

بررسی کارکرد ساختمان‌های بلند بتنی قاب خمشی با اهمیت زیاد، مقاوم شده با مهاربند فولادی در مقابل زلزله MCE^1

سهیل آل رسول^۱؛ ابوالقاسم کرامتی^۲

چکیده

امروزه تأمین ایمنی با حداقل آسیب‌های جانی و مالی پس از زلزله‌های شدید از جمله حداقل نیازهایی است که باید در طراحی‌ها رعایت گردد. استاندارد ۲۸۰۰ ایران دارای دو سطح زلزله بهره برداری و طراحی می‌باشد که سطح خطر دوم احتمال وقوع ۱۰ درصد در ۵۰ سال را برآورد می‌کند. دستورالعمل FEMA-۳۵۶ نیز سطح خطر MCE را به عنوان بزرگترین سطح خطر، بر مبنای احتمال رخداد ۲ درصد در ۵۰ سال معرفی می‌نماید. در این مقاله سازه‌های بلند بتنی طراحی شده بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ که بوسیله مهاربند فولادی مقاوم سازی شده‌اند، در مقابل سطح خطر MCE مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. بر مبنای نتایج این تحقیق، ساختمان‌های مقاوم نشده در این سطح خطر، سطح کارکرد آستانه فرو ریزش و ساختمان‌های مقاوم شده، سطح کارکرد ایمنی جانی را تأمین نمی‌نمایند.

کلمات کلیدی

سطح کارکرد، میزان خطر، مقاوم سازی، سازه بلند، مهاربند فولادی

Investigation of Performance Levels in R.C. Tall building with Moment Resistance frames Retrofitted with steel bracing in the MCE Hazard Level.

S. Alerasoul; A. Keramati

ABSTRACT (Nouadody)

Nowadays one of the primary demands in the design of structures is to provide life safety performance level with minimal of human and financial damage after severe earthquakes. The Iranian seismic standard (2800) has introduces possesses stipulates two hazard levels; the service level and design level. The latter is defined as an earthquake with 10% probability of occurrence in 50 years. Also the "FEMA-356": define the MCE level as maximum hazard level that refers to an earthquake with 2% probability of occurrence in 50 years.

This paper presents research on R.C. tall buildings designed based on the 2800 standard and retrofitted with steel bracing. The selected hazard level in this research is MCE level. The results indicated that unretrofitted buildings collapse at the selected hazard level. Additionally retrofitting of the buildings failed to provide life safety performance level.

KEYWORDS

Performance Levels, Hazard level, Retrofitting, Steel bracing, Tall building.

^۱ دانش آموخته سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران - soheil_ale@yahoo.com

Email:

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران و محیط زیست - Email: keramati@atu.ac.ir



با خطر پذیری معین وی می‌تواند نسبت به سطح کاربری و آسیب پذیری سازه خود پس از زلزله نیز تصمیم‌گیری نماید. بنابراین فرایند طراحی براساس کارکرد شامل سه فرایند تعیین سطح کارکرد، سطح خطر و هدف طراحی می‌شود. هر سطح کارکرد شرایطی را برای محدود کردن حداکثر خسارات وارده به سازه در اثر یک زلزله معین ارائه می‌نماید. سطح خطر نیز بنابر یکی از روش‌های احتمالاتی و یا تعیینی سطح معینی از تکانهای زمین را معرفی می‌نماید که با ترکیب سطح کارکرد هدف بهسازی را معرفی می‌نمایند. همچنین اهداف بهسازی بیانگر سطح کارکرد مطلوب هنگام رخداد زمین لرزه، با ایجاد تقاضای شدید در ساختمان مشخص می‌شود.

۳- سطوح خطر زمین لرزه

بنابر تعریف هدف بهسازی و برای دستیابی به کارکرد مطلوب سازه در برابر هر سطح از زلزله، سطوح خطر معرفی می‌گردند. فاصله از گسل، جنس زمین، مؤلفه‌های زمین لرزه و بزرگی زمین لرزه از جمله عوامل مؤثر بر قدرت تخریب زمین لرزه می‌باشند.

در میان استانداردهای موجود برای طراحی لرزه ای، ۴۰ ATC [۷] سه سطح خطر با عناوین سطح بهره برداری (S.E.)، سطح طراحی (D.E.) و سطح حداکثر (M.E.) را معرفی نموده است. سطح حداکثر در این آیین نامه بیانگر سطحی از لرزش-های زمین است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال ۵٪ می‌باشد. از سوی دیگر در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود ایران بر مبنای FEMA-۲۵۶ [۵] سه سطح خطر-۱ (BSE۱) زلزله سطح طراحی، خطر-۲ (BSE۲) بزرگترین زلزله لحاظ شده و میزان خطر انتخابی را معرفی می‌نماید. بزرگترین زلزله لحاظ شده (MCE) در این آیین نامه رخداد زلزله با احتمال ۲٪ در ۵۰ سال را بیان می‌کند [۱].

۳-۱- سطح خطر-۱

این سطح با عنوان زلزله سطح طراحی (DBE) در حقیقت معادل سطح خطر طراحی معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز می‌باشد. این سطح رخداد زلزله با احتمال فراگذشت ۱۰٪ در ۵۰ سال را معرفی می‌کند. که در طراحی مقدماتی مدل‌ها که بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد مورد استفاده می‌باشد.

طیف طرح استاندارد معادل این سطح از حاصل ضرب مقادیر شتاب مبنای طرح (A) و طیف بازتاب ساختمان (B) حاصل می‌گردد. [۱]

استانداردهای فعلی طراحی تنها با معیار مقاومت و برای یک سطح از زمین لرزه تدوین شده اند، از این رو استفاده از روشهای نوین طراحی براساس کارکرد رویکرد قابل ملاحظه‌ای یافته است. افزون بر جلوگیری از تلفات جانی به عنوان هدف اصلی، به حداقل رساندن خسارات مالی در سازه‌های بلند و مهم از جمله اهداف قابل توجه می‌باشد. اهمیت بسیاری از این سازه‌ها از نظر کارایی پس از زلزله و یا ارزش‌های اقتصادی و سیاسی خاص، به نحوی است که پیش بینی کارکرد آنها در برابر زلزله‌های شدید قابل توجه می‌گردد.

تعیین سطح کارکرد و پیش بینی رفتار این سازه‌ها به کمک روش استاتیکی فزاینده غیر خطی و دینامیکی غیر خطی در آیین نامه‌ها انجام می‌پذیرد. روش تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی شامل دو مرحله اصلی می‌باشد، در مرحله اول تغییر مکان هدف تعیین می‌گردد و در مرحله دوم نیروهای جانبی به طور فزاینده به سازه اعمال می‌شود، این نیرو تا دستیابی به تغییر مکان هدف ادامه می‌یابد. تعیین تغییر مکان هدف، علاوه بر مشخصات سازه به سطح خطر انتخابی نیز وابسته می‌باشد. همچنین در تحلیل دینامیکی خطی در مرحله مقایسه نمودن شتاب نگاشت‌ها برای مقایسه با روش استاتیکی فزاینده غیر خطی، نسبت مقیاس با توجه به سطح خطر مورد نظر انتخاب می‌گردد.

۲- بیان خاستگاه طراحی براساس کارکرد

زمین لرزه‌های بزرگ دهه اخیر با خسارات جانی و مالی بی‌شمار خود باعث رشد امید برای بهبود روشهای طراحی لرزه ای شده اند. بی‌گمان یکی از مهمترین نواقص روش‌های متداول در آیین نامه‌های موجود طراحی لرزه ای، عدم توانایی برای پیش بینی رفتار سازه است. همچنین سطح بندی خطر زمین لرزه از جمله مواردی است که پیش از این مورد توجه کمتری بوده است.

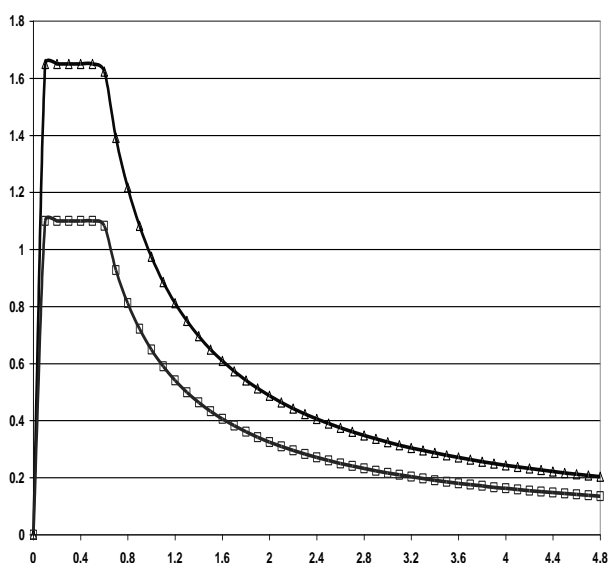
هدف اصلی از مهندسی زلزله براساس کارکرد، تهیه روشهایی برای جانمایی، طراحی، ساخت و نگهداری ساختمان می‌باشد به طوری که این روشها بتواند کارکرد سازه را زمانی که تحت اثر یک زلزله مشخص قرار می‌گیرد، پیش بینی کنند [۳]. در این روش با سطح بندی خطر زمین لرزه به کارفرما این اختیار داده می‌شود تا میزان خطر پذیری را برای طراح سازه انتخاب کند. از سوی دیگر با قابل پیش بینی شدن رفتار سازه

۲-۳- سطح خطر-۲

در روابط یاد شده S_{DL} و S_{DS} شتاب های طیفی برای زمان تناوب کوتاه و یک ثانیه هستند و F_v و F_a مربوط به ضریب ساختگاه می باشند [۲].

مقادیر S_L و S_S برای منطقه تهران با فرض میرایی ۰٪ معادل ۰/۷۵ و ۱/۶۵ می باشد [۲]. بر این مبنا طیف طراحی این آیین نامه برای سطوح خطر ۲ و ۱ در شکل (۲) مشاهده می گردد.

شکل (۲): طیف طراحی برای سطوح خطر ۲ و ۱ برای منطقه تهران



۴- روش های تحلیل

متناسب با دستورالعمل بهسازی لرزه ای برای تحلیل سازه های بلند کاربرد دو روش تحلیل به صورت همزمان لازم می باشد که این دو، روش های استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی می باشند.

۴-۱- تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی

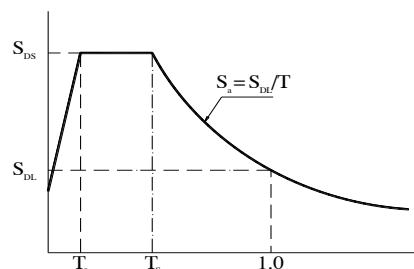
تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی روش مؤثر و سریع برای ارزیابی کارکرد سازه ها در هنگام زلزله می باشد. در این روش ابتدا با توجه به مشخصات سازه و سطح خطر انتخابی تغییر مکان هدفی برای سازه انتخاب می شود سپس سازه تا رسیدن به این تغییر مکان بوسیله بارهای جانبی هل داده می شود و بار به صورت تدریجی افزایش می یابد. با این روش منحنی تغییر مکان بام در برابر برش پایه ترسیم می شود. در مدل های طراحی شده از دو نوع توزیع بار جانبی، یکنواخت و متناسب با توزیع دینامیکی خطی استفاده شده است تا سطح کارکرد سازه ها برای سطح خطر-۲ تعیین گردد.

سطح خطر-۲ به عنوان حداکثر زلزله لحاظ شده (MCE) رخداد زلزله با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال را معرفی می نماید. برای تعیین سطح خطر-۲ از احتمال رخداد زلزله می بایست طیفی متناسب و پهنه بندی شتاب معتبری مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که برای این سطح خطر نقشه پهنه بندی شتاب معتبر ارائه نشده همچنین طیف استاندارد در دستورالعمل بهسازی لرزه ای معرفی نشده است و مبنای این تحقیق تعیین رفتار سازهای مدل تحت این سطح از خطر زمین لرزه است. می بایست طیف معتبری که برای سطح MCE تهیه شده است مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲-۳- طیف طرح از Tri-Services

آیین نامه ارتش سه گانه امریکا [۳] با ارائه طیف طرح خود مطابق شکل (۱) سطوح خطر ۲ و ۱ را معرفی می نماید. مطابق این آیین نامه سطح خطر-۱ معادل ۲/۳ سطح خطر-۲ (MCE) می باشد. [۴] این منحنی هموار شامل سه حالت می باشد.

شکل (۱): طیف طرح آیین نامه Tri-Services [۳]



الف) $T \leq T_0$:

$$S_a = 0.4S_{DS} + 0.6S_{DS} \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

که در آن T_0 و S_{DS} و S_{DL} مطابق روابط (۲)، (۳) و (۴) تعریف می شوند:

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{DL}}{S_{DS}} \quad (2)$$

$$S_{DS} = F_a S_S \quad (3)$$

$$F_{DL} = F_v S_L \quad (4)$$

ب) $T_0 < T \leq T_s$:

$$S_a = S_{DS} \quad (5)$$

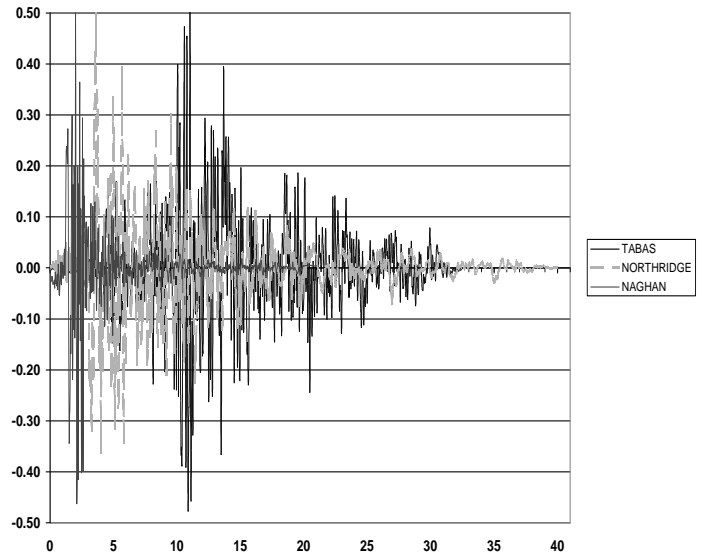
$$T_s = \frac{S_{DL}}{S_{DS}} \quad (6)$$

پ) $T > T_s$:

$$S_a = \frac{S_{DL}}{T} \quad (7)$$

۴-۲- تحلیل دینامیکی غیر خطی

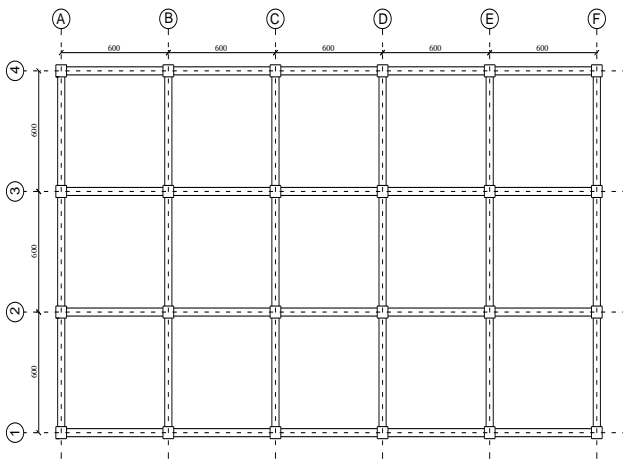
تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی سازه، بر مبنای سه شتاب نگاشت ناقان، نورتریج و طیس انجام شده است، که دارای محتوی فرکانسی، مدت و زمان تناوب غالب متفاوت می‌باشند. برای ایجاد همگونی و امکان مقایسه بهتر بین نتایج همچنین به جهت مقایسه بر مبنای سطح خطر-۲ تمام شتاب نگاشت‌ها به $PGA=0.5g$ همپایه شده‌اند.



شکل (۳): نگاشت پاسخ زلزله های استفاده شده در تحلیل

این همپایه سازی در محتوی فرکانسی زلزله ها مؤثر نمی‌باشد. در شکل (۳) نگاشت پاسخ این زلزله ها مشاهده می‌گردد.

شکل (۴): پلان نوع ۱ مدل های طراحی شده



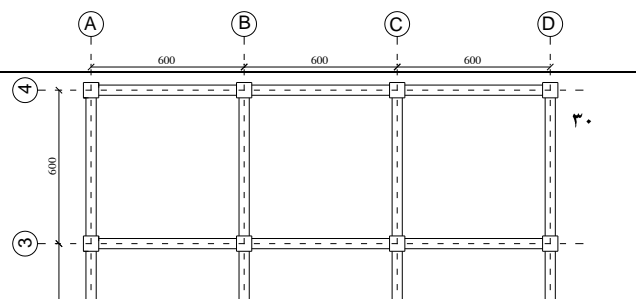
شکل (۵): پلان نوع ۲ مدل های طراحی شده

مدل‌های یاد شده پس از مرحله اول تعیین سطح کارکرد سازه بواسطه مهاربندهای فولادی در قاب‌های خارجی مقاوم سازی شده‌اند که در شکل (۶) قاب های مقاوم سازی شده مشاهده می‌شود. با توجه به این مدل های مقاوم سازی شده در مجموع هشت مدل مطابق جدول (۱) معرفی می‌گردند. بارگذاری ثقیلی و لرزه ای مدل‌های اولیه براساس ضوابط استانداردهای ۵۱۹ و ۲۸۰۰ (ویرایش دوم) ایران انجام شده است. که سطح بهره برداری از این استانداردها مورد نظر بوده است. برای تحلیل و طراحی استاتیکی خطی از نرم افزار SAP۲۰۰۰، با توجه به ضوابط طراحی آیین بتن ایران (آبا) استفاده شده است.

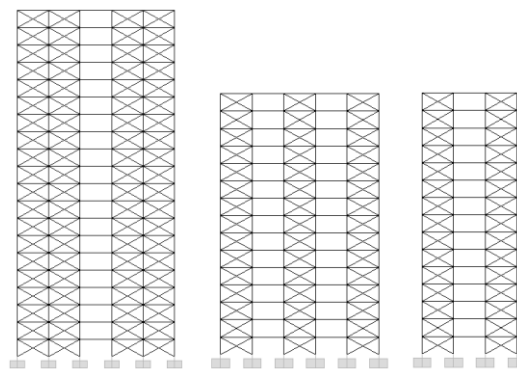
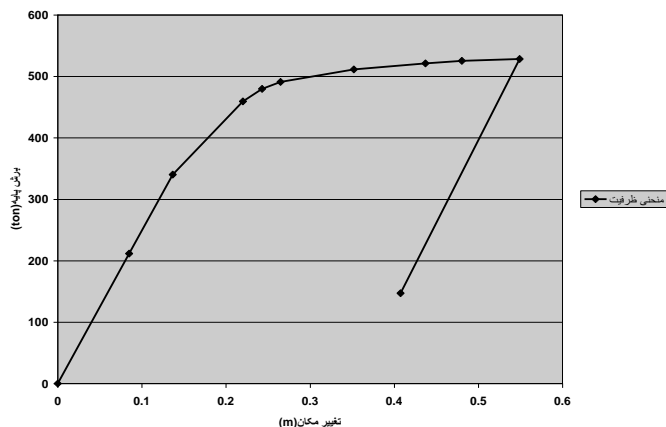
۵- معرفی مدل های مورد مطالعه

برای دستیابی به هدف این مقاله مدل هایی از سازه های بلند ۱۵ و ۲۰ طبقه، قاب خمشی بتن مسلح انتخاب شده‌اند. این ساختمان ها با فرض طراحی براساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران، با کاربری اداری و ضریب رفتار ویژه، $R=10$ طراحی و بررسی شده‌اند.

ساختمان‌های مورد مطالعه دارای دو نوع پلان متقارن، که در شکل های (۴) و (۵) مشاهده می‌شوند، می‌باشند و هر یک از آنها در دو ارتفاع ۱۵ و ۲۰ طبقه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.



تیرها به ویژه در طبقات پایینی و میانی از محدوده (Life LS Safety) خارج شده به محدوده (Collapse Prevention) (CD) وارد می‌گردند، کاهش شدید سختی و افت مقاومت در نزدیکی تغییر مکان هدف مشاهده می‌شود. در جدول (۲) وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و سطح کارکرد مطابق معیارهای نرم افزار مشاهده می‌گردد.

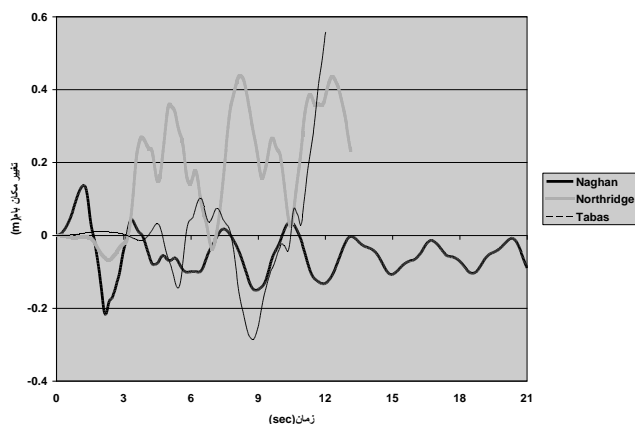


شکل (۶): قاب های مقاوم سازی شده (الف) S۱۵-۳ و S۲۰-۳ (ب) ۳-۵ و S۲۰-۵ (ج) S۱۵

جدول (۱): معرفی مدل های طراحی شده

عنوان مدل	نوع پلان	ارتفاع (m)
F۱۵-۳	۳×۳	۴۹/۵
F۱۵-۳	۳×۵	۴۹/۵
F۲۰-۳	۳×۳	۶۶/۰
F۲۰-۵	۳×۵	۶۶/۰
S۱۵-۳	۳×۳	۴۹/۵
S۱۵-۵	۳×۵	۴۹/۵
S۲۰-۳	۳×۳	۶۶/۰
S۲۰-۵	۳×۵	۶۶/۰

شکل (۷)- منحنی Pushover برای سازه F۱۵-۵ برای توزیع یکنواخت بار جانبی



شکل (۸)- پاسخ تغییر شکل در سازه F۱۵-۵

۶- نتایج تحلیل در مدل اولیه

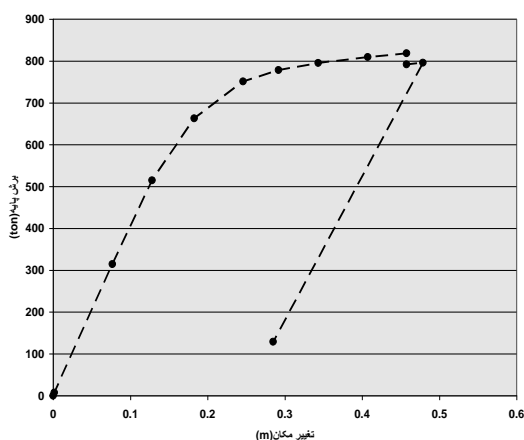
ابتدا مدل‌ها پیش از مقاوم سازی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. کاربرد دو روش تحلیل جدا از افزودن دقت در نتایج این امکان را فراهم آورده است که نتایج مربوط به تغییر مکانها، تغییر مکانهای نسبی بین طبقات و سطح کارکرد بین آنها مقایسه گردد.

۶-۱- نتایج تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی در مدل اولیه

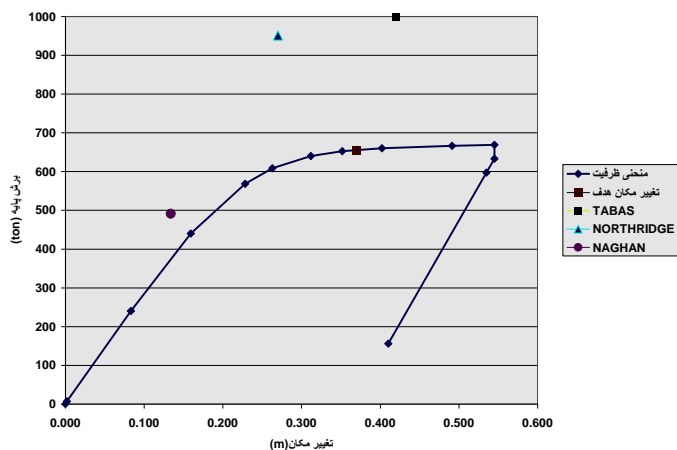
با استفاده از روش ضرایب تغییر مکان ارائه شده در دستورالعمل FEMA-۳۵۶ [۵] تغییر مکان هدف برای هر سازه در سطح خطر ۲ تعیین شده است. در شکل (۷) منحنی Pushover برای مدل F۱۵-۵ مشاهده می‌شود. بر مبنای معیارهای پذیرش این روش، سازه‌های اولیه تنها سطح آستانه فروریزش را تأمین می‌نمایند. از آنجا که در تمامی مدل‌ها،

جدول (۲): وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و سطح کارکرد سازه S15-5

.Dis	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	> E	TOTAL
./00	.	۳۵۷۰	.	.	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./09	۲۱۱/۴۲	۳۵۷۰	.	.	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۱۴	۳۴۰/۱۷	۳۴۹۴	۷۶	.	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۲۲	۴۵۹/۳۵	۳۱۹۴	۳۷۶	.	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۲۴	۴۷۹/۷۵	۳۱۰۶	۳۸۰	۸۴	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۲۶	۴۹۰/۹۱	۳۰۳۴	۳۹۲	۱۴۴	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۳۵	۵۱۱/۲۸	۲۹۵۴	۲۷۲	۳۴۴	.	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۴۴	۵۲۱/۲۴	۲۹۳۰	۲۱۲	۳۵۶	۷۲	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۴۸	۵۲۵/۱۶	۲۹۱۰	۱۸۸	۳۲۰	۱۵۲	.	.	.	.	۳۵۷۰
./۵۵	۵۲۸/۴۲	۲۸۸۶	۱۴۸	۲۹۲	۲۰۴	.	۴۰	.	.	۳۵۷۰
./۴۱	۱۴۷/۱۰	۲۸۸۶	۱۴۸	۲۸۸	۱۸۸	.	۴	۸	۴۸	۳۵۷۰



شکل (۹): منحنی Pushover برای سازه S15-5 برای توزیع یکنواخت بار جانبی



شکل (۱۰): مقایسه تغییر مکان حداکثر دینامیکی غیر خطی در سازه S15-5

۷- نتایج تحلیل در سازه های مقاوم شده با مهاربند فولادی

از جمله روش‌های سریع و مؤثر در مقاوم سازی قاب‌های خمشی بتن مسلح استفاده از مهاربند فلزی می‌باشد. اندرکنش قاب و مهاربند باعث می‌شود که این روش در سازه‌های کوتاه، متوسط و بلند پاسخهای متفاوتی را از نظر تقویت سختی و افزایش شکل پذیری ارائه نماید.

هر چند که این سیستم دوگانه هنگامی که برای یک برش پایه خاص طراحی شود در مقایسه با سیستم منفرد قاب خمشی قابلیت شکل پذیری بیشتری دارد لیکن این شکل پذیری بیشتر در سازه‌های کوتاه نمایان تر است [۶].

۷-۱- تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی مدل مقاوم شده

با توجه به تغییر مشخصات مدی و پریودهای اصلی سازه در اثر مقاوم سازی بوسیله مهاربندهای فولادی می‌بایست تغییر مکان هدف هر سازه دوباره تعیین گردند. با تعیین این تغییر مکان هدف کاهش ۴۰٪ - ۲۵٪ مشاهده می‌گردد. در شکل (۹) منحنی Pushover سازه S15-5 آورده شده است. افزایش برش پایه در ازای کاهش تغییر مکان هدف در این شکل قابل توجه است. در جدول (۳) وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و سطح کارکرد سازه‌های مقاوم شده مطابق معیار نرم افزار نشان داده شده است. مطابق نتایج در این تحلیل سطح کارکرد سازه‌ها به سطح ایمنی جانی افزایش یافته است که با بررسی معیارهایی چون جابجایی نسبی بین طبقات این نتیجه مورد ارزیابی بیشتر قرار می‌گیرد.

جدول (۳): وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و سطح کارکرد سازه در S15-5

Step	Dis.	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
------	------	------------	-----	------	-------	-------	------	-----	-----	----	-------



۰	۰	۰	۳۷۲۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۱	-/۰.۰۲	۶/۸۱۱۲	۳۶۹۸	۵۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۲	۰/۰.۸۳۲	۲۴۰/۳۵۴	۳۶۶۴	۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۳	-/۱۵۹۳	۴۴۰/۰.۸۷	۳۵۳۰	۲۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۴	۰/۲۲۸۳	۵۶۸/۳۴۷	۳۲۹۴	۴۴۰	۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۵	-/۲۶۳	۶۰۸/۶۳۳	۳۱۶۸	۵۲۶	۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۶	۰/۳۱۱۸	۶۳۹/۵۳۶	۳۰۴۰	۵۳۴	۱۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۷	۰/۳۵۱۵	۶۵۲/۱۴۰	۲۹۶۸	۵۷۰	۲۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۸	۰/۴۰۲۲	۶۵۹/۸۶۷	۲۹۰۶	۵۰۴	۳۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۹	۰/۴۹۱۴	۶۶۶/۴۵۲	۲۸۶۰	۳۷۴	۴۶۰	۵۶	۰	۰	۰	۰	۳۷۵۰
۱۰	-/۵۴۵۲	۶۶۸/۵۹۰	۲۸۳۰	۳۸۰	۴۲۰	۱۱۶	۰	۴	۰	۰	۳۷۵۰
۱۱	۰/۵۴۵۲	۶۳۳/۰.۹۹	۲۸۳۰	۳۳۶	۴۵۶	۱۲۰	۰	۴	۰	۴	۳۷۵۰
۱۲	-/۵۴۵۲	۵۹۶/۸۹۶	۲۸۳۰	۳۲۴	۴۴۴	۱۴۰	۰	۴	۴	۴	۳۷۵۰
۱۳	۰/۴۱۰۳	۱۵۵/۶۰۱	۲۸۳۰	۳۲۴	۴۴۴	۱۴۰	۰	۰	۶	۶	۳۷۵۰

برای شتاب نگاشت ها، این امکان را فراهم آورد تا رفتار سازه های طراحی شده بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش دوم) ایران در سطوح بالاتر زلزله طراحی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مطابق نتایج حاصله، سازه های بلند بتن مسلح با قاب خمشی ویژه در بیشینه زلزله محتمل (معادل ۲ درصد در ۵۰ سال) برای ساختگاه متناسب با شتاب نگاشت‌های اعمال شده در محدوده کارکرد آستانه فرو ریزش قرار می‌گیرند.

۱- با توجه به بررسی‌های انجام شده همه مدل ها پس از مقاوم سازی با مهاربند فولادی افزایش سطح کارکرد می‌یابند. مدل ها پس از مقاوم سازی سطح کارکرد ایمنی جانی را تأمین می‌کنند.

۲- بنابر نتایج حاصله روش مقاوم سازی با مهاربند فولادی در سازه های بلند، برای کنترل جابجایی نسبی طبقات در محدوده مجاز، دچار ضعف نسبی می‌باشد.

۳- از بررسی های انجام شده بر روی مفاصل به نظر می‌رسد که تأثیر مهاربندها در دوران ستون‌ها بیش از تیرها باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این روش برای مقاوم سازی سازه ها با ستون ضعیف و تیر قوی کارکرد مناسبی را از خود نشان دهند که کلیه این نتایج با ساختگاه متناسب با شتاب نگاشت های اعمال شده معتبر است.

۲-۷- تحلیل دینامیکی غیر خطی در مدل مقاوم شده

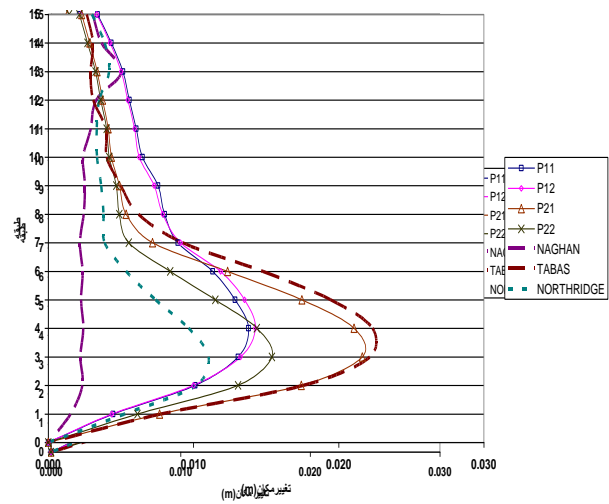
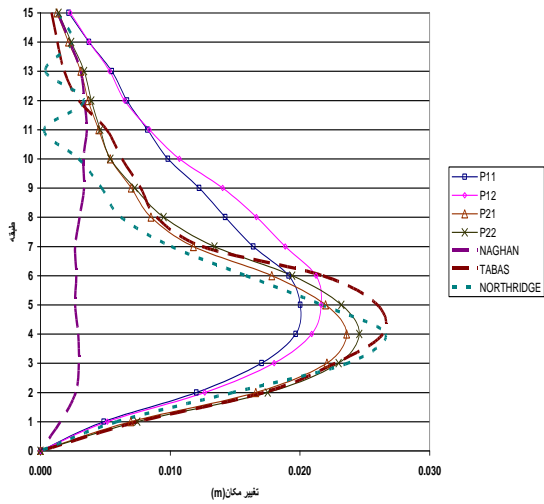
با استفاده از شتاب نگاشت های ناقان، نورتریج و طبس، سازه های مقاوم شده تحلیل شده اند و ماکزیمم مقادیر حاصله در این مرحله برای تعیین نهایی سطح کارکرد انتخاب شده اند. در شکل (۱۰) مقایسه از تغییر مکان دینامیکی غگیر خطی به ازای هر زلزله با روش استاتیکی فزاینده انجام شده است. تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل ها به ترتیب در مهاربندها، تیرهای رابط و سپس در تیرهای قاب های مهار نشده می‌باشد. همچنین نتایج در این روش دستیابی به سطح کارکرد ایمنی جانی را تأیید می‌نماید.

۳-۷- نتایج تغییر مکان نسبی طبقات

در این بخش ضمن مقایسه دو روش دینامیکی غیر خطی و استاتیکی فزاینده غیرخطی (مطابق آنچه در شکل های ۹ و ۱۰ آمده است) با توجه به نتایج حاصل از جابجایی نسبی طبقات رفتار سازه پیش و پس از مقاوم سازی بواسطه مهاربند ارزیابی شده که در شکل ۱۱ برای مدل‌های S.F15-5 مشاهده شده و در جدول (۲) وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و سطح کارکرد سازه F15-5 یعنی پیش از مقاوم سازی و در جدول (۳) وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک و سطح کارکرد سازه S15-5 یعنی پس از مقاوم سازی ارائه شده است.

۸- نتیجه گیری

نتایج حاصله از بررسی های این تحقیق عبارتند از:
۱- انتخاب سطح خطر-۲ و متناسب آن مقیاس $PGA=0.05g$



شکل (۱۱) : نمودار نسبت تغییر مکان نسبی برای مدل S.F15-5

۹- مراجع

- [۱] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، ۱۳۸۱.
- [۲] حسین هاشمی، ب. و عظیمی، ا.، "بررسی کارکرد ساختمانهای بتنی قاب خمشی با اهمیت زیاد طراحی شده براساس ۲۸۰۰ ایران در مقابل زلزله های MCE و DBE"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۲، ۱۳۸۳، صفحه ۲ تا ۱۰.
- [۳] Hamburger, R.O., "A Framework for Performance-Based Earthquake Resistant design", NISEE: National Information Service for Earthquake Engineering, 1997.
- [۴] Tri-Services (TI809-04): Seismic Design for Building Prepared U.S. Army Corps of Engineers, 1996.
- [۵] FEMA-356, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Prepared by the American Society of Civil.
- [۶] J. Maheri, M.R. and Akbari, A., "Seismic behavior factor, R, for Steel X- braced and Knee braced RC buildings", Engineering Structures, 2002, Vol. 25, pp. 1505- 1513.
- [۷] ATC 40, 1996, Applied Technology Council, Red Wood City, California.

۱۰- زیر نویس

\MCE: Maximum Credible earthquake