و اجرایی ساختمانهای اسکلت فولادی، عملکرد ساختمان های بتنی غالباً بهتر بوده است.

نقاط ضعف ساختمان های بتنی به شرح زیر است:

- ۱- کمبود مقاومت برشی لازم در يك طبقه بدلیل کمی ستونها و دیوارهای برشی
- ۲- شکست ترد در تیر یا ستون به علت غلبه حالت شکست برشی به خمشی
- ۳- شکست ترد (برشی) در ستونهایی که طول آنها به طور ناخواسته توسط ناسازه هایی همچون میانقاب و مانند آن کاهش یافته است.
- ۴- لغزش میلگرد در اتصال تیر به ستون
- ۵- شکست برشی در اتصال تیر به ستون
- ۶- شکست برشی در دیوار برشی
- ۷- پیچش ناشی از عدم تطابق مراکز جرم و سختی در طبقات
- ۸- تمرکز تخریب در يك طبقه نرم
- ۹- جدا شدن نما از سازه به دلیل عدم اتصال مناسب.
- ۱۰- خرد شدن اتصال تیر به ستون در اثر ضربه حاصل از میان قاب

۱۱- افزایش ناخواسته سختی در يك سمت ساختمان ناشی از وجود میان قاب ها که موجب ایجاد پیچش می شود.

اصولاً ساختمان های بتنی که سیستم لرزه بر شان صرفاً قاب خمشی است در مقایسه با آنها که از دیوار برشی بهره می گیرند عملکرد ضعیف تري دارند. علت این تمرکز تخریب در اتصالات است و به دلیل ضعف ذاتی اتصالات بتنی، آسیب پذیری این نوع سازه زیاد است. به عکس، ساختمان های دارای دیوار برشی نرمی بیشتر و کاهندگی کمتری دارند و از این رو، عملکرد بسیار بهتری دارند.

ساختمان آجری:

دلایل اصلی عملکرد ضعیف این گونه سازه ها از ترد بودن مصالح و کاهش مقاومت بر اثر تکرار شدید بار، وزن سنگینی بنای حاصله و در نتیجه برشی زیاد، سختی زیاد در مقابل امواج زمین لرزه ای با پریودهای کوتاه و کیفیت ساخت ناشی می شود. همچنین به علت وزن زیاد دیوارها، امکان کماتش خارج از صفحه تحت اثر نیروهای جانبی نیز وجود دارد. ترك های عمیق در دیوارها، جدا شدن سقف از دیوارها، باز شدن تیرهای طاق و ضربی و ریختن آجرهای درون طاق ها را نیز می توان از جمله خسارات ناشی از این گونه بناها بر شمرد. این ساختمان ها در برابر زلزله رفتاری فریبنده دارد و به محض این که بار زلزله از مقاومت آنها اندکی بیشتر شد به یکباره فرو می ریزد. اما در مقابل، راه هایی برای مقاوم تر کردن این گونه سازه ها وجود دارد. در آیین نامه نیز فصلی به ساختمان های با مصالح بنایی غیر مسلح اختصاص دارد. بدون در نظر گرفتن این ضوابط، این نوع ساختمان ها بسیار آسیب پذیر خواهند بود.

ضعیف ترین نوع ساختمان های فولادی در ایران، ساختمان های بی اسکلت و نیمه اسکلتند. در این نوع سازه، بخشی از بار قائم توسط ستون فولادی و بخش دیگر توسط دیوارها و پایه های آجری تحمل می شود و هیچ نوع سیستم لرزه بری هم وجود ندارد. این نوع بنا تقریباً رایج ترین فرم ساختمانی در کشور است

و متأسفانه میزان پایداری لرزه ای بسیار کمی دارد. زیرا بر خلاف ستون های فولادی که تا حدودی قادرند جابجایی افقی را بدون فرو ریختن تحمل کنند، پایه های آجری خیلی زود فرو ریخته و موجب ناپایداری کلی سازه می گردند. باید دانست که اگر چه یک دیوار آجری ممکن است مقاومت افقی بیشتری از یک ستون فولادی داشته باشد (بگذریم از اینکه ستون های فولادی که در ساختمان های نیمه اسکلت به کار می روند اصولاً فاقد مقاومت جانی اند) اما مقاومت معیار مناسبی برای تعیین درجه پایداری لرزه ای یک سازه نیست بلکه رفتار غلتکی است که سازه را در برابر زلزله حفظ می کند و از این رو سازه ای با مقاومت افقی بسیار کم اگر بتواند جابجایی های افقی زیادی را در دوره های متوالی بار گذاری تحمل کرده و قدرت تحمل بارهای قائم را از دست ندهد، خواهد توانست در برابر زلزله پایدارمانده و فرو نریزد. در واقع همین اصل مبنای کار روشهای عایق لرزه ای است. برعکس دیوارهای آجری علیرغم مقاومتی قابل توجه، بدلیل نبود ظرفیت تغییر شکل در زلزله های مخرب بسیار در ساختمانهای تمام اسکلت، کلیه نیروی وزن از طریق تیرهای حمال به ستون های فولادی منتقل می شود. در گذشته، اکثر ساختمانهای تمام اسکلت در ایران بدون سیستم لرزه بر ساخته می شدند. این وضعیت نه تنها در ساختمانهای کوچک و متوسط، بلکه در ساختمانهای بلند هم دیده می شود.

روش های مقاوم سازی لرزه ای

راه کارهای زیر به عنوان نمونه می تواند به صورت منفرد یا در ترکیب با یکدیگر برای بهسازی ساختمان ها به کار رود:

۱- اصلاح موضعی اجزای سازه ای که دارای عملکرد نامناسبی در اثر زلزله می باشند.

۲- رفع یا کاهش نامنظمی در ساختمان موجود.

۳- تامین سختی جانبی لازم برای کل سازه

۴- تامین مقاومت لازم برای کل سازه

۵- کاهش جرم ساختمان

۶- کامل نمودن مسیر بار

۷- افزایش انسجام ساختمان با کلاف بندی

۸- تغییر کاربری به منظور کاهش سطح عملکرد مورد انتظار از ساختمان

۹- به کارگیری سیستم های جداساز لرزه ای

روش های معمول بهسازی

در ساختمان های موجود با توجه به نوع ضعف سازه و میزان ضعف موجود به طور کلی از روش های زیر برای مقاوم سازی ساختمان برای بارهای ثقلی و جانبی استفاده می شود:

۱- تقویت موضعی اجزاء سازه ای شامل تیر، ستون، اتصال، دیوار و پی و...

۲- استفاده از صفحات و پروفیل های فولادی با استفاده از جوش یا پیچ

۳- کاشت میلگرد و بتن ریزی مجدد یا استفاده از ملات های ترمیمی

۴- استفاده از مواد کامپوزیتی مانند الیاف پلیمری (FRP)

تقویت سیستم های بار بر جانبی

۱- اجرای باد بند یا دیوار برشی جدید

۲- استفاده از سیستم های جدا کننده لرزه ای

۳- استفاده از سیستم های مستهلک کننده انرژی مانند میراگرهای ویسکوز و میراگرهای الاستو-پلاستیک

از کاربردهای معرفی شده در بالا برای تقویت سیستم باربر جانبی از روش اجرای باربند یا دیوار برش جدید در ساختمان های شهر تهران به عنوان راه حل های شناخته شده استفاده می گردد و روش های نوین تقویت که بر پایه استهلاک انرژی زلزله می باشد هنوز در داخل کشور ناشناخته می باشد.

در زمینه تقویت موضعی اجزا نیز استفاده از صفحات فولادی و بتن ریزی مجدد به عنوان کاربردهای سنتی شناخته می شود و روش های تقویت با کامپوزیت FRP نیز در داخل ناشناخته می باشد.

بررسی اجمالی سیستم استهلاک انرژی

به طور کلی جاذب های انرژی (میراگر الحاقی) به منظور کاستن از پاسخ دینامیکی سازه در برابر بارگذاری باد و زلزله استفاده می شوند. مکانیزم عملکرد این وسایل به گونه ای است که با انجام تغییر شکل های ویژه و اعمال مکانیک خاص، مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه بر اثر بارگذاری دینامیکی را جذب و مستهلاک می سازند. عملکرد این وسایل موجب می گردد که انرژی دریافتی سایر اعضای سازه ای کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل زیاد در آنها ایجاد نشود.

به طور کلی مکانیزم های جذب انرژی این میراگرها بر سه روش کلی اصطکاکی، رفتار ویسکوالاستیک و استفاده از خاصیت جاری شدن فلزات استوار است. از مزایای این وسایل می توان به کاربرد آنها در مقاوم سازی سازه های موجود اشاره نمود. علت این امر نیز شکل پذیری ویژه این وسایل و همچنین محل قرارگیری آنها می باشد.

این وسایل را به سادگی می توان در سازه های موجود جاسازی و یا در صورت لزوم بعد از بارگذاری (رخداد زلزله) تعویض نمود. با توجه به کثرت سازه های موجود غیر مقاوم در برابر زلزله در کشور و همچنین لزوم استفاده از روش های نوین در طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله که به نحوی بسیار مطلوبی از پاسخ دینامیکی سازه ها می کاهند، در این متن سعی بر این است که این سیستم ها به طور خلاصه شرح داده می شوند.

روش های مختلفی برای طراحی ساختمان هایی با کارایی مناسب در برابر زلزله، آزمایش، مورد تحقیق و به کار گرفته شده اند. در روش ها مرسوم، ساختمان با

استفاده از ترکیبی از سختی، قابلیت شکل پذیری و همچنین استهلاک انرژی در برابر زلزله از خود مقاومت نشان می دهد. مقدار میرایی در این قبیل ساختمان ها بسیار کم است و از این رو انرژی مستهلاک شده در محدوده رفتار الاستیک سازه ناچیز می باشد. در هنگام زلزله های قوی این ساختمان ها بعد از محدوده رفتار الاستیک، تغییر مکان های زیاد می یابند و فقط به واسطه چگونگی قابلیت تغییر مکان غیر الاستیک خود پایدار باقی می ماند. این تغییر مکان های غیر الاستیک موجب به وجود آمدن مفاصل پلاستیک به صورت موضع در نقاط از سازه می گردند که خود موجب افزایش شکل پذیری و همچنین افزایش استهلاک انرژی می گردد. در نتیجه مقدار زیادی از انرژی به واسطه تخریب های موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلاک می گردد.

در روش های مدرن جدا سازی لرزه ای، استفاده از وسایل مستهلاک کننده انرژی جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده است و به همین دلیل سیستم های مختلف الحاق در ساختمان به کار گرفته می شود. استفاده از سیستم ها میراگر الحاق موجب کاستن پاسخ های سازه در باربری زلزله و جلوگیری از تخریب آن می گردد. در این روش وسایل مکانیکی مختلفی در اسکلت سازه جاسازی می گردند که در هنگام وقوع زلزله اقدام به جذب و استهلاک انرژی در بدنه سازه می نمایند.

استهلاک انرژی در این وسایل مکانیکی با مکانیزم های مختلفی نظیر جاری شدن یک فلز نرم، اصطلاحاً دوفلز بر هم، حرکت یک پیستون درون یک ماده ویسکوز و یا رفتار ویسکو الاستیک صورت می گیرد.

میزان انرژی وارد به سازه در حین زلزله به پرئود پایه سازه و نسبت آن به پرئود غالب حرکت زمین ارتباط مستقیم دارد. همچنین تخریب وارده به سازه نیز بستگی به میزان انرژی هیستریزس جذب شده تحت فرم های غیر ارتجاعی اعضای سازه ای دارد.

طراحی سازه های معمولی به نحوی که در حین زلزله قوی بدون تخریب باقی بمانند غیر اقتصادی می باشد. لذا اکثر آیین نامه های مدرن طراحی ساختمان، فلسفه طراحی لرزه ای مبتنی بر مفهوم تغییر شکل پذیری را ارائه نموده اند. بر این اساس یک سازه می بایست به نحوی طراحی گردد که تغییر شکل پذیر مورد نیاز هر عضو با تغییر شکل پذیری ظرفیت آن در تعادل باشد تا در حین زلزله، اثری در عضو به صورت مطمئنی مستهک گردد.

ساختمان می تواند در اثر قابلیت شکل پذیری انرژی زیادی را در حین زلزله مستهک نماید ولی بروز شکل پذیری زیادی در ساختمان تشکیل مفاصل پلاستیک در برخی از اعضای سازه ای را به همراه خواهد داشت. استفاده از سیستم های مستهک کننده انرژی در ساختمان ها سبب ارتجاعی باقی ماندن اعضای سازه ای در حین زلزله می گردد و در نتیجه از بروز تخریب جلوگیری می نماید.

میراگرها و اسکوالاستیک در سال های اخیر به صورت موفقیت آمیزی در ساختمان ها بلند، پل ها و صنعت به کار گرفته شده اند.

نتایج حاصله از بررسی و استفاده از اینگونه میراگرها حاکی از کارایی بسیار مناسب آنها می باشد. با استفاده از این وسایل می توان میرایی سازه را افزایش داد.

سیستم های میراگر الحاقی وسایل مناسبی برای کاهش موثر تغییر مکان های طبقات در ساختمان ها می باشند و به سادگی می توان با الحاق این وسایل به این نتیجه دست یافت. کاهش نیروی برشی نیز با به کار گیری این وسایل دیده می شود؛ اما نه به اندازه کاهش تغییر مکان. حتی در بعضی موارد به هنگام استفاده از این میراگرها علیرغم کاهش تغییر مکان، افزایش نیروی برشی را می توان مشاهده کرد. این وضعیت به واسطه افزایش سخت رخ می دهد اما سازه به واسطه وسایل الحاق شده با راحتی قادر به تحمل این افزایش بوده و حتی وارد مرحله پلاستیک نیز نمی گردد. در این میان میراگرهایی نیز وجود دارند که حتی وارد مرحله پلاستیک نیز نمی گردد. در این میان میراگرهایی نیز وجود دارند که

حتي برش پایه را نیز به مقدار قابل ملاحظه اي کاهش مي دهند که از جمله آنها مي توان به ميرآگرهاي ويسکوالاستيک و ويسکوز مایع اشاره نمود.

سيستم هاي ميرآگر شرح داده شده در متن براي استفاده در هر دو حالت يعني طراحي سازه هاي مقاوم و همچنين مقاوم سازي سازه هاي موجود مناسب مي باشد.

اين امر به واسطه راحتي نصب آنها بر روي اسکلت سازه ميسر مي شود و هم اينکه با جاسازي آسان آنها در قاب هاي سازه هاي موجود مي توان مقاومت سازه را در مقابل بار گذار زلزله افزايش داد. همچنين در صورت استفاده از آنها در اسکلت سازه مي توان پس از بروز زلزله در صورت لزوم آنها را تعويض نمود و نمونه جديدي جاسازي کرد. الحاق بعضي از ميرآگرها به سازه مي تواند افزايش نيروي محوري دربعضي از ستون ها در هنگام رخ دادن حداکثر تغيير مکان را موجب گردد. اين افزايش نيروي محوري بايد در هنگام طراحي اين نوع سازه ها در نظر گرفته شود. ليکن حسب آزمايش هاي انجام يافته اين افزايش نيروي محوري در مورد ميرآگرهاي ويسکوالاستيک کمتر از ساير موارد باشد.

با توجه به لزوم مقاوم سازي سازه ها غير ايمن مزايای استفاده از ميرآگرهاي الحاقی مي تواند در بسيار از موارد بهترين راه حل باشد، بخصوص با توجه به اينکه استفاده از اين وسايل در بسياري از حالات از پديد آمدن رفتار غير الاستيک در اعضا سازه جلوگیری مي نمايد، در مواردی که قابليت استفاده بدون وقفه سازه مد نظر باشد استفاده از اين وسايل براي بهسازي و يا از ابتدای طراحي آنها انتخاب مناسب تشخيص داده مي شود.

کاربرد کامپوزیت‌های FRP

در تقویت و بهسازی سازه های بتنی و بنایی

مهندس سید علیرضا دریابیگی

مدیر فنی شرکت توکان

مقدمه

در جهان امروز شاهد نیاز روزافزون به استفاده از مواد ترکیبی برای دستیابی به خواصی مطلوب هستیم. زیرا عموماً یک ماده به تنهایی نمی تواند با توجه به جنبه های اقتصادی و یا کارایی و عملکرد، پاسخگویی مجموعه خواص مورد نیاز برای آن باشد. از جمله مواد ترکیبی که امروزه به عنوان جایگزین فلزات از جمله فولاد مطرح شده است می توان به کامپوزیت های مسلح شده با الیاف پلیمری (FRP) اشاره نمود.

استفاده از مصالح کامپوزیت به طور قابل توجهی در صنعت ساختمان یک بازار تکان دهنده و به سرعت در حال توسعه می باشد. اولین تحقیقات انجام شده در این زمینه از اوایل دهه ۱۹۸۰ آغاز شده است، زلزله ۱۹۹۰ کالیفرنیا و ۱۹۹۵ کوبه ژاپن نیز از جمله عوامل موثر برای بررسی کاربرد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف (FRP) جهت تقویت و مقاوم سازی سازه های بتنی و بنایی در مناطق زلزله خیز گردید.

استفاده روز افزون از کامپوزیت های FRP در صنعت نشان دهنده برتری محسوس این مصالح نسبت به فلزات می باشد. کامپوزیت های FRP مورد استفاده برای تقویت سازه ها متشکل از ماتریس پلیمری گرما سخت (Thermoset) از قبیل رزین اپوکسی و الیاف معدنی (شیشه و کربن) یا الیاف آلی (آرامید) می باشد.

اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت

معمولاً يك ماده کامپوزیت را به صورت يك مخلوط فیزیکی در مقیاس ماکروسکوپیك از دو یا چند ماده مختلف تعریف می کنند که این مواد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ کرده و مرز مشخصی را با یکدیگر تشکیل می دهند. این مخلوط در مجموع و با توجه به برخی معیارها خواصی بهتر از هر يك از اجزاء تشکیل دهنده خود را دارا می باشد. در کامپوزیت ها عموماً دو ناحیه متمایز وجود دارد:

۱- فاز پیوسته (ماتریس)

۲- فاز ناپیوسته (تقویت کننده)

در يك کامپوزیت به طورکلی الیاف، عضو بار پذیر اصلی سازه هستند در حالی که ماتریس آنها را در محل و آرایش مطلوب نگهداشته و به عنوان يك محیط منتقل کننده بار بین الیاف عمل می کند. به علاوه آنها را از صدمات محیطی در اثر بالا رفتن دما و یا رطوبت حفظ می کنند.

مواد کامپوزیت تقویت شده با الیاف، ترکیبی از مقاومت کششی و مدول بهتر نسبت به مواد فلزی دارند و به علت پایین بودن وزن مخصوص نسبت مقاومت کششی به وزن (مقاومت کششی ویژه) نسبت مدول به وزن (مدول ویژه) مواد کامپوزیت به طور مشخص برتر از مواد فلزی هستند.

در بسیاری از کاربردهایی که کاهش وزن سازه اهمیت دارد مانند صنایع فضایی، شیمیایی، حمل و نقل و ساختمان می تواند جانشین فلزات شوند.

معرفی کامپوزیت FRP

کامپوزیت FRP محصولی است برای تقویت سازه ها که با چسباندن لایه ای از منسوج الیاف کربن، شیشه یا آرامید به وسیله رزین اپوکسی به روی سطح

عضوي از سازه که باید تقویت گردد انجام می گیرد. این لایه بصورت عضو تقویت مضاعف عمل می کند.

این فرایند بر پایه قرار دادن منسوج الیاف توام با ملاط چسبیده رزین با مقاومت کشش بسیار بالا که بر اساس محاسبات فنی به قسمت تحت کشش عضو مورد نظر سازه چسبانده می شود استوار است. با این عملکرد و کار آیی عضو و در نتیجه مقاومت سازه افزایش می یابد.

انواع الیاف

الیاف شیشه

قدیمی ترین الیاف تقویت کننده برای کامپوزیت های پلیمری هستند. از جمله خصوصیات آن مقاومت کششی مناسب، مدول کششی کم، وزن مخصوص زیاد، مقاومت خستگی کم، عایق خوب، نرم شدگی در دمای بالای ۸۰۰ درجه سانتی گراد، حساسیت به سایش و قیمت کم می باشد. مهمترین انواع الیاف شیشه عبارتند از:

الیاف شیشه نوع A

در اینجا A به معنی ALKALI یا قلیایی می باشد. این الیاف مقاومت بسیار خوبی در برابر مواد شیمیایی دارند ولی خواص الکتریکی آنها ضعیف می باشد.

الیاف شیشه نوع C

به این الیاف شیشه شیمیایی نیز اطلاق می شود. از مهم ترین خواص این الیاف مقاومت بسیار بالا در برابر مواد شیمیایی می باشد.

الیاف شیشه نوع E

این الیاف دارای خواص الکتریکی می باشند. از مهم ترین قابلیت این الیاف، مقاومت بالا در برابر آب می باشد که به ویژه در ساخت کامپوزیت هایی که در

محیط مرطوب قرار دارند استفاده می شود. در حال حاضر بیش از ۹۰٪ الیاف مورد مصرف در کامپوزیت های شیشه از این نوع می باشند. این نوع الیاف در بین مجموعه الیاف شیشه پایین ترین قیمت را داراست.

الیاف شیشه نوع S

به الیاف شیشه دارای مقاومت بالا می گویند. مقاومت کششی این الیاف ۳۳٪ بیشتر از الیاف نوع E است. البته دو نوع دیگر الیاف شیشه وجود دارد به نام الیاف شیشه نوع D با خواص دی الکتریک پایین و نوع M با مدول الاستیسیته بالا که به علت اینکه کاربردهای تجاری کمی دارند به همین جا بسنده می کنیم.

الیاف کربن:

از جمله خصوصیات آن ماهیت غیر ایزو تروپیک، مدول کششی بالا، سختی بالا، مقاومت کششی بالا، قابلیت هدایت الکتریکی، ضریب انبساط حرارتی پایین، مقاومت خستگی زیاد، مقاوم در برابر خوردگی، پایداری در دماهای بالا تا ۱۹۰۰ می باشد.

این نوع الیاف کاربردهای بسیار زیادی در صنایع مختلف بالاخص ساخت موادی با کارایی بالا دارند. در بین الیاف ساخت بشر، که در تولید آنها سعی فراوانی در تقلید از نمونه های طبیعی انجام گرفته است، الیاف کربن شایسته توجه خاصی است. این الیاف از چند جنبه اهمیت دارند که عبارتند از:

خصوصیات منحصر به فرد مکانیکی، قیمت رو به کاهش و بهبود تدریجی خواص که همه و همه بر اهمیت آن می افزاید. برای تهیه این الیاف می توان از روش پلی اکریلونیتریل (PAN) روش سلولزی و روش قیراندود کردن (Pitch) استفاده نمود.

از مهم ترین خواص الیاف کربن می توان به سبکی وزن، مقاومت کششی و سختی بالا، عدم تحت تاثیر قرار گرفت در رطوبت حلال ها، بازها، اسیدها و به طور کلی محیط های شیمیایی و خورنده اشاره نمود. الیاف کربن همچنین الکتریسیته را نیز هدایت می نماید که معمولاً با افزایش مدول کششی، میزان قابلیت هدایت الکتریکی آنها افزایش می یابد. از نقاط ضعف این الیاف می توان به قیمت بالا و شکنندگی آن اشاره نمود.

الیاف آرامید:

از جمله خصوصیات آن ماهیت غیر ایزو تروپیک، مقاومت کششی بالا، مقاوم در برابر حرارت، جذب انرژی بالا در هنگام شکست، مقاوم در برابر بارهای ضربه ای، تخریب در مقابل نور ماوراء بنفش، رطوبت، مقاوم در برابر خستگی می باشد.

آرامید عبارتی است کلی، برای پلی آمیدای حلقوی. اینکه از میان الیاف موجود، الیاف آرامید تا کنون تعداد کمی به تولید تجاری رسیده اند دارای دلیل تکنولوژیک و اقتصادی می باشد.

کاربرد کامپوزیت در مقاوم سازی سازه های بتن مسلح

امروزه نگهداری از سازه ها بدلیل هزینه ساخت و تعمیر بسیار حائز اهمیت است با مطالعه رفتار سازه های بتنی مشخص می شود عوامل متعددی مانند: اشتباهات طراحی و محاسبه، عدم اجرای مناسب، تغییر کاربری سازه ها، آسیب دیدگی ناشی از وارد شدن بارهای تصادفی، خوردگی بتن و فولاد و شرایط محیطی از دوام آنها می کاهد. ضمناً تغییر آیین نامه های ساختمانی (که باعث تغییر در بارگذاری و ضریب اطمینان می شود) نیز سبب ارزیابی و بازنگری مجدد طرح و سازه می گردد تا در صورت لزوم بهسازی و تقویت شود.

سیستم های الیاف مسلح شده پلیمری (FRP) برای تقویت سازه های بتنی پدیدار شده و به عنوان جانشین برای روش های تقویت سنتی از قبیل چسباندن صفحات فولادی، افزایش سطح مقطع با بتن ریزی مجدد و پیش تنیدگی خارجی می باشد. با توجه به معایب این روش ها مانند بازدهی کم و یا نیاز به امکانات و فن آوری خاص امروزه روش های مقاوم سازی با استفاده از Composite توسعه روز افزون دارد.

معرفی مشکلات سازه های بتنی

این گونه بناها چنانچه بر حسب محاسبات دقیق و ضوابط شکل پذیري طراحی و اجرا شود ساختمان های بسیار مطلوبی خواهد بود. اما کیفیت ساخت آن در عمده ساختمان های کشور بسیار پایین است. کیفیت بد بتن، آرماتورگذاری نامناسب، اجرای بد بتن ریزی، مصالح نامرغوب و تغییر در موقعیت و ابعاد اجزای سازه (تغییرات معماری در هنگام ساخت) ... از مشکلات این سازه است. در مورد سازه های بتنی موجود بیشترین ضعف در روال آیین نامه های قدیمی مشاهده می شود. همچنین شناخت بهتر نیروهای زلزله نسبت به گذشته، بازنگری این نوع سازه ها را الزام آور می نماید. علاوه بر این، رعایت ضوابط شکل پذیري امری ضروری در طراحی و ساخت این بناها است که می توان گفت به هیچ وجه در ایران رعایت نمی شود. این سیستم ها به عملکرد میان قاب ها مثل آجر بسیار حساس است.

آزمایش ها و تجارب زلزله گذشته شاهدهی بر آثار نامطلوب متقابل دیوارهای آجری پرکننده و قاب های بتنی است. ضربات متقابل میان قاب ها و ستون بندی موجب تخریب ستون بتنی می شود و همچنین به علت شکل پذیري شکل آجری قاب، شکست برشی در آن رخ می دهد.

معرفی مشکلات سازه های بنایی

دلایل اصلی عملکرد ضعیف این گونه سازه ها از تردد بودن مصالح و کاهش مقاومت بر اثر تکرار شدید بار، وزن سنگین بنای حاصله و در نتیجه نیروی برشی زیاد، سختی زیاد در مقابل امواج زمین لرزه ای با پریودهای کوتاه و کیفیت ساخت ناشی می شود. همچنین به علت وزن زیاد دیوارها، امکان کماتش خارج از صفحات تحت اثر نیروی جانبی نیز وجود دامرد. ترک های عمیق در دیوارها، جدا شدن سقف از دیوارها، باز شدن تیرهای طاق ضربی و ریختن آجرهای درون طاق ها را نیز می توان از جمله خسارات ناشی از این گونه بناها بر شمرد. این ساختمان ها در برابر زلزله رفتاری فریبنده دارند و به محض این که بار زلزله از مقاومت آنها اندکی بیشتر شد، به یکباره فرو می ریزند. اما در مقابل، راه هایی برای مقاوم تر کردن این گونه سازه ها وجود دارد.

فلسفه تقویت

فلسفه تقویت سازه های بتنی با زیر اساس تقویت با پلیت توسط Hermit در سال ۱۹۵۱ بنا شده است می باشد. جبران ضعف کششی بتن با صفحات فولادی که به صورت خارجی بر سطح بتن چسبیده می شود (استفاده از ظرفیت کششی فولاد) بر این اساس ظرفیت خمشی و برشی با توجه به افزایش ظرفیت کششی افزایش چشمگیری خواهد یافت. (مورد استفاده برای تیر، دال، دیوار) در مورد ستون ها و اعضای فشاری فلسفه تقویت با سایر اعضا متفاوت می باشد. استفاده از محصور کردن و دورگیری بتن (Confinement) با پوشاندن یا Jacketing با مواد کامپوزیت که آن نیز با زیر اساس استفاده از صفحات فولادی به دست آمده است (بر اساس مدل سازی Mander تبدیل تنش تک محوری فشاری به تنش سه محوری).

نتیجه:

استفاده از کامپوزیت به دلیل گستردگی کاربرد و خواص برتر آن در صنعت روز دنیا به صورت يك ضرورت مطرح شده است. کامپوزیت های FRP با توجه به کاهش حتمی قیمت تمام شده جانشین بسیاری از مصالح و مواد دیگر خواهد بود. به دلیل موقعیت برتر (مدول الاستیسیته و تنش شکست ویژه، مقاومت در برابر خستگی و مقاومت در برابر خستگی و مقاومت در برابر خوردگی) مواد کامپوزیت، آشنایی، بکارگیری و تولید مصالح کامپوزیت در کشور ما یک ضرورت می باشد و این ضرورت ایجاد زمینه های لازم در میان جامعه مهندسين در جهت آموزش و پژوهش را ایجاب می کند. در این راستا ارتباط ما بین دانشگاه و صنعت می تواند نتایج بهتری را به دنبال آورد.

منابع:

Conference of Building Officials International

ICBO Uniform Building Code

UBC International Residential Code

IRC International Building Code

IBC American Concrete Institute

Society for Testing and Materials

ASTM Center for Federation for Structural Concrete

CIESInternational