

بررسی ضوابط لرزه‌ای جدید ساختمان‌های فولادی به روش طراحی بر اساس عملکرد

محسن تهرانی‌زاده^۱؛ نسرين بخشایش اقبالی^{۲*}

چکیده

در این مقاله عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی (ویژه و معمولی) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تحلیل استاتیکی معادل، استاتیکی و دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی بر روی قاب‌های خمشی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه بر اساس ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ و همچنین ضوابط لرزه‌ای جدید انجام شده است و عملکرد اعضا با توجه به معیارهای دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران تعیین گردید. در آنالیز تاریخچه زمانی از شتابنگاشت‌های مقیاس شده (بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰) زلزله‌های نورتریج^۱، امپریال^۲ و لوماپریتا^۳ استفاده شده است. مدلسازی رفتار اعضای قاب‌ها نیز بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران و با نرم‌افزار 3D perform انجام گرفته است. در پایان قاب‌های خمشی ویژه که بر اساس ضوابط لرزه‌ای جدید طرح شده بودند، بر اساس عملکرد طراحی گردیدند به طوری که عملکرد آنها در محدوده اهداف آیین‌نامه قرار گرفت.

کلمات کلیدی

ساختمان‌های فولادی، قاب خمشی، طراحی بر اساس عملکرد، دینامیکی غیر خطی، استاتیکی غیر خطی.

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

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

ABSTRACT

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, Lomapieta 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.

KEYWORDS

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۵/۱۰/۲۶

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۷/۳/۲۹

^۱ استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر: Email:tehz@govire.ir

^{۲*} نویسنده مسئول و کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی امیرکبیر:

Email:n_bakhshayesh_e@yahoo.com



الف) رفتار غیر خطی تک تک اجزای سازه در تحلیل وارد می‌شود.

ب) اثر زلزله به جای اعمال بار مشخص، بر حسب تغییر شکل تعیین می‌شود.

هر چند این روش به مراتب پیچیده‌تر از تحلیل استاتیکی خطی است، اما نتایج حاصل از رفتار واقعی سازه را بهتر نشان می‌دهد و اطلاعات مفیدتری برای طراحی ارائه می‌دهد. بر خلاف روش‌های تحلیل خطی، نیروهای داخلی حاصل از این روش، به دلیل در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مصالح، برابر با مقادیر مورد انتظار تحت زلزله طرح است.

یکی از معایب این روش آن است که تغییر رفتار غیر خطی اجزای سازه به دلیل حرکات رفت و برگشتی به طور مستقیم در نظر گرفته نمی‌شود. زیرا در این روش فقط یک چهارم دوره تناوب ارتعاش بررسی می‌گردد [۲].

لذا به منظور بررسی عملکرد قاب‌های خمشی تحت ثبت زلزله واقعی، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی توسط سه جفت مؤلفه افقی (در دو راستای x و y) شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده زلزله‌های نورتریج، لوماپریتا و امپریال انجام گرفت. در انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل، آثار بزرگی زلزله، فاصله از گسل، ساز و کار چشمه لرزه‌زا و شرایط لرزه‌شناسی محل ساختمان با محل ثبت شتاب‌نگاشت مورد توجه واقع شده است. در تحلیل‌ها اثر $P-\Delta$ و اثر چشمه اتصال در نظر گرفته شده است.

۲- روش‌های تحلیل سازه و فرضیات در نظر گرفته شده

مصالح بکار رفته در اعضا، فولاد $st37$ است. چون مشخصات مصالح موجود در دفترچه محاسبات سازه را می‌توان بعنوان مشخصات کرانه پایین مصالح برای ساخت مدل تحلیلی (که بتواند برآورد مناسبی از رفتار ساختمان را بدست دهد) در نظر گرفت، در صورتیکه مشخصات مورد انتظار مصالح لازم باشد، می‌توان مقادیر کرانه پایین تنش تسلیم و مقاومت نهایی مصالح را در عدد $1/1$ ضرب نمود [۲]. مقاطع این سازه از نوع IPE برای تیرها و HE-B برای ستون‌ها است.

۳- تحلیل استاتیکی معادل و طراحی قاب‌های خمشی فولادی

طبق ضوابط لرزه‌ای جدید، با در نظر گرفتن کلیه ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۴]، ترکیبات بارگذاری شامل زلزله مندرج در آن به صورت زیر در

طرح لرزه‌ای سازه‌ها تفاوت‌های زیادی با طراحی آنها تحت اثر بارهای استاتیکی دارد. در واقع هدف از طرح لرزه‌ای تأمین مقاومت اجزاء نیست بلکه باید شکل پذیری لازم برای مقابله با نیروی زلزله در اعضاء سازه و اتصالات آن وجود داشته باشد. لازم به یادآوری است که به دلیل یقین نداشتن در تعیین بارهای ناشی از زلزله تأمین شکل‌پذیری اهمیت ویژه‌ای دارد.

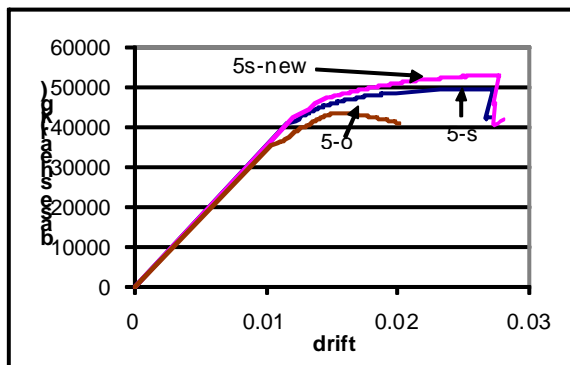
این عدم یقین ناشی از کمبود دقت در تعیین جرم، خواص دینامیکی سازه و شتاب وارده به سازه است. برای در نظر گرفتن اثر زلزله در ساختمان‌ها دو روش می‌توان نام برد. در روش اول که با روش نیرویی شناخته می‌شود، زلزله بصورت نیرو بر سازه اعمال می‌گردد و بعد از انجام تحلیل خطی و استخراج نیروهای داخلی اعضاء، مقاطع به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که ظرفیت آنها بزرگتر از نیروهای داخلی اعضا باشد. این روش یک روش شناخته شده در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها است. روش دوم، روش تغییر مکانی می‌باشد. در این روش بعد از اعمال زلزله و انجام تحلیل غیر خطی، تغییر شکل اعضاء با ظرفیت آنها مقایسه می‌گردد.

روش‌های طراحی در اکثر آیین‌نامه‌های فعلی بر اساس معیار مقاومت تعیین می‌گردند. در حالیکه تحقیقات روی رفتار ساختمان‌ها در برابر زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که مقاومت نمی‌تواند معیار مناسبی باشد و افزایش مقاومت لزوماً به معنای افزایش ایمنی نمی‌باشد. بنابراین در آیین‌نامه‌های جدید به جای معیار مقاومت از معیار رفتار برای طراحی سازه استفاده می‌نمایند [۱].

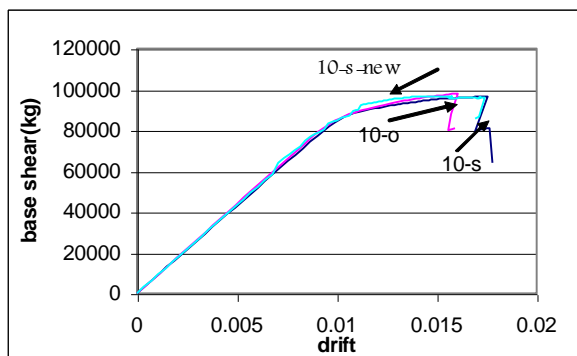
در این مقاله قاب‌های خمشی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه فولادی ویژه و معمولی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. طول دهانه‌ها ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می‌باشد. ابتدا قاب‌ها تحت تحلیل استاتیکی معادل قرار می‌گیرند. قاب خمشی ویژه با ضریب رفتار ۱۰ و قاب خمشی معمولی با ضریب رفتار ۵ می‌باشد.

با توجه به اینکه در تحلیل استاتیکی خطی، مقادیر جابجایی زلزله در حد بسیار پایین‌تری از حد واقعی آن در نظر گرفته شده و از طرفی فرض می‌شود که سازه با ایجاد مفاصل پلاستیک قادر به تحمل زلزله می‌باشد، لذا در اینجا از تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده شده تا محل ایجاد مفاصل پلاستیک و خرابی‌ها و در نهایت عملکرد سازه مورد بررسی قرار گیرد. در این روش همزمان با افزایش بار جانبی، تغییر شکل و نیروهای داخلی تحت نظر قرار می‌گیرند. این روش مشابه روش تحلیل استاتیکی خطی است با وجود دو تفاوت.

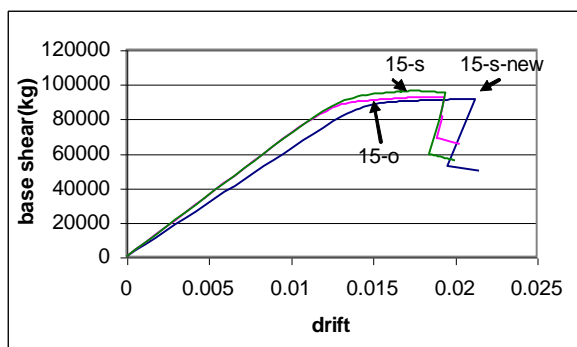
طراحی بکار می‌روند.



شکل (۱): نمودار ظرفیت قاب‌های خمشی ۵ طبقه حاصل از توزیع بار جانبی یکنواخت بعد از اعمال بار ثقلی $(d+I)$ ۱/۱



شکل (۲): نمودار ظرفیت قاب‌های خمشی ۱۰ طبقه حاصل از توزیع بار جانبی یکنواخت بعد از اعمال بار ثقلی $(d+I)$ ۱/۱



شکل (۳): منحنی ظرفیت قاب‌های ۱۵ طبقه حاصل از توزیع بار جانبی یکنواخت بعد از اعمال بار ثقلی $(d+I)$ ۱/۱

علامت s، s-new و o به ترتیب مربوط به قاب خمشی ویژه طرح شده بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، قاب خمشی ویژه طرح شده بر اساس ضوابط جدید و قاب خمشی معمولی می‌باشند. بطور کلی با توجه به ضریب رفتار بزرگتر برای قاب ویژه به نظر می‌رسد این سیستم باید شکل‌پذیرتر باشد اما در این مثال خاص با توجه به ابعاد تیرها و ارتفاع ستون‌ها قاب مذکور نسبتاً از مقاومت بالاتری برخوردار است. چون با لحاظ نمودن سایر ضوابط مربوط به قاب خمشی ویژه از جمله ضابطه تیر ضعیف ستون قوی، نتایج طراحی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

$$0.75 (D + L + S + S \pm E)$$

$$0.6 D \pm E$$

D بار مرده، L بار زنده، E بار زلزله و S بار برف می‌باشد. با استفاده از این ترکیبات بارگذاری، تنش‌های مجاز بدون افزایش ۳۳٪ تعیین می‌گردند.

همچنین بر اساس این ضوابط در تحلیل و طراحی اجزای سیستم باربر جانبی لرزه‌ای، محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها حداقل باید به اندازه نصف عمق تیر از کنار ستون فاصله داشته باشد. این فاصله نباید از ۱/۵ برابر عمق تیر از کنار ستون بیشتر باشد [۵].

بر اساس ضوابط لرزه‌ای موجود، در قاب‌های خمشی ویژه باید شرط تیر ضعیف- ستون قوی برقرار باشد. اما در صورتی که یکی از شرایط زیر برآورده شود، لزومی به برقراری این شرط نیست.

الف) ستون‌های با تنش محوری کوچکتر از $0.4 F_y$ برای تمام ترکیبات بارگذاری.

ب) ستون‌ها در هر طبقه‌ای که مقاومت برشی جانبی آن ۵۰٪ بزرگتر از طبقه فوقانی باشد [۶].

در ضوابط لرزه‌ای جدید بند الف به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

ستون‌های با تنش محوری کوچکتر از $0.2 F_y$ که هر یک از ضوابط زیر را نیز برآورده نمایند:

الف) ستون‌های ساختمان‌های یک طبقه و ستون‌های طبقه آخر ساختمان‌های چند طبقه.

ب) ستون‌هایی که مجموع سهم برش آنها از ۲۰٪ کل برش طبقه مورد نظر کمتر بوده و هر کدام از آنها از ۳۳٪ سهم برش آن طبقه بیشتر نباشد [۵].

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، شرط تیر ضعیف- ستون قوی بر اساس ضوابط جدید، بر ستون‌های بیشتری در سازه اعمال می‌گردد.

۴- تحلیل استاتیکی غیر خطی

در تحلیل غیر خطی، نمودار نیرو- تغییر شکل اعضا پس از ورود به مرحله غیر خطی طبق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای تعریف گردید.

۴-۱- نمودار ظرفیت

نمودار ظرفیت قاب‌های خمشی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به ترتیب در شکل‌های (۱) تا (۳) نشان داده شده است.

۴-۲- رفتار اعضا

استاتیکی و دینامیکی غیر خطی، رفتار چشمه‌های اتصال در محدوده خطی باقی خواهد ماند.

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

۵- تحلیل دینامیکی غیر خطی

برای به مقیاس درآوردن شتاب‌نگاشت‌ها طبق آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰، ابتدا کلیه شتاب‌نگاشت‌ها (سه جفت مؤلفه افقی شتاب‌نگاشت‌ها در دو راستای x و y) به مقدار حداکثر خود مقیاس شده و طیف پاسخ آنها با نرم‌افزار seismosignal برای میرایی ۵٪ محاسبه شد. سپس طیف پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت به روش جذر مجموع مربعات، ترکیب و میانگین-گیری شد. ضریب مقیاس پس از مقایسه طیف حاصل با طیف طرح استاندارد، در محدوده T/۲ تا ۱/۵ T تعیین شده و در شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده ضرب گردید. ضریب مقیاس شتاب‌نگاشت‌های با ماکزیمم شتاب ثقل برای قاب‌های ۵ طبقه ۰/۵، برای قاب‌های ۱۰ طبقه ۰/۷۲ و برای قاب‌های ۱۵ طبقه ۱/۲ محاسبه گردید. سازه تحت کلیه شتاب‌نگاشت‌ها آنالیز شده و از بحرانی‌ترین نتایج آنها در طراحی اعضای سازه استفاده می‌نماییم.

مشخصات شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده به شرح جداول

زیر می‌باشد:

جدول (۴): مشخصات شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل

دینامیکی غیر خطی

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

اعضایی که سطح عملکرد آنها تحت سه جفت شتاب‌نگاشت نورتریج، لوماپریتا و امپریال از سطح ایمنی جانی گذشته است، در جداول (۵) تا (۷) آورده شده‌اند (تحت توزیع بار جانبی یکنواخت بعد از اعمال بار ثقلی (d+I) (۱/۱):

جدول (۵): اعضای قاب‌های ۵ طبقه با عملکرد پایین‌تر از ایمنی جانبی در تحلیل دینامیکی غیر خطی

	نورتریج		لوماپریتا		امپریال	
	x	y	x	y	x	y
۵ طبقه ویژه فعلی	ستون میانی طبقه ۱	ستون میانی طبقه ۱	-	ستون میانی طبقه ۱	-	ستون میانی طبقه ۱
۵ طبقه معمولی	ستون میانی طبقات ۱ و ۲	ستون میانی طبقات ۱ و ۲	-	ستون میانی طبقات ۱ و ۲	ستون میانی طبقات ۱ و ۲	ستون میانی طبقات ۱ و ۲
۵ طبقه ویژه جدید	تیرهای طبقه ۳ و ستون میانی طبقه ۱	ستون میانی طبقه ۱	-	ستون میانی طبقه ۱	-	-

جدول (۱): اعضای قاب‌های ۵ طبقه با عملکرد پایین‌تر از ایمنی

جانی در تحلیل پوش اور

اعضایی که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است.	
ستون میانی طبقه اول	۵ طبقه ویژه فعلی
ستون‌های طبقه اول + ستون میانی طبقه دوم	۵ طبقه معمولی
ستون میانی طبقه اول	۵ طبقه ویژه جدید

جدول (۲): اعضای قاب‌های ۱۰ طبقه با عملکرد پایین‌تر از ایمنی

جانی در تحلیل پوش اور

اعضایی که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است.	
ستون میانی طبقات ۱ و ۲	۱۰ طبقه ویژه فعلی
ستون‌های میانی طبقات ۱، ۲ و ۳	۱۰ طبقه معمولی
ستون میانی طبقات ۱ و ۲	۱۰ طبقه ویژه جدید

جدول (۳): اعضای قاب‌های ۱۵ طبقه با عملکرد پایین‌تر از ایمنی

جانی در تحلیل پوش اور

اعضایی که سطح عملکرد آنها از LS گذشته است.	
ستون‌های طبقه اول + ستون میانی طبقه دوم	۱۵ طبقه ویژه فعلی
ستون‌های طبقه اول + ستون میانی طبقات ۲، ۳، ۴ و ۵	۱۵ طبقه معمولی
ستون‌های طبقه اول + ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	۱۵ طبقه ویژه جدید

با توجه به اینکه طراحی اعضا بر اساس نیروهای حاصل از تحلیل استاتیکی خطی انجام شده است، بعد از بررسی رفتار غیر خطی اعضا مشخص گردید که تعدادی از آنها طبق جداول فوق، در سطح عملکرد ایمنی جانی نیستند و از طرف دیگر تعدادی از ستونها و تیرهای طبقات فوقانی هستند که سطح عملکرد آنها بالا و بیش از حد مورد نیاز است.

۴-۳- رفتار چشمه اتصال

برای بررسی عملکرد چشمه اتصال، رفتار چشمه اتصال طبق دستورالعمل بهسازی و با فرض امکان ورود به منطقه غیر خطی مدل گردید. در نتیجه بعد از انجام کلیه تحلیل‌های



جدول (۶): اعضای قاب‌های ۱۰ طبقه با عملکرد پایین‌تر از ایمنی جانی در تحلیل دینامیکی غیر خطی

	نورتریج		لوماپریتا		امپریال	
	x	y	x	y	x	y
قاب ۱۰ طبقه ویژه جدید	ستون میانی طبقات ۳ و ۲	ستون میانی طبقات ۳ و ۲	-	ستون میانی طبقه ۳ و ۲	-	ستون میانی طبقات ۳ و ۲ و تیرهای طبقه ۱
قاب ۱۰ طبقه معمولی	ستون میانی طبقات ۳ و ۱، ۲	ستون میانی طبقات ۳ و ۱، ۲	-	ستون میانی طبقات ۳ و ۱، ۲	ستون میانی طبقه ۱	ستون میانی طبقات ۳ و ۱، ۲ و تیرهای طبقه ۱
قاب ۱۰ طبقه ویژه بر طبق آیین‌نامه فعلی	ستون میانی طبقات ۲ و ۱	ستون میانی طبقات ۲ و ۱	-	ستون میانی طبقات ۲ و ۱	ستون میانی طبقه ۱	ستون میانی طبقات ۱، ۲ و تیرهای طبقه ۱

جدول (۷): اعضای قاب‌های ۱۵ طبقه با عملکرد پایین‌تر از ایمنی جانی در تحلیل دینامیکی غیر خطی

	نورتریج		لوماپریتا		امپریال	
	x	y	x	y	x	y
قاب ۱۵ طبقه ویژه جدید	ستون‌های طبقه ۱ و ۲، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	ستون‌های طبقه ۱ و ۲، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	ستون میانی طبقه اول	ستون‌های طبقه ۱ و ۲، ستون میانی طبقه ۲	ستون میانی طبقه اول	ستون‌های طبقه ۳ و ۴، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴
قاب ۱۵ طبقه معمولی	ستون‌های طبقه ۳ و ۱ و ۲، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	ستون‌های طبقه ۱ و ۲، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	ستون‌های طبقه ۱ و ۲، ستون میانی طبقه ۲	ستون‌های طبقه اول + ستون‌های میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	ستون‌های طبقه ۱ و ۲، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴	ستون‌های طبقه ۳ و ۴، ستون میانی طبقات ۲، ۳ و ۴
قاب ۱۵ طبقه ویژه معمولی	ستون‌های ۵ طبقه اول + ستون میانی طبقات ۶، ۷ و ۸	ستون‌های ۵ طبقه اول + ستون‌های میانی طبقات ۶، ۷ و ۸	ستون‌های طبقه اول	ستون‌های طبقه ۲ و ۳، ستون میانی طبقات ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸	ستون‌های طبقه اول و ستون میانی طبقات ۲ و ۳	ستون‌های طبقه اول و ستون میانی طبقات ۲ و ۳

جدول (۹): نمودار برش پایه-جابجایی بام قاب ۵ طبقه معمولی

نورتریج	جابجایی بام		برش پایه
	x	y	
نورتریج	x	۰/۳۶۴۸	۴۵۲۴۰
	y	۰/۱۹۱۹	۳۹۶۴۰
لوماپریتا	x	۰/۰۶۲۱۴	۱۹۸۹۰
	y	۰/۱۷۸۳	۴۱۹۸۰
امپریال	x	۰/۱۵۸۳	۳۰۱۶۰
	y	۰/۲۲۸۹	۴۶۴۳۰
استاتیکی غیر خطی	۰/۱۹۳۶		۴۰۷۵۰

۲-۵- نقطه عملکرد

برش پایه و جابجایی بام برای تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی و تحلیل استاتیکی غیر خطی در جداول (۸) تا (۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۸): نمودار برش پایه-جابجایی بام قاب ۵ طبقه ویژه طبق

ضوابط جدید لرزه‌ای

نورتریج	جابجایی بام		برش پایه
	x	y	
نورتریج	x	۰/۳۵۹۳	۴۸۲۷۷
	y	۰/۱۸۵۸	۴۰۰۶۹
لوماپریتا	x	۰/۰۶۳۱	۱۹۵۲۳
	y	۰/۱۶۳۱	۴۲۲۱۳
امپریال	x	۰/۱۷۴۵	۳۲۶۸۷
	y	۰/۲۲۳۸	۴۶۸۲۲
استاتیکی غیر خطی	۰/۱۸۹۹		۴۵۱۲۰

جدول (۱۰): برش پایه-جابجایی بام قاب ۵ طبقه ویژه آیین

نامه فعلی

نورتریج	جابجایی بام		برش پایه
	x	y	
نورتریج	x	۰/۳۶۵۹	۴۶۰۸۴
	y	۰/۱۸۷۸	۴۰۳۴۸
لوماپریتا	x	۰/۰۶۳۸۱	۱۹۹۳
	y	۰/۱۷۱۳	۴۲۴۶۳
امپریال	x	۰/۱۶۷۳	۳۱۲۳۸
	y	۰/۲۱۹۴	۴۳۱۶۳
استاتیکی غیر خطی	۰/۱۹۱۲۵		۴۴۰۵۰



جدول (۱۱): برش پایه-جابجایی بام قاب ۱۰ طبقه ویژه بر طبق ضوابط لرزه‌ای جدید

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۴۲۵۲	۹۱۳۲۰
	y	۰/۳۵۰۳	۷۴۵۲۰
لوماپریتا	x	۰/۰۸۰۱۴	۳۷۰۷۰
	y	۰/۲۵۷۱	۷۰۲۴۰
امپریال	x	۰/۲۰۴۹	۵۰۱۴۰
	y	۰/۵۴۲۱	۹۹۷۷۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۲۷۵۳	۷۹۱۲۰

جدول (۱۲): برش پایه-جابجایی بام قاب ۱۰ طبقه معمولی

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۴۱۲۳	۸۹۸۰
	y	۰/۳۳۶۹	۷۳۹۸۰
لوماپریتا	x	۰/۰۷۹	۳۷۵۰۰
	y	۰/۲۵۳۱	۷۱۹۰۰
امپریال	x	۰/۲۰۳۲	۵۰۳۱۰
	y	۰/۵۲۷۲	۹۹۰۲۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۲۶۹۵	۷۹۳۱۰

جدول (۱۳): برش پایه-جابجایی بام قاب ۱۰ طبقه ویژه طبق آیین‌نامه فعلی

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۴۱۰۸	۸۲۴۶۰
	y	۰/۳۳۶۹	۷۱۵۳۰
لوماپریتا	x	۰/۰۷۹۵۹	۳۷۰۲۰
	y	۰/۲۵۲۴	۷۱۱۹۰
امپریال	x	۰/۲۰۲۴	۴۹۹۷۰
	y	۰/۵۱۹۷	۹۲۶۱۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۲۵۹۸	۷۳۸۱۰

جدول (۱۴): برش پایه-جابجایی بام قاب ۱۵ طبقه ویژه طبق ضوابط لرزه‌ای جدید

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۷۲۱۴	۱۲۵۲۰۰
	y	۰/۷۲۳۸	۱۲۴۸۰۰
لوماپریتا	x	۰/۲۸۴۲	۷۴۹۰۰
	y	۰/۳۷۸۳	۱۱۵۴۰۰
امپریال	x	۰/۳۸۰۸	۸۰۷۸۰
	y	۰/۶۸۷۸	۱۱۵۶۰۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۵۰۴۴۵	۷۸۷۵۰

جدول (۱۵): برش پایه-جابجایی بام قاب ۱۵ طبقه معمولی

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۷۸۱	۱۰۱۵۰۰
	y	۰/۷۸۵	۱۰۱۹۰۰
لوماپریتا	x	۰/۳۰۹۲	۶۶۶۰۰
	y	۰/۳۹۵۲	۱۰۷۳۰۰
امپریال	x	۰/۳۵۷۱	۶۱۱۰۰
	y	۰/۶۶۱۹	۱۰۴۳۰۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۴۴۸۶	۸۸۸۰۰

جدول (۱۶): برش پایه-جابجایی بام قاب ۱۵ طبقه ویژه طبق آیین-نامه فعلی

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۷۱۹	۱۱۹۹۰۱
	y	۰/۷۱۹	۱۱۹۵۰۰
لوماپریتا	x	۰/۲۸۲۳	۷۴۵۰۰
	y	۰/۳۷۹۶	۱۱۳۲۰۰
امپریال	x	۰/۳۸۰۸	۷۸۷۶۰
	y	۰/۶۷۶۲	۱۱۸۰۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۵۰۴۵	۷۸۷۵۰

۶- طراحی بر اساس عملکرد

در روش طراحی بر اساس عملکرد، عملکرد غیر خطی اجزای سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد و تغییر مکان به جای نیرو به عنوان مناسب‌ترین شاخص در نظر گرفته می‌شود. به همین دلیل می‌توان رفتار واقعی‌تری از سازه‌ها، در صورت وقوع یک زلزله مشخص بدست آورد [۷].

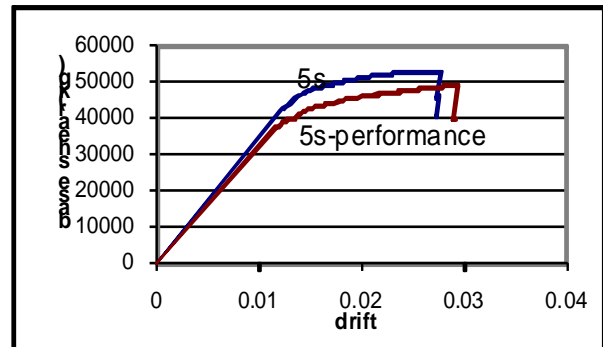
در اینجا طراحی بر اساس عملکرد به گونه‌ای انجام شده است که هم سطح عملکرد کلیه اعضا در محدوده ایمنی جانبی قرار بگیرد و هم طرح اقتصادی ارائه گردد و از ایجاد ظرفیت اضافی پرهیز گردد.

با توجه به جداول و همچنین نمودارهایی که در این بخش آمده‌اند مشخص می‌گردد که در قاب‌های طراحی شده بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌ها، سطح عملکرد برخی از اعضای قاب‌ها بر خلاف انتظار، از سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) گذشته است و از طرفی از عمده ظرفیت بعضی از اعضا به ویژه در طبقات فوقانی استفاده نشده است. برای اینکه به لحاظ اقتصادی حالت بهینه ایجاد شود و همچنین کلیه اعضا در محدوده سطح عملکرد ایمنی جانی قرار بگیرند، بر روی قاب‌های ویژه که طبق پیش‌نویس جدید پیوست دوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ طرح گردیده بود، طراحی بر اساس عملکرد انجام گرفت. همانطور که در نمودارهای (۴) تا (۶) مشاهده می‌شود، میزان جذب برش پایه

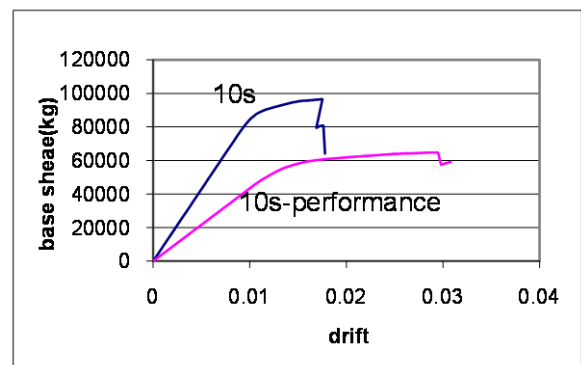
کاهش و امکان تغییر شکل پلاستیک قبل از گسیختگی افزایش یافته است و قاب‌ها انعطاف‌پذیرتر شده‌اند.

۱-۶- نمودار ظرفیت قاب

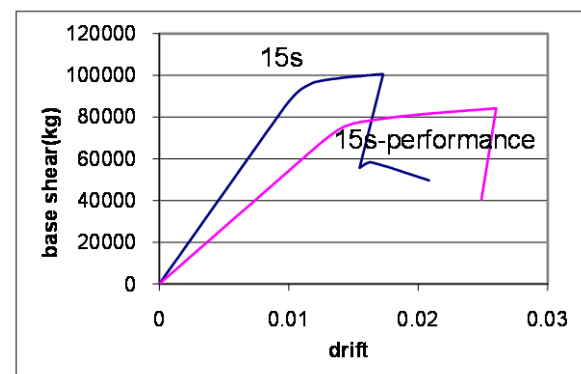
نمودار ظرفیت قاب‌های خمشی ویژه طرح شده طبق ضوابط لرزه‌ای جدید قبل و بعد از طراحی بر اساس عملکرد در شکل‌های (۴) تا (۶) آورده شده‌اند.



شکل (۴): نمودار ظرفیت قاب ۵ طبقه ویژه قبل و بعد از طراحی بر اساس عملکرد



شکل (۵): نمودار ظرفیت قاب ۱۰ طبقه ویژه قبل و بعد از طراحی بر اساس عملکرد



شکل (۶): نمودار ظرفیت قاب ۱۵ طبقه ویژه قبل و بعد از طراحی بر اساس عملکرد

همانطور که ملاحظه می‌شود، بعد از طراحی بر اساس عملکرد، به علت افزایش شکل‌پذیری سازه، طیف تقاضا و ظرفیت کاهش یافته و محل نقطه عملکرد تغییر یافته است. البته سطح عملکرد مورد نظر، سطح ایمنی جانی می‌باشد و نمودار رفتار سازه تا مرحله فروریزش ادامه دارد.

۲-۶- نقطه عملکرد قاب حاصل از تحلیل دینامیکی غیر

خطی

مقادیر برش پایه و جابجایی بام حاصل از شتاب‌نگاشت‌ها در جداول (۲۵) تا (۲۷) آورده شده‌اند و با مقادیر مربوط به تحلیل استاتیکی غیر خطی مقایسه شده است.

جدول (۱۷): برش پایه و جابجایی بام حاصل از تحلیل دینامیکی

غیر خطی قاب ۵ طبقه

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۳۷۲۵	۴۵۰۷۰
	y	۰/۱۹۵۳	۴۱۰۸۰
لوماپریتا	x	۰/۰۶۲۳۸	۱۹۶۴۰
	y	۰/۱۷۹۷	۴۱۲۶۰
امپریال	x	۰/۱۶۳۱	۳۰۲۷۰
	y	۰/۲۵۰۴	۴۶۲۶۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۱۹۸۱	۴۳۱۵۰

جدول (۱۸): برش پایه و جابجایی بام حاصل از تحلیل دینامیکی

غیر خطی قاب ۱۰ طبقه

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۴۳۸۸	۴۹۱۵۰
	y	۰/۴۴۲	۴۸۴۷۰
لوماپریتا	x	۰/۱۶۶۶	۳۰۵۱۰
	y	۰/۲۲۵۵	۴۸۱۰۰
امپریال	x	۰/۲۱۸۶	۲۸۶۷۰
	y	۰/۴۵۵۸	۵۴۶۹۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۳۹۱۵	۵۴۲۶۰

جدول (۱۹): برش پایه و جابجایی بام حاصل از تحلیل دینامیکی

غیر خطی قاب ۱۵ طبقه

		جابجایی بام	برش پایه
نورتریج	x	۰/۸۲۹۶	۱۰۴۶۰۰
	y	۰/۸۲۶۸	۱۰۴۳۰۰
لوماپریتا	x	۰/۳۳۲۷	۷۴۴۲۰
	y	۰/۴۱۰۵	۱۰۵۳۰۰
امپریال	x	۰/۴۰۹۲	۶۹۸۰۰
	y	۰/۶۲۶۲	۱۰۸۸۰۰
استاتیکی غیر خطی		۰/۵۷۹۶	۶۹۵۶۰

۷- نتیجه گیری

الف) با توجه به مفروضات و مدل‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق، مقایسه نیروهای جانبی حاصل از شتاب‌نگاشت‌ها با مقادیر نیروهای جانبی حاصل از تحلیل استاتیکی غیر خطی به ویژه در مورد قاب‌های با ارتفاع بیشتر که اثر مودهای بالاتر مطرح می‌شود، حاکی از لزوم انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی برای این قاب‌ها است. رفتار نامناسب قاب‌ها بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی نسبت به استاتیکی غیر خطی بر خلاف به مقیاس درآوردن شتاب‌نگاشت‌ها بر اساس آیین‌نامه زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) می‌باشد.

ب) خصوصیات فرکانس زلزله‌ها اثرات مهمی بر واکنش سازه‌ها داشته و نوسانات شتاب و جابجایی حرکات زمین، تأثیر مستقیمی را بر مقادیر نسبت شکل‌پذیری اعضا در هر دو سیستم باربر جانبی دارد. در اینجا با وجود به مقیاس درآوردن شتاب‌نگاشت‌ها و یکسان بودن مقادیر حداکثر شتاب در کلیه شتاب‌نگاشت‌ها اثرات متفاوتی را بر سازه ایجاد نموده‌اند.

ج) به طور کلی در نظر گرفتن ضوابط لرزه‌ای جدید منجر به افزایش ظرفیت قاب شده است.

۸- مراجع

- ۱ Priestley, M.J.N; Performance based seismic design, proceeding of 12th WCEE, Newzeland, 2000
- ۲ تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۱.
- ۳ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود. دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۱.
- ۴ مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران، طراح و اجرای ساختمان‌های فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۳.
- ۵ پیشنویس پیوست ۲ آیین‌نامه زلزله ایران (سازه‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله) میرقادر، سید رسول، تیر ماه ۱۳۸۴.
- ۶ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ویرایش سوم، تیر ۱۳۸۴.
- ۷ Krawinkler, H.; Advancing performance- Based Earthquake Engineering, NISEE: National Information service for Earthquake

۹- زیر نویس ها

¹ Northridge

² Imperial

³ Lomapieta

