تقويت، ترميم، بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي ساختمان ها

مهندس علی جلالی مارنانی

فهرست مطالب

بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي ساختمان هاي بتني ۳

ارزيابي آسيب پذيري لرزه اي ساختمان هاي موجود(پس از ترميم و بهسازي).....۳۱

عملكرد لرزه اي ۴۰

كاربرد كامپوزيتهاي FRP در تقويت وبهسازي سازه هاي بتني و بنايي ۴۸

بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي ساختمان هاي بتني

Seismic Rehabilitation Strengthening Of RC Buildings

دكتر عباسعلي تسنيمي ـ دانشيار دانشگاه تربيت مدرس

مقدمه : براي دستيابي به بهترين طرح بهسازي و مقاوم سازي ساختمان هاي بتني مسلح بايد به نحوي اقدام كرد كه سطح عملكرد مناسب (كه در هدف طرح تعيين شده است) تامين گردد. از اين رو بايد زير بناي تمام گام هاي مربوط به فرآيند بهسازي و مقاومسازي لرزه اي به خوبي درك و شناخته شود .

۱ـ هدف بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي :

از مهمترين اهداف بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي تحقق موارد زير است :

أ. تامين مقاومت در برابر زلزله هاي خفيف بدون هيچگونه آسيب
ب. تامين مقاومت د ربرابر زلزله هاي متوسط بدون هيچگونه آسيب سازي ، ولي احتمال برخي خسارت هاي غير سازه اي وجود دارد .
ج. تامين مقاومت در برابر زلزله هاي شديدي كه درمحل سازه قبلا رخ داده يا قابليت وقوع دارد ، بدون فروريزي ، ولي احتمال برخي خسارت هاي سازه اي و غير سازه اي وجود دارد.

۲ـ گام هاي كلي و ويژه در فرآيند بهسازي ومقاوم سازي :

۲ـ۱ـ گام هاي كلي

اين گام ها براي كليه ساختمان ها اعم از فولادي ، بتني ، و مصالح بنايي قابل اعمال است و بيشتر جنبه عمومي يا كلي داشته و به هيچ نوع از انواع ساختمان ها اختصاص ندارد . تقسيم بندي كلي اين گام ها به شرح زير است :

أ. مباني بهسازي و مقاوم سازي و تعيين سطوح عملكرد
ب. مباني و روش هاي تحليل
ج. روش هاي مقاوم سازي

در اين قسمت با اين فرض كه خواننده گرامي با گام هاي كلي آشنايي كامل و وسيع دارد ، ضرورتي براي طرح مجدد و مشروح آنهاوجود ندارد، ليكن مختصراً به برخي از اجزاي آنها به عنوان ياد آوري اشاره مي شود .

۲-۱-۱- مباني بهسازي و تعيين سطوح عملكرد

اجزاي اين قسمت عبارتند از :

۲-۱-۱-۱ ـ تعيين مشخصات ساختمان

مشخصات هر ساختمان مي تواند شامل اطلاعات مربوط به پيكر بندي از نظر معماري و از نظر سازه اي و همچنين اطلاعات مربوط به اعضاي سازه اي و غير سازه اي كه احتمالاً در هنگام رخداد زلزله بر روي نيروها وتغيير مكان هاي اعضاي سازه اي اثر گذارند ، باشد.در اين قسمت بايد اطلاعات مربوط به خواص مهندسي مصالح به كار رفته و نحوة استقرار اعضاي سازه اي و اتصال آنها به يكديگر نيز تعيين شود.

۲-۱-۱-۲- تعيين مشخصات ساختگاه

يكي ديگر از اجزاي مربوط به گام هاي عمومي در فرآيند مقاوم سازي و بهسازي لرزه اي مشخص كردن وضعيت ساختگاه از نظر شرايط زير سطحي و سطحي است كه مشتمل بر نوع خاك و طبقه بندي آن است . در اين مرحله وضعيت شالوده نيز بايد در پي بررسي هاي ميداني و انجام آزمايش هاي لازم مشخص گردد.

۲-۱-۱-۳- بررسي وضعيت ساختمان هاي مجاور

دراين قسمت اثر برخورد ساختمان هاي مجاوربه « ساختمان هدف »و احتمال بروز آسيب يا خسارت درهنگام رخداد زلزله بايد مورد بررسي قرارگيرد. در چنين شرايطي لازم است تا آسيب يا خسارت محتمل در هنگام رخداد زلزله پيش بيني و تخمين زده شود. به عنوان مثال ، سقوط اجزاي سست مانند قطعات نما و يااحتمال انفجار ، آتش سوزي ، نشت مواد آلاينده ، از جمله اطلاعاتي است كه بايد براي اتخاذ تصميم نهايي گرد آوري شود.

۲-۱-۱-٤- تعيين سطوح عملكرد موردانتظار

براي تعيين سطح عملكرد مورد انتظار براي ساختمان هدف ، لازم است ، مهندس مسئول طرح بهسازي با همكاري كارفرما ، به دلايلي كه درقسمت هاي قبلي مشخص كرده است ، يكي از سطوح عملكرد را ، تحت خطر زلزله معين

انتخاب نمايد . لازم به ذكر است كه سطوح عملكرد ، شامل چهار سطح اصلي و دو سطح مياني است.

سطوح عملكرد اصلي عبارتند از :

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

سطوح عملكرد مياني عبارتند از :

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

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

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

هدف از يك سطح عملكردمي تواند مشتمل بر سطوح مختلفي از آسيب براي سطوح مختلفي از حركت زمين باشد . كه در اين صورت به نام هدف دوگانه يا چندگانه تعبير مي شود . سطح عملكرد بيانگر شرايط حدي مربوط به ميزان و نحوه خسارت وارده بر سازه است كه براي يك ساختمان معين و تحت اثر يك زلزله معين قابل قبولي تلقي مي شود . اين شرايط تا حدي بوسيله خرابي هاي فيزيكي درخود سازه ، خطرجاني براي ساكنين ساختمان و ميزان قابليت سرويس دهي سازه پس از وقوع زلزله توصيف مي گردد. سطوح عملكردي براي سيستم سازه اي و غير سازه اي به طور جداگانه تقسيم مي شود .

سطح عملكرد هدف به دو دسته تقسيم مي گردد.

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

هر يك از اين دوسطح مي تواند مستقل از يكديگر و يا با تركيب هر دو سطح ، عملكرد كلي ساختمان را به دست دهد .سطوح و محدوده هاي عملكرد سازه اي با يك عنوان و يك عدد معرفي مي شوند . عدد مذكور را « عدد عملكرد 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 مستقيما 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 د رسيستم طبقه بندي و شماره گذاري هستند كه به صاحب ساختمان اجازه مي دهد كه بتواند به دلخواه عملكرد ساختمان را در اين محدوده انتخاب كند . ذيلا تعريف و توضيح وضعيت خرابي در سطوح مختلف عملكرد ارائه مي شود .

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

أ. استفاده بي وقفه يا اشغال فوري Sp – 1 (Immediate Occupancy)
در اين سطح از عملكرد ، ساختمان داراي عناصر اساسي افقي و قائم كه در برابر زلزله مقاوم باشند (سيستم هاي لرزه بر) بوده و كليه خواص و شاخصه ها ي قبل از زلزله و ظرفيت لرزه اي خود را حفظ مي نمايند . اين سطح عملكرد بر روي منحني ظرفيت در شكل ٦ با محدوده A تا B مشخص شده است .

ب. كنترل خسارت يا خرابي محدود ، Sp – 2 (Damage Control)
اين سطح از عملكرد ، بيان عملكردي است كه بين دو سطح عملكرد يااستفاده بي وقفه و ايمني جاني قرار مي گيرد . اين سطح عملكرد بر روي منحني ظرفيت در شكل ٦ با محدوده B تا G مشخص شده است .
در اين حالت در اثر وقوع زلزله خرابي هاي محدودي ايجاد مي گردد ، به گونه اي كه با انجام مرمت بخشهاي آسيب ديده ، ادامه بهره برداري ميسر مي باشد. اين حالت د رحقيقت 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 سكونت 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 غالبا براي مشخص كردن حالات بين سطوح عملكرد " استفاده بي وقفه " و " ايمني جاني " بكار مي رود و عملكرد قابل انتظار از اكثر ساختمانهاي جديد براي زلزله اي با ١٥ درصد احتمال در ٥٠ سال دربر مي گيرد.

ج. ايمني جاني Sp –3 (Life Safety)

در اين حالت بر اثر وقوع زلزله در سازه خرابي ايجاد مي شود ولي ميزان خرابي درحدي كه منجر به خسارت جاني شود نيست . اين سطح عملكرد معرف وضعيتي از خرابي پس اززلزله است كه در آن خسارت قابل توجهي به سازه اعمال شده ولي هنوز حاشيه اطمينان تا سقوط كل يا بخشي از سازه وجود دارد. سطح خرابي از آنچه كه براي سطح عملكرد " آستانه فرو ريزش " در نظر گرفته مي شود كمتر است. اعضاي اصلي و بزرگ سازه اي از جاي خود بيرون نزده و نيفتاده اند و خطر جاني درداخل يا خارج ساختمان وجود ندارد. گرچه د رخلال زلزله صدمه ديدگي و جراحت ممكن است اتفاق بيفتد ولي احتمال صدمه جدي منجر به مرگ ناشي از خرابي سازه اي بسيار كم است . اين سطح از عملكرد ، فاصله قابل توجهي با فرو ريزش كامل يا جزئي دارد و بر روي منحني ظرفيت در شكل ٦ در اطراف نقطه G مشخص شده است.

د. **ايمني جاني محدود ، Sp – 4 (Limited Life Safety)**

در اين سطح عملكرد ، خسارت ها يا آسيب ها به ميزاني است كه ما بين دو حد ايمني جاني و پايداري سازه اي واقع مي شود. در اين حالت بر اثر وقوع زلزله در سازه خرابي ايجاد مي شود ولي ميزان خرابي در حدي است كه خسارت جاني حداقل شود. اين حالت نيز در واقع يك سطح عملكرد نيست بلكه يك محدوده اي از وضعيت خرابي پس از زلزله است كه شرايطي بدتر از سطح عملكرد " ايمني جاني " و بهتر از سطح عملكرد " آستانه فرو ريزش " دارد و معرف موقعيتي د رطبقه بندي سطوح عملكرداست كه شرايطي بهتر از سطح آستانه فروريزش دارد .اين شرايط ، حالتهايي را شامل مي شود كه تامين سطح ايمني جاني به طور كامل ، مقرون به صرفه نيست. سطح عملكرد غيرسازه اي كه در اين محدوده به كار مي رود متغير است و به هدف كنترل بستگي دارد و محدوده G تا I را بر بروي منحني ظرفيت كه درشكل ٦ آمده مشخص مي كند.

ه. آستانه فروريزش با پايداري سازه اي ،
(Structural Stability or Near Collapse) Sp – 5

در اين حالت بر اثر وقوع زلزله خرابي گسترده اي در سازه ايجاد مي شود ولي ساختمان فرو نمي ريزد و تلفات جاني حداقل مي باشد. اين سطح عملكرد، حد نهايي وضعيت خرابي پس از زلزله است كه درآن كل يا بخشي ازسيستم سازه اي ساختمان در شرف فرو ريختن مي باشد. خسارتهاي اساسي به سازه وارد شده و شامل كاهش شديد سختي و مقاومت درسيستم باربر جانبي است . ولي در عين حال تمام اجزاي اصلي سيستم باربر قائم همچنان قادر به ادامه باربري هستند. اگر چه ساختمان پايداري كل خود راحفظ مي كند ولي احتما ل صدمه ديدگي ناشي از سقوط اعضاي سازه اي هم در داخل ساختمان و هم در خارج آن به شدت وجود دارد و احتمال سقوط ساختمان در صورت وقوع پس زلزله زياد

است. بايد توجه شود كه قبل ازاسكان مجدد د رساختمان حتما تعميرات سازه اي اساسي انجام شود. در اين وضعيت براي ساختمان هاي بتني قديم بسيار محتمل است كه خسارت ايجاد شده به هيچ وجه از نظر اقتصادي و فني قابل جبران و تعمير نباشد . در اين سطح عملكرد خطر سقوط اجزا وجود دارد و به همين دليل سطح عملكرد غير سازه اي Np – E (غير قابل قبول) معمولا با اين سطح عملكرد سازه اي تركيب مي شود.

و. سطح عملكرد لحاظ نشده ، Sp – 6 (Not Considered)

اين حالت يك سطح عملكرد نيست بلكه موقعيتي را درطبقه بندي سطوح عملكرد نشان مي دهد كه تنها ارزيابي سيستم غير سازه اي را در بر مي گيرد . لازم به توضيح است كه بهسازي لرزه اي براي اجزاي غير سازه اي بدون درنظر گرفتن سازه معمول نيست ، ولي در مواردي كه آسيب پذيري زيادي محتمل است، مثل اتاق كامپيوتر و يا دستگاه هاي مهم و حساس ، مي توان وجود سطح عملكرد سازه اي " غير قابل قبول " را در طبقه بندي سطوح عملكرد ساختمان ابزار مناسبي براي ارتباط طراح و مالك ساختمان تلقي نمود. به طور خلاصه در اين سطح از عملكرد فقط عناصر غير سازه اي براي تقويت يا بهسازي در نظر گرفته مي شوند.

۲-۱-۲-۲- سطوح عملكرد غير سازه اي

سطوح عملكرد غير سازه اي به طور مخفف به شكل Np – n نمايش داده مي شود. سطوح عملكرد غير سازه اي كه عبارتند از " خدمات رساني بي وقفه "، "قابليت استفاده بي وقفه " ، " ايمني جاني " و " ايمني جاني محدود " وضعيتهاي خرابي مستقلي هستند كه مي توانند مستقيما در امر ارزيابي و بهسازي به منظور تعيين معيارهاي فني به كار برده شوند . ديگر عملكرد غير سازه اي يعني " غير قابل قبول " صرفا براي تكميل طبقه بندي در نظر گرفته شده و به كارفرما امكان انتخاب بيشتري براي تعريف عملكرد مورد نياز مي دهد .

ز. قابليت خدمات رساني ، Np – A (Operational)

در اين حالت اجزاي غير سازه اي بر اثر زلزله دچار خرابي بسيار جزئي مي شوند، به گونه اي كه خدمت رساني ساختمان به طور پيوسته فراهم است. اين سطح بيانگر وضعيتي از خرابي پس از زلزله است كه در آن اجزا و سيستم هاي غير سازه اي عموما در جاي خود هستند و بدون خرابي قادر به انجام وظايفشان مي باشند .گرچه مقدار كمي به هم ريختگي و نياز به تعمير كردن قابل انتظار است ولي تمام وسايل و ماشين آلات بايد در حال كار پابرجا بمانند. وسايل كمكي كه ممكن است به علت خرابي هاي قابل توجه در خارج ازساختمان در دسترس نباشد، بايد تامين شود و تمهيدات لازم براي مواجه با مشكلات احتمالي در زمينه حمل و نقل، ارتباط با خارج ساختمان و در دسترس بودن مايحتاج بايد در نظر گرفته شود.

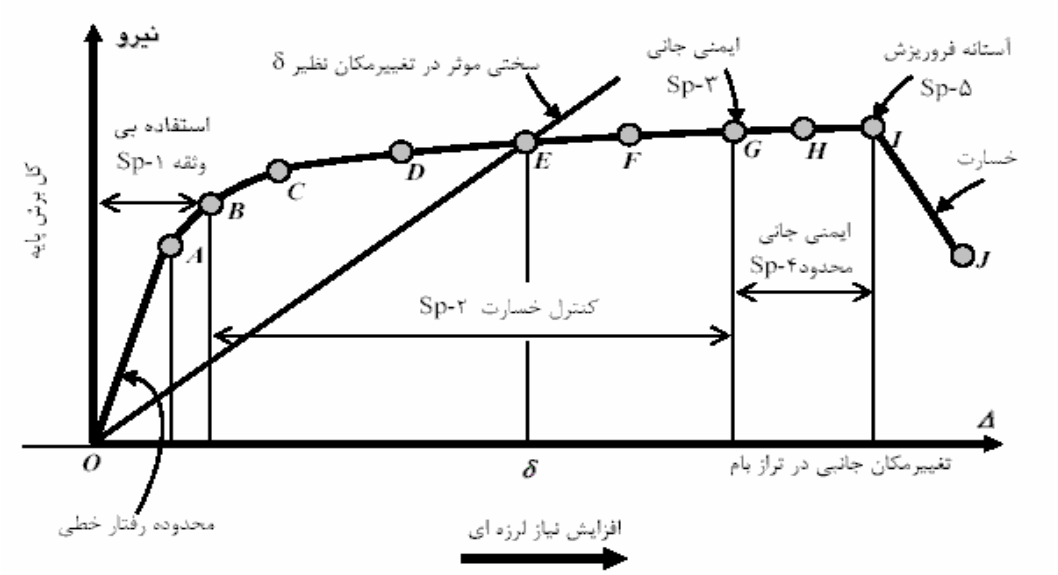
ح. بهره برداري بي وقفه، Np – B (Immediate Occupancy Level)
وضعيتي از خرابي پس از زلزله است كه درآن عموما اجزا و سيستم هاي غير سازه اي در جاي خود باقي مي مانند مقدار كمي به هم ريختگي و نياز به تعمير كردن به خصوص به علت خرابي يا جا به جا شدن محتويات آنها ، محتمل است. با وجود اينكه ماشين آلات و وسايل عموما بسته شده و مهار شده هستند ولي قابليت كارايي آنها پس از زلزله هاي شديد چندان مورد اطمينان نيست و ممكن است دراستفاده 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، Np- C (Life Safety)
در اين وضعيت پس از وقوع زلزله ممكن است خرابي هاي اساسي در سيستمها و اجزاي غير سازه اي اتفاق بيفتد ولي نبايد شامل سقوط و فرو ريختن وسايل سنگين كه باعث بروز مصدوميت هاي شديد چه در داخل ساختمان و چه در خارج آن مي شود باشد. خطرات ناشي از شكستن لوله ها و نگهدارنده هاي مواد سمي و يا لوله هاي مربوط به سيستم جلوگيري از آتش سوزي نبايد وجود داشته باشد. سيستمهاي غير سازه اي ممكن است در وضعيتي باشند كه بدون تعمير و يا جا به جا كردن قابل استفاده نباشد. با وجود اينكه بروز صدمه ديدگي در خلال زلزله ممكن است اتفاق بيفتد ولي خطر صدمه ديدگي شديد و خطر جاني به علت خرابي اجزاي غير سازه اي بسيار كم است.

ي . كاهش خطر ، Np – D (Reduced Hazard)
در اين وضعيت ، آسيب هاي جدي به عناصر غير سازه اي ، وارد مي شود ، ولي نبايد عناصر سنگين و بزرگ دچار آسيب شده باشند كه دراثر آن ساكنين صدمه ببينند.

ك . لحاظ نشده (منظور نشده) ، Np – E (Not Considered)
اين حالت يك سطح عملكرد نيست بلكه معرف حالت عامي است كه اجزاي غير سازه اي مورد ارزيابي و بررسي قرار نمي گيرد مگر آنكه اثر مستقيمي بر رفتار سازه داشته باشند ، مثل ديوارهاي پركننده بامصالحبنايي و ساير جداگرهاي سنگين . اين موقعيت در طبقه بندي براي توصيف دقيق سطح عملكرد ساختمان در حالت " آستانه فرو ريزش " كه در آن اجزاي غير سازه اي در نظر گرفته نمي شود.، بايد در نظر گرفته شود . اين سطح براي اينكه با سطح عملكرد سازه اي Sp –4 تركيب 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 ريسك است كه درتركيب با ساير سطوح عملكرد بالا مورد استفاده قرار

مي گيرد . در نظر گرفتن سطح عملكرد Np – E در طبقه بندي وسيله مناسبي براي ارتباط طراح و مالك ساختمان مي باشد.



شكل ٦- منحنی ظرفيت در حالت كلی

۲-۱-۲-۳- سطوح عملكرد ساختمان

براي بدست آوردن سطح عملكرد ساختمان لازم است ، تركيبي بين سطح عملكرد عناصر سازه اي و غير سازه اي به وجود آيد. در جدول ٥ اين تركيب براي سطوح عملكرد مختلف آورده شده است. به طور خلاصه سطوح عملكرد ساختمان را مي توان به صورت زير دسته بندي كرد .

الف ـ سطح عملكرد بهره برداري(خدمت رساني) (Operational)
(1 – A) يا (SPNP –A –1)

از تركيب دو سطح عملكرد بهره برداري بي وقفه اعضاي سازه اي و عملكرد قابليت استفاده بي وقفه اعضاي غير سازه اي سطح عملكرد بهره برداري بي وقفه براي ساختمان به دست مي آيد. در اين سطح از عملكرد ، آسيب وارده به ساختمان چندان اندك است كه زندگي عادي در آن ادامه خواهد داشت و براي

تعمير قسمت هاي آسيب ديده هيچگونه مزاحمتي براي ساكنين به وجود نخواهد آمد. همچنين خسارت هاي وارده به عناصر غير سازه اي نيز اندك است به نحوي كه مشكلي براي ساكنين به وجود نمي آورد . و از همه مهمتر سرويس هاي موقت و با اهميت كه از بيرون ساختمان تامين مي گردند (مانند خطوط تلفن و حمل و نقل ، ورود ، پاركينگ ها و ...) امكان پذير مي باشد.

ب- سطح عملكرد بهره برداري بي وقفه (Immediate Occupancy)
(B –1) يا (1 – B – SPNP)
اين سطح عملكرد مرادف با حالتي است كه فضاهاي داخلي ساختمان و آمد وشد در آن عادي خواهد بود و اغلب سرويس هاي پابرجا مي باشد ولي تداوم اين سرويس ها به صورت عادي مقدور نيست و ممكن است برخي از آنها خسارت ديده باشند .

ج - سطح عملكرد ايمني جاني(Life Safety) (3 – SPNPC) يا (3 – C)
سطح عملكرد ايمني جاني به شرايطي اطلاق مي شود كه پيش بيني خرابي اعضاي سازه اي و غيرسازه اي، مانند افتادن بخش هايي از قسمتهاي غير سازه اي ساختمان، به صورت خطر جدي ساكنين را تهديد نكند . معمولاً اين سطح از عملكرد پايين تر از سطح عملكرد آيين نامه هاي طراحي لرزه اي جديد است.

د - سطح عملكرد در آستانه فرو ريزش (Structural Salability)
(E-5) يا (5 – SPNPE)
در اين سطح عملكرد عناصر سازه اي در حالي تحمل بارهاي قائم (ثقلي) را دارند كه بارهاي جانبي ناشي از زلزله تحمل نمي شود. در اين حالت براي پس لرزه هاي احتمالي ، از نظر مقاومت محدوده رزرو وجود ندارد و عناصر غير سازه اي ممكن است فرو ريزند و حتي خسارت ها و آسيب هاي سازه اي نيز محتمل است.

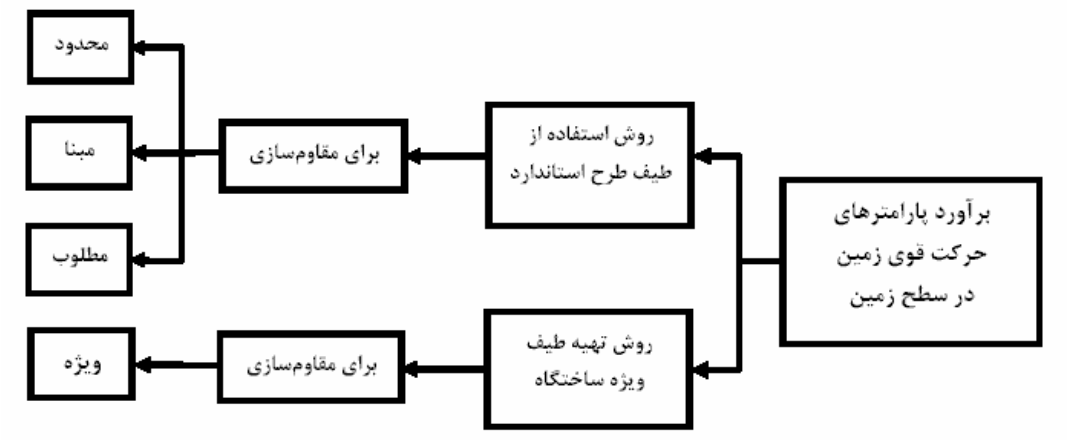
جدول ۱- ترکیب سطوح عملکرد اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای تعیین سطوح عملکرد ساختمان

سطوح عملکرد اعضای غیر سازه‌ای	سطوح عملکرد ساختمان					
	Sp-۱ قابلیت استفاده بی وقفه	Sp-۲ کنترل خسارت (خرابی محدود)	Sp-۳ ایمنی جانی	Sp-٤ ایمنی جانی محدود	Sp-٥ آستانه فروریزش	Sp-٦ لحاظ نشده
NP-A قابلیت خدمت رسانی بی وقفه	خدمت رسانی بی وقفه A-۱	A-۲	NR A-۳	NR A-۴	NR A-۵	NR A-۶
NP-B قابلیت استفاده بی وقفه	B-۱	B-۲	B-۳	NR B-۴	NR B-۵	NR B-۶
NP-C ایمنی جانی	C-۱	C-۲	ایمنی جانی C-۳	C-۴	C-۵	C-۶
NP-D ایمنی جانی محدود	NR D-۱	D-۲	D-۳	D-۴	D-۵	D-۶
NP-E لحاظ نشده	NR E-۱	NR E-۲	E-۳	E-۴	NR E-۵	NR E-۶

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

۲-۱-۲-٤-تحلیل خطر زلزله و تهیه طیف طراحي

براي هر گونه طرح بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي لازم است عوامل مربوط به حرکت قوي زمين را درسطح زمين براي سطوح خطر مختلف برآورد کرد. روشهاي اين برآورد به صور شماتيکي بدين صورت است:



سطوح مختلف خطر زلزله که ناشي از نوع حرکت زمين است به صورت هاي زير تعريف مي شود:

- **سطح خطر ـ ۱ مرادف با زلزله سطح طراحي**

(Design Base Earthquake or Design Earthquake) DBE or DE

این سطح خطر بر مبناي سطحي از لرزش هاي زمين است كه احتمال وقوع زلزله اي بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۱۰ درصد مي باشد، بازگشت زلزله سطح طراحي ٤٧٥ سا ل مي باشد . اين سطح خطر مرادف با سطح زلزله استاندارد ۲۸۰۰ است .

- **سطح خطر ـ ۲ مرادف با بيشينه زلزله محتمل**
- **(Maximum Probable Earthquake) MPE**

اين سطح خطر بر اساس ۲ درصد احتمال رويداد در ۵۰ سال تعريف مي شود كه دوره بازگشت متوسط آن ۲٤۷۵ سال است .

- **سطح خطر انتخابي**

اين سطح خطر براي موارد خاص و با ملاحضات ويژه مناسب مي باشد و در واقع مي تواند معرف زلزله اي با هر احتمال رويداد در ۵۰ سال باشد.

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

زلزله سطح بهره برداري ، زلزله خفيف يا متوسطي است متناظر با سطحي از لرزشهاي زمين كه بر مبناي تئوري احتمالات ، احتمال وقوع زلزله اي بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۵۰ درصد است . دوره بازگشت متوسط زلزله سطح بهره برداري حدود ۷۲ سال مي باشد كه تقريبا آن را ۷۵ سال معرفي مي كنند . اين سطح زلزله عموما در حدود نصف زلزله سطح طراحي است . زلزله سطح بهره برداري كه در مدت ۵۰ سال احتمال وقوع آن بيش از ۹۹/۵ درصد مي باشد . به عبارت ديگر اين زلزله در طول عمر ساختمان اتفاق مي افتد.

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

زلزله سطح حداكثر به عنوان حداكثر سطح زلزله اي كه از يك منطقه با شرايط زمين شناسي معين انتظار مي رود تعريف مي شود. به صورت احتمالاتي زلزله سطح حداكثر بيانگر سطحي از لرزش هاي زمين است كه احتمال وقوع زلزله بزرگتر از آن در ۵۰ سال برابر ۵۰ درصد مي باشد.

- **طيف طرح**

پس از آنكه زلزله مورد نظر به منظور تعيين هدف عملكردي انتخاب شد ، بايد مشخصات آن به نحو مناسبي بيان گردد. نحوه بيان و استفاده از مشخصات زلزله مورد نظر به روشي كه براي طراحي بر اساس عملكرد به كار گرفته مي شود بستگي دارد. معمولا بيان مشخصات زلزله به دو صورت انجام مي گيرد، يكي با

استفاده از طيف پاسخ زلزله مورد نظر و ديگري با استفاده از شتاب نگاشت و به شكل تاريخچه زماني. براي بيان مشخصات زلزله مورد نظر با استفاده از طيف پاسخ ، مي توان از طيف پاسخ استاندارد ذكر شده در آئين نامه ها استفاده كرد و يا اينكه طيف ويژه ساختگاه را تهيه و استفاده كرد .

- **طيف طرح استاندارد**

طيف طرح استاندارد به دو عامل مهم بستگي دارد . يكي شتاب مبناي(A) و ديگري ضريب بازتاب ساختمان (B). شتاب مبناي طرح را با استفاده از نقشه هاي پهنه بندي لرزه اي كه در آنها ميزان بيشينه شتاب زمين براي دوره هاي مختلف بازگشت آورده شده است به دست مي آورند. ميزان شتاب مرادف با سطح خطر – ١ در نقشه پهنه بندي شتاب با دوره بازگشت ٤٧٥ سال (١٠% احتمال وقوع در ٥٠ سال) تعيين مي گردد. طيف طرح مرادف با سطح خطر-١ با ميرايي ٥ % در استاندارد ٢٨٠٠ ايران براي ٤ نوع زمين به عنوان طيف استاندارد ارائه شده است.

- **طيف طرح ويژه ساختگاه**

طيف طرح ويژه ساختگاه كه بر مبناي تحليل خطر ويژه مورد استفاده قرار مي گيرد به چند عامل بستگي دارد. اين چند عامل عبارتند از :
شرايط ساختگاه – بزرگاي زلزله – فاصله گسل تا ساختگاه – نوع خاك و رابطه كاهندگي مربوط و روش برآورد سطح خطر.
براي تحليل خطر ويژه ساختگاه بايد گسل هاي فعال در اطراف ساختگاه و تا شعاع ١٠٠ كيلومتري تعيين گردد. پارامترهاي لرزه خيزي را بايد بر اساس بانكهاي اطلاعاتي زلزله و پيشينه لرزه خيزي منطقه تعيين كرد . با توجه به شرايط ساختگاه از نظر ژئو تكنيكي ، لرزه زمين ساختي و زلزله شناختي ، بايد رابطه كاهندگي مناسبي را به دست آورد.

- **سطوح مقاوم سازي**

با توجه به سطوح عملكرد مورد انتظار ، روش و سطح مقاوم سازي متفاوت خواهد شد . سطوح مقاوم سازي به ٤ دسته زير تفكيك مي شوند.

١- بهسازي و مقاوم سازي محدود:

در اين سطح از بهسازي و مقاوم سازي پايين ترين سطح عملكرد در نظر گرفته مي شود ، به نحوي كه ساختمان مقاوم شده تحت اثر زلزله اي كه خفيف تر از زلزله سطح خطر – ١ باشد ايمني جاني ساكنين تامين گردد.

٢- بهسازي و مقاوم سازي مبنا :

در اين حالت انتظار مي رود كه ساختمان مقاوم سازي شده تحت اثر زلزله سطح خطر – ١ ايمني جاني ساكنين را تامين كند.

٣- بهسازي و مقاوم سازي مطلوب:
در اين سطح بهسازي و مقاوم سازي ، انتظار مي رود كه :
اولاً – هدف بهسازي مبنا تامين گردد.
ثانياً – ساختمان مقاوم شده تحت اثر زلزله سطح خطر – ٢ فرو نريزد.

٤- بهسازي و مقاوم سازي ويژه :
در اين سطح بايد ساختمان مقاوم شده از عملكرد بهتري نسبت به سطح بهسازي مطلوب داشته باشد. به عبارت ديگر ساختمان مقاوم شده بايد عملكرد بالاتري نسبت به سطح مطلوب در مقابل اثرات زلزله سطح خطر- ٢ داشته باشد.

٢-١-٣- مباني و روش هاي تحليلي

روش هاي تحليلي كه براي تعيين نيروهاي داخلي وتغيير شكل هاي اعضاي سازه در اثر نيروهاي ناشي از زلزله سطح خطر به كار مي روند عبارتند از:

١. روش استاتيكي خطي
٢. روش ديناميكي خطي
٣. روش استاتيكي غيرخطي
٤. روش ديناميكي غير خطي

همانطور كه ملاحظه مي شود اين چهار روش در واقع در دو گروه روش هاي خطي و غيرخطي قرار مي گيرند كه كاربرد هر يك از اين گروه ها داراي محدوده معيني است . كه در اين قسمت هاي بعد به صورت مختصر به آنها اشاره مي شود.

٢-٢- گام هاي ويژه

منظور از گامهاي ويژه ، اقداماتي است كه بايد براي سازه هاي مختلف از نظر نوع يا مصالح آنها به كار برده شود. در اين قسمت گام هاي ويژه مربوط به ساختمان هاي داراي اسكلت بتني تشريح مي شود.

٢-٢-١- مشخصات مصالح و اجزاي موجود :

لازم است ظرفيت اعضاي سازه اي و اتصالات آنها براي استفاده درتحليل مشخص شود . براي اينكار بايد اطلاعات زير از ساختمان موجود يا از طريق اسناد و مدارك فني (در صورت موجود بودن) به دست آيد ، و يا با انجام آزمايش هاي ضروري تعيين گردد . اطلاعات در دو دسته زير طبقه بندي مي شود :

۱- مشخصات مصالح به كار رفته

۲- مشخصات اعضاي سازه اي

۱- مشخصات مصالح به كار رفته :

براي مصالح به كار رفته و هرنوع ميلگرد مصرفي يا قطعه فولادي كه دراعضاي سازه اي اتصالات تعبيه شده ، بايد مقدار تنش تسليم و مقاومت نهايي تعيين شود. چنانچه لازم باشد از طريق آزمايش اين كميت ها تعيين گردند ، در آن صورت با به دست آوردن منحني هاي تنش – كرنش ، مي توان اطلاعات ديگري از رفتار مصالح به دست آورد.اطلاعات به دست آمده از اسناد و مدارك فني از قبيل دفترچه محاسبات يا نقشه هاي اجرايي را مشخصات كرانه پايين تلقي كرده و براي اينكه آنها به سطح مورد انتظار تبديل گردند ، بايد به نحو صحيحي افزايش داده شوند . براي اين كار از ضريب تبديل استفاده مي شود كه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ – ضرايب تبديل مشخصات مصالح از كرانه پايين به سطح مورد انتظار

مشخصات مصالح	ضريب تبديل
مقاومت فشاري بتن	۱/۵
تنش كششي وتسليم ميلگرد	۱/۲۵
تنش تسليم ساير مصالح فولادي (مثل ميل مهارها و غيره)	۱/ ۵۰

۲- مشخصات اعضاي سازه اي :

براي كليه اعضاي سازه اي بايد اطلاعات زير بررسي و مشخص شود . لازم به يادآوري است كه تطبيق اين اطلاعات با شرايط واقعي كه در عمل اجرا شده است در تعيين مشخصات اصلي ساختمان بسيار موثر است .

الف – ابعاد مقطع اعضاء و پيكر بندي كلي ساختمان

ب – مشخصات اتصالات (ميل مهارها ، مهاربندها ، سخت كننده ها و...)
ج – برآورد آسيب وشدت آن در شرايط موجود
د – بررسي شرايط محيطي آسيب رسان

۲-۲-۲- روش هاي آزمايش براي تعيين مشخصات مكانيكي مصالح :

براي مدل سازي رفتار غير خطي اعضاي سازه اي و سنجش معيار پذيرش پاسخ ها ، بايد كرانه پايين مشخصات مصالح و هم چنين مشخصات مورد انتظار مصالح معلوم باشند . كرانه پايين براي عناصر و پارامترهايي كه پاسخ آن توسط نيرو كنترل مي شوند ومشخصات مورد انتظار براي پاسخ هايي كه توسط تغيير مكان كنترل مي شوند به كار مي روند .براي تعيين مشخصات مكانيكي مصالح به دو روش مي توان آزمايش ها را انجام داد كه اين روش ها به شرايط ساختمان، هدف بهسازي و سطح عملكرد بستگي دارد.

۱- روش آزمايش هاي مخرب
۲- روش آزمايش هاي غير مخرب

➢ آزمايش هاي مخرب :

براي نمونه برداري بايد مقاطعي انتخاب شود كه به لحاظ شرايط بارها ي ثقلي و تخمين شرايط بارهاي ناشي از زلزله، تحت كمترين تنش ها قرار مي گيرند. اين نمونه ها بعداً در آزمايشگاه تحت آزمايش هاي استاندارد تعيين مشخصات مي شوند. تعداد نمونه ها بايد به نحوي باشد كه بتوان با ميانگين گيري نتايج آنها كرانه پايين را به عنوان ، مشخصات مصالح تعيين كرد.

{ كرانه پايين مشخصات مصالح } = (ميانگين مشخصات نمونه ها) – (انحراف معيار)

آزمايش هاي مخرب كه منطبق بر استانداردهاي شناخته شده هستند عبارتند از :

➢ مغزه گيري (Core Test) :

آزمايش مغزه گيري بايد بعد از تعيين و تخمين محل استقرار ميلگردها به نحوي انجام شود كه در عمليات مغزه گيري آسيبي به ميلگردها وارد نشود. براي تخمين محل ميلگردها از دستگاه ميلگرديابِ (Scanning) استفاده مي شود . پس از مغزه گيري بايد محل مغزه توسط بتن يا ملاتي كه خواص مكانيكي آنها حداقل در حد مشخصات بتن موجود باشد ، پر وترميم گردد. در آزمايش كندن كه آسيب جدي به سازه وارد نمي كند ، ترميم سطحي آن كافي است. اين آزمايش ها براي

تكميل كردن اطلاعات انجام مي شود. مقاومت به دست آمده از مغزه گيري بايد كاليبره شده و به روش قابل قبولي به مقاومت فشاري بتن تبديل گردد.
از جمله استانداردهاي مغزه گيري مي توان به استاندارد ASTM C42M-99 مراجعه نمود . روش انجام آزمايش نيز بر طبق استانداردهاي زير قابل انجام است:

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

آزمايش هاي غير مخرب :

از جمله آزمايش هاي غير مخرب كه مي تواند درتعيين مشخصات مكانيكي بتن به كار رود مي توان به آزمايش هاي فرا صوت (اولترا سونيك) بر طبق استاندارد ASTM C597 و روش مقاومت نفوذ ASTM C803 و روش سختي سطحي يا برگشت ASTM C805 اشاره نمود. آزمايش هاي غير مخرب نبايد به طور كامل جايگزين آزمايش هاي مخرب شوند ولي مي توانند به صورت مستدل جايگزين برخي از آزمايش هاي مخرب شوند كه عملاً انجام آنها غير ممكن است. لازم به ذكر است كه نتايج آزمايش هاي غير مخرب چندان با مقاومت واقعي بتن همخواني ندارد و از اين رو بايد به نحو مناسبي آنها را كاليبره كرد.
براي تعيين مشخصات مكانيكي ميلگردهاي مصرفي بايد به دفترچه محاسبات و نقشه هاي اجرايي مراجعه كرد كه درصورت در اختيار بودن آنها مي توان به عنوان كرانه پايين تلقي كرد و با استفاده از جدول ١ مشخصات مصالح مورد انتظار را به دست آورد .
روش آزمايش براي تعيين نقش جاري شدن كششي و مقاومت نهايي ميلگردها را مي توان دراستانداردهاي معتبر و از آن جمله ASTM A370 –97a استفاده كرد . چنانچه از ميلگردهاي موجود در سازه ساختمان براي آزمايش استفاده شود لازم است براي مرمت از ميلگردهاي جايگزين وصله هايي كه موجب پيوستگي ميلگردهاي مقطع موردنظر شود ، استفاده كرد تا خللي در مقاومت مقطع سازه ايجاد نگردد. اگر در ساختمان از ميلگردهاي بدون آج استفاده شده باشد ، بايد مقدارآنها را در برآورد مقاومت نصف درنظر گرفت . براي تعيين تعداد نمونه هاي مورد نياز آزمايش ها مي توان به جدول ٣ مراجعه نمود .
تعيين حداقل نمونه هاي موردنياز ، بستگي به نوع برنامه اي كه در آن برنامه قرار است مشخصات مكانيكي مصالح تعيين گردد دارد . مثلاً اگر قرار است در يك برنامه متعارف و معمول ، اين مشخصات تعيين شود ، تعداد نمونه ها با نمونه هايي كه در يك برنامه جامع و كامل لازم است متفاوت خواهد بود . پس اگر برنامه گردآوري اطلاعات در حد متعارف باشد تعداد كمتر است ولي براي يك برنامه جامع تعداد بيشتري خواهد بود كه جدول ٣ آن را مشخص كرده است.

حداقل تعداد آزمايش درحالت كلي به عواملي مانند موارد زير بستگي دارد :

١. سن ساختمان
٢. ابعاد ساختمان
٣. امكان دسترسي به اعضاي سازه
٤. وجود فرسايش و گستردگي آن دراعضا
٥. دقت مورد نياز
٦. هزينه انجام آزمايش ها
٧. ميزان اطلاعات معتبر

جدول ۳- تعداد نمونه‌های لازم برای تعیین مشخصات مکانیکی مصالح

شرایط مورد بررسی		نتایج آزمایش	حداقل تعداد نمونه
مقاومت طراحی	مشخص است	مشخص است	۳نمونه برای هرطبقه، هر ۲۰۰ متر مکعب بتن یا هر ۷۰۰متر مربع سطح سازه هرکدام تعداد بیشتری ایجاب کند. درصورت تطبیق نتایج سه آزمایش اول با نتایج قبلی تعداد به تقلیل یابد، ولی برای کل ساختمان حداقل ٦ نمونه لازم است.
	مشخص است	موجود نیست	۳نمونه برای هرطبقه، هر ۲۰۰ مترمکعب بتن یا هر ۷۰۰مترمربع سطح سازه هرکدام تعداد بیشتری ایجاب کند درصورت تطبیق نتایج سه آزمایش اول با قبلی تطبیق داشت تعداد به تقلیل یابد ولی در کل برای ساختمان حداقل ٦ نمونه
	مشخص نیست	موجود نیست	٦ نمونه برای هرطبقه، و در هر ۲۰۰ متر مکعب بتن یا هر ۷۰۰متر مربع سطح سازه هرکدام تعداد بیشتری ایجاب کند. درصورت تطبیق نتایج سه آزمایش اول با قبلی تعداد به تقلیل یابد. در هر حال برای رده‌های مختلف بتن هر رده ٦ نمونه لازم است.
درصورت استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب برای تیرها- دال‌ها		موجود نیست	به ازای هر کاهش در تعداد مغزه‌گیری، ٥ 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 نقشه‌هاس اجرایی موجود است		موجود نیست	حداقل ۳ نمونه به‌صورت 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 ۳ نمونه به‌صورت تصادفی برای هر عضو سازه‌ای به ازای هر سه طبقه از ساختمان
اگر مشخصات میلگردها در تمام ساختمان یکسان نباشد		موجود نیست	حداقل ٦ نمونه به‌صورت تصادفی برای هر عضو سازه‌ای به ازای هر سه طبقه از ساختمان

۲-۳- ارزیابي وضعیت موجود :

وضعیت موجود ساختماني که قرار است بهسازي و مقاوم سازي شود باید قبل از هرگونه تحلیل و تعیین شرایط لازم براي تامین سطح عملکرد مورد انتظار به خوبي بررسي و شناخته شود. بدین منظور لازم است کلیه اعضا و قطعاتي که در

مقاومت در برابر بارهاي جانبي مشاركت دارند ارزيابي گردند. اين ارزيابي شامل ٤ قسمت است كه عبارتند از:

١. ارزيابي وضعيت قطعات و اتصالات براي مواردي مانند نقاطي كه داراي ضعف هايي از قبيل وارفتگي ، خزش ، ترك خوردگي ، افتادگي ها ، خوردگي ها ، كاستي هاي اجرايي مي باشند.

٢. بررسي و ارزيابي پيكربندي ، شكل هندسي قطعات ، اتصالات ، وجود يا عدم وجود پيوستگي در مسيرهاي انتقال بارهاي ثقلي و جانبي ، تراز بودن و نحو، استقرار اعضاي سازه اي .

٣. وجود هر گونه شرايط ديگري كه بر علمكرد ساختمان موجود مانند ديوارهاي مشترك با ساختمان هاي مجاور ، تغييرات انجام شده در اعضاي غير سازه اي ، تغيير كاربري و وجود برخي موانع در تحقق عمليات مقاوم سازي.

٤. فراهم آوردن شرايط لازم براي استفاده از ضريب آگاهي ، كه هر چه ارزيابي وضعيت موجود كاملتر انجام شود ، بيشتر خواهد بود و به طور كلي متناسب با هدف انتخاب شده براي بهسازي و مقاوم سازي تعيين مي گردد.

اگر هدف بهسازي دستيابي به سطح مطلوب يا سطح پايين باشد و اطلاعات در حداقل ممكن يا در حد متعارف باشد ، ضريب آگاهي به ترتيب برابر ٠/٧٥ يا ١/٠ خواهد بود. همچنين اگر هدف بهسازي دستيابي به سطح ويژه عملكردي باشد ، و اطلاعات ساختمان در حد متعارف باشد ، ضريب آگاهي ٠/٧٥ و اگر درحد جامع باشد برابر با ١/٠ خواهد بود.
در صورتي كه براي عضوهايي نتوان مشخصات مصالح را معلوم كرد ، يا ضريب تغييرات مشخصات مكانيكي بيش از ٢٥% باشد يا درخلال ارزيابي خسارت و زوال يافتگي به نحوي باشد كه انجام آزمايش هاي اضافي ضروري تشخيص داده شود ، بايد ضريب آگاهي را ٠/٧٥ اختيار كرد.

٣ـ مدل سازي :

براي مدل سازي ساختمان هاي بتني لازم است ارزيابي نياز و ظرفيت لرزه اي اعضاي بتن مسلح در مقاطعي از آنها انجام گيرد كه ويژگي هاي زير را دارا باشند:

١. رفتار عضو (پاسخ آن) در مقابل بارهاي ثقلي و جانبي بيشتر باشد.
٢. شكل مقطع تغيير مي كند (به نحوي كه سختي تغيير مي كند)

٣. تعداد ميلگردها تغيير مي كند به نحوي كه مقاومت كاهش مي يابد.
٤. تغييرات ناگهاني در مقدارميلگردها كه موجب تمركز تنش يا گسيختگي زودرس شود.

در مدل سازي بايد ويژگي هاي سازه اي اعضا موردبررسي و ارزيابي قرار گيرد. از مهمترين آنها مي توان به موارد زير اشاره كرد :

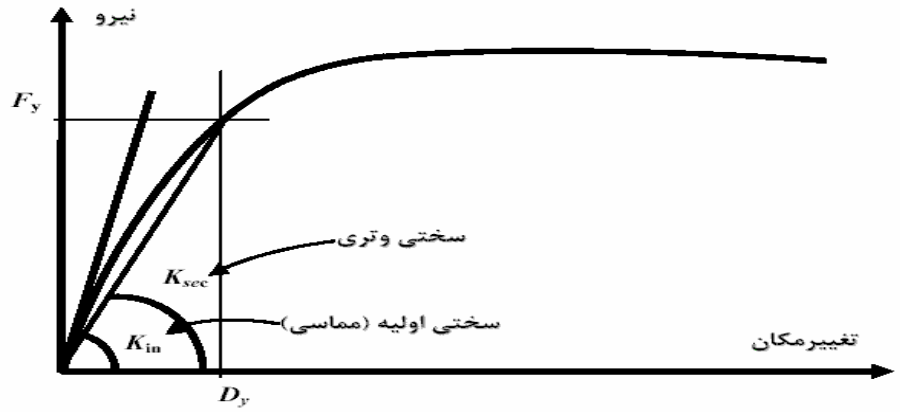
١. سختي
٢. مقاومت
٣. برش و پيچش
٤. طول گيرايي و وصله هاي ميلگردها
٥. اتصال ها

٣-١- سختي :

سختي اعضاي سازه اي را بايد به يكي از دو روش خطي و غير خطي تعيين كرد. سختي را بايد با توجه به اثرات سختي محوري ، برشي و خمشي اعضا در نظر گرفت. ميزان تغيير شكل ناشي از بارهاي ثقلي و جانبي درسختي اعضا اثر مستقيم دارد كه لازم است دربرآورد سختي مورد توجه قرار گيرد.

٣-١-١- روش خطي :

در روش خطي ، سختي موثر عضو در منحني نيرو – تغيير مكان عبارت است از: خطي كه مبدا را به نقطه تسليم وصل مي كند. اگر نتوان مقدار سختي را تعيين كرد، مي توان از مقادير داده شده در جدول ٤ استفاده نمود.



شکل ١– منحنی رفتاری و سختی اولیه و سختی وتری

جدول ۴- مقادیر تقریبی سختی مؤثر در روش خطی

عضو سازه ای		سختی محوری	سختی برشی	سختی خمشی
تیر بتن مسلح		–	$E_c A_w$	$E_c I_g$
تیر پیش تنیده		–	$E_c A_w$	$E_c I_g$
ستون با بار محوری فشاری ناشی از بارثقلی طراحی بزرگتر از	$A_g f_c$	$E_c A_g$	$E_c A_w$	$E_c I_g$
ستون با بار محوری کششی یا بار محوری فشاری کمتر از	$A_g f_c$	$E_s A_s$	$E_c A_w$	$E_c I_g$
دیوار بدون ترک		$E_c A_g$	$E_c A_w$	$E_c I_g$
دیوار با ترک		$E_c A_g$	$E_c A_w$	$E_c I_g$
دال تخت بتن مسلح		–	$E_c A_g$	$E_c I_g$
دال تخت پیش تنیده		–	$E_c A_g$	$E_c I_g$

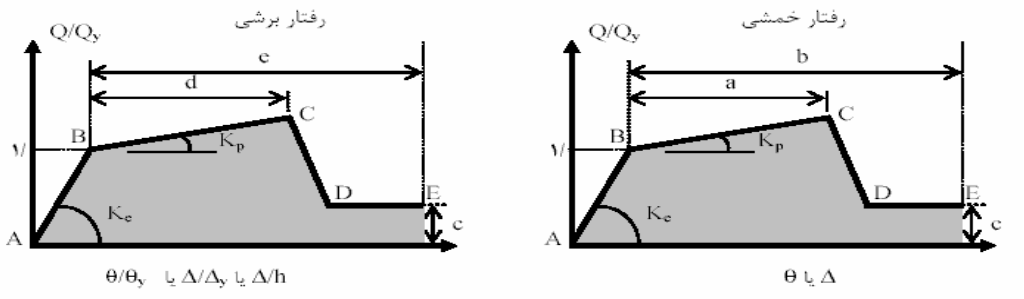
چنانچه بار محوري ستون ها بين دو مقدار ارائه شده باشد بايد از درون يابي خطي استفاده كرد.

۳-۱-۲- روش غير خطي :

در روش غير خطي منحني نيرو – تغيير مكان به صورت غير خطي وبر پايه نتايج آزمايش تعيين مي شود. براي سرعت بخشيدن به تحليل منحني نيرو – تغيير مكان را ايده آل سازي مي كنند . درهر صورت مي توان با توجه به روش تحليل از منحني هاي ايده آل شده پيشنهادي استفاده نمود.

۳-۱-۲-۱ سختي براي روش تحليل استاتيكي غير خطي :

سختي مورد نياز را مي توان بر طبق شكل ۲ كه رابطه كلي نيرو – تغيير مكان را نشان مي دهد استفاده كرد . يا اينكه منحني هاي ديگري كه رفتار عضو را تحت افزايش يكنواي تغيير شكل به دست مي دهد ، به كاربرد.



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

مقادير عددي a , b , c , d متناسب با شرايط عملكردي و نوع رفتار عضو تعيين مي گردد كه دردستورالعمل بهسازي لرزه اي داده شده است .

۳-۱-۲-۲- محدوده كاربرد روش هاي خطي :

براي كاربرد روش هاي خطي لازم است شرايطي متناظر با رفتار خطي براي كل ساختمان حاكم باشد . از اين رو دو حالت روش استاتيكي خطي و روش ديناميكي خطي را به طور جداگانه در نظر مي گيريم . اگر شرايط هفت گانه زير برقرار باشد مي توان از روش استاتيكي خطي استفاده كرد .

۱. زمان تناوب اصلي ساختمان كوچكتر از T0 ۲/۵ باشد . (T0 = زمان تناوب مشترك بين دو ناحيه شتاب ثابت و سرعت ثابت در طيف بازتاب طرح و مقدار آن بر اساس بند ۲-٤-۳ استاندارد ۲۸۰۰ به دست مي آيد .)

۲. تغيير در ابعاد پلان در طبقات متوالي به استثناء خرپشته كمتر از ٤۰ درصد باشد.

۳. حداكثر تغيير مكان جانبي در هر طبقه و درهرراستا كمتر از ۱/۵ برابر تغيير مكان متوسط آن طبقه باشد.

٤. اختلاف بين تغيير مكان متوسط جانبي در هر طبقه ، به استثناي خر پشته ، كمتر از ۵۰ درصد با طبقه بالا يا پايين باشد.

۵. سازه داراي سيستم باربر جانبي متعامد باشد.

٦. نسبت نيرو به ظرفيت (DCR) در تمام اعضاي باربر جانبي كوچكتر از ۲ باشد .

۷. نسبت نیرو به ظرفیت در تعدادي از اعضاي اصلي باربر جانبي بیش از ۲ باشد ، اما هر سه شرط اضافي زیر برقرار باشد :

۱) انقطاع در سیستم باربر جانبي چه در ارتفاع ، چه در پلان وجود نداشته باشد.
۲) متوسط نسبت نیروي برشي به ظرفیت برشي اعضا در هر طبقه بیش از ۲۵ درصد با متوسط نیروي برشي به ظرفیت برشي یك طبقه بالاتر یا پایین تر اختلاف نداشته باشد.
۳) نسبت نیروي برشي به ظرفیت برشي ناشي ازپیچش سازه ، و یك عضو از طبقه بیش از ۵۰ درصد با عضو دیگر در نقطه مقابل آن نسبت به مرکز پیچش اختلاف نداشته باشد .

چنانچه یکي از دو شرط بندهاي ٦ یا ۷ فوق محقق شود ، مي توان از روش دینامیکي خطي استفاده کرد .
لازم به ذکر است که براي تعیین DCR ، ابتدا باید نیروي اعمالي در اعضا را که برابر با حاصل جمع نیروهاي ناشي از بارهاي ثقلي و زلزله است ، به دست آورد ، سپس ظرفیت اعضا را بر اساس مقاومت نهایي اجزاي آنها محاسبه مي شود . نسبت این دو مقدار برابر DCR خواهد بود .

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

هم چنین براي بدست آوردن متوسط نسبت نیروي برشي مي توان از نسبت وزني 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 نیروي برشي در عضو i از طبقه مورد نظر و DCR_i نسبت نیروي برشي به ظرفیت برشي عضو i بوده و n تعداد کل طبقات را مشخص مي کند .

۳-۱-۲-۳- محدوده کاربرد روش هاي غير خطي :

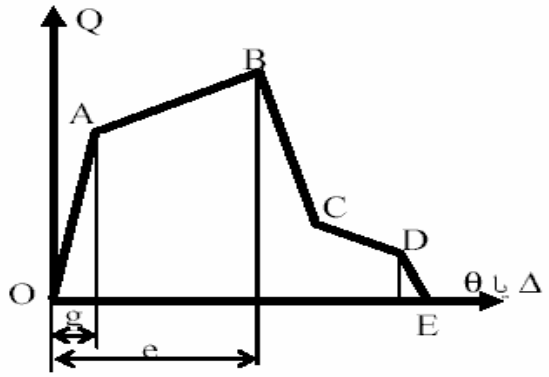
چنانچه لازم باشد که از روش ها ي غير خطي استفاده شود، بايد نيروهاي داخلي اعضا را بر مبناي رفتار غير خطي آنها به دست آورد. براي اين کار بايد توجه داشت که اگر برش حاصل از تحليل ديناميکي خطي در طبقه اي (با درنظر گرفتن ۹۰ درصد جرم موثر) ۳۰ درصد بيشتر از برش حاصل از مورد اول باشد ، بايد از روش استاتيکي غير خطي بهمراه روش ديناميکي خطي استفاده کرد. در اين حالت لازم است معيار پذيرش براي هر دو روش کنترل شود . با اين تفاوت که براي پذيرش اعضايي که به روش تغيير مکان کنترل مي شوند ، در تحليل ديناميکي خطي مي توان ۳۰ درصد تخفيف قايل شد . لازم به ذکر است که نتايج حاصل از تحليل ديناميکي غير خطي بايد توسط يك گروه متخصص و با تجربه در اين زمينه کنترل شود .
براي آشنايي با معيارهاي پذيرش لازم است به دستورالعمل بهسازي لرزه اي مراجعه شود.

۳-۱-۳- کنترل رفتار اعضاي سازه اي :

رفتار اعضاي سازه اي که متناسب با نوع تلاش آنها ومنحني رفتاري (نيرو – تغيير شکل) بيان مي شود به دو صورت مورد ارزيابي قرار مي گيرد که عبارتند از :

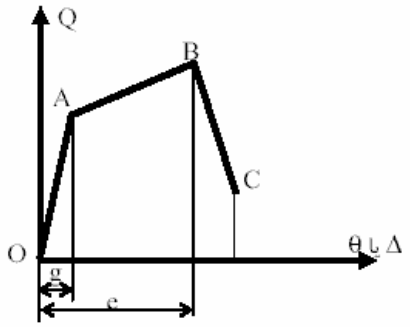
۱. کنترل رفتار با تغيير شکل
۲. کنترل رفتاربا نيرو

چنانچه منحني رفتاري عضو سازه اي مانند شکل ۳ باشد رفتار آن را شکل پذير مي گويند. در اين شکل ناحيه ارتجاعي از OA ، و از AB ناحيه غير ارتجاعي با سخت کرنشي است . از B تا C رفتار عضو داراي کاهش شديد مقاومت است و از C تا D ضمن کاهش در مقاومت رفتاري نرم و شکل پذير درقلمرو غير ارتجاعي دارد و در نهايت از D تا E مرحله فروريزي خواهد بود.

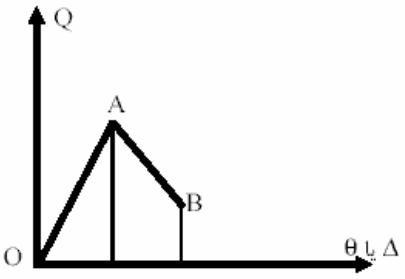


شکل ۳– منحنی رفتار عضوهای شکل‌پذیر

براي عضوهاي اصلي چنانچه نسبت $e/g >$ باشد مي گويند رفتار عضو توسط تغيير شكل قابل كنترل است يا اصطلاحاً كنترل شونده توسط تغيير شكل مي گويند . ولي براي اعضاي غير اصلي هر نسبتي كه براي e/g در نظر گرفته شود، رفتارش توسط تغيير شكل قابل كنترل است .
در شكل ٤ منحني رفتاري عضوهاي شكل پذير نشان داده شده است . اين منحني چنانكه مشخص است داراي سه قسمت است . قسمت OA كه رفتار ارتجاعي خطي و قسمت AB رفتار غير ارتجاعي يا خميري با سخت كرنشي است و در نهايت قسمت BC ناحيه رفتار زوال مقاومت يا تغيير شكل بسيار اندك است .



شکل ٤– منحنی رفتار عضوهای نیمه شکل‌پذیر



شکل ٥– منحنی رفتار عضوهای ترد و شکننده

براي اينكه رفتار اعضاي اصلي يا غيراصلي را بتوان توسط تغيير شكل كنترل كرد لازم است نسبت $e/g \geq$ باشد . در غير اين صورت رفتار توسط نيرو كنترل مي شود. اما اگر منحني رفتاري مطابق شكل ٥ داراي دو قسمت OA و AB

باشد بدان مفهوم است كه اين رفتار ترد و شكننده خواهد بود . در اين حالت رفتار عضوهاي اصلي و غيراصلي را مي توان با نيرو كنترل نمود كه اصطلاحاً كنترل شونده توسط نيرو مي گويند .

۳-۲- مقاومت :

مقاومت اعضا بر مبناي اينكه رفتار آنها تحت چه كميتي قابل كنترل است تعيين مي شود . در هر صورت مقاومت و تغيير شكل اعضاي بتن مسلح بايد بر مبناي مقادير به دست آمده از بارگذاري زلزله شامل حداقل سه چرخه كامل رفت و برگشتي تا سطح تغيير مكان طراحي باشد .

۳-۲-۱- مقاومت اعضا در شرايطي كه رفتار توسط تغييرشكل كنترل مي شود :

در اين حالت مقاومت اعضاء همان مقاومت مورد انتظار است كه برابر مقاومت هاي آزمايشگاهي يا مقاومت هاي به دست آمده از روش هاي محاسباتي بر اساس اصول متداول مقاومت مصالح مي باشد. ارزيابي مقاومت بر مبناي تنش تسليم محتمل خواهد بود و همان روش هاي مندرج در آيين نامه بتن ايران (آبا) براي محاسبه مقاومت هاي نهايي طراحي استفاده مي گردد . تنها تفاوت در اين است كه ضرايب جزئي ايمني براي بتن و فولاد برابر يك فرض مي شود .علاوه بر اين براي مقاومت مشخصه فولاد به دليل مقاومت افزون و سخت كرنشي به ميزان ۲۵ درصد نسبت به مقاومت تسليم ، اضافه مقاومت در نظر گرفته مي شود.

۳-۲-۲- مقاومت اعضا در شرايطي كه رفتار توسط نيرو كنترل مي شود:

در اين حالت براي تعيين ظرفيت مقاومت و تغيير شكل اعضا بايد شرايط كرانه پايين را براي مقاومت در نظر گرفت زيرا رفتار يا به صورت نيمه شكل پذير است و يا به صورت ترد و شكننده ، لذا لازم است به صورت محافظه كارانه ، از كرانه پايين مقاومت مصالح استفاده كرد كه شرح آن درقسمت مصالح

گذشت.در اين وضعيت نيز ضرايب جزئي ايمني بتن و فولاد برابر يك در نظر گرفته مي شود.

۳-۳- طبقه بندي نياز شكل پذيري براي اعضاي سازه اي :

ميزان نياز شكل پذيري هر عضو سازه اي براي رفتار خطي و رفتار غيرخطي بايد به نحو قابل قبولي محدود و طبقه بندي شود. اين طبقه بندي بر اساس نوع رفتار شكل پذير عضوهاي سازه اي كه عبارتند از :شكل پذيري كم ، متوسط و زياد مشخص مي شود . بنابراين نياز شكل پذيري مي تواند در سه دسته كم ، متوسط و زياد طبقه بندي گردد. چنانچه از روش تحليل (استاتيكي يا ديناميكي) استفاده شود، طبقه بندي نياز شكل پذيري بر پايه بيشترين مقدار نسبت نياز به ظرفيت (DCR) كه قبلا به آن اشاره شد صورت مي گيرد . و اگر از روشهاي غير خطي (استاتيكي يا ديناميكي) استفاده شود ، طبقه بندي نياز شكل پذيري بر طبق جدول ٥ خواهد بود.

جدول ٥ – طبقه بندي نياز شكل پذيري اعضاي سازه اي

نياز شكل پذيري	حداكثر مقدار (DCR) يا شكل پذيري تغيير مكاني
كم	كوچكتر از ۲
متوسط	بين ۲ تا ٤
زياد	بزرگتر از ٤

٤- سيستم هاي سازه اي :

سيستم هاي سازه اي مورد بحث بهسازي و مقاوم سازي لرزه اي تفاوتي با سيستم هاي مورد استفاده در طراحي لرزه اي ندارد. اين سيستم ها به ٤ دسته كلي تقسيم مي شوند :

٤-۱- قابهاي خمشي بتن مسلح :

الف – قابهاي خمشي تير – ستوني
ب – قابهاي خمشي تير – ستوني پيش تنيده

ج – قابهاي خمشي دال – ستوني

٤-٢- قابهاي بتني پيش ساخته

الف – قابهاي بتني پيش ساخته معادل قابهاي خمشي درجا
ب – قابهاي بتني پيش ساخته با گره هاي خشك
ج – قابهاي بتني پيش ساخته اي كه مستقيما دربرابر بار جانبي مقاوم نيستند.

٤-٣- قابهاي بتني با ميانقاب

الف – ميانقاب هاي متصل به قاب
ب – ميانقاب هاي منفصل از قاب
ج – ميانقاب هاي مصالح بنايي
د – ميانقاب هاي بتني

٤-٤- قاب هاي بتني مهاربندي شده
٤-٥- ديوارهاي برشي بتني
٤-٦- ديوارهاي برشي بتني پيش ساخته
٤-٧- ديافراگم هاي بتني در جا
٤-٨- ديافراگم هاي بتني پيش ساخته
٤-٩- شالوده هاي بتني

الف – شالوده هاي سطحي
ب – شالوده منفرد
ج – شالوده هاي نواري
د – شالوده هاي مركب
ه – شالوده هاي گسترده مركب

قابهاي خمشي بتن مسلح تير – ستوني

د – قاب هاي خمشي تير – ستوني پيش تنيده
ه – قابهاي خمشي دال – ستوني

ارزيابي آسيب پذيري لرزه اي ساختمانهاي موجود (پس از ترميم و بهسازي)

علي بخشي، استاديار دانشكده مهندسي عمران دانشگاه صنعتي شريف
محمدرضا تابش پور، دانشجوي دكتري دانشكده مهندس عمران، دانشگاه صنعتي شريف
آرش بهار، عضو هيئت علمي دانشكده فني ، دانشگاه گيلان

چكيده:

سازه هاي بسياري درمناطق زلزله خيز جهان واقع شده اند كه نياز به تقويت و بهسازي جهت اصلاح رفتار سازه اي در برابر زلزله هاي شديد دارند. در ميان اين سازه ها، عملكرد پلهاي اصلي درون شهري و شاهراه هاي ارتباطي بين شهري و ساختمان هاي مهم وحياتي مانند مراكز امداد ، بيمارستان ها ، ساختمان هاي دولتي حساس (مراكز تصميم گيري)، نيروگاه ها، پالايشگاه ها و غيره كه نقش كليدي در كنترل بحران ناشي از وقوع زلزله دارند. از اهميت خاصي برخوردار خواهد بود. مطالعات آسيب پذيري ساختمانهاي موجود كه بر اساس دانش و تجربه دوره هاي مختلف طراحان بنا شده اند، نشانگر درصد بالاي پذيرش خطر و ضرورت اقدام جدي در راستاي شناخت عميق تر اين معضل و در نتيجه ارائه راهكار عملي از ديدگاه اجرايي و اقتصادي مي باشند . به عنوان مثال ارزيابي نتايج تحليل آسيب پذيري يك ساختمان هشت طبقه كه در قسمت اول اين تحقيق ارائه شد نشان دهنده اين واقعيت آشكار است كه سطح آسيب پذيري در مناطقي كه نزديك به گسلهاي فعال لرزه زا هستند، بسيار بالاتر از حد خطر پذيري قابل قبول است. در اين مقاله ابتدا با مرور تجربيات روشهاي ترميم و تقويت در كشورهاي ژاپن وآمريكا روشهاي كارآمد براي سازه هاي بتني پيشنهاد شده است.

كليد واژه ها : آسيب پذيري لرزه اي، شاخص خرابي، طرح ترميم و بهسازي، روشهاي تقويت سازه هاي بتني .

۱- مقدمه :

ضوابط آئين نامه هاي طراحي سازه ها در دهه هاي اخير، روند رو به توسعه داشته است و نيز افزايش دانش فني و تجربه عملكرد لرزه اي سازه هاي موجود تحت زلزله هاي مختلف، نقش اساسي در رشد استانداردهاي طراحي ايفا نموده اند. وقوع دو زلزله مخرب سانفرناندو (۱۹۷۱) آمريكا و مياگي (۱۹۷۸) ژاپن، نقطه عطفي در ساختار تصميم گيري جامعه مهندسي دو كشور محسوب مي شود. به گونه اي كه از يك سو قوانين جامعي براي اعمال ضوابط طراحي لرزه اي 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، بيمارستانها . مراكز پليس و امداد و غيره ايجاد گرديد. البته يك روند مشابه در كشور چين، پس از وقوع زلزله مرگبار تانگشان (١٩٧٦) پايه ريزي شده است كه حاصل آن ، مقاوم سازي پل هاي متاطق با خطر پذيري بالا بوده است[١]. قبل از آغاز يك پروژه بهسازي لرزه اي، دو تصميم بنيادين بايد نهايي گردد. اول اينكه بر اساس نتايج ارزيابي لرزه اي دقيق، احتمال خطر پذيري و خرابي يك سازه مهم به حدي باشد كه راهكارتقويت، امري ضروري به حساب آيد. بلافاصله پس از تصميم اول به نفع بهسازي و تقويت، تصميم دوم اين خواهد بود كه چه حدي را بايد ملاك طراحي درتقويت اعضا ضعيف منظور نمود. البته در تعيين اين حد نبايد از انتظار حامعه كه خرابي يك سازه مهم تقويت شده را غير قابل قبول مي پندارد چشم پوشي كرده هر چند كه ممكن است آن سازه باتحليل و ارزيابي سود – هزينه ، حد افزايش مقاومت بر مبناي خطر پذيري متوسط يا فقط حفظ جان انسان ها ترميم شده باشد .

درخصوص سازه هاي حياتي توجيه منطقي اين است كه حد ماندگاري و سرويس دهي كامل پس از وقوع يك زلزله شديد ، معيار طراحي قرار گيرد[٢]. در مورد پارامترهاي مهم درتحليل خرابي سازه ها مطالعات زيادي صورت گرفته است[٣]. در اين تحقيق ، تكنيكهاي كاربردي 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 بررسي واقع شده است .

٢- روشهاي متداول تقويت در سازه هاي بتني:

در اغلب سازه هاي بتني، ستونها به دليل نا كارآمدي در شكل پذيري خمشي و ضعف مقاومت برشي يا خمشي در مقاطع بحراني كه عمدتاً ناشي از كمبود فولاد عرضي و يا همپوشاني فولاد طولي مي باشد ، آسيب پذيرترين اعضاء بوده اند . به همني دليل تكنيك هاي ترميم و تقويت ستونها و همچنين آزمايش نمونه هاي واقعي و مدلهاي مقياس شده از آنها ، توجه محققين را به خود معطوف داشته است [٧-٦ و ٢].

تكنيكهايي كه از نظر كاربردي و اجرايي مناسب ترين تشخيص داده شده اند شامل پوشش فولادي، ايجاد يكپارچگي با كابلهاي پيش تنيدگي، پوشش مواد مركب اعم از الياف شيشه اي و الياف كربن با چسب مخصوص و بهره گيري از تكنيكهاي لرزه اي همانند LRB[1] و FPS[2] مي باشند [٥]. در اين تحقيق مثال عددي براي سه روش يعني عايق لرزه اي ، پوشش فولادي و پوشش الياف كربن ارائه مي شود و نتايج مقايسه مي گردد.

٢-١- تكنيك عايق لرزه اي درمرمت سازه ها :

[1] - Lead Rubber Bearing

[2]- Friction Pendulum System

بكارگيري عايق زلزله در مناطقي كه خطر لرزه اي بالايي دارند، در چند سال اخير روند رو به رشد فزاينده اي را داشته است. عايق زلزله بعنوان يك روش مؤثر در بهسازي عملكرد سازه هاي حساس، دو مزيت كليدي را بهمراه دارد. اول اينكه نيازي به از كار انداختن كاربري سازه مانند تخليه ساختمان، مسدود كردن پل و غيره نخواهد بود.مزيت دوم مربوط به سرعت بالاي عمليات اجرايي اين تكنيك نوين مي باشد. شايان ذكر است كه يك تفاوت عمده بين عملكرد اين روش و ديگر روشهاي قيد شده مرمت وجود دارد و آن مربوط به اين واقعيت است كه با جداسازي لرزه اي يك سازه در پايه (محل اتصالات ستونهاي پايين ترين طبقه و پي)، تقريباً كل سازه به يك ميزان از افزايش ضريب ايمني بهره مند مي شود، در حالي كه در ساير روشها، اصلاح ضعفهاي موضعي هدف اصلي مي باشد تا بتوان عملكرد مناسب تري را در كل سازه مشاهده نمود [۵،۸].
با توجه به مشخصات هندسي و خواص مكانيكي اجزاء ساختمان و شرايط لرزه خيزي تهران، پارامترهاي طراحي زير پيشنهاد مي شوند:

- چهار عدد ايزولاتور جداساز از نوع LRB استوانه اي با قطر ۳۰ سانتيمتر و ارتفاع ۱۵ سانتيمتر براي هر قاب سه دهانه (زير هر ستون يك عايق)
- پريود مؤثر برابر ۲/۵ ثانيه براي كل سازه
- رفتار مكانيكي دو خطي با سختيهاي K و K/7 (در Q= 0.05W)
- بيشينه جابجايي نسبي عايق $D= 40\ ^{cm}$

با توجه به وزن طبقات در هر قاب برابر ۷۲ تن، مقادير سختي معادل (K_{equ}) و سختي اوليه (K) عايق لرزه اي از روابط زير قابل محاسبه مي باشند.

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

$$K_{equ} = K + {}^{Q}/_{D} \Rightarrow K = 300^{t}/_{m} \Rightarrow K_2 = {}^{K}/_{7} = 42.8^{t}/_{m}$$

۲-۲ تكنيك پوشش فولادي

اين تكنيك ابتدا براي ستونهاي دايروي مدون گرديد. دو نيم پوسته از ورقهاي نازك فولادي لوله شده با قطري حدود ۲۵ تا ۵۰ ميليمتر بزرگتر از قطر ستون، دور ناحيه اي كه هدف ترميم است قرار مي گيرد و با جوش طولي در دو طرف جداره استوانه اي، لوله حلقوي ستون را احاطه مي كند. فاصله بين روكش و ديواره ستون با تزريق دوغاب سيمان پر مي شود. غالباً پوشش فولادي در دو انتها، بايد فاصله اي حدود ۵۰ ميليمتر با لبه تير در بالا و پي در پايين (طبقه زيرين) داشته باشد تا از درگير شدن پوشش فولادي با اعضاء ديگر در جابجائيهاي بزرگ جلوگيري شود. اين كار براي پيشگيري از افزايش بيش از حد مقاومت خمشي در محلهاي مفاصل پلاستيك كه موجب افزايش نيروهاي برشي و خمشي در تيرهاي منتهي به اتصال و بر روي پي مي شود، نيز مي باشد. بايد

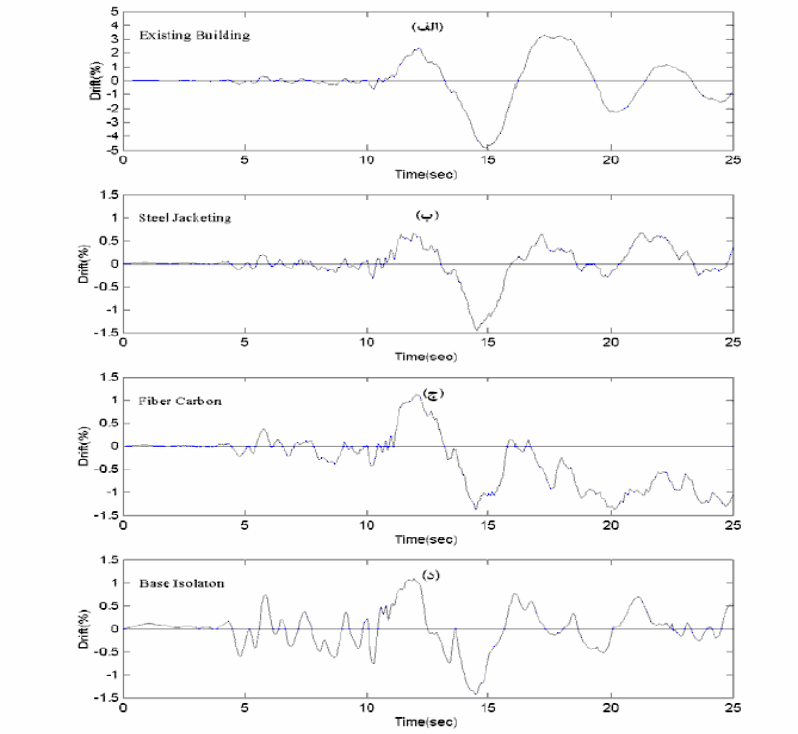
توجه داشت كه ميزان يكپارچگي كه پوشش فولادي ايجاد مي كند، بستگي به مقاومت حلقوي و سختي روكش فولادي دارد.
در ستونهاي مربعي و مستطيلي بعنوان يك روش عملي مؤثر، به ترتيب پوشش دايروي و بيضوي توصيه شده است. به نحوي كه فضاي بين پوسته روكش و ستون با بتن معمولي به جاي دو غاب سيمان، پر مي شود تا عمل محصور شدگي پيوسته و متناسب با تنش حلقوي كه ارتباط مستقيم با انحناء پوشش دارد، فراهم گردد.
همانطوريكه جدول (۲) از مقاله اول [۴] نشان مي دهد، سهم شاخص خرابي ستونهاي طبقات اول و دوم در تحليل ديناميكي غير خطي، حدود ۵۰ درصد مي باشد. همان جدول سهم خرابي تيرهاي طبقات اول و دوم را حدود ۲۳ درصد تخمين مي زند. با توجه به پيچيدگي دسترسي به تيرها، تقويت ستونها از نظر اقتصادي نيز در اولويت بالايي برخوردار خواهند بود. در نتيجه در اين تحقيق، ابتدا تقويت ستونهاي طبقات اول و دوم طراحي مي شوند تا اثر گسترش شاخص خرابي در ديگر اعضاء و كل سازه بررسي گردد.
براي مثال حاضر، مطابق با ضوابط طراحي ارائه شده توسط پريستلي[۲]، اگر تنش تسليم فولاد پوششي Kg/cm^2 ۲۸۰۰ باشد، ضخامت ورق پوشش ۴ ميليمتر بدست مي آيد. بديهي است كه قطر مقطع تقويت شده ۱/۴۱ برابر اندازه ضلع ستون مربعي اوليه مي باشد.

۲-۳- تكنيك پوشش الياف كربن

تحقيقات گسترده اي در خصوص بكارگيري مواد مركب شامل الياف كربن، الياف شيشه اي و كولار كه توسط چسب مخصوص به عضو مورد نظر بعنوان روكش ترميم و تقويت، انجام گرفته است. ژاپنيها پس از زلزله ۱۹۹۵ كوبه، بيشتر سازه هاي قابل ترميم را با اين تكنيك اصلاح و مرمت كرده اند. دو دليل اصلي، سرعت بالاي اجراي كار و صرفه اقتصادي، در بكارگيري اين روش نقش داشته اند. روشن است كه بدليل مقاومت و سختي بالاتر در الياف كربن نسبت به الياف شيشه اي منعطف، ضخامت پوشش نازكتري نياز مي باشد. نتايج تحقيقات آزمايشگاهي نشان مي دهد كه بهره گيري از اين تكنيك با هر دو مواد، براي ستونهاي دايروي بسيار مؤثر مي باشد. براي ستونهاي مستطيلي، هر قدر مقطع ستون به فرم بيضوي نزديكتر شود، مؤثرتر خواهد بود ولي اين تنها روشي است كه حتي بدون هيچ تغيير عمده در شكل مقطع نيز مقاومت و شكل پذيري ستونها را به حد مطلوب افزايش داده است. در اين تحقيق، از الياف كربن با خواص مكانيكي $E_j= 840\ t/cm^2$ و $f_{uj}= 10.5\ t/cm^2$ و $E_{uj}= 0.0125$ استفاده شده است كه ضخامتي حدود $tj= 5mm$ براي مثال مورد نظر بدست مي آيد.

۳- ارائه نتايج عددي

ساختمان بتني هشت طبقه كه در مقاله اول مورد مطالعه قرار گرفت، مطابق با جزئيات ذكر شده در تكنيكهاي تقويت، تحت اثر زلزله ۱۳۵۶ طبس (0.5g مقياس شده) تحليل ديناميكي غير خطي شده است.
در مدلسازي عددي و محاسبات تحليلي براي اعضاء ساختمان تقويت شده، در حالت استفاده از پوشش فولادي و يا الياف كربن، ابتدا لازم است منحني رفتار براي اعضاء تقويت شده استخراج گردد. بدين منظور مي توان از يك برنامه كامپيوتري جداگانه كه با استفاده از روش المانهاي اليافي (Fiber Elements) منحنيهاي خمش – انحناء را براي مقاطع بدست مي آورد، بهره جست و سپس رفتار مكانيكي بدست آمده را به برنامه IDARC معرفي نمود [۹]. اما در اين مطالعه، با توجه به خواص مصالح مورد استفاده در تقويت اعضاء ابتدا ممانهاي تسليم و نهايي محاسبه شده اند و سپس مقطع معادل بتن مسلح متناظر با خواص مشابه عضو مورد نظر تعيين گرديده اند. در تعيين مقاومت و غيره در نظر گرفته شده است. در نتيجه هر چند مقادير متناظر براي انحناهاي ترك و تسليم در مقايسه با نتايج روش المانهاي فيبري، اندكي تفاوت دارد، وليكن با توجه به ماهيت آماري داده ها و عدم قطعيت ذاتي براي پارامترهاي سازه اي نظير مقاومت بتن، فولاد و اعضاء مركب، اين خطاي محاسباتي قابل اغماض مي باشد. به منظور مدلسازي عددي جداساز LRB در برنامه IDARC دو گزينه انتخابي وجود دارد. در گزينه اول، با معرفي منحني رفتار (نيرو – تغيير مكان برشي) براي اعضاء جداساز و مستهلك كننده هاي آنها در برنامه، تحليل قابل انجام است. در گزينه دوم، جداسازها را بصورت ستونهاي كوتاهي كه داراي سختي خمشي قابل ملاحظه و سختي برشي اندك (محاسبه شده) مي باشند و برش تسليم يكسان با مقادير متناظر تعيين شده براي عايق لرزه اي دارند، معرفي مي شوند.
شكل (۱) پاسخ تاريخچه زماني جابجايي نسبي طبقات براي ساختمان مورد نظر را در چهار حالت (شرايط موجود، تقويت شده با پوشش فولادي، تقويت شده با الياف كربن و ترميم شده توسط عايق لرزه اي) نمايش مي دهد. همانطوريكه در اين شكل نشان داده شده است، بيشينه مقادير جابجايي نسبي براي سه حالت تقويت شده، حداقل به حد يك سوم مقدار متناظر خود در ساختمان موجود كاهش مي يابد كه نشانگر اصلاح رفتار ديناميكي در شرايط تقويت شده مي باشد.
در مقايسه نتايج سه حالت تقويت، بايد اين نكته را در نظر داشت كه جابجايي نسبي بحراني براي هر دو شرايط پوشش فولادي و الياف كربن كه فقط ستونهاي طبقات اول و دوم را شامل شده است، در طبقات فوقاني رخ داده است، در حاليكه براي حالت عايق لرزه اي، تقريباً پاسخ كليه طبقات يكسان شده است، چرا كه ساختمان جابجايي انتقالي صلب (Rigid-Body) داشته است و مودهاي ارتعاشي ديگر سهم بسيار اندكي در پاسخ ديناميكي داشته اند.

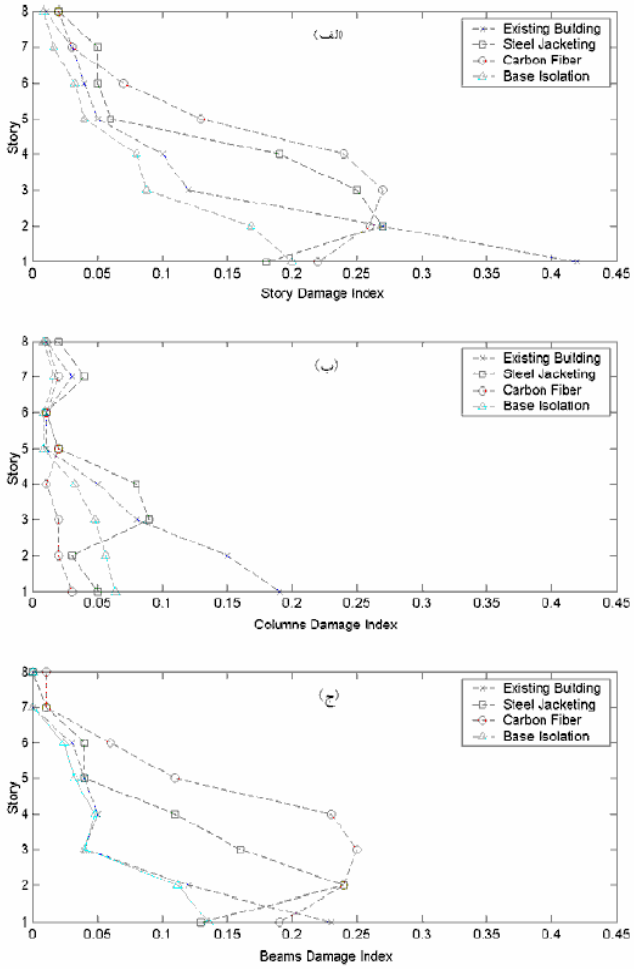


شکل ۱: *پاسخ تاریخچه زمانی جابجایی نسبی بحرانی طبقات برای شرایط موجود،تقویت با پوشش فولادی، تقویت با پوشش الیاف کربن و تقویت با عایق زلزله LRB*

نتايج عددي حاصل از تحليل ديناميكي غير خطي بيانگر اين واقعيت است كه شاخص خرابي كل سازه اوليه برابر ۰/۲۷ مي باشد. در حاليكه پس از انجام مراحل تقويت، شاخص خرابي كل ساختمان براي روشهاي پوشش فولادي، الياف كربن و عايق لرزه اي پايه، به ترتيب برابر ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۱۴ مي شود. در اينجا هدف اصلي مقايسه مقادير اين شاخص ها با يكديگر نيست، بلكه گسترش شاخص خرابي در اعضاء و طبقات مختلف از اهميت بالاتري برخوردار مي باشد. به همين منظور و براي روشن شدن اثر روشهاي مختلف تقويت، مقدار شاخص هاي خرابي طبقات، تيرها و ستونها، در شكل (۲) با يكديگر مقايسه شده اند. چنانكه در شكل (۲-الف) مشاهده مي شود، در هر دو روش پوشش فولادي و الياف كربن، انجام تقويت در ستونهاي طبقات اول و دوم، باعث كاهش قابل ملاحظه اي در شاخص خرابي اين طبقات است.

افزايش مقاومت و سختي طبقات زيرين، موجب مي شود تا طبقات بالاتر سهم بيشتري از نيروها را متناسب با ظرفيت خود دريافت نمايند، در نتيجه با انتظار اوليه كه شاخص هاي خرابي طبقات فوقاني (كه اتفاقاً تقويت نشده اند) نسبت به حالت بدون تقويت، افزايش يابند، سازگار باشد. در خصوص طبقه دوم يك تعادل نسبي بين شرايط فوق از يك طرف و افزايش ظرفيت ناشي از انجام تقويت ستونهاي اين طبقه از طرف ديگر، برقرار گردد و لذا تقريباً شاخص خرابي تغيير چنداني نداشته باشد. نكته قابل توجه اين است كه بهره گيري از روشهاي تقويت

پوشش فولادي و الياف كربن، موجب استفاده بهينه از ظرفيت مقاومتي موجود در ساير اعضاي سازه مي گردد. شكي نيست كه توزيع نسبتاً يكنواخت شاخص خرابي در طبقات مختلف به معني استفاده بهينه از ظرفيت نهايي سازه مي باشد. شايان ذكر است كه در خصوص تكنيك نوين عايق لرزه اي، گر چه شاخص خرابي كل ساختمان كاهش چشمگيري مي يابد، ولي از ظرفيتهاي موجود در اعضاء طبقات فوقاني، استفاده اي صورت نمي پذيرد و سهم عمده خرابي در خود ايزولاتورهاي جداساز متمركز مي شود. از ديدگاه قضاوت مهندسي مي توان چنين تفسير نمود كه روش عايق لرزه اي براي سازه هايي كه اغلب طبقات آنها داراي مقاومت و سختي كافي مي باشند، چندان مناسب نيست. در مقابل، اين روش در سازه هايي كه تمام طبقات آنها نقصان ظرفيت نسبتاً يكنواختي دارند، از ارجحيت انتخاب بالاتري برخوردار است.



شكل ۲: *مقايسه شاخص خرابي براي چهار حالت قيد شده و بصورت مجزا براي ستونها و تيرها*

از شكل (۲- ج) مي توان دريافت كه در روشهاي پوشش فولادي و الياف كربن، سهم شاخص خرابي تيرها بصورت قابل ملاحظه اي افزايش يافته است. يا به عبارت ديگر با انجام اين دو روش تقويت نه تنها شاخص خرابي كل كاهش يافته

است، بلكه مكانيزم خرابي نيز به نحوي اصلاح شده است كه عملكرد ستون قوي – تير ضعيف در سازه حاكم شده و احتمال فرو ريزش ساختمان به شدت كاهش مي يابد. نكته قابل توجه در ارزيابي آسيب پذيري سازه هاي موجود و فرآيند تقويت آن است كه بايد تحليل آماري با توزيع هاي مناسب بر روي خواص سازه اي، شرايط ساختگاه و همچنين تحريك ورودي انتخابي صورت پذيرد تا تصميم گيري نهايي بر مبناي حد احتمال مورد نظر، مثلاً ۵۰% ، ۸۴% و غيره اتخاذ گردد [۱۰].

۴- خلاصه و نتيجه گيري

مطالعات آسيب پذيري ساختمانهاي موجود كه بر اساس دانش و تجربه دوره هاي مختلف محققين و طراحان بنا شده اند، حاكي از درصد بالاي خطر پذيري است و لذا ضرورت اقدام عملي در راستاي كاهش خطر لرزه اي را آشكار مي سازد. در اين مقاله با مرور روشهاي كارآمد تقويت براي سازه هاي بتني، يك مثال عددي براي بهره گيري از پوشش فولادي، پوشش الياف كربن و عايق لرزه اي در يك ساختمان هشت طبقه ارائه گرديد. نتايج نشان دادند كه شاخص خرابي در سازه تقويت شده باهر سه روش، كاهش چشمگيري دارند. با بكارگيري پوشش فولادي و الياف كربن در ستونها نه تنها طبقه اول، سهم اجزاء در ضريب خرابي كل به صورت بهينه در اجزاء مختلف تقسيم گرديد و از شكست موضعي ستونهاي طبقات اول و دوم جلوگيري نمود، بلكه شاخص خرابي كل را نسبت به ساختمان موجود كاهش قابل ملاحظه اي نيز داد نتايج تحليل ديناميكي غير خطي براي حالت ترميم به روش عايق لرزه اي در پايه نشان داد كه اين روش براي ساختمانهاي با ضعف در كليه اجزاء بخصوص طبقات فوقاني و تيرها، مناسب ترند و با انتقال شاخص خرابي از سازه اصلي به اجزاء عايق در پايه، شاخص خرابي كل را بشدت كاهش مي دهند.

۵- مراجع

[۱] بخشي، ع.، "بهسازي، ترميم وتقويت شريانهاي حياتي موجود"، مجموعه مقالات دوره مهندسي 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 همايش ملي رفتار سازه ها تحت اثر زلزله، دانشگاه گيلان، خرداد ۱۳۸۱.
[۴] بخشي، ع.، و تابش پور، م.ر.، "بررسي آسيب پذيري لرزه اي ساختمانهاي موجود"، ششمين كنفرانس بين المللي مهندسي عمران، دانشگاه صنعتي اصفهان، اصفهان، ايران، ارديبهشت ۱۳۸۲ (آماده چاپ).

[5]Naeim, F., and Kelly, J. M., "*Design of Seismic Isolated Structures; From Theory to Practice*", John
Willey & 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 Bufallo, 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.

عملكرد لرزه اي

عملكرد ميان قاب ها مثل آجر بسيار حساس است. آزمايش ها و تجارب زلزله گذشته شاهدي بر آثار نامطلوب متقابل ديوارهاي آجري پر كننده و قاب هاي بتني است. ضربات متقابل ميان قاب ها و ستون بندي موجب تخريب ستون بتني مي شود و همچنين به علت شكل پذيري قاب، شكست برشي در آن رخ مي دهد. در زلزله منجيل، بعضي از ساختمان هاي بتني عملكرد مناسب وقابل قبولي نداشتند كه عمدتاً به دليل ضعف هاي بسيار زياد اجرايي بين سازه ها بوده است. در كل، رفتار اين گونه ساختمان ها در مقايسه با رفتار ساختمان هاي فلزي، ضعيف تر ارزيابي مي شود.

به طور كلي سازه هاي بتني نسبت به سازه هاي فولادي داراي نرمي كمتري هستند و عملكرد لرزه اي ضعيفتري در زلزله هاي مخرب از خود بروز داده اند. اما در كشورمان بدليل عدم رعايت ضوابط فني در طرح و اجراي ساختمانهاي اسكلت فولادي، عملكرد ساختمان هاي بتني غالباً بهتر بوده است.

نقاط ضعف ساختمان هاي بتني به شرح زير است:

۱- كمبود مقاومت برشي لازم در يك طبقه بدليل كمي ستونها و ديوارهاي برشي

۲- شكت ترد در تير يا ستون به علت غلبه حالت شكست برشي به خمشي

۳- شكست ترد(برشي) در ستونهايي كه طول آنها به طور ناخواسته توسط ناسازه هايي همچون ميانقاب و مانند آن كاهش يافته است.

۴- لغزش ميلگرد در اتصال تير به ستون

۵- شكست برشي در اتصال تيربه ستون

۶- شكست برشي در ديوار برشي

۷- پيچش ناشي از عدم تطابق مراكز جرم و سختي در طبقات

۸- تمركز تخريب در يك طبقه نرم

۹- جدا شدن نما از سازه به دليل عدم اتصال مناسب.

۱۰- خرد شدن اتصال تير به ستون در اثر ضربه حاصل از ميان قاب

۱۱- افزايش ناخواسته سختي در يك سمت ساختمان ناشي از وجود ميان قاب ها كه موجب ايجاد پيچش مي شود.

اصولاً ساختمان هاي بتني كه سيستم لرزه بر شان صرفاً قاب خمشي است در مقايسه با آنها كه از ديوار برشي بهره مي گيرند عملكرد ضعيف تري دارند. علت اين تمركز تخريب در اتصالات است و به دليل ضعف ذاتي اتصالات بتني، آسيب پذيري اين نوع سازه زياد است. به عكس، ساختمان هاي داراي ديوار برشي نرمي بيشترو كاهندگي كمتري دارند و از اين رو، عملكرد بسيار بهتري دارند.

ساختمان آجري:

دلايل اصلي عملكرد ضعيف اين گونه سازه ها از ترد بودن مصالح و كاهش مقاومت بر اثر تكرار شديد بار، وزن سنگيني بناي حاصله و در نتيجه برشي زياد، سختي زياد در مقابل امواج زمين لرزه اي با پريودهاي كوتاه و كيفيت ساخت ناشي مي شود. همچنين به علت وزن زياد ديوارها، امكان كمانش خارج از صفحه تحت اثر نيروهاي جانبي نيز وجود دارد. ترك هاي عميق در ديوارها، جدا شدن سقف از ديوارها، باز شدن تيرهاي طاق و ضربي و ريختن آجرهاي درون طاق ها را نيز مي توان از جمله خسارات ناشي از اين گونه بناها بر شمرد. اين ساختمان ها در برابر زلزله رفتاري فريبنده دارد و به محض اين كه بار زلزله از مقاومت آنها اندكي بيشتر شد به يكباره فرو مي ريزد. اما در مقابل، راه هايي براي مقاوم تر كردن اين گونه سازه ها وجود دارد. در آيين نامه نيز فصلي به ساختمان هاي با مصالح بنايي غير مسلح اختصاص دارد. بدون در نظر گرفتن اين ضوابط، اين نوع ساختمان ها بسيار آسيب پذير خواهند بود.

ضعيف ترين نوع ساختمان هاي فولادي در ايران، ساختمان هاي بي اسكلت و نيمه اسكلتند. در اين نوع سازه، بخشي از بار قائم توسط ستون فولادي و بخش ديگر توسط ديوارها و پايه هاي آجري تحمل مي شود و هيچ نوع سيستم لرزه بري هم وجود ندارد. اين نوع بنا تقريباً رايج ترين فرم ساختماني در كشور است

و متاسفانه ميزان پايداري لرزه اي بسيار كمي دارد. زيرا بر خلاف ستون هاي فولادي كه تا حدودي قادرند جابجايي افقي را بدون فرو ريختن تحمل كنند، پايه هاي آجري خيلي زود فرو ريخته و موجب ناپايداري كلي سازه مي گردند.

بايد دانست كه اگر چه يك ديوار آجري ممكن است مقاومت افقي بيشتري از يك ستون فولادي داشته باشد(بگذريم از اينكه ستون هاي فولادي كه در ساختمان هاي نيمه اسكلت به كارمي روند اصولاً فاقد مقاومت جاني اند) اما مقاومت معيار مناسبي براي تعيين درجه پايداري لرزه اي يك سازه نيست بلكه رفتار غلتكي است كه سازه را در برابر زلزله حفظ مي كند و از اين رو سازه اي با مقاومت افقي بسيار كم اگر بتواند جابجايي هاي افقي زيادي را در دوره هاي متوالي بار گذاري تحمل كرده و قدرت تحمل بارهاي قائم را از دست ندهد، خواهد توانست در برابر زلزله پايدارمانده و فرو نريزد. در واقع همين اصل مبناي كار روشهاي عايق لرزه اي است. برعكس ديوارهاي آجري عليرغم مقاومتي قابل توجه، بدليل نبود ظرفيت تغيير شكل در زلزله هاي مخرب بسيار در ساختمانهاي تمام اسكلت، كليه نيروي وزن از طريق تيرهاي حمال به ستون هاي فولادي منتقل مي شود. در گذشته، اكثر ساختمانهاي تمام اسكلت در ايران بدون سيستم لرزه بر ساخته مي شدند. اين وضعيت نه تنها در ساختمانهاي كوچك و متوسط، بلكه در ساختمانهاي بلند هم ديده مي شود.

روش هاي مقاوم سازي لرزه اي

راه كارهاي زير به عنوان نمونه مي تواند به صورت منفرد يا در تركيب با يكديگر براي بهسازي ساختمان ها به كار رود:

۱- اصلاح موضعي اجزاي سازه اي كه داراي عملكرد نامناسبي در اثر زلزله مي باشند.

۲- رفع يا كاهش نامنظمي در ساختمان موجود.

۳- تامين سختي جانبي لازم براي كل سازه

۴- تامين مقاومت لازم براي كل سازه

۵- كاهش جرم ساختمان

۶- كامل نمودن مسير بار

۷- افزايش انسجام ساختمان با كلاف بندي

۸- تغيير كاربري به منظور كاهش سطح عملكرد مورد انتظار از ساختمان

۹- به كارگيري سيستم هاي جداساز لرزه اي

روش هاي معمول بهسازي

در ساختمان هاي موجود با توجه به نوع ضعف سازه و ميزان ضعف موجود به طور كلي از روش هاي زير براي مقاوم سازي ساختمان براي بارهاي ثقلي و جانبي استفاده مي شود:

۱- تقويت موضعي اجزاء سازه اي شامل تير، ستون، اتصال، ديوارو پي و...

۲- استفاده از صفحات و پروفيل هاي فولادي با استفاده از جوش يا پيچ

۳- كاشت ميلگرد و بتن ريزي مجدد يا استفاده از ملات هاي ترميمي

۴- استفاده از مواد كامپوزيتي مانند الياف پليمري (FRP)

تقويت سيستم هاي بار بر جانبي

۱- اجراي باد بند يا ديوار برشي جديد

۲- استفاده از سيستم هاي جدا كننده لرزه اي

۳- استفاده از سيستم هاي مستهلك كننده انرژي مانند ميراگرهاي ويسكوز و ميراگرهاي الاستو- پلاستيك

از كاربردهاي معرفي شده در بالا براي تقويت سيستم باربر جانبي از روش اجراي باربند يا ديورا برش جديد در ساختمان هاي شهر تهران به عنوان راه حل هاي شناخته شده استفاده مي گردد و روش هاي نوين تقويت كه بر پايه استهلاك انرژي زلزله مي باشد هنوز در داخل كشور ناشناخته مي باشد.

در زمينه تقويت موضعي اجزا نيز استفاده از صفحات فولادي و بتن ريزي مجدد به عنوان كاربردهاي سنتي شناخته مي شود و روش هاي تقويت با كامپوزيت FRP نيز در داخل ناشناخته مي باشد.

بررسي اجمالي سيستم استهلاك انرژي

به طور كلي جاذب هاي انرژي (ميراگر الحاقي) به منظور كاستن از پاسخ ديناميكي سازه در برابر بارگذاري باد و زلزله استفاده مي شوند. مكانيزم عملكرد اين وسايل به گونه اي است كه با انجام تغييرشكل هاي ويژه و اعمال مكانيك خاص، مقدار زيادي از انرژي ورودي به سازه بر اثر بارگذاري ديناميكي را جذب و مستهلك مي سازند. عملكرد اين وسايل موجب مي گردد كه انرژي دريافتي ساير اعضاي سازه اي كاهش يافته و در نتيجه تغيير شكل زياد در آنها ايجاد نشود.

به طور كلي مكانيزم هاي جذب انرژي اين ميراگرها بر سه روش كلي اصطكاكي، رفتار ويسكوالاستيك و استفاده از خاصيت جاري شدن فلزات استواراست. از مزاياي اين وسايل مي توان به كاربرد آنها در مقاوم سازي سازه هاي موجود اشاره نمود. علت اين امر نيز شكل پذيري ويژه اين وسايل و همچنين محل قرارگيري آنها مي باشد.

اين وسايل را به سادگي مي توان در سازه هاي موجود جاسازي و يا درصورت لزوم بعد از بار گذاري(رخداد زلزله) تعويض نمود. با توجه به كثرت سازه هاي موجود غير مقاوم دربرابر زلزله در كشور و همچنين لزوم استفاده از روش هاي نوين در طراحي سازه هاي مقاوم در برابر زلزله كه به نحوي بسيار مطلوبي از پاسخ ديناميكي سازه ها مي كاهند، دراين متن سعي بر اين است كه اين سيستم ها به طور خلاصه شرح داده مي شوند.

روش هاي مختلفي براي طراح ساختمان هايي با كارآيي مناسب در برابر زلزله، آزمايش، مورد تحقيق و به كار گرفته شده اند. در روش ها مرسوم، ساختمان با

استفاده از تركيبي از سختي، قابليت شكل پذيري و همچنين استهلاك انرژي در برابر زلزله از خود مقاومت نشان مي دهد. مقدار ميرايي در اين قبيل ساختمان ها بسيار كم است و از اين رو انرژي مستهلك شده در محدوده رفتار الاستيك سازه ناچيز مي باشد. در هنگام زلزله هاي قوي اين ساختمان ها بعد از محدوده رفتار الاستيك، تغييرمكان هاي زياد مي يابند و فقط به واسطه چگونگي قابليت تغيير مكان غيرالاستيك خود پايدار باقي مي ماند. اين تغيير مكان هاي غير الاستيك موجب به وجود آمدن مفاصل پلاستيك به صورت موضع در نقاط از سازه مي گردند كه خود موجب افزايش شكل پذيري و همچنين افزايش استهلاك انرژي مي گردد. در نتيجه مقدار زيادي از انرژي به واسطه تخريب هاي موضعي در سيستم مقاوم جانبي سازه مستهلك مي گردد.

در روش هاي مدرن جدا سازي لرزه اي، استفاده از وسايل مستهلك كننده انرژي جايگاه ويژه اي را به خود اختصاص داده است و به همين دليل سيستم هاي مختلف الحاق درساختمان به كار گرفته مي شود. استفاده از سيستم ها ميراگر الحاق موجب كاستن پاسخ هاي سازه در باربري زلزله و جلوگيري از تخريب آن مي گردد. در اين روش وسايل مكانيكي مختلفي دراسكلت سازه جاسازي مي گردند كه در هنگام وقوع زلزله اقدام به جذب و استهلاك انرژي دربدنه سازه مي نمايند.

استهلاك انرژي در اين وسايل مكانيكي با مكانيزم هاي مختلفي نظير جاري شدن يك فلز نرم، اصطلاك دوفلز بر هم، حركت يك پيستون درون يك ماده ويسكوز و يا رفتار ويسكوالاستيك صورت مي گيرد.

ميزان انرژي وارد به سازه در حين زلزله به پريود پايه سازه و نسبت آن به پريود غالب حركت زمين ارتباط مستقيم دارد. همچنين تخريب وارده به سازه نيز بستگي به ميزان انرژي هيسترزيس جذب شده تحت فرم هاي غير ارتجاعي اعضاي سازه اي دارد.

طراحي سازه هاي معمولي به نحوي كه در حين زلزله قوي بدون تخريب باقي بمانند غير اقتصادي مي باشد. لذا اكثر آيين نامه هاي مدرن طراحي ساختمان، فلسفه طراحي لرزه اي مبتني بر مفهوم تغيير شكل پذيري را ارائه نموده اند. براين اساس يك سازه مي بايست به نحوي طراحي گردد كه تغيير شكل پذير مورد نياز هرعضوبا تغيير شكل پذيري ظرفيت آن در تعادل باشد تا در حين زلزله، اثري در عضو به صورت مطمئني مستهلك گردد.

ساختمان مي تواند در اثر قابليت شكل پذيري انرژي زيادي را در حين زلزله مستهلك نمايد ولي بروز شكل پذيري زيادي در ساختمان تشكيل مفاصل پلاستيك دربرخي از اعضاي سازه اي را به همراه خواهد داشت. استفاده از سيستم هاي مستهلك كننده انرژي در ساختمان ها سبب ارتجاعي باقي ماندن اعضاي سازه اي در حين زلزله مي گردد و در نتيجه از بروز تخريب جلوگيري مي نمايد.

ميراگرها ويسكوالاستيك درسال هاي اخير به صورت موفقيت آميزي درساختمان ها بلند، پل ها و صنعت به كار گرفته شده اند.

نتايج حاصله از بررسي و استفاده از اينگونه ميراگرها حاكي از كارآيي بسيارمناسب آنها مي باشد. با استفاده از اين وسايل مي توان ميرايي سازه را افزايش داد.

سيستم هاي ميراگر الحاقي وسايل مناسبي براي كاهش موثر تغيير مكان هاي طبقات در ساختمان ها مي باشند و به سادگي مي توان با الحاق اين وسايل به اين نتيجه دست يافت. كاهش نيروي برشي نيز با به كار گيري اين وسايل ديده مي شود؛ اما نه به اندازه كاهش تغيير مكان. حتي دربعضي موارد به هنگام استفاده از اين ميراگرها عليرغم كاهش تغيير مكان، افزايش نيروي برشي را مي توان مشاهده كرد. اين وضعيت به واسطه افزايش سخت رخ مي دهد اما سازه به واسطه وسايل الحاق شده با راحتي قادر به تحمل اين افزايش بوده و حتي وارد مرحله پلاستيك نيز نمي گردد. در اين ميان ميراگرهايي نيز وجود دارند كه حتي وارد مرحله پلاستيك نيز نمي گردد. در اين ميان ميراگرها يي نيز وجود دارند كه

حتي برش پايه را نيز به مقدار قابل ملاحظه اي كاهش مي دهند كه از جمله آنها مي توان به ميراگرهاي ويسكوالاستيك و ويسكوز مايع اشاره نمود.
سيستم هاي ميراگر 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 اسكلت سازه ميسر مي شود و هم اينكه 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 اسكلت سازه مي توان پس از بروز زلزله درصورت لزوم آنها را تعويض نمود و نمونه جديدي جايسازي كرد. الحاق بعضي از ميراگرها به سازه مي تواند افزايش نيروي محوري دربعضي از ستون ها در هنگام رخ دادن حداكثر تغيير مكان را موجب گردد. اين افزايش نيروي محوري بايد در هنگام طراحي اين نوع سازه ها در نظر گرفته شود. ليكن حسب آزمايش هاي انجام يافته اين افزايش نيروي محوري در مورد ميراگرهاي ويسكوالاستيك كمتر از ساير موارد باشد.
با توجه به لزوم مقاوم سازي سازه ها غير ايمن مزاياي استفاده از ميراگرهاي الحاقي مي تواند دربسيار ازموارد بهترين راه حل باشد، بخصوص با توجه به اينكه استفاده ازاين وسايل دربسياري از حالات از پديد آمدن رفتار غير الاستيك در اعضا سازه جلوگيري مي نمايد، در مواردي كه قابليت استفاده بدون وقفه سازه مد نظر باشد استفاده از اين وسايل براي بهسازي و يا از ابتداي طراحي آنها انتخاب مناسب تشخيص داده مي شود.

كاربرد كامپوزيتهاي FRP
در تقويت و بهسازي سازه هاي بتني و بنايي

مهندس سيد عليرضا دريابيگي
مدير فني شركت توصان

مقدمه

در جهان امروز شاهد نياز روزافزون به استفاده از مواد تركيبي براي دستيابي به خواصي مطلوب هستيم. زيرا عموماً يك ماده به تنهايي نمي تواند با توجه به جنبه هاي اقتصادي و يا كارآيي و عملكرد، پاسخگوي مجموعه خواص مورد نياز براي آن باشد. از جمله مواد تركيبي كه امروزه به عنوان جايگزين فلزات ازجمله فولاد مطرح شده است مي توان به كامپوزيت هاي مسلح شده با الياف پليمري (FRP) اشاره نمود.

استفاده از مصالح كامپوزيت به طور قابل توجهي در صنعت ساختمان يك بازار تكان دهنده و به سرعت در حال توسعه مي باشد. اولين تحقيقات انجام شده در اين زمينه از اوايل دهه ۱۹۸۰ آغاز شده است، زلزله ۱۹۹۰ كاليفرنيا و ۱۹۹۵ كوبه ژاپن نيز از جمله عوامل موثر براي بررسي كاربرد كامپوزيت پليمري تقويت شده با الياف(FRP) جهت تقويت و مقاوم سازي سازه هاي بتني وبنايي در مناطق زلزله خيز گرديد.

استفاده روز افزون از كامپوزيت هاي FRP در صنعت نشان دهنده برتري محسوس اين مصالح نسبت به فلزات مي باشد. كامپوزيت هاي FRP مورد استفاده براي تقويت سازه ها متشكل از ماتريس پليمري گرما سخت(Thermoset) از قبيل رزين اپوكسي و الياف معدني(شيشه و كربن) يا الياف آلي (آراميد) مي باشد.

اجزاي تشكيل دهنده كامپوزيت

معمولاً يك ماده كامپوزيت را به صورت يك مخلوط فيزيكي در مقياس ماكروسكوپيك از دو يا چند ماده مختلف تعريف مي كنند كه اين مواد خصوصيات فيزيكي و شيميايي خود را حفظ كرده و مرز مشخصي را با يكديگر تشكيل مي دهند. اين مخلوط درمجموع و با توجه به برخي معيارها خواصي بهتر از هر يك از اجزاء تشكيل دهنده خود را دارا مي باشد. در كامپوزيت ها عموماً دو ناحيه متمايز وجود دارد:

١- فاز پيوسته(ماتريس)

٢- فاز ناپيوسته(تقويت كننده)

در يك كامپوزيت به طوركلي الياف، عضو بار پذير اصلي سازه هستند در حالي كه ماتريس آنها را در محل و آرايش مطلوب نگهداشته و به عنوان يك محيط منتقل كننده بار بين الياف عمل مي كند. به علاوه آنها را از صدمات محيطي در اثر بالا رفتن دما و يا رطوبت حفظ مي كنند.

مواد كامپوزيت تقويت شده با الياف، تركيبي از مقاومت كششي و مدول بهتر نسبت به مواد فلزي دارند و به علت پايين بودن وزن مخصوص نسبت مقاومت كششي به وزن(مقاومت كششي ويژه) نسبت مدول به وزن(مدول ويژه) مواد كامپوزيت به طور مشخص برتر از مواد فلزي هستند.

در بسياري از كاربردهايي كه كاهش وزن سازه اهميت دارد مانند صنايع فضايي، شيميايي، حمل ونقل و ساختمان مي تواند جانشين فلزات شوند.

معرفي كامپوزيت FRP

كامپوزيت FRP محصولي است براي تقويت سازه ها كه با چسباندن لايه اي از منسوج الياف كربن، شيشه يا آراميد به وسيله رزين اپوكسي به روي سطح

عضوي از سازه كه بايد تقويت گردد انجام مي گيرد. اين لايه بصورت عضو تقويت مضاعف عمل مي كند.

اين فرايند بر پايه قرار دادن منسوج الياف توام با ملاط چسبيده رزين با مقاومت كشش بسيار بالا كه براساس محاسبات فني به قسمت تحت كشش عضو مورد نظر سازه چسبانده مي شود استوار است. با اين عملكرد و كار آيي عضو و در نتيجه مقاومت سازه افزايش مي يابد.

انواع الياف

الياف شيشه

قديمي ترين الياف تقويت كننده براي كامپوزيت هاي پليمري هستند.

از جمله خصوصيات آن مقاومت كششي مناسب، مدول كششي كم، وزن مخصوص زياد، مقاومت خستگي كم، عايق خوب، نرم شدگي در دماي بالاي ۸۰۰ درجه سانتي گراد، حساسيت به سايش و قيمت كم مي باشد.

مهمترين انواع الياف شيشه عبارتند از:

الياف شيشه نوع A

دراينجا A به معني ALKALI يا قلبايي مي باشد. اين الياف مقاومت بسيار خوبي در برابر مواد شيميايي دارند ولي خواص الكتريكي آنها ضعيف مي باشد.

الياف شيشه نوع C

به اين الياف الياف شيشه شيميايي نيز اطلاق مي شود. از مهم ترين خواص اين الياف مقاومت بسيار بالا در برابر مواد شيميايي مي باشد.

الياف شيشه نوع E

اين الياف داراي خواص الكتريكي مي باشند. از مهم ترين قابليت اين الياف، مقاومت بالا در برابر آب مي باشد كه به ويژه درساخت كامپوزيت هايي كه در

محيط مرطوب قرار دارند استفاده مي شود. در حال حاضر بيش از ۹۰% الياف مورد مصرف در كامپوزيت هاي شيشه از اين نوع مي باشند. اين نوع الياف در بين مجموعه الياف شيشه پايين ترين قيمت را دارست.

الياف شيشه نوع S

به الياف شيشه داراي مقاومت بالا مي گويند.

مقاومت كششي اين الياف ۳۳% بيشتر از الياف نوعE است.

البته دو نوع ديگر الياف شيشه وجود دارد به نام الياف شيشه نوع D با خواص دي الكتريك پايين و نوع M با مدول الاستيسيته بالا كه به علت اينكه كاربردهاي تجاري كمي دارند به همين جا بسنده مي كنيم.

الياف كربن:

از جمله خصوصيات آن ماهيت غير ايزو تروپيك، مدول كششي بالا، سختي بالا، مقاومت كششي بالا، قابليت هدايت الكتريكي، ضريب انبساط حرارتي پايين، مقاومت خستگي زياد، مقاوم در برابر خوردگي، پايداري در دماهاي بالا تا ۱۹۰۰مي باشد.

اين نوع الياف كاربردهاي بسيار زيادي در صنايع مختلف بالاخص ساخت موادي با كارايي بالا دارند. در بين الياف ساخت بشر، كه در توليد آنها سعي فراواني در تقليد از نمونه هاي طبيعي انجام گرفته است، الياف كربن شايسته توجه خاصي است. اين الياف از چند جنبه اهميت دارند كه عبارتند از:

خصوصيات منحصر به فرد مكانيكي، قيمت رو به كاهش و بهبود تدريجي خواص كه همه و همه بر اهميت آن مي افزايد. براي تهيه اين الياف مي توان از روش پلي اكريلونيتريل(PAN) روش سلولزي و روش قيراندود كردن (Pitch) استفاده نمود.

از مهم ترين خواص الياف كربن مي توان به سبكي وزن، مقاومت كششي و سختي بالا، عدم تحت تاثير قرار گرفت در رطوبت حلال ها، بازها، اسيدها و به طور كلي محيط هاي شيميايي و خورنده اشاره نمود. الياف كربن همچنين الكتريسيته را نيز هدايت مي نمايد كه معمولاً با افزايش مدول كششي، ميزان قابليت هدايت الكتريكي آنها افزايش مي يابد. از نقاط ضعف اين الياف مي توان به قيمت بالا و شكنندگي آن اشاره نمود.

الياف آراميد:

از جمله خصوصيات آن ماهيت غير ايزو تروپيك، مقاومت كششي بالا، مقاوم دربرابر حرارت، جذب انرژي بالا در هنگام شكست، مقاوم دربرابربارهاي ضربه اي، تخريب در مقابل نور ماوراء بنفش، رطوبت، مقاوم دربرابرخستگي مي باشد.

آراميد عبارتي است كلي، براي پلي آميداي حلقوي. اينكه از ميان الياف موجود، الياف آراميد تا كنون تعداد كمي به توليد تجاري رسيده اند داراي دليل تكنولوژيك و اقتصادي مي باشد.

كاربرد كامپوزيت در مقاوم سازي سازه هاي بتن مسلح

امروزه نگهداري از سازه ها بدليل هزينه ساخت و تعمير بسيار حائز اهميت است با مطالعه رفتار سازه هاي بتني مشخص مي شود عوامل متعددي مانند: اشتباهات طراحي و محاسبه، عدم اجراي مناسب، تغيير كاربري سازه ها، آسيب ديدگي ناشي از وارد شدن بارهاي تصادفي، خوردگي بتن و فولاد و شرايط محيطي از دوام آنها مي كاهد. ضمناً تغيير آيين نامه هاي ساختماني (كه باعث تغيير در بارگذاري و ضريب اطمينان مي شود) نيز سبب ارزيابي وبازنگري مجدد طرح و سازه مي گردد تا درصورت لزوم بهسازي و تقويت شود.

سيستم هاي الياف مسلح شده پليمري(FRP) براي تقويت سازه هاي بتني پديدار شده و به عنوان جانشين براي روش هاي تقويت سنتي از قبيل چسباندن صفحات فولادي، افزايش سطح مقطع با بتن ريزي مجدد و پيش تنيدگي خارجي مي باشد.
با توجه به معايب اين روش ها مانند بازدهي كم و يا نياز به امكانات وفن آوري خاص امروزه روش هاي مقاوم سازي با استفاده از Composite توسعه روز افزون دارد.

معرفي مشكلات سازه هاي بتني

اين گونه بناها چنانچه بر حسب محاسبات دقيق و ضوابط شكل پذيري طراحي و اجرا شود ساختمان هاي بسيار مطلوبي خواهد بود. اما كيفيت ساخت آن درعمده ساختمان هاي كشوربسيار پايين است. كيفيت بد بتن، آرماتورگذاري نامناسب، اجراي بد بتن ريزي، مصالح نامرغوب و تغييردر موقعيت و ابعاد اجزاي سازه (تغييرات معماري در هنگام ساخت) ... از مشكلات اين سازه است. در مورد سازه هاي بتني موجود بيشترين ضعف در روال آيين نامه هاي قديمي مشاهده مي شود. همچنين شناخت بهتر نيروهاي زلزله نسبت به گذشته، بازنگري اين نوع سازه ها را الزام آور مي نمايد. علاوه بر اين، رعايت ضوابط شكل پذيري امري ضروري در طراحي و ساخت اين بناها است كه مي توان گفت به هيچ وجه در ايران رعايت نمي شود. اين سيستم ها به عملكرد ميان قاب ها مثل آجر بسيار حساس است.
آزمايش ها وتجارب زلزله گذشته شاهدي بر آثار نامطلوب متقابل ديوارهاي آجري پركننده و قاب هاي بتني است. ضربات متقابل ميان قاب ها و ستون بندي موجب تخريب ستون بتني مي شود و همچنين به علت شكل پذيري شكل پذيري قاب، شكست برشي در آن رخ مي دهد.

معرفي مشكلات سازه هاي بنايي

دلايل اصلي عملكرد ضعيف اين گونه سازه ها از ترد بودن مصالح و كاهش مقاومت بر اثر تكرار شديد بار، وزن سنگين بناي حاصله و در نتيجه نيروي برشي زياد، سختي زياد در مقابل امواج زمين لرزه اي با پريودهاي كوتاه و كيفيت ساخت ناشي مي شود. همچنين به علت وزن زياد ديوارها، امكن كمانش خارج از صفحات تحت اثر نيروي جانبي نيز وجود دامرد. ترك هاي عميق در ديوارها، جدا شدن سقف از ديوارها، باز شدن تيرهاي طاق ضربي و ريختن آجرهاي درون طاق ها را نيز مي توان از جمله خسارات ناشي از اين گونه بناها بر شمرد. اين ساختمان ها در برابر زلزله رفتاري فريبنده دارند و به محض اين كه بار زلزله از مقاومت آنها اندكي بيشتر شد، به يكباره فرو مي ريزند. اما در مقابل، راه هايي براي مقاوم تركردن اين گونه سازه ها وجود دارد.

فلسفه تقويت

فلسفه تقويت سازه هاي بتني با زير اساس تقويت با پليت توسط Hermit درسال ۱۹۵۱ بنا شده است مي باشد. جبران ضعف كششي بتن با صفحات فولادي كه به صورت خارجي برسطح بتن چسبيده مي شود(استفاده از ظرفيت كششي فولاد) براين اساس ظرفيت خمشي وبرشي با توجه به افزايش ظرفيت كششي افزايش چشمگيري خواهد يافت.(مورد استفاده براي تير، دال، ديوار)

در مورد ستون ها و اعضاي فشاري فلسفه تقويت با ساير اعضا متفاوت مي باشد. استفاده از محصور كردن و دورگيري بتن(Confinement) با پوشاندن يا Jacketing با مواد كامپوزيت كه آن نيز با زير اساس استفاده از صفحات فولادي به دست آمده است(براساس مدل سازي Mander تبديل تنش تك محوري فشاري به تنش سه محوري).

نتيجه:

استفاده از كامپوزيت به دليل گستردگي كاربرد و خواص برتر آن درصنعت روز دنيا به صورت يك ضرورت مطرح شده است. كامپوزيت هاي FRP با توجه به كاهش حتمي قيمت تمام شده جانشين بسياري از مصالح و مواد ديگر خواهد بود. به دليل موقعيت برتر(مدول الاستيسيته و تنش شكست ويژه، مقاومت دربرابر خستگي و مقاومت دربرابر خستگي و مقاومت در برابر خوردگي) مواد كامپوزيت، آشنايي، بكارگيري و توليد مصالح كامپوزيت در كشور ما يك ضرورت مي باشد و اين ضرورت ايجاد زمينه هاي لازم درميان جامعه مهندسين در جهت آموزش و پژوهش را ايجاب مي كند. دراين راست ارتباط ما بين دانشگاه و صنعت مي تواند نتايج بهتري 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