بررسي ضوابط لرزه‌اي جديد ساختمان‌هاي فولادي به روش طراحي بر اساس عملكرد

محسن تهراني‌زاده[i]، نسرين بخشايش اقبالي[ii] *

چكيده

در اين مقاله عملكرد لرزه‌اي قاب‌هاي خمشي فولادي (ويژه و معمولي) مورد بررسي قرار خواهد گرفت. تحليل استاتيكي معادل، استاتيكي و ديناميكي تاريخچه زماني غير خطي بر روي قاب‌هاي خمشي ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه بر اساس ويرايش سوم آيين‌نامه ۲۸۰۰ و همچنين ضوابط لرزه‌اي جديد انجام شده است و عملكرد اعضا با توجه به معيارهاي دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ايران تعيين گرديد. در آناليز تاريخچه زماني از شتاب‌نگاشت‌هاي مقياس شده (بر اساس آيين‌نامه ۲۸۰۰) زلزله‌هاي نورتريج[۱]، امپريال[۲] و لوماپريتا[۳] استفاده شده است. مدلسازي رفتار اعضاي قاب‌ها نيز بر اساس دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ايران و با نرم‌افزار 3D perform انجام گرفته است. در پايان قاب‌هاي خمشي ويژه كه بر اساس ضوابط لرزه‌اي جديد طرح شده بودند، بر اساس عملكرد طراحي گرديدند به طوري كه عملكرد آنها در محدوده اهداف آيين‌نامه قرار گرفت.

كلمات كليدي

ساختمان‌هاي فولادي، قاب خمشي، طراحي بر اساس عملكرد، ديناميكي غير خطي، استاتيكي غير خطي .

Investigation of New Seismic Rules of Steel Structures in Performance Base Design

M. Tehranizadeh; N. Bakhshayesh E.; M. M. Ahmadi

ABATRACT

In this paper, seismic performance of steel moment frames is investigated. Linear static and nonlinear static and dynamic of time history analysis have been performed on the usual and special steel moment resistant of 5, 10, 15 stories frames according to third addition of 2800 certification and new seismic rules and the performance of the members have bring under consideration. In the time history analysis, scaled seismographs of Northridge, Lomaprieta and Imperial valley earthquakes are used. At the end, special moment frames that were designed according to new seismic rules, have been designed on performance, has placed on limitation of certification goals.

KEWORDS

Steel structures- moment frame- performance base design- nonlinear dynamic analysis- nonlinear static analysis.

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۵/۱۰/۲۶

تاريخ اصلاحات مقاله:۱۳۸۷/۳/۲۹

[i] استاد، دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه صنعتي امير كبير: Email:tehz@govire.ir

[ii] *نويسنده مسئول و كارشناسي ارشد مهندسي عمران، گرايش مهندسي زلزله، دانشگاه صنعتي اميركبير: Email:n_bakhshayesh_e@yahoo.com

۱- مقدمه

طرح لرزه‌اي سازه‌ها تفاوت‌هاي زيادي با طراحي آنها تحت اثر بارهاي استاتيكي دارد. در واقع هدف از طرح لرزه‌اي تأمين مقاومت اجزاء نيست بلكه بايد شكل پذيري لازم براي مقابله با نيروي زلزله در اعضاء سازه و اتصالات آن وجود داشته باشد. لازم به يادآوري است كه به دليل يقين نداشتن در تعيين بارهاي ناشي از زلزله تأمين شكل‌پذيري اهميت ويژه‌اي دارد.

اين عدم يقين ناشي از كمبود دقت در تعيين جرم، خواص ديناميكي سازه و شتاب وارده به سازه است. براي در نظر گرفتن اثر زلزله در ساختمان‌ها دو روش مي‌توان نام برد. در روش اول كه با روش نيرويي شناخته مي‌شود، زلزله بصورت نيرو بر سازه اعمال مي‌گردد و بعد از انجام تحليل خطي و استخراج نيروهاي داخلي اعضاء، مقاطع به گونه‌اي انتخاب مي‌شوند كه ظرفيت آنها بزرگتر از نيروهاي داخلي اعضا باشد. اين روش يک روش شناخته شده در طراحي لرزه‌اي ساختمان‌ها است. روش دوم، روش تغيير مكاني مي‌باشد. در اين روش بعد از اعمال زلزله و انجام تحليل غير خطي، تغيير شكل اعضاء با ظرفيت آنها مقايسه مي‌گردد.

روش‌هاي طراحي در اكثر آيين‌نامه‌هاي فعلي بر اساس معيار مقاومت تعيين مي‌گردند. در حاليكه تحقيقات روي رفتار ساختمان‌ها در برابر زلزله‌هاي اخير نشان مي‌دهد كه مقاومت نمي‌تواند معيار مناسبي باشد و افزايش مقاومت لزوماً به معناي افزايش ايمني نمي‌باشد. بنابراين در آيين‌نامه‌هاي جديد به جاي معيار مقاومت از معيار رفتار براي طراحي سازه استفاده مي‌نمايند [۱].

در اين مقاله قاب‌هاي خمشي ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه فولادي ويژه و معمولي مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. طول دهانه‌ها ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر مي‌باشد. ابتدا قاب‌ها تحت تحليل استاتيكي معادل قرار مي‌گيرند. قاب خمشي ويژه با ضريب رفتار ۱۰ و قاب خمشي معمولي با ضريب رفتار ۵ مي‌باشد.

با توجه به اينكه در تحليل استاتيكي خطي، مقادير جابجايي زلزله در حد بسيار پايين‌تري از حد واقعي آن در نظر گرفته شده و از طرفي فرض مي‌شود كه سازه با ايجاد مفاصل پلاستيک قادر به تحمل زلزله مي‌باشد، لذا در اينجا از تحليل استاتيكي غير خطي استفاده شده تا محل ايجاد مفاصل پلاستيک و خرابي‌ها و در نهايت عملكرد سازه مورد بررسي قرار گيرد. در اين روش همزمان با افزايش بار جانبي، تغيير شكل و نيروهاي داخلي تحت نظر قرار مي‌گيرند. اين روش مشابه روش تحليل استاتيكي خطي است با وجود دو تفاوت.

الف) رفتار غير خطي تک تک اجزاي سازه در تحليل وارد مي‌شود.

ب) اثر زلزله به جاي اعمال بار مشخص، بر حسب تغيير شكل تعيين مي‌شود.

هر چند اين روش به مراتب پيچيده‌تر از تحليل استاتيكي خطي است، اما نتايج حاصل از رفتار واقعي سازه را بهتر نشان مي‌دهد و اطلاعات مفيدتري براي طراحي ارائه مي‌دهد. بر خلاف روش‌هاي تحليل خطي، نيروهاي داخلي حاصل از اين روش، به دليل در نظر گرفتن رفتار غير خطي مصالح، برابر با مقادير مورد انتظار تحت زلزله طرح است.

يكي از معايب اين روش آن است كه تغيير رفتار غير خطي اجزاي سازه به دليل حركات رفت و برگشتي به طور مستقيم در نظر گرفته نمي‌شود. زيرا در اين روش فقط يک چهارم دوره تناوب ارتعاش بررسي مي‌گردد [۲].

لذا به منظور بررسي عملكرد قاب‌هاي خمشي تحت ثبت زلزله واقعي، تحليل ديناميكي تاريخچه زماني غير خطي توسط سه جفت مؤلفه افقي (در دو راستاي x و y) شتاب‌نگاشت‌هاي مقياس شده زلزله‌هاي نورتريج، لوماپريتا و امپريال انجام گرفت. در انتخاب شتاب‌نگاشت‌هاي مورد استفاده در تحليل، آثار بزرگي زلزله، فاصله از گسل، ساز و كار چشمه لرزه‌زا و شرايط لرزه‌شناسي محل ساختمان با محل ثبت شتاب‌نگاشت مورد توجه واقع شده است. در تحليل‌ها اثر P-Δ و اثر چشمه اتصال در نظر گرفته شده است.

۲- روش‌هاي تحليل سازه و فرضيات در نظر گرفته شده

مصالح بكار رفته در اعضا، فولاد st۳۷ است. چون مشخصات مصالح موجود در دفترچه محاسبات سازه را مي‌توان بعنوان مشخصات كرانه پايين مصالح براي ساخت مدل تحليلي (كه بتواند برآورد مناسبي از رفتار ساختمان را بدست دهد)در نظر گرفت، در صورتيكه مشخصات مورد انتظار مصالح لازم باشد، مي‌توان مقادير كرانه پايين تنش تسليم و مقاومت نهايي مصالح را در عدد ۱/۱ ضرب نمود [۲]. مقاطع اين سازه از نوع IPE براي تيرها و HE-B براي ستون‌ها است.

۳- تحليل استاتيكي معادل و طراحي قاب‌هاي خمشي فولادي

طبق ضوابط لرزه‌اي جديد، با در نظر گرفتن كليه تركيبات بارگذاري ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملي ساختمان [۴]،

تركيبات بارگذاري شامل زلزله مندرج در آن به صورت زير در طراحي بكار مي‌روند.

۰/۷۵ (D + L + S + S ± E)

۰/۶ D ± E

D بار مرده، L بار زنده، E بار زلزله و S بار برف مي‌باشد.

با استفاده از اين تركيبات بارگذاري، تنش‌هاي مجاز بدون افزايش ۳۳% تعيين مي‌گردند.

همچنين بر اساس اين ضوابط در تحليل و طراحي اجزاي سيستم باربر جانبي لرزه‌اي، محل تشكيل مفصل پلاستيک در تيرها حداقل بايد به اندازه نصف عمق تير از كنار ستون فاصله داشته باشد. اين فاصله نبايد از ۱/۵ برابر عمق تير از كنار ستون بيشتر باشد [۵].

بر اساس ضوابط لرزه‌اي موجود، در قاب‌هاي خمشي ويژه بايد شرط تير ضعيف- ستون قوي برقرار باشد. اما در صورتي كه يكي از شرايط زير برآورده شود، لزومي به برقراري اين شرط نيست.

الف) ستون‌هاي با تنش محوري كوچک‌تر از ۰/۴ Fy براي تمام تركيبات بارگذاري.

ب) ستون‌ها در هر طبقه‌اي كه مقاومت برشي جانبي آن ۵۰% بزرگتر از طبقه فوقاني باشد [۶].

در ضوابط لرزه‌اي جديد بند الف به صورت زير در نظر گرفته شده است:

ستون‌هاي با تنش محوري كوچكتر از ۰/۲ Fy كه هر يک از ضوابط زير را نيز برآورده نمايند:

الف) ستون‌هاي ساختمان‌هاي يک طبقه و ستون‌هاي طبقه آخر ساختمان‌هاي چند طبقه.

ب) ستون‌هايي كه مجموع سهم برش آنها از ۲۰% كل برش طبقه مورد نظر كمتر بوده و هر كدام از آنها از ۳۳% سهم برش آن طبقه بيشتر نباشد [۵].

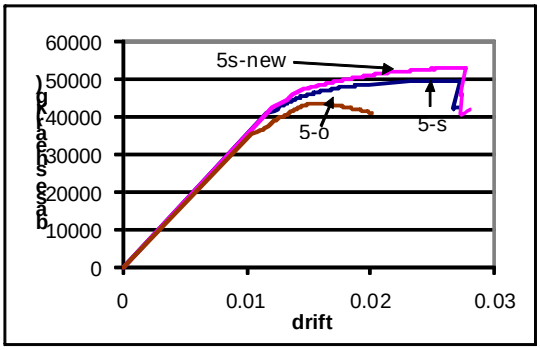
همان‌طور كه ملاحظه مي‌گردد، شرط تير ضعيف- ستون قوي بر اساس ضوابط جديد، بر ستون‌هاي بيشتري در سازه اعمال مي‌گردد.

۴- تحليل استاتيكي غير خطي

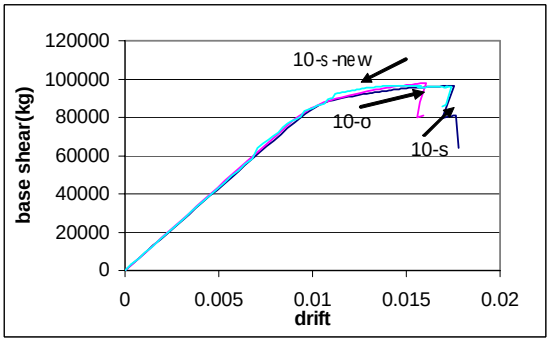
در تحليل غير خطي، نمودار نيرو- تغيير شكل اعضا پس از ورود به مرحله غير خطي طبق دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي تعريف گرديد.

۴-۱- نمودار ظرفيت

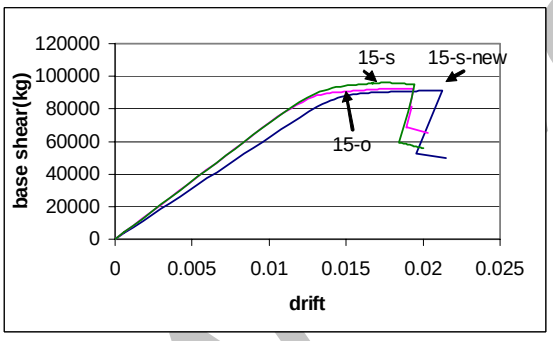
نمودار ظرفيت قاب‌هاي خمشي ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به ترتيب در شكل‌هاي (۱) تا (۳) نشان داده شده است.



شكل (۱): نمودار ظرفيت قاب‌هاي خمشي ۵ طبقه حاصل از توزيع بار جانبي يكنواخت بعد از اعمال بار ثقلي (**d+l**) ۱/۱



شكل (۲): نمودار ظرفيت قاب‌هاي خمشي ۱۰ طبقه حاصل از توزيع بار جانبي يكنواخت بعد از اعمال بار ثقلي (**d+l**) ۱/۱



شكل (۳): منحني ظرفيت قاب‌هاي ۱۵ طبقه حاصل از توزيع بار جانبي يكنواخت بعد از اعمال بار ثقلي (**d+l**) ۱/۱

علايم s-new ،s و o به ترتيب مربوط به قاب خمشي ويژه طرح شده بر اساس آيين‌نامه ۲۸۰۰، قاب خمشي ويژه طرح شده بر اساس ضوابط جديد و قاب خمشي معمولي مي‌باشند. بطور كلي با توجه به ضريب رفتار بزرگتر براي قاب ويژه به نظر مي‌رسد اين سيستم بايد شكل‌پذيرتر باشد اما در اين مثال خاص با توجه به ابعادهانه تيرها و ارتفاع ستون‌ها قاب مذكور نسبتاً از مقاومت بالاتري برخوردار است. چون با لحاظ نمودن ساير ضوابط مربوط به قاب خمشي ويژه از جمله ضابطه تير ضعيف ستون قوي، نتايج طراحي تحت تأثير قرار مي‌گيرد.

۴-۲- رفتار اعضا

در جداول (۱) تا (۳) اعضايي از قاب‌هاي ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است، آورده شده‌اند.

جدول (۱): اعضاي قاب‌هاي ۵ طبقه با عملکرد پايين‌تر از ايمني جاني در تحليل پوش اور

اعضايي که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است.	
ستون مياني طبقه اول	۵ طبقه ويژه فعلي
ستون‌هاي طبقه اول + ستون مياني طبقه دوم	۵ طبقه معمولي
ستون مياني طبقه اول	۵ طبقه ويژه جديد

جدول (۲): اعضاي قاب‌هاي ۱۰ طبقه با عملکرد پايين‌تر از ايمني جاني در تحليل پوش اور

اعضايي که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است.	
ستون مياني طبقات ۱ و ۲	۱۰ طبقه ويژه فعلي
ستون‌هاي مياني طبقات ۱، ۲ و ۳	۱۰ طبقه معمولي
ستون مياني طبقات ۱ و ۲	۱۰ طبقه ويژه جديد

جدول (۳): اعضاي قاب‌هاي ۱۵ طبقه با عملکرد پايين‌تر از ايمني جاني در تحليل پوش اور

اعضايي که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است.	
ستون‌هاي طبقه اول + ستون مياني طبقه دوم	۱۵ طبقه ويژه فعلي
ستون‌هاي طبقه اول+ستون مياني طبقات ۲،۳،۴و۵	۱۵ طبقه معمولي
ستون‌هاي طبقه اول + ستون مياني طبقات ۲،۳و۴	۱۵ طبقه ويژه جديد

با توجه به اينکه طراحي اعضا بر اساس نيروهاي حاصل از تحليل استاتيکي خطي انجام شده است، بعد از بررسي رفتار غير خطي اعضا مشخص گرديد که تعدادي از آن‌ها طبق جداول فوق، در سطح عملکرد ايمني جاني نيستند و از طرف ديگر تعدادي از ستونها و تيرهاي طبقات فوقاني هستند که سطح عملکرد آنها بالا و بيش از حد مورد نياز است.

۴-۳- رفتار چشمه اتصال

براي بررسي عملکرد چشمه اتصال، رفتار چشمه اتصال طبق دستورالعمل بهسازي و با فرض امکان ورود به منطقه غير خطي مدل گرديد. در نتيجه بعد از انجام کليه تحليل‌هاي استاتيکي و ديناميکي غير خطي، رفتار چشمه‌هاي اتصال در محدوده خطي باقي خواهد ماند.

۵- تحليل ديناميکي غير خطي

براي به مقياس درآوردن شتاب‌نگاشت‌ها طبق آيين‌نامه زلزله ۲۸۰۰، ابتدا کليه شتاب‌نگاشت‌ها (سه جفت مؤلفه افقي شتاب‌نگاشت‌ها در دو راستاي x و y) به مقدار حداکثر خود مقياس شده و طيف پاسخ آنها با نرم‌افزار seismosignal براي ميرايي ۵% محاسبه شد. سپس طيف پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت به روش جذر مجموع مربعات، ترکيب و ميانگين-گيري شد. ضريب مقياس پس از مقايسه طيف حاصل با طيف طرح استاندارد، در محدوده ۰/۲ T تا ۱/۵ T تعيين شده و در شتاب‌نگاشت‌هاي مقياس شده ضرب گرديد. ضريب مقياس شتاب‌نگاشت‌هاي با ماکزيمم شتاب ثقل براي قاب‌هاي ۵ طبقه ۰/۵، براي قاب‌هاي ۱۰ طبقه ۰/۷۲ و براي قاب‌هاي ۱۵ طبقه ۱/۲ محاسبه گرديد. سازه تحت کليه شتاب‌نگاشت‌ها آناليز شده و از بحراني‌ترين نتايج آنها در طراحي اعضاي سازه استفاده مي‌نماييم.

مشخصات شتاب‌نگاشت‌هاي مورد استفاده به شرح جداول زير مي‌باشد:

جدول (۴): مشخصات شتابنگاشت‌هاي مورد استفاده در تحليل ديناميکي غير خطي

زلزله	فاصله از گسل	USGS خاک	M_s
NORTHRIDGE	۹/۲	C	۶/۷
IMPERIAL	۱۰/۶	C	۶/۹
LOMA PRIETA	۱۱/۲	C	۷/۱

۵-۱- رفتار اعضا

اعضايي که سطح عملکرد آنها تحت سه جفت شتاب‌نگاشت نورتريج، لوماپريتا و امپريال از سطح ايمني جاني گذشته است، در جداول (۵) تا (۷) آورده شده‌اند (تحت توزيع بار جانبي يکنواخت بعد از اعمال بار ثقلي (d+l) ۱/۱):

جدول (۵): اعضاي قاب‌هاي ۵ طبقه با عملکرد پايين‌تر از ايمني جانبي در تحليل ديناميکي غير خطي

امپريال		لوماپريتا		نورتريج		
y	x	y	x	y	x	
ستون مياني طبقه ۱	-	ستون مياني طبقه ۱	-	ستون مياني طبقه ۱	ستون مياني طبقه ۱	۵ طبقه ويژه فعلي
ستون مياني طبقات ۱و۲	ستون مياني طبقات ۱و۲	ستون مياني طبقات ۱و۲	-	ستون مياني طبقات ۱و۲	ستون مياني طبقات ۱ و ۲	۵ طبقه معمولي
-	-	ستون مياني طبقه ۱	-	ستون مياني طبقه ۱	تيرهاي طبقه۳وستون مياني طبقه۱	۵ طبقه ويژه جديد

جدول (۶): اعضاي قاب‌هاي ۱۰ طبقه با عملكرد پايين‌تر از ايمني جاني در تحليل ديناميكي غير خطي

امپريال		لوماپريتا		نورتريج		
y	x	y	x	y	x	
ستون مياني طبقات ۲و۳و تيرهاي طبقه ۱	-	ستون مياني طبقه۲و۳	-	ستون مياني طبقات ۲و۳	ستون مياني طبقات ۲و۳	قاب ۱۰ طبقه ويژه جديد
ستون مياني طبقات ۱،۲و۳و تيرهاي طبقه۱	ستون مياني طبقه۱	ستون مياني طبقات۱،۲و۳	-	ستون مياني طبقات ۱،۲و۳	ستون مياني طبقات۱،۲و۳	قاب ۱۰ طبقه معمولي
ستون مياني طبقات ۲،۱ و تيرهاي طبقه ۱	ستون مياني طبقه۱	ستون مياني طبقات ۱و۲	-	ستون مياني طبقات ۱و۲	ستون مياني طبقات ۱و۲	قاب ۱۰ طبقه ويژه بر طبق آيين‌نامه فعلي

جدول (۷): اعضاي قاب‌هاي ۱۵ طبقه با عملكرد پايين‌تر از ايمني جاني در تحليل ديناميكي غير خطي

امپريال		لوماپريتا		نورتريج		
y	x	y	x	y	x	
ستون‌هاي طبقه ۱و۴ ستون مياني طبقات ۲و۳	ستون مياني طبقه اول	ستون‌هاي طبقه۱ و ستون مياني طبقه ۲	ستون مياني طبقه اول	ستون‌هاي طبقه۱ و ستون مياني طبقات ۲، ۳و۴	ستون‌هاي طبقه۱ و ستون مياني طبقات ۲، ۳و۴	۱۵ طبقه ويژه جديد
ستون‌هاي طبقه۱و۲و ستون مياني طبقات ۳، ۴و۵	ستون‌هاي طبقه۱ و ستون مياني طبقات ۲، ۳و۴	ستون‌هاي طبقه اول+ ستون‌هاي مياني طبقات ۲، ۳، ۴و۵	ستون‌هاي طبقه۱ و ستون مياني طبقه ۲	ستون‌هاي طبقه۱ و۲و ستون مياني طبقات ۳، ۴و۵	ستون‌هاي طبقه۱ و۳ و ستون مياني طبقات ۳، ۴و۵	۱۵ طبقه معمولي
ستون‌هاي طبقه اول و ستون مياني طبقات ۲، ۷و۸	ستون‌هاي طبقه اول و ستون مياني طبقات ۲ و ۳	ستون‌هاي طبقه۱و۲و ستون مياني طبقات ۳، ۴، ۵، ۶، ۷و۸	ستون‌هاي طبقه اول	ستون‌هاي ۵ طبقه اول+ ستون‌هاي مياني طبقات ۶، ۷و۸	ستون‌هاي ۵ طبقه اول+ ستون مياني طبقات ۶، ۷و۸	۱۵ طبقه ويژه معمولي

۵-۲- نقطه عملكرد

برش پايه و جابجايي بام براي تحليل‌هاي ديناميكي تاريخچه زماني غير خطي و تحليل استاتيكي غير خطي در جداول (۸) تا (۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۸): نمودار برش پايه- جابجايي بام قاب ۵ طبقه ويژه طبق ضوابط جديد لرزه‌اي

برش پايه	جابجايي بام		
۴۸۲۷۷	۰/۳۵۹۳	x	نورتريج
۴۰۰۶۹	۰/۱۸۵۸	y	
۱۹۵۲۳	۰/۰۶۳۱	x	لوماپريتا
۴۲۲۱۳	۰/۱۶۳۱	y	
۳۲۶۸۷	۰/۱۷۴۵	x	امپريال
۴۶۸۲۲	۰/۲۳۳۸	y	
۴۵۱۲۰	۰/۱۸۹۹		استاتيكي غير خطي

جدول (۹): نمودار برش پايه-جابجايي بام قاب ۵ طبقه معمولي

برش پايه	جابجايي بام		
۴۵۲۴۰	۰/۳۶۴۸	x	نورتريج
۳۹۶۴۰	۰/۱۹۱۹	y	
۱۹۸۹۰	۰/۰۶۲۱۴	x	لوماپريتا
۴۱۹۸۰	۰/۱۷۸۳	y	
۳۰۱۶۰	۰/۱۵۸۳	x	امپريال
۴۶۴۳۰	۰/۲۳۸۹	y	
۴۰۷۵۰	۰/۱۹۳۶		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۰): برش پايه-جابجايي بام قاب ۵ طبقه ويژه طبقه آيين نامه فعلي

برش پايه	جابجايي بام		
۴۶۰۸۴	۰/۳۶۵۹	x	نورتريج
۴۰۳۴۸	۰/۱۸۷۸	y	
۱۹۹۳	۰/۰۶۳۸۱	x	لوماپريتا
۴۲۴۶۳	۰/۱۷۱۳	y	
۳۱۲۳۸	۰/۱۶۷۳	x	امپريال
۴۳۱۶۳	۰/۲۱۹۴	y	
۴۴۰۵۰	۰/۱۹۱۲۵		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۱): برش پايه-جابجايي بام قـاب ۱۰ طبقـه ويـژه بـر طبق ضوابط لرزه‌اي جديد

برش پايه	جابجايي بام		
۹۱۳۲۰	۰/۴۲۵۲	x	نورتريج
۷۴۵۲۰	۰/۳۵۰۳	y	
۳۷۰۷۰	۰/۰۸۰۱۴	x	لوماپريتا
۷۰۲۴۰	۰/۲۵۷۱	y	
۵۰۱۴۰	۰/۲۰۴۹	x	امپريال
۹۹۷۷۰	۰/۵۴۲۱	y	
۷۹۱۲۰	۰/۲۷۵۳		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۲): برش پايه-جابجايي بام قاب ۱۰ طبقه معمولي

برش پايه	جابجايي بام		
۸۸۹۸۰	۰/۴۱۲۳	x	نورتريج
۷۳۹۸۰	۰/۳۳۶۹	y	
۳۷۵۰۰	۰/۰۷۹	x	لوماپريتا
۷۱۹۰۰	۰/۲۵۳۱	y	
۵۰۳۱۰	۰/۲۰۳۲	x	امپريال
۹۹۰۲۰	۰/۵۲۷۲	y	
۷۹۳۱۰	۰/۲۶۹۵		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۳): برش پايه-جابجايي بام قاب ۱۰ طبقه ويـژه طبـق آيين‌نامه فعلي

برش پايه	جابجايي بام		
۸۲۴۶۰	۰/۴۱۰۸	x	نورتريج
۷۱۵۳۰	۰/۳۳۶۹	y	
۳۷۰۲۰	۰/۰۷۹۵۹	x	لوماپريتا
۷۱۱۹۰	۰/۲۵۲۴	y	
۴۹۹۷۰	۰/۲۰۲۴	x	امپريال
۹۲۶۱۰	۰/۵۱۹۷	y	
۷۳۸۱۰	۰/۲۵۹۸		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۴): برش پايه-جابجايي بام قاب ۱۵ طبقه ويـژه طبـق ضوابط لرزه‌اي جديد

برش پايه	جابجايي بام		
۱۲۵۲۰۰	۰/۷۲۱۴	x	نورتريج
۱۲۴۸۰۰	۰/۷۲۳۸	y	
۷۴۹۰۰	۰/۲۸۴۲	x	لوماپريتا
۱۱۵۴۰۰	۰/۳۷۸۳	y	
۸۰۷۸۰	۰/۳۸۰۸	x	امپريال
۱۱۵۶۰۰	۰/۶۸۷۸	y	
۷۸۷۵۰	۰/۵۰۴۴۵		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۵): برش پايه-جابجايي بام قاب ۱۵ طبقه معمولي

برش پايه	جابجايي بام		
۱۰۱۵۰۰	۰/۷۸۱	x	نورتريج
۱۰۱۹۰۰	۰/۷۸۵	y	
۶۶۶۰۰	۰/۳۰۹۲	x	لوماپريتا
۱۰۷۳۰۰	۰/۳۹۵۲	y	
۶۱۱۰۰	۰/۳۵۷۱	x	امپريال
۱۰۴۳۰۰	۰/۶۶۱۹	y	
۸۸۸۰۰	۰/۴۴۸۶		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۶): برش پايه-جابجايي بام قاب ۱۵ طبقه ويـژه طبـق آيين‌نامه فعلي

برش پايه	جابجايي بام		
۱۱۹۹۰۱	۰/۷۱۹	x	نورتريج
۱۱۹۵۰۰	۰/۷۱۹	y	
۷۴۵۰۰	۰/۲۸۲۳	x	لوماپريتا
۱۱۳۲۰۰	۰/۳۷۹۶	y	
۷۸۷۶۰	۰/۳۸۰۸	x	امپريال
۱۱۸۰۰	۰/۶۷۶۲	y	
۷۸۷۵۰	۰/۵۰۴۵		استاتيكي غير خطي

۶- طراحي بر اساس عملكرد

در روش طراحي بر اساس عملكرد، عملكرد غير خطي اجزاي سازه مورد بررسي قرار مي‌گيرد و تغيير مكان به جاي نيرو به عنوان مناسب‌ترين شاخص در نظر گرفته مي‌شود. به همين دليل مي‌توان رفتار واقعي‌تري از سازه‌ها، در صورت وقوع يک زلزله مشخص بدست آورد [۷].

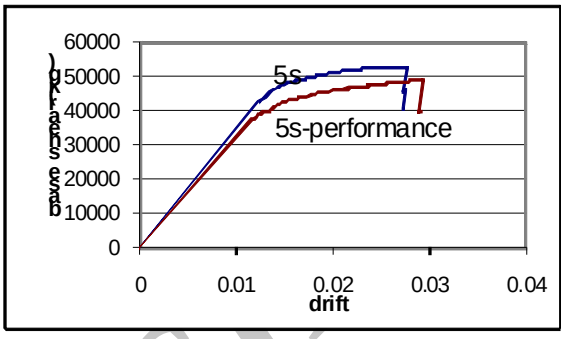
در اينجا طراحي بر اساس عملكرد به گونه‌اي انجام شده است كه هم سطح عملكرد كليه اعضا در محدوده ايمني جانبي قرار بگيرد و هم طرح اقتصادي ارائه گردد و از ايجاد ظرفيت اضافي پرهيز گردد.

با توجه به جداول و همچنين نمودارهايي كه در اين بخش آمده‌اند مشخص مي‌گردد كه در قاب‌هاي طراحي شده بر اساس ضوابط آيين‌نامه‌ها، سطح عملكرد برخي از اعضاي قاب‌ها بر خلاف انتظار، از سطح عملكرد ايمني جاني (LS) گذشته است و از طرفي از عمده ظرفيت بعضي از اعضا به ويژه در طبقات فوقاني استفاده نشده است. براي اينكه به لحاظ اقتصادي حالت بهينه ايجاد شود و همچنين كليه اعضا در محدوده سطح عملكرد ايمني جاني قرار بگيرند، بر روي قاب‌هاي ويژه كه طبق پيشنويس جديد پيوست دوم آيين‌نامه ۲۸۰۰ طرح گرديده بود، طراحي بر اساس عملكرد انجام گرفت. همانطور كه در نمودارهاي (۴) تا (۶) مشاهده مي‌شود، ميزان جذب برش پايه

كاهش و امكان تغيير شكل پلاستيک قبل از گسيختگي افزايش يافته است و قاب‌ها انعطاف‌پذيرتر شده‌اند.

۶-۱- نمودار ظرفيت قاب

نمودار ظرفيت قاب‌هاي خمشي ويژه طرح شده طبق ضوابط لرزه‌اي جديد قبل و بعد از طراحي بر اساس عملكرد در شكل‌هاي (۴) تا (۶) آورده شده‌اند.



شكل (۴): نمودار ظرفيت قاب ۵ طبقه ويژه قبل و بعد از طراحي بر اساس عملكرد

شكل (۵): نمودار ظرفيت قاب ۱۰ طبقه ويژه قبل و بعد از طراحي بر اساس عملكرد

شكل (۶): نمودار ظرفيت قاب ۱۵ طبقه ويژه قبل و بعد از طراحي بر اساس عملكرد

همانطور كه ملاحظه مي‌شود، بعد از طراحي بر اساس عملكرد، به علت افزايش شكل‌پذيري سازه، طيف تقاضا و ظرفيت كاهش يافته و محل نقطه عملكرد تغيير يافته است. البته سطح عملكرد مورد نظر، سطح ايمني جاني مي‌باشد و نمودار رفتار سازه تا مرحله فروريزش ادامه دارد.

۶-۲- نقطه عملكرد قاب حاصل از تحليل ديناميكي غير خطي

مقادير برش پايه و جابجايي بام حاصل از شتاب‌نگاشت‌ها در جداول (۲۵) تا (۲۷) آورده شده‌اند و با مقادير مربوط به تحليل استاتيكي غير خطي مقايسه شده است.

جدول (۱۷): برش پايه و جابجايي بام حاصل از تحليل ديناميكي غير خطي قاب ۵ طبقه

برش پايه	جابجايي بام		
۴۵۰۷۰	۰/۳۷۲۵	x	نورتريج
۴۱۰۸۰	۰/۱۹۵۳	y	
۱۹۶۴۰	۰/۰۶۲۳۸	x	لوماپريتا
۴۱۲۶۰	۰/۱۷۹۷	y	
۳۰۲۷۰	۰/۱۶۳۱	x	امپريال
۴۶۲۶۰	۰/۲۵۰۴	y	
۴۳۱۵۰	۰/۱۹۸۱		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۸): برش پايه و جابجايي بام حاصل از تحليل ديناميكي غير خطي قاب ۱۰ طبقه

برش پايه	جابجايي بام		
۴۹۱۵۰	۰/۴۳۸۸	x	نورتريج
۴۸۴۷۰	۰/۴۴۲	y	
۳۰۵۱۰	۰/۱۶۶۶	x	لوماپريتا
۴۸۱۰۰	۰/۲۲۵۵	y	
۲۸۶۷۰	۰/۲۱۸۶	x	امپريال
۵۴۶۹۰	۰/۴۵۵۸	y	
۵۴۳۶۰	۰/۳۹۱۵		استاتيكي غير خطي

جدول (۱۹): برش پايه و جابجايي بام حاصل از تحليل ديناميكي غير خطي قاب ۱۵ طبقه

برش پايه	جابجايي بام		
۱۰۴۶۰۰	۰/۸۲۹۶	x	نورتريج
۱۰۴۳۰۰	۰/۸۲۶۸	y	
۷۴۴۲۰	۰/۳۳۲۷	x	لوماپريتا
۱۰۵۳۰۰	۰/۴۱۰۵	y	
۶۹۸۰۰	۰/۴۰۹۲	x	امپريال
۱۰۸۸۰۰	۰/۶۲۶۲	y	
۶۹۵۶۰	۰/۵۷۹۶		استاتيكي غير خطي

۷- نتيجه‌گيري

الف) با توجه به مفروضات و مدل‌هاي در نظر گرفته شده در اين تحقيق، مقايسه نيروهاي جانبي حاصل از شتاب‌نگاشت-ها با مقادير نيروهاي جانبي حاصل از تحليل استاتيكي غير خطي به ويژه در مورد قاب‌هاي با ارتفاع بيشتر كه اثر مودهاي بالاتر مطرح مي‌شود، حاكي از لزوم انجام تحليل ديناميكي تاريخچه زماني براي اين قاب‌ها است. رفتار نامناسب قاب‌ها بر اساس تحليل تاريخچه زماني نسبت به استاتيكي غير خطي بر خلاف به مقياس درآوردن شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس آيين‌نامه زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) مي‌باشد.

ب) خصوصيات فركانس زلزله‌ها اثرات مهمي بر واكنش سازه‌ها داشته و نوسانات شتاب و جابجايي حركات زمين، تأثير مستقيمي را بر مقادير نسبت شكل‌پذيري اعضا در هر دو سيستم باربر جانبي دارد. در اينجا با وجود به مقياس درآوردن شتاب‌نگاشت‌ها و يكسان بودن مقادير حداكثر شتاب در كليه شتاب‌نگاشت‌ها اثرات متفاوتي را بر سازه ايجاد نموده‌اند.

ج) به طور كلي در نظر گرفتن ضوابط لرزه‌اي جديد منجر به افزايش ظرفيت قاب شده است.

د) طبق ضوابط لرزه‌اي جديد، شكل‌پذيري قاب‌ها اغلب از طريق تغيير شكل‌هاي غير الاستيک تيرها در فاصله‌اي محدود از كنار ستون تأمين مي‌شود و چشمه اتصال، اتصال تير به ستون و ستون‌ها بصورت الاستيک باقي مي‌مانند. در اينجا نيز براي بررسي عملكرد چشه اتصال، رفتار چشمه اتصال طبق دستورالعمل بهسازي و با فرض امكان ورود به منطقه غير خطي مدل گرديد. نتيجه اينكه بعد از انجام كليه تحليل‌هاي استاتيكي و ديناميكي غير خطي، رفتار چشمه‌هاي اتصال در محدوده خطي باقي مي‌ماند.

ه) همانطور كه از بررسي عملكرد قاب‌هاي طراحي شده در اين تحقيق بر اساس نيروهاي لرزه‌اي و كليه ضوابط آيين‌نامه ۲۸۰۰ بر مي‌آيد، قاب‌ها نياز به بازنگري جهت تقويت اعضاي تير و ستون دارند. اما نكته اين است كه در طراحي به روش نيرويي هيچگونه الگويي جهت طراحي مجدد وجود ندارد.

و) در طراحي بر اساس عملكرد، امكان تحمل تغيير شكل بيشتر و رفتار انعطاف‌پذيرتر براي سازه فراهم شده است. لذا قاب حاصل با جذب برش پايه كمتر و تحمل جابجايي بيشتر قبل از گسيختگي، رفتار بهتري را نشان مي‌دهد.

۸- مراجع

۱ Priestley, M.J.N; Performance based seismic design, proceeding of 12th WCEE, Newzeland, 2000

۲ تفسير دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ساختمان‌هاي موجود، دفتر امور فني و تدوين معيارها، سازمان مديريت و برنامه-ريزي كشور، پژوهشگاه بين‌المللي زلزله‌شناسي و مهندسي زلزله، ۱۳۸۱.

۳ دستورالعمل بهسازي لرزه‌اي ساختمان‌هاي موجود. دفتر امور فني و تدوين معيارها، سازمان مديريت و برنامه‌ريزي كشور، پژوهشگاه بين‌المللي زلزله‌شناسي و مهندسي زلزله، ۱۳۸۱.

۴ مبحث دهم مقررات ملي ساختماني ايران، طراح و اجراي ساختمان‌هاي فولادي، دفتر تدوين و ترويج مقررات ملي ساختمان، ۱۳۸۳.

۵ پيشنويس پيوست ۲ آيين‌نامه زلزله ايران (سازه‌هاي فولادي مقاوم در برابر زلزله) ميرقادري، سيد رسول، تير ماه ۱۳۸۴.

۶ آيين‌نامه طراحي ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ايران)، مركز تحقيقات ساختمان و مسكن، تهران، ويرايش سوم، تير ۱۳۸۴.

۷ Krawinkler, H.; Advancing performance- Based Earthquake Engineering, NISEE: National Information service for Earthquake

۹- زيرنويس ها

[1] Northridge
[2] Imperial
[3] Lomaprieta