



بررسی تأثیر سختی بر رفتار سازه های بلند مرتبه جداسازی شده

حمیدرضا شریفی، سید بهزاد طلایی طبا*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، اصفهان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۶-۱۲-۱۸
بازنگری: ۱۳۹۷-۰۲-۰۶
پذیرش: ۱۳۹۷-۰۲-۲۶
ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۰۳-۱۹

کلمات کلیدی:

جداسازی لرزه‌ای
سازه‌های بلند مرتبه
شکل پذیری
سختی
شتاب

خلاصه: اساس کار جداسازهای لرزه‌ای در کاستن از شتاب اعمال شده به سازه‌ها، بر مبنای افزایش پیروی طبیعی ارتعاش سازه است. در سازه‌های بلند مرتبه پیروی طبیعی به خودی خود زیاد است. در این صورت ممکن است نرم بودن قسمت روسازه، با اصل الاستیک ماندن آن هنگام زلزله در تعارض باشد. در تحقیق حاضر با مدل‌سازی و آنالیز تاریخیچه زمانی ۲۴۰ سازه در گام نخست به این سؤال پرداخته شد که آیا افزودن یا کاستن سختی قسمت‌های زیرسازه و روسازه (به ترتیب به میزان ۱ تا ۱۰۰ برابر و ۰/۰۰۱ تا ۱ برابر) تأثیری بر توزیع شتاب این قسمت‌ها دارد یا نه؟ نتایج تحلیل سازه‌ها که از ۵ نوع پلان و در ارتفاعات ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۸ طبقه بودند نشان داد که افزودن سختی روسازه می‌تواند منجر به کاهش حدود ۳۰ درصدی شتاب حداکثر بام (نسبت به سازه جداسازی شده بدون افزایش سختی روسازه) شود. این در حالی است که استفاده از جداسازی پایه در سازه‌های مورد بررسی به طور متوسط حدود ۵۰٪ شتاب بام را کم کرده است. کاهش چشم‌گیر شتاب بام مربوط سازه‌های با افزایش ۱۰ برابری سختی روسازه نسبت به سازه عادی بود. در گام بعد با آنالیز پوش‌آور ۱۵ سازه از این مجموعه مشخص شد که در تمام سازه‌ها (با سختی‌های مختلف) قسمت روسازه در حالت الاستیک خواهد ماند و هیچ یک از مفاصل تشکیل شده در اعضا از ناحیه IO رد نشده بود.

۱- مقدمه

استفاده از جداگرهای لرزه‌ای در چند دهه اخیر که به عنوان یک راه بسیار مؤثر در کاهش شتاب اعمال شده به سازه مدنظر مهندسان قرار داشته است. تا سالهای طولانی اعتقاد بر این بود که استفاده از جداسازی لرزه‌ای تا ساختمان‌های ۱۲ طبقه در کاهش شتاب مؤثر است و در ساختمان‌های بلندتر به دلیل زیاد بودن پیروی طبیعی ساختمان چندان مثمر ثمر نیست؛ زیرا علت اساسی کاستن از شتاب در سازه‌های جداسازی شده، افزودن پیروی سازه است. این باور به مرور زمان در پی تحقیقات صورت گرفته بر روی رفتار سازه‌های جداسازی شده و نتایج حاصله مبنی بر توزیع بسیار یکنواخت و کاهش یافته شتاب و همچنین گزارش‌های به دست آمده از رفتار سازه‌های جداسازی شده در زلزله‌های رخ داده، تغییر کرد [۱] و [۲]. در کشورهایی مثل ژاپن و آمریکا در ساختمان‌هایی با ارتفاعات

مختلف از جداگرهای لرزه‌ای استفاده شد و در زلزله‌هایی که در این کشورها رخ داد، این ساختمان‌ها در مقایسه با ساختمان‌های پایه گیردار عملکرد بسیار مناسبی داشتند. به این صورت که، شتاب‌های ثبت شده برای طبقات توسط شتاب‌نگارها در مواقع زلزله به شدت کاهش پیدا کرده و همین‌طور فرکانس ارتعاشی سازه‌ها نیز کاهش پیدا کرده بود [۳-۶]. پیش از این تحقیقاتی در زمینه‌ی بررسی سازه‌های دارای سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای و تأثیر جداسازی بر پاسخ سازه‌ها در هنگام زلزله انجام شده و نتایجی به دست آمده است. عمده نتایج به دست آمده مانند نتایجی که از مطالعات Terenzi و همکاران ۲۰۱۴، Probha و همکاران ۲۰۱۴، Ahmed ۲۰۱۲، Yang و همکاران ۲۰۰۴ و Thakkar و همکاران ۲۰۰۴، به دست آمده عبارت است از: سطح عملکرد بهتر سازه‌های جداسازی شده در مقایسه با سازه‌های جداسازی نشده و حداقل سطح خرابی در آن‌ها، ضریب مشارکت جرم مدی ۱ برای مد اول و جذب شدن تمام انرژی

* نویسنده‌ده‌ار مکاتبات: alaeetaba@iaukhsh.ac.ir



زلزله در مد اول ارتعاشی که تغییرشکل‌های سازه‌ای در آن ناچیز است و کاهش شتاب طبقات و جابه‌جایی بین آن‌ها در این سازه‌ها [۹-۵]. هم‌چنین تحقیقاتی نیز به صورت خاص بر روی سازه‌های بلندمرتبه جداسازی شده انجام گرفته‌است. که به عنوان نمونه می‌توان به مطالعات پژوهشگرانی از جمله Calugaro و همکاران ۲۰۱۲، Thakkar و همکاران ۲۰۰۴، Nishikawa و همکاران ۲۰۰۵، Becker و همکاران ۲۰۱۴، Sato و همکاران ۲۰۰۸، Yang و همکاران ۲۰۱۷، Gaibaulung و همکاران ۲۰۱۶، اشاره کرد. نتیجه‌ی این تحقیقات نشان می‌دهد که در این سازه‌ها هم همانند سازه‌های کوتاه مرتبه جداسازی باعث کاهش شتاب و جابه‌جایی طبقات می‌شود [۳ و ۹-۱۴].

از عملکرد ساختمان‌های بلندمرتبه جداسازی شده در طی زلزله‌های سال‌های گذشته نیز گزارش‌هایی وجود دارد. به عنوان مثال گزارش‌هایی که از عملکرد ۳ ساختمان Sendai MT (۱۸ طبقه) شهر سندای، Yozemi Tower (۲۹ طبقه) شهر توکیو و ساختمان موسسه فناوری توکیو (Tokyo Institute of Technology Building) (۲۰ طبقه)، طی زلزله سال ۲۰۱۱ ژاپن منتشر شده‌است، همگی بیان‌کننده کاهش شتاب و جابه‌جایی طبقات بوده و هیچ گزارشی از آسیب سازه‌ای و غیر سازه‌ای برای این ساختمان‌ها نرسیده است و هر ۳ ساختمان پس از زلزله به طور کامل عملکرد خود را حفظ کرده‌اند [۱۸-۱۵].

در سازه‌های بلندمرتبه دوره تناوب طبیعی سازه به‌خودی خود زیاد است. پس به ظاهر استفاده از جداسازهای لرزه‌ای که اساس کار آن‌ها مبتنی بر افزایش زمان تناوب سازه است، در این ساختمان‌ها نمی‌تواند منجر به همان نتایجی شوند که در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه دارند. مدارک فنی مربوط به سازه‌های جداسازی شده بیان می‌کنند که قسمت روسازه در این سازه‌ها باید هنگام زلزله در حالت الاستیک باقی بماند [۱]. در خصوص اهمیت تحقیق حاضر میتوان گفت که شرط کنترل جابجایی در سازه‌ها با افزودن سختی ارضا می‌شود در سازه‌های جداسازی شده با توجه به آن که شتاب اعمال شده به روسازه کاهش می‌یابد و از سوی دیگر مرز کنترل جابجایی نسبی بر اساس آیین نامه‌های موجود برای سازه‌های جداسازی شده (۰/۱R) است. معمولاً این مقدار، مقدار زیادی است (مقدار ضریب رفتار در حد ۱ تا ۲ می‌باشد). براین اساس در سازه‌های بلند جداسازی شده بسیار محتمل است که یک روسازه‌ی نسبتاً نرم

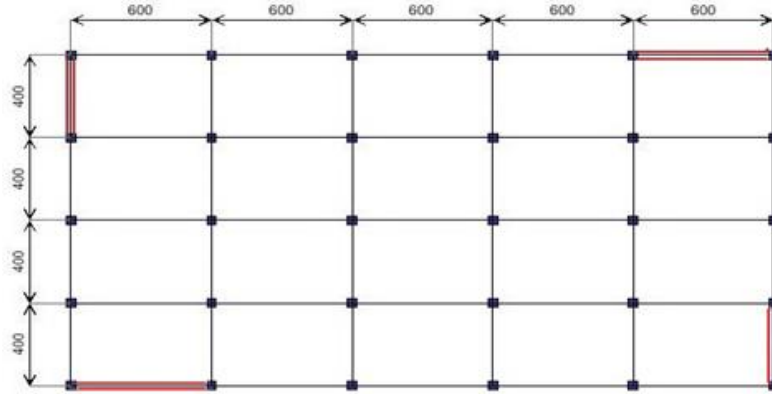
داشته باشیم که این خود بر نرم‌تر شدن روسازه خواهد افزود. حال این سوال اساسی مطرح است که در صورت استفاده از جداسازهای لرزه‌ای آیا با هر میزان سختی روسازه و زیر سازه این شرط الاستیک بودن یا به عبارت بهتر این ویژگی الاستیک ماندن سازه برقرار خواهد بود یا نه؟ در این خصوص بر اساس بهترین دانست‌های نویسندگان تحقیق جامعی صورت گرفته‌است. به منظور پاسخ به این سؤال که پرسش اصلی مقاله‌ی حاضر است، سازه‌هایی با ۵ پلان مختلف و با تعداد طبقه‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۸ تعریف شدند. در ابتدا تغییرات شتاب طبقات در این سازه‌ها برای ۲ حالت دارای جداگر لرزه‌ای و بدون آن مورد تحلیل قرار گرفته و سپس بررسی می‌گردد که میزان سختی قسمت‌های زیرسازه و روسازه در سازه دارای جداگر چه تأثیری می‌تواند بر شتاب طبقات داشته‌باشد. در هر مرحله سختی هر قسمت (زیرسازه و روسازه) از این سازه‌ها در دو بازه وسیع ۱ تا ۱۰۰ برابر افزایش و ۰/۰۰۱ تا ۱ برابر کاهش داده‌شد. هر سازه تحت سه شتاب نگاشت آنالیز تاریخچه زمانی شد. در نهایت نیز برای ۳ مدل از هر سازه که یک مدل جداسازی نشده و ۲ مدل جداسازی شده با سختی نرمال و سختی ۱۰ برابر می‌باشند، تحلیل پاش‌آور انجام شده و نتایج به‌دست آمده مورد تحلیل قرار گرفته‌است.

۲- نمونه‌های مورد بررسی

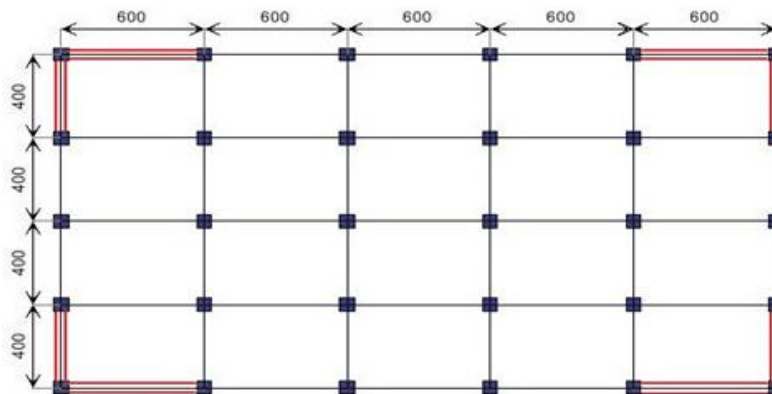
زمین محل احداث سازه‌ها از نوع II و شتاب منطقه‌ای $A=0.25$ در نظر گرفته شده‌است. سیستم مقاوم در برابر بار جانبی آن‌ها دوگانه (قاب خمشی بتنی متوسط همراه با دیوارهای برشی بتن مسلح متوسط) می‌باشد. بنابراین ضریب رفتار برای آن‌ها برابر $R=6$ اختیار شده‌است. هم‌چنین ضریب اهمیت برای کلیه‌ی سازه‌ها برابر $I=1$ و سقف‌ها از جنس تیرچه بلوک می‌باشند. این سازه‌ها بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، بارگذاری و طراحی شده‌اند و کلیه‌ی کنترل‌های لازم برای آن‌ها صورت گرفته و از نظر مقاومت و تغییرشکل‌های جانبی پاسخگو می‌باشند [۱۹ و ۲۰]. کلیه‌ی مراحل تحقیق نیز به وسیله نرم‌افزار Etabs انجام شده‌است [۲۱]. در تحلیل و طراحی نمونه‌ها از روش دینامیکی طیفی استفاده شده و برش پایه‌ی حاصل از آن با ۱۰۰ درصد برش پایه‌ی روش استاتیکی معادل مقیاس شده‌است.

پیشگی، منظم و به صورت پیشگی سخت می‌باشند، برای بررسی اهداف مورد نظر تحقیق انتخاب شده‌اند. به همین جهت هر کدام از زلزله‌ها به صورت منفرد به سازه اعمال گردید و فقط از شتاب جهت X آن‌ها استفاده شده‌است [۲۲]. شایان ذکر است که طبقه‌های زیرسازه

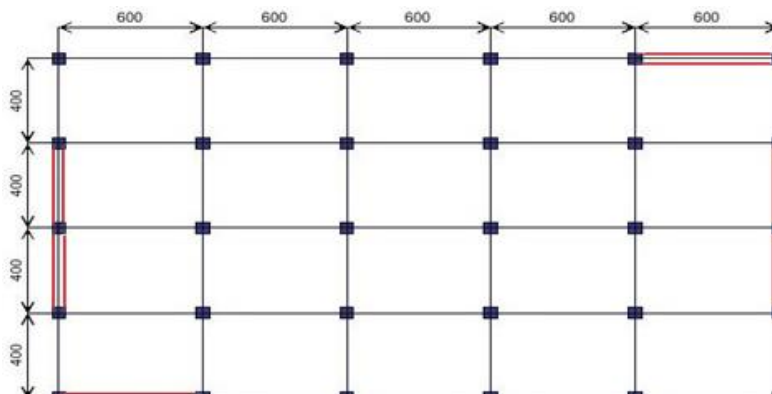
شکل‌های ۱ تا ۵ پلان سازه‌ها و جدول ۱ مشخصات نمونه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهند. همچنین جدول ۲ نیز مشخصات زلزله‌های مورد استفاده در تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی را نشان می‌دهد. سازه‌های انتخابی به عنوان یک سری سازه پایه که از نظر



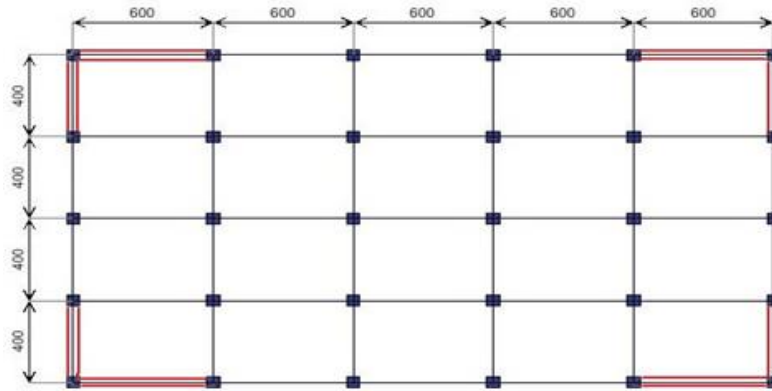
شکل ۱. پلان سازه ۱۰ طبقه



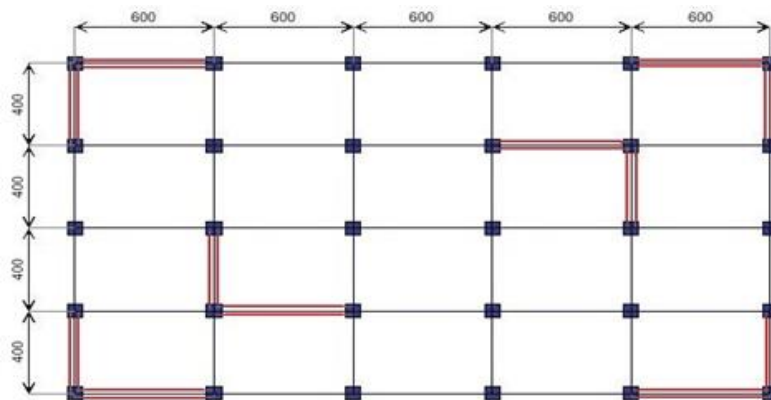
شکل ۲. پلان سازه ۱۵ طبقه



شکل ۳. پلان سازه ۲۰ طبقه



شکل ۴. پلان سازه ۲۴ طبقه



شکل ۵. پلان سازه ۲۸ طبقه

جدول ۱. مشخصات سازه‌های مورد بررسی

سازه	تعداد طبقات		ارتفاع روی تراز پایه	ضریب زلزله
	زیرسازه	روسازه		
۱۰ طبقه	۲	۸	۳۲	۰/۰۶۴۱
۱۵ طبقه	۲	۱۳	۴۸	۰/۰۳۸۵
۲۰ طبقه	۳	۱۷	۶۴	۰/۰۴۵
۲۴ طبقه	۴	۲۰	۷۶/۸	۰/۰۴۱
۲۸ طبقه	۸	۲۰	۸۹/۶	۰/۰۳۸

جدول ۲. مشخصات زلزله‌های مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی

Name	Station	Year	Magnitude	NPTS	DT
KOBE	Takarazu	1995	6.9	4096	0.01 sec
NORTHRIDGE	Arleta	1994	6.69	2000	0.02 sec
TABAS	Tabas	1978	7.35	1642	0.02 sec

که در آن A سطح چسبیده لاستیک و t ضخامت کلی لاستیک است.

بنابراین با استفاده از روابط فوق و سایر روابط مورد نیاز و تعیین نمودن نوع لاستیک مورد استفاده در جداسازها، مشخصات جداگرهای لاستیکی سربی هر سازه مشخص شده است. در نهایت پس از آنکه کنترل‌های لازم از جمله کنترل ابعاد هسته سربی، کمانش جداساز، محدودیت چرخش جداساز و دیگر موارد برای جداگرهای به دست آمده صورت گرفت، از آن‌ها برای جداسازی سازه‌ها استفاده شده است. جدول ۳ مشخصات جداگرهای هر سازه را نشان می‌دهد. تراز جداسازی در همه‌ی سازه‌ها بر روی اولین طبقه‌ی زیر زمین یعنی تراز ۰/۰۰ می‌باشد.

قسمت روسازه به نحوی طراحی شده است که ضمن ارضای تمام شرایط یک سازه بدون جداگر، در مقابل حداقل نیروی برشی V_s نیز مقاوم است [۱ و ۲۵ و ۲۶].

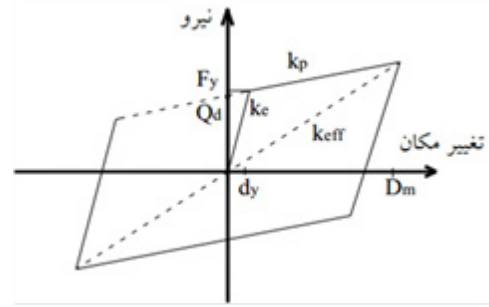
$$V_s = \frac{K_{Dmax} D}{R_I} \quad (5)$$

ضریب R_I بر اساس نوع سامانه باربر جانبی روسازه تعیین می‌شود که در این تحقیق ۲ در نظر گرفته شده است.

برای مدل کردن جداگرها از یک المان لینک استفاده شده است [۲۱]. این المان به دلیل اینکه جنس جداگرها الاستومری می‌باشد، از نوع Isolator1 انتخاب شده و با دریافت پارامترهایی نظیر سختی الاستیک، تغییرمکان تسلیم و دیگر موارد، نمودار هیستریزس دو خطی را تشکیل داده و رابطه برش- تغییرمکان را در دو راستای اصلی به دست می‌آورد. همچنین در مکان‌هایی مثل ستون‌های کنار دیوار برشی که مقدار کشش در آن‌ها بیشتر از مقدار مجاز این جداگرها می‌باشد، به لینک Isolator1 یک لینک از نوع Gap در راستای عمودی اضافه شده است. لینک Gap تنها دارای سختی عمودی در فشار بوده و در کشش سختی ندارد.

۲-۱- تغییرات سختی طبقات

برای ایجاد تغییرات سختی در مدل‌ها، با تغییر در ضرایب اصلاح سختی المان‌های تیر و ستون سختی هر قسمت افزایش و با تغییر در ضرایب اصلاح سختی دیوارهای برشی سختی هر قسمت کاهش یافته است. در مرحله‌ی تحلیل استاتیکی غیرخطی نیز برای مدلی



شکل ۶. رفتار غیرخطی جداساز لاستیکی با هسته سربی [۲۳]

همگی داخل زمین بوده و دور تا دور آن‌ها دیوار حائل بتنی منظور شده است.

به منظور جداسازی سازه‌ها، برای هر کدام از آن‌ها به صورت اختصاصی ۳۰ جداگر لاستیکی- سربی (LRB) طراحی شده و در زیر همه‌ی ستون‌های سازه قرار گرفته‌اند. جداگرهای لاستیکی- سربی دارای حلقه هیستریزس مطابق شکل ۶ هستند [۱ و ۲۳]. این حلقه سختی موثر و میرایی هیستریزس ایجاد می‌کند. پارامترهای حلقه‌ی فوق بدین صورت می‌باشند [۱۱ و ۲۳-۲۵]: سختی موثر برابر (K_{eff}) در ناحیه پس تسلیمی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D} \quad (1)$$

که در آن K_p سختی پس تسلیمی، Q مقاومت مشخصه D و تغییرمکان جانبی است.

تغییرمکان تسلیم (D_y) که در برنامه‌های کامپیوتری به منظور تفهیم مدل دو خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد از رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$D_y = \frac{Q}{K_e + K_p} \quad (2)$$

که در آن K_e سختی الاستیک بوده.

نیروی تسلیم (F_y) در تغییرمکان تسلیم بدین صورت حاصل می‌گردد:

$$F_y = Q + K_p D_y \quad (3)$$

مقاومت پس از تسلیم نیز از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$K_p = \frac{AG}{tr} \quad (4)$$

جدول ۳. مشخصات جداگرهای لاستیکی سربی هر سازه

سازه	قطر جداگر (mm)	قطر هسته سربی (mm)	سختی جانبی (ton/mm)	G	تعداد لایه لاستیک	درصد میرایی
۱۰ طبقه	۷۷۰	۱۲۰	۰/۱۷۰	۰/۵	۲۶	٪ ۲۰/۴۳
۱۵ طبقه	۹۲۰	۱۴۰	۰/۱۸۲	۰/۵	۲۸	٪ ۱۵/۲
۲۰ طبقه	۱۰۲۰	۱۵۰	۰/۲۱۲	۰/۵	۳۰	٪ ۲۱/۸۱
۲۴ طبقه	۱۰۲۰	۱۷۰	۰/۲۳۴	۰/۵	۳۰	٪ ۲۱/۷۴
۲۸ طبقه	۱۰۷۰	۱۸۰	۰/۳۲۰	۰/۵	۲۶	٪ ۱۷/۴۵۲

سختی نرمال است. شایان ذکر است که منظور از سختی نرمال، سختی واقعی سازه با در نظر گرفتن ضرایب ترک خوردگی مد نظر آیین‌نامه ACI است. در یک حالت نیز برای کاهش سختی قسمت زیرسازه، تمام دیوارهای برشی آن قسمت حذف گردیده‌است، به همین دلیل به جای عدد از مشخصه no wall استفاده شده‌است.

۲-۳- مدل‌های مورد بررسی

جداول ۴ تا ۸ مدل‌هایی که در هر مرحله از تحقیق ساخته شده و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند را نشان داده می‌دهند. مرحله‌ی افزایش سختی قسمت زیرسازه (جدول ۴). در این مرحله جمعا ۷۵ مدل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌است. مرحله‌ی کاهش سختی قسمت زیرسازه (جدول ۵). در این مرحله جمعا ۴۵ مدل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌است. مرحله‌ی افزایش سختی قسمت روسازه (جدول ۶). در این مرحله جمعا ۶۰ مدل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌است. مرحله‌ی کاهش سختی قسمت روسازه (جدول ۷). در این مرحله جمعا ۴۵ مدل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌است. مرحله‌ی بررسی وضعیت شکل‌پذیری قسمت روسازه (جدول ۸). در این مرحله جمعا ۱۵ مدل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌است.

که سختی قسمت روسازه ۱۰ برابر شده‌است، این افزایش سختی ۱۰ برابر به صورت واقعی و با اضافه کردن دیوار برشی در مدل اتفاق افتاده‌است.

۲-۲- سیستم نامگذاری مدل‌ها

برای سهولت در شناسایی و نام بردن مدل‌های مورد بررسی، سیستم شناسایی تعریف شده برای مدل‌ها به شرح زیر می‌باشد. S: مخفف کلمه‌ی story است و عددی که بعد از آن ذکر می‌شود نشان‌دهنده‌ی تعداد طبقات مدل است. به عنوان مثال S15 معرف مدل سازه‌ی ۱۵ طبقه است. IB: در صورتی که پس از تعداد طبقات ذکر شود، نشان می‌دهد مدل مورد نظر جداسازی شده‌است. در غیر این صورت سازه با پایه‌ی ثابت است. P: در صورتی که در نام مدل ذکر شود، نشان می‌دهد که مدل مورد نظر تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته‌است. در غیر این صورت تحلیل از نوع تاریخچه زمانی می‌باشد. K یا N یا T: زمانی که نوع تحلیل تاریخچه‌ی زمانی باشد بیان می‌شود و نشان‌دهنده‌ی نام زلزله‌ی شتاب نگاشت استفاده شده‌است. حروف K، N، و T به ترتیب بیانگر شتاب نگاشت زلزله‌های کوبه، نورث‌ریج و طبس می‌باشند. عدد آخر: در صورتی که سختی قسمت مورد نظر در هر مرحله نسبت به حالت نرمال افزایش یا کاهش پیدا کرده‌باشد، وجود دارد و نشان‌دهنده‌ی مقدار آن می‌باشد. به عنوان مثال وجود عدد ۲ نشان‌دهنده‌ی دو برابر شدن سختی قسمت مورد نظر نسبت به حالت

جدول ۴. معرفی نمونه‌های تحلیل شده برای بررسی تأثیر افزایش سختی زیرسازه

شماره	شناسه	تعداد طبقات	جداگر	سختی	تعداد مدل
۱	S10.K(N,T)	۱۰	×	نرمال	۳
۲	S10.IB.K(N,T)	۱۰	✓	نرمال	۳
۳	S10.IB.K(N,T).2	۱۰	✓	۲ برابر	۳
۴	S10.IB.K(N,T).10	۱۰	✓	۱۰ برابر	۳
۵	S10.IB.K(N,T).50	۱۰	✓	۵۰ برابر	۳
۶	S15.K(N,T)	۱۵	×	نرمال	۳
۷	S15.IB.K(N,T)	۱۵	✓	نرمال	۳
۸	S15.IB.K(N,T).2	۱۵	✓	۲ برابر	۳
۹	S15.IB.K(N,T).10	۱۵	✓	۱۰ برابر	۳
۱۰	S15.IB.K(N,T).50	۱۵	✓	۵۰ برابر	۳
۱۱	S20.K(N,T)	۲۰	×	نرمال	۳
۱۲	S20.IB.K(N,T)	۲۰	✓	نرمال	۳
۱۳	S20.IB.K(N,T).2	۲۰	✓	۲ برابر	۳
۱۴	S20.IB.K(N,T).10	۲۰	✓	۱۰ برابر	۳
۱۵	S20.IB.K(N,T).50	۲۰	✓	۵۰ برابر	۳
۱۶	S24.K(N,T)	۲۴	×	نرمال	۳
۱۷	S24.IB.K(N,T)	۲۴	✓	نرمال	۳
۱۸	S24.IB.K(N,T).2	۲۴	✓	۲ برابر	۳
۱۹	S24.IB.K(N,T).10	۲۴	✓	۱۰ برابر	۳
۲۰	S24.IB.K(N,T).50	۲۴	✓	۵۰ برابر	۳
۲۱	S28.K(N,T)	۲۸	×	نرمال	۳
۲۲	S28.IB.K(N,T)	۲۸	✓	نرمال	۳
۲۳	S28.IB.K(N,T).2	۲۸	✓	۲ برابر	۳
۲۴	S28.IB.K(N,T).10	۲۸	✓	۱۰ برابر	۳
۲۵	S28.IB.K(N,T).50	۲۸	✓	۵۰ برابر	۳

۳- نتایج تحلیل مدل‌ها

مدل‌های تحلیل شده و نتایج به دست آمده از آن‌ها در هر قسمت از تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

۳-۱- تأثیر افزایش سختی زیرسازه بر شتاب طبقات

در این مرحله مقدار سختی طبقات قسمت زیرسازه‌ی مدل‌های

جداسازی شده را با تغییر در ضرایب اصلاح سختی المان‌ها به مقدار ۲، ۱۰ و ۵۰ برابر حالت نرمال افزایش داده و مدل‌ها تحت زلزله‌های انتخابی آنالیز دینامیکی شده‌اند. در نهایت مقادیر شتاب طبقات مدل‌ها به دست آمده و با شتاب طبقات در حالت جداسازی نشده مقایسه گردیده‌است. شکل ۷ نمودار توزیع شتاب طبقات تحت هر زلزله را نشان می‌دهد. در این شکل نمودارهای هر سازه در یک ردیف قرار

جدول ۵. معرفی نمونه‌های تحلیل شده برای بررسی تأثیر کاهش سختی زیرسازه

شماره	شناسه	تعداد طبقات	جداگر	سختی	تعداد مدل
۱	S10.IB.K(N,T). 0.1	۱۰	✓	۰/۱ برابر	۳
۲	S10.IB.K(N,T). 0.01	۱۰	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۳	S10.IB.K(N,T).no wall	۱۰	✓	فاقد دیوار	۳
۴	S15.IB.K(N,T). 0.1	۱۵	✓	۰/۱ برابر	۳
۵	S15.IB.K(N,T). 0.01	۱۵	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۶	S15.IB.K(N,T).no wall	۱۵	✓	فاقد دیوار	۳
۷	S20.IB.K(N,T). 0.1	۲۰	✓	۰/۱ برابر	۳
۸	S20.IB.K(N,T). 0.01	۲۰	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۹	S20.IB.K(N,T).no wall	۲۰	✓	فاقد دیوار	۳
۱۰	S24.IB.K(N,T). 0.1	۲۴	✓	۰/۱ برابر	۳
۱۱	S24.IB.K(N,T). 0.01	۲۴	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۱۲	S24.IB.K(N,T).no wall	۲۴	✓	فاقد دیوار	۳
۱۳	S28.IB.K(N,T). 0.1	۲۸	✓	۰/۱ برابر	۳
۱۴	S28.IB.K(N,T). 0.01	۲۸	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۱۵	S28.IB.K(N,T).no wall	۲۸	✓	فاقد دیوار	۳

جدول ۶. معرفی نمونه‌های تحلیل شده برای بررسی تأثیر افزایش سختی روسازه

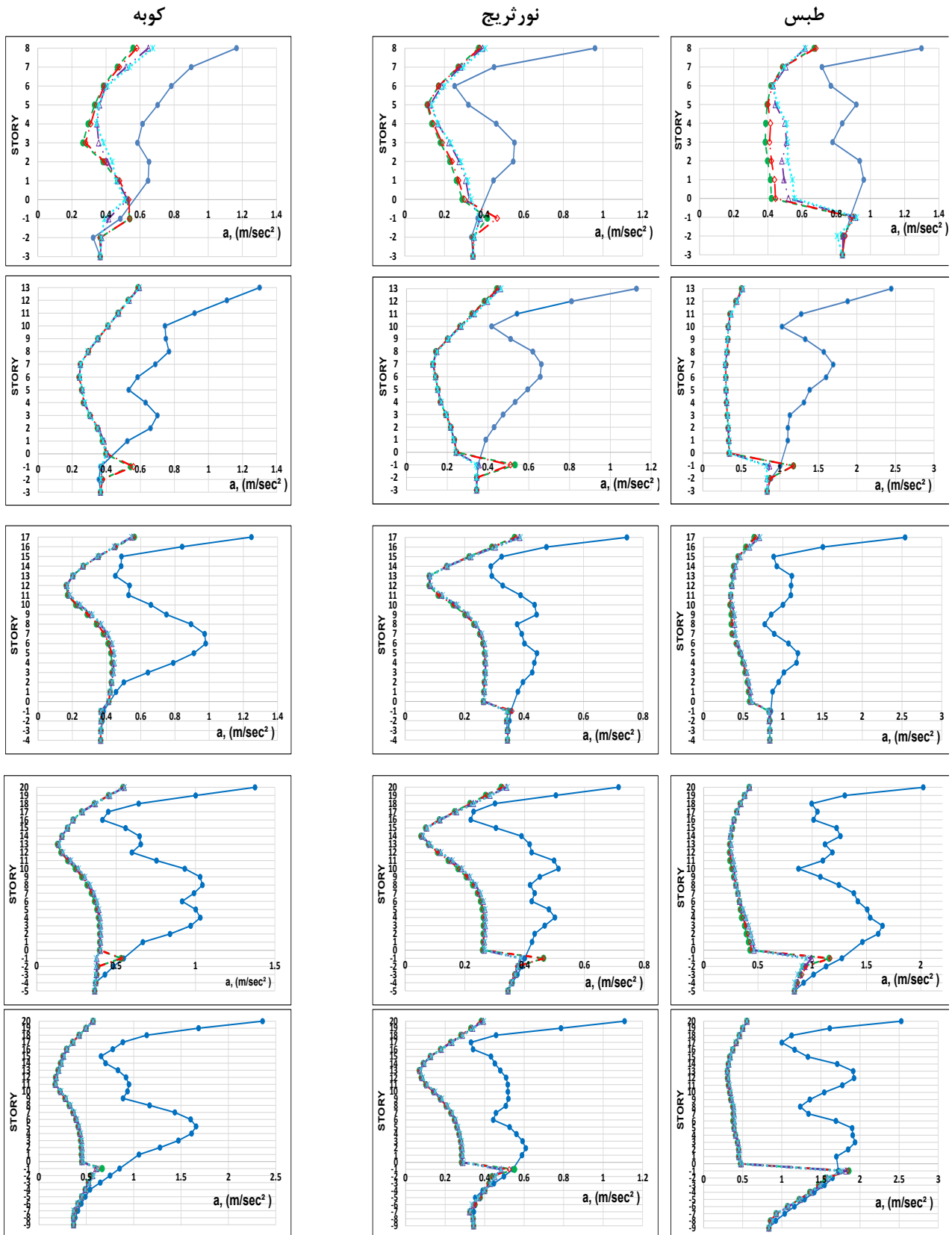
شماره	شناسه	تعداد طبقات	جداگر	سختی	تعداد مدل
۱	S10.IB.K(N,T).2	۱۰	✓	۲ برابر	۳
۲	S10.IB.K(N,T).10	۱۰	✓	۱۰ برابر	۳
۳	S10.IB.K(N,T).50	۱۰	✓	۵۰ برابر	۳
۴	S10.IB.K(N,T).100	۱۰	✓	۱۰۰ برابر	۳
۵	S15.IB.K(N,T).2	۱۵	✓	۲ برابر	۳
۶	S15.IB.K(N,T).10	۱۵	✓	۱۰ برابر	۳
۷	S15.IB.K(N,T).50	۱۵	✓	۵۰ برابر	۳
۸	S15.IB.K(N,T).100	۱۵	✓	۱۰۰ برابر	۳
۹	S20.IB.K(N,T).2	۲۰	✓	۲ برابر	۳
۱۰	S20.IB.K(N,T).10	۲۰	✓	۱۰ برابر	۳
۱۱	S20.IB.K(N,T).50	۲۰	✓	۵۰ برابر	۳
۱۲	S20.IB.K(N,T).100	۲۰	✓	۱۰۰ برابر	۳
۱۳	S24.IB.K(N,T).2	۲۴	✓	۲ برابر	۳
۱۴	S24.IB.K(N,T).10	۲۴	✓	۱۰ برابر	۳
۱۵	S24.IB.K(N,T).50	۲۴	✓	۵۰ برابر	۳
۱۶	S24.IB.K(N,T).100	۲۴	✓	۱۰۰ برابر	۳
۱۷	S28.IB.K(N,T).2	۲۸	✓	۲ برابر	۳
۱۸	S28.IB.K(N,T).10	۲۸	✓	۱۰ برابر	۳
۱۹	S28.IB.K(N,T).50	۲۸	✓	۵۰ برابر	۳
۲۰	S28.IB.K(N,T).100	۲۸	✓	۱۰۰ برابر	۳

جدول ۷: معرفی نمونه‌های تحلیل شده برای بررسی تأثیر کاهش سختی روسازه

شماره	شناسه	تعداد طبقات	جداگر	سختی	تعداد مدل
۱	S10.IB.K(N,T). 0.1	۱۰	✓	۰/۱ برابر	۳
۲	S10.IB.K(N,T). 0.01	۱۰	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۳	S10.IB.K(N,T). 0.001	۱۰	✓	۰/۰۰۱ برابر	۳
۴	S15.IB.K(N,T). 0.1	۱۵	✓	۰/۱ برابر	۳
۵	S15.IB.K(N,T). 0.01	۱۵	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۶	S15.IB.K(N,T). 0.001	۱۵	✓	۰/۰۰۱ برابر	۳
۷	S20.IB.K(N,T). 0.1	۲۰	✓	۰/۱ برابر	۳
۸	S20.IB.K(N,T). 0.01	۲۰	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۹	S20.IB.K(N,T). 0.001	۲۰	✓	۰/۰۰۱ برابر	۳
۱۰	S24.IB.K(N,T). 0.1	۲۴	✓	۰/۱ برابر	۳
۱۱	S24.IB.K(N,T). 0.01	۲۴	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۱۲	S24.IB.K(N,T). 0.001	۲۴	✓	۰/۰۰۱ برابر	۳
۱۳	S28.IB.K(N,T). 0.1	۲۸	✓	۰/۱ برابر	۳
۱۴	S28.IB.K(N,T). 0.01	۲۸	✓	۰/۰۱ برابر	۳
۱۵	S28.IB.K(N,T). 0.001	۲۸	✓	۰/۰۰۱ برابر	۳

جدول ۸: معرفی نمونه‌های تحلیل شده برای بررسی وضعیت شکل‌پذیری روسازه

شماره	شناسه	تعداد طبقات	جداگر	سختی
۱	S10.P	۱۰	×	نرمال
۲	S10.IB.P	۱۰	✓	نرمال
۳	S10.IB.P.10	۱۰	✓	۱۰ برابر
۴	S15.P	۱۵	×	نرمال
۵	S15.IB.P	۱۵	✓	نرمال
۶	S15.IB.P.10	۱۵	✓	۱۰ برابر
۷	S20.P	۲۰	×	نرمال
۸	S20.IB.P	۲۰	✓	نرمال
۹	S20.IB.P.10	۲۰	✓	۱۰ برابر
۱۰	S24.P	۲۴	×	نرمال
۱۱	S24.IB.P	۲۴	✓	نرمال
۱۲	S24.IB.P.10	۲۴	✓	۱۰ برابر
۱۳	S28.P	۲۸	×	نرمال
۱۴	S28.IB.P	۲۸	✓	نرمال
۱۵	S28.IB.P.10	۲۸	✓	۱۰ برابر



شکل ۷. منحنی تغییرات شتاب برای مدل‌های جداسازی شده و جداسازی نشده، بر اثر افزایش سختی زیرسازه

—●— FIX BASE -●- IB NORMAL -◇- IB 2 -△- IB 10 *·*·* IB 50

۳-۳- تأثیر افزایش سختی روسازه بر شتاب طبقات

در این مرحله میزان سختی طبقات قسمت روسازه‌ی مدل‌های جداسازی شده به مقدار ۲، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ برابر حالت نرمال افزایش یافته و مدل‌ها تحت هر کدام از زلزله‌ها تحلیل شده و مقادیر شتاب طبقات به دست آمده است. سپس این مقادیر با شتاب طبقات در حالت جداسازی نشده مقایسه گردیده است. شکل ۹ نمودار توزیع شتاب طبقات تحت هر زلزله را نشان می‌دهد. در این شکل نمودارهای هر سازه در یک ردیف قرار گرفته‌اند [۲۷].

حالت مطلوب برای سازه‌های جداسازی شده این است که روسازه به صورت کاملاً صلب روی تراز جداسازی قرار گیرد. حال هرچه ارتفاع این سازه‌ها افزایش پیدا کند، این صلبیت به سمت نرمی میل می‌کند. به همین دلیل زمانی که سختی طبقات را در این سازه‌ها افزایش یافته، شتاب آن‌ها نسبت به حالتی که دارای سختی طبیعی هستند یکنواخت‌تر شده و کاهش می‌یابد.

نمودارهای فوق نشان نیز می‌دهند که در همه‌ی مدل‌ها و با سخت‌تر شدن طبقات، مقادیر شتاب در ارتفاع سازه نسبت به حالت‌های عادی یکنواخت‌تر شده‌اند. به طوریکه در سختی‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ برابر نمودار توزیع شتاب طبقات در ارتفاع تقریباً به صورت یک خط است. این در حالی است که در سازه‌های جداسازی نشده نوسان شتاب قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. هم‌چنین آنچه که نمودارها برای همه‌ی سازه‌ها و تحت همه‌ی زلزله‌ها نشان می‌دهند این است که، با افزایش سختی طبقات شتاب طبقه‌ی آخر (بام) کاهش پیدا می‌کند.

۳-۴- تأثیر کاهش سختی روسازه بر شتاب طبقات

با اعمال ضرایب اصلاح سختی ۰/۱، ۰/۱ و ۰/۰۱ به دیوارهای برشی قسمت روسازه، سختی طبقات این قسمت در مدل‌های دارای جداساز لرزه‌ای کاهش یافته و شتاب طبقات به دست آمده با مقادیر شتاب طبقات سازه جداسازی شده با سختی نرمال مقایسه شده است. شکل ۱۰ نمودار توزیع شتاب طبقات تحت هر زلزله را نشان می‌دهد [۲۷].

به دلیل اینکه در سازه‌های دارای جداگر، انعطاف‌پذیری سازه به تراز جداسازی منتقل می‌شود، کاستن از مقدار سختی روسازه نمی‌تواند انعطاف‌پذیری بیشتری را نسبت به تراز جداسازی برای طبقه‌های روسازه همراه داشته باشد. به همین دلیل آنچه که

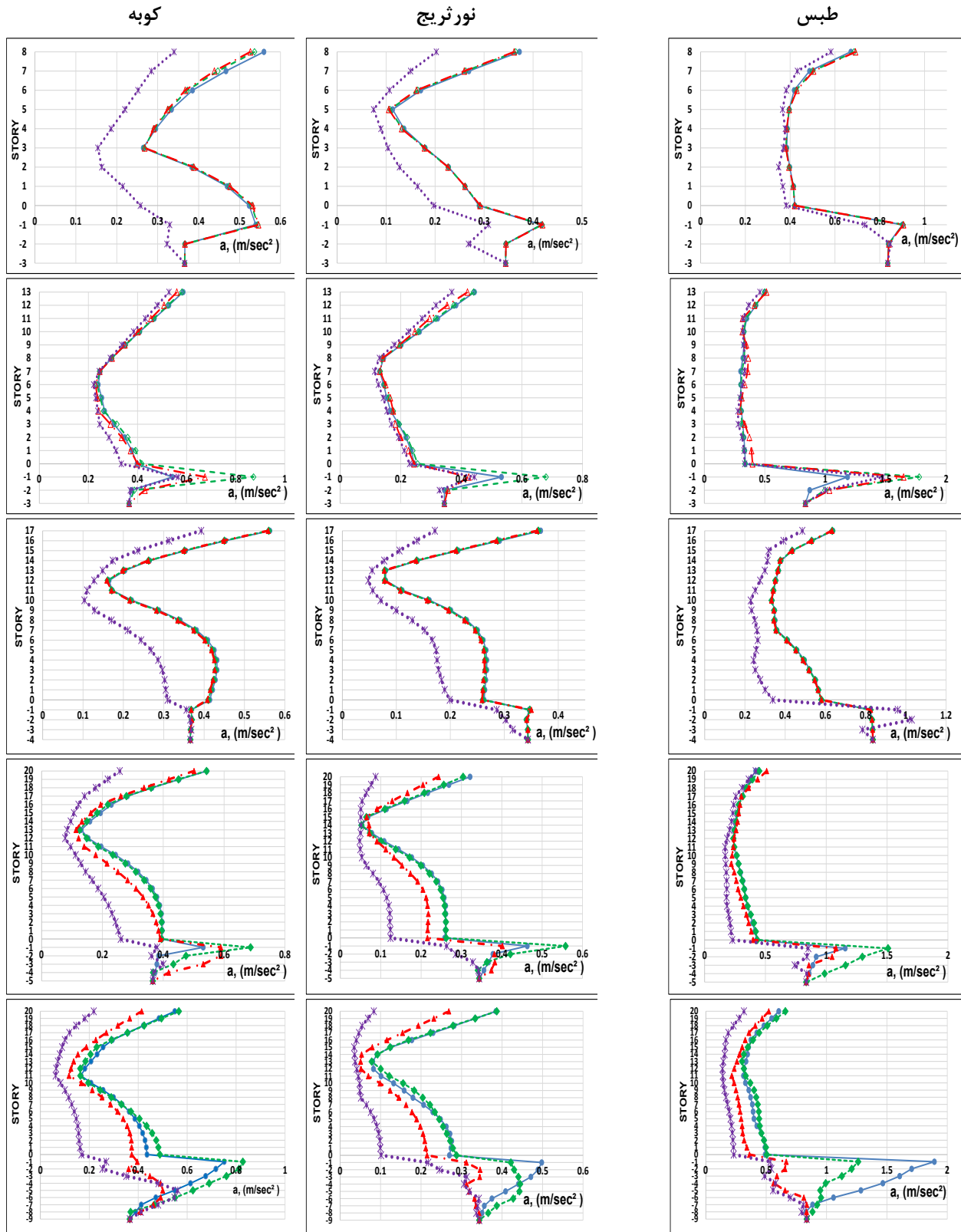
گرفته‌اند، به طوریکه نمودارهای ردیف اول تا پنجم به ترتیب مربوط به سازه‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۸ طبقه می‌باشند. شایان ذکر است که در کلیه‌ی نمودارها موقعیت جداگرها در طبقه ۰ می‌باشد [۲۷].

نمودارهای فوق نشان می‌دهند که در سازه‌های دارای جداگر لرزه‌ای، شتاب طبقات تا رسیدن به تراز جداسازی همانند سازه‌های بدون جداگر افزایش می‌یابد ولی بلافاصله بعد از این تراز از مقدار شتاب کاسته می‌شود. این کاهش شتاب به گونه‌ای است که برای طبقه‌ی بام حداقل ۵۰٪ و برای اولین تراز روی جداساز حداقل ۳۰٪ می‌باشد. البته همان‌طور که از نمودارها مشخص است این مقادیر کاهش شتاب با افزایش ارتفاع سازه‌ها نیز افزایش یافته است. هم‌چنین همان‌طور که مشخص است با اضافه کردن جداگر به سازه به دلیل اینکه بخش زیادی از انعطاف‌پذیری سازه به تراز جداسازی منتقل می‌شود، توزیع شتاب از آن تراز به بعد یکنواخت می‌شود. نمودارهای فوق نیز نشان می‌دهند که بیشتر شدن سختی طبقات زیرسازه نسبت به حالت عادی تأثیری بر کاهش شتاب طبقات زیرسازه و روسازه ندارد و در همه‌ی حالات شتاب طبقات به یک اندازه کاهش پیدا کرده است.

۳-۲- تأثیر کاهش سختی زیرسازه بر شتاب طبقات

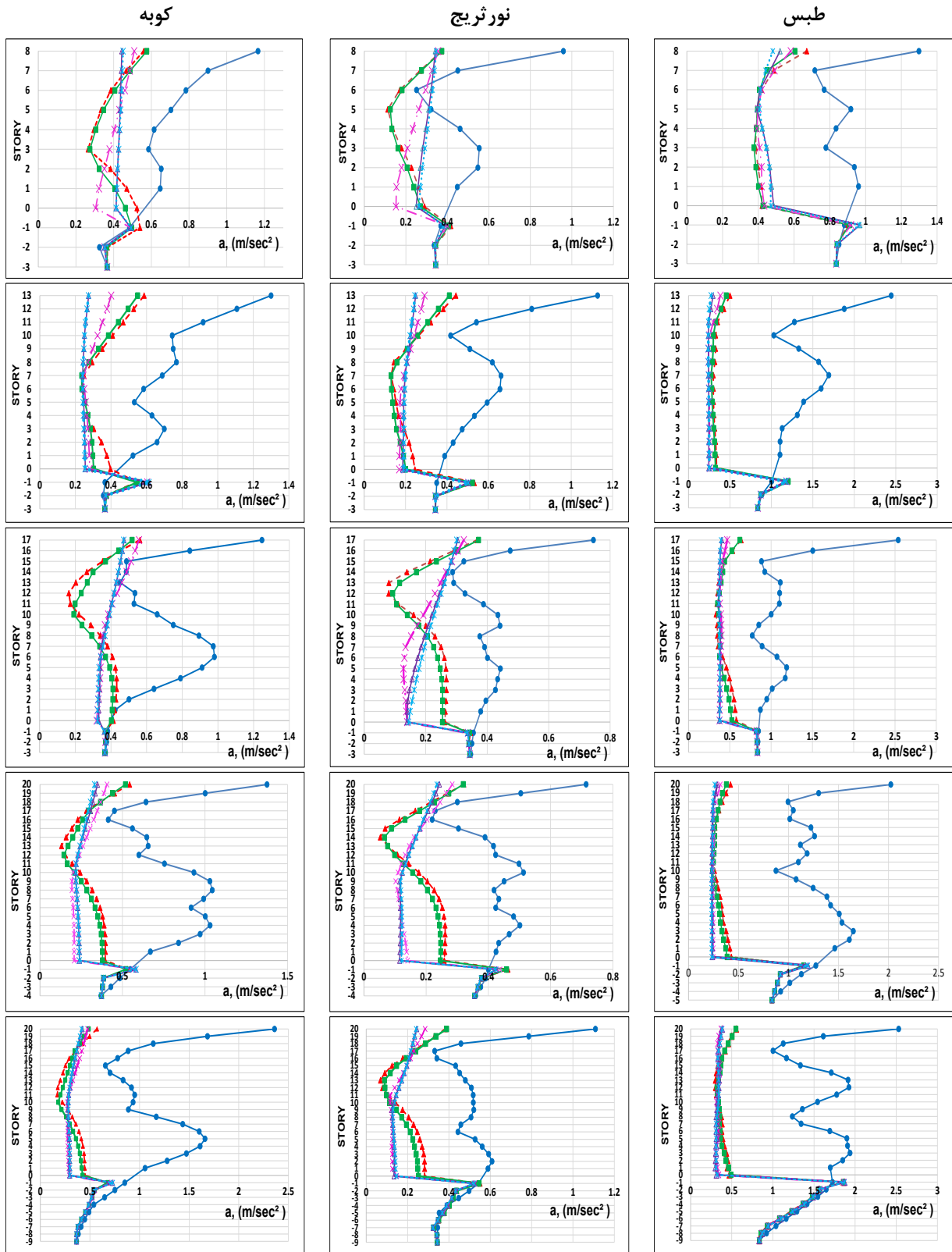
برای کاهش سختی طبقات زیرسازه در مدل‌های جداسازی شده، در دو حالت ضرایب اصلاح سختی دیوارهای برشی را به مقادیر ۰/۱ و ۰/۰۱ تغییر داده و در یک حالت هم با حذف تمام دیوارهای برشی قسمت زیرسازه سختی طبقات این قسمت کاهش یافته است. سپس مقادیر شتاب طبقات در این ۳ حالت کاهش سختی با مقادیر شتاب طبقات سازه‌ی جداسازی شده با سختی نرمال مقایسه شده است. شکل ۸ نمودار توزیع شتاب طبقات تحت هر زلزله را نشان می‌دهد. در این شکل نمودارهای هر سازه در یک ردیف قرار گرفته‌اند [۲۷].

نمودارهای فوق نشان می‌دهند که کاهش سختی قسمت زیرسازه بر شتاب طبقات روسازه تأثیری نداشته و فقط در حالت سوم کاهش سختی به دلیل آن که با حذف کامل دیوارهای برشی از جرم سازه به مقدار زیادی کاسته می‌شود، شتاب طبقات کاهش پیدا کرده است. هم‌چنین کاهش سختی در طبقات زیرسازه، در ابتدا به دلیل نرم‌تر شدن این قسمت باعث افزایش شتاب شده و سپس با کاهش بیشتر سختی، شتاب هم کاهش پیدا کرده است.



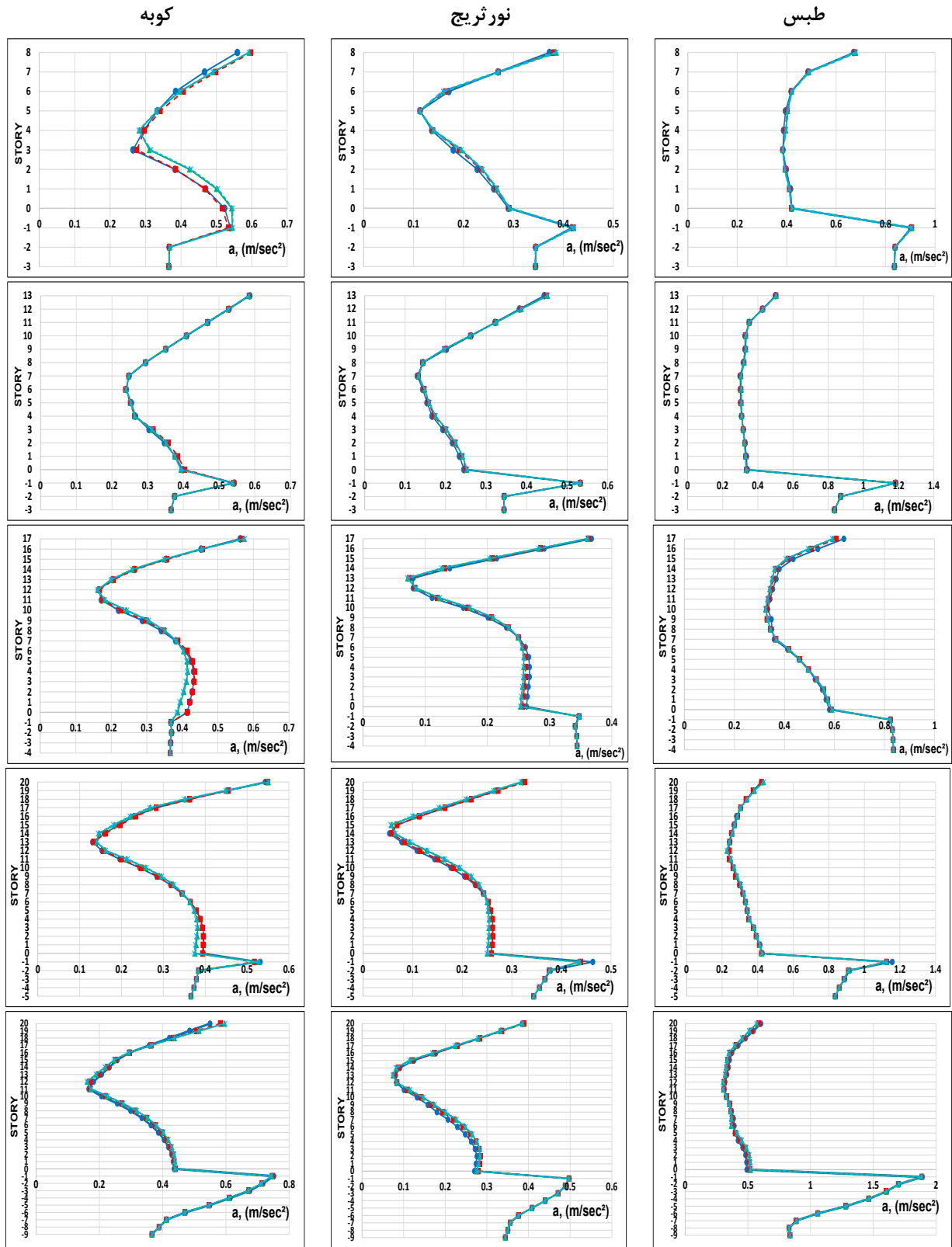
شکل ۸. منحنی تغییرات شتاب برای مدل‌های جداسازی شده، بر اثر کاهش سختی زیرسازه

—●— IB NORMAL —◇— IB 0.1 —△— IB 0.01 ••×•• IB no wall



شکل ۹. منحنی تغییرات شتاب برای مدل‌های جداسازی شده و جداسازی نشده، بر اثر افزایش سختی روسازه

● FIX BASE -▲- IB NORMAL ■ IB 2 ×- IB 10 ▲ IB 50 *··· IB 100



شکل ۱۰. منحنی تغییرات شتاب برای مدل‌های جداسازی شده، بر اثر کاهش سختی روسازه

—●— IB NORMAL -■- IB 0.1 —▲— IB 0.01 -×- IB 0.001

از چپ به راست بیانگر مقدار میانگین سختی طبقات- شتاب بام برای ۴ حالت سختی ۱، ۲، ۱۰ و ۵۰ برابر می‌باشد. در این شکل نمودارهای هر سازه در یک ردیف قرار گرفته‌اند [۲۷].

آنچه که نمودارهای فوق برای همه‌ی سازه‌ها و تحت همه‌ی زلزله‌ها نشان می‌دهند این است که با افزایش میانگین سختی طبقات قسمت روسازه، شتاب رسیده به طبقه آخر کم می‌شود. شتاب طبقه‌ی آخر از حالتی که سختی روسازه نرمال است تا زمانی که سختی این قسمت به اندازه‌ی ۱۰ برابر حالت نرمال شده، به مقدار محسوسی کاهش پیدا کرده‌است اما از مقدار سختی ۱۰ برابر به بعد و تا زمانی که سختی ۵۰ برابر شده، این کاهش شتاب به نسبت کمتری رخ می‌دهد. پس مشخص شد که افزایش سختی روسازه تا ۱۰ برابر باعث کاهش چشمگیر شتاب طبقات می‌شود. بنابراین برای اینکه بررسی شود قسمت روسازه با چه میزان سختی می‌تواند الاستیک عمل کند، سختی ۱۰ برابر را برای ادامه کار انتخاب کرده. بدین منظور با اضافه کردن دیوار برشی در مدل‌ها به جای تغییر در ضرایب اصلاح سختی المان‌ها، سختی قسمت روسازه به ۱۰ برابر حالت نرمال افزایش یافته‌است.

۳-۵-۱- تأثیر جداسازی بر برش طبقات

در این قسمت تأثیر جداسازی و سختی طبقات روسازه در سازه‌های جداسازی شده، بر برش طبقات بررسی شده‌است. بدین منظور در شکل ۱۲ به عنوان نمونه نمودار برش طبقات برای سازه‌های ۱۰ و ۲۴ طبقه نشان داده شده‌است. در این شکل‌ها نمودار برش طبقات برای ۳ حالت سازه با پایه ثابت و سازه جداسازی شده در دو حالت سختی طبیعی و ۱۰ برابر، تحت زلزله کوبه ترسیم شده‌است [۲۷].

همان طور که در نمودارها ملاحظه می‌شود، برای هر دوسازه ۱۰ و ۲۴ طبقه، جداسازی باعث کاهش قابل توجه برش طبقات می‌شود. به گونه‌ای که به طور متوسط این کاهش برای طبقات ۵۰ درصد می‌باشد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که افزایش سختی طبقات روسازه تأثیری بر میزان کاهش برش آن‌ها نسبت به حالت طبیعی نداشته‌است.

۳-۶- تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور)

به جهت رسیدن به این هدف که وضعیت شکل پذیری قسمت

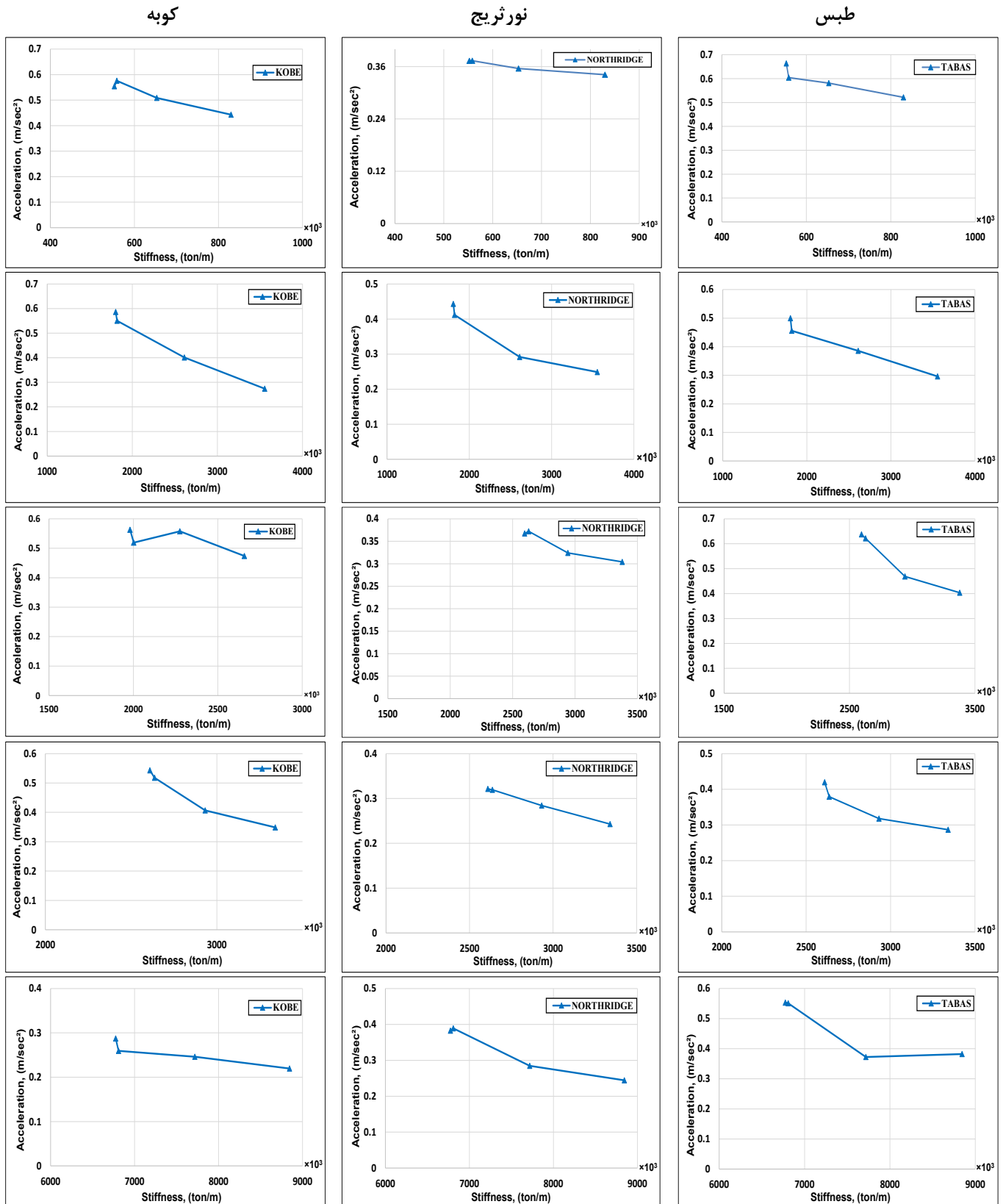
نمودارهای فوق برای همه‌ی سازه‌های جداسازی شده و تحت همه‌ی زلزله‌ها به وضوح نشان می‌دهند این است که کاهش سختی طبقات قسمت روسازه هیچ تأثیری بر توزیع شتاب در این طبقات نخواهد گذاشت و نمودار توزیع شتاب برای همه‌ی حالت‌ها یکسان و مطابق با توزیع شتاب طبقات در حالت سختی نرمال است.

۳-۵- تأثیر تغییرات میانگین سختی طبقات بر شتاب بام

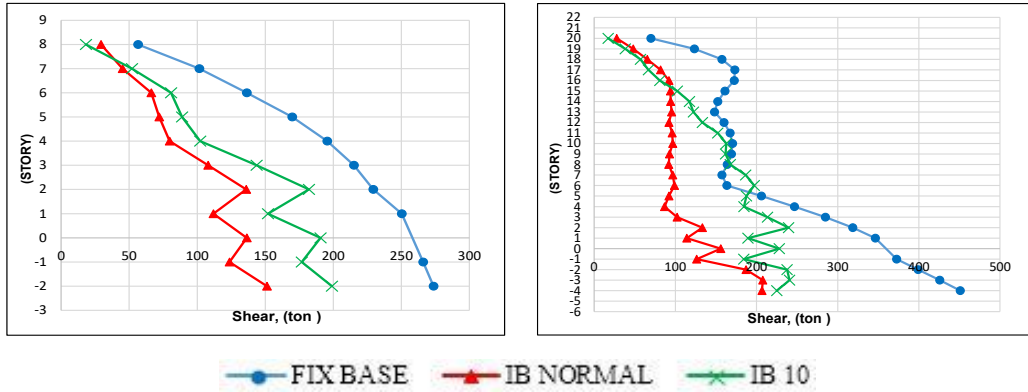
همان‌گونه که ملاحظه شد، تا این مرحله بررسی گردید که با توجه به نرم بودن روسازه در سازه‌های بلندمرتبه، افزایش و کاهش سختی طبقات این قسمت چه تأثیری بر شتاب طبقات می‌گذارد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در مراحل مختلف افزایش سختی، علاوه بر اینکه تغییراتی در شتاب طبقات ایجاد می‌شود، شتاب طبقه‌ی بام نیز کاهش می‌یابد. حال برای آن که مشخص شود چه میزان افزایش سختی می‌تواند بیشترین کاهش شتاب را برای طبقه بام به دنبال داشته‌باشد و هم‌چنین اثر این مقدار سختی بر شرط الاستیک ماندن قسمت روسازه مورد بررسی قرار گیرد، تصمیم گرفته شد اثر میانگین سختی طبقات در حالت‌های مختلف افزایش سختی بر شتاب طبقه‌ی بام بررسی شود. بدین منظور پس از اینکه سختی طبقات قسمت روسازه افزایش پیدا کرد، مقدار سختی هر طبقه برای مدل‌های دارای سختی ۱، ۲، ۱۰ و ۵۰ برابر سختی نرمال محاسبه گردید (به دلیل تفاوت خیلی کم تغییرات شتاب و مقدار آن برای طبقه بام در حالت سختی ۱۰۰ برابر با سختی ۵۰ برابر، از سختی ۱۰۰ برابر صرف نظر شده‌است) و سپس میانگین سختی طبقات قسمت روسازه برای هر ۴ حالت سختی به‌دست آمده و نمودار شتاب طبقه‌ی بام بر حسب میانگین سختی طبقات رسم شده‌است. لازم به توضیح می‌باشد که این ۴ حالت افزایش سختی به وسیله‌ی تغییر در ضرایب اصلاح سختی (αEI) ایجاد شده‌است.

برای محاسبه‌ی سختی طبقات، در صورتی که در مرکز جرم و یا نزدیک به مرکز جرم طبقه نیرویی وارد شود و نقاط پایین طبقه مورد نظر مقید شده و جابه‌جایی نداشته‌باشند، می‌توان مقدار سختی طبقه را با به‌دست آمدن تغییرمکان حاصل شده در طبقه مربوطه به‌دست آورد [۲۷].

شکل ۱۱ نمودارهای به‌دست آمده را نشان می‌دهد. در هر یک از این نمودارها ۴ نقطه ملاحظه می‌شود که هر کدام از آن‌ها به ترتیب و



شکل ۱۱. نمودار تغییرات شتاب طبقه‌ی بام بر حسب میانگین سختی طبقات روسازه در مدل‌های جداسازی شده



شکل ۱۲: منحنی تغییرات برش طبقات برای سازه جداسازی شده و جداسازی نشده

جدول ۹. مقدار تغییرمکان هدف (cm) برای هر مدل

مدل \ طبقه	۱۰	۱۵	۲۰	۲۴	۲۸
جداسازی نشده	۳۰/۶۵	۲۸/۱۱	۴۵/۱۵	۵۱/۸	۵۴/۵
جداسازی شده (سختی طبیعی)	۸/۷۴۵	۱۴/۱۵	۱۳/۱۹	۶/۵۵۴	۱۲/۲۱۴
جداسازی شده (سختی ۱۰)	۱۰/۰۵۱	۱۵/۵۴	۱۵/۶۴۳	۸/۵۶	۱۳/۵۵۴

و ۱۰ برابر برای قسمت روسازه و یک مدل جداسازی نشده، انتخاب گردیده و تحت تحلیل پوش‌آور قرار گرفته‌اند. جدول ۹ مقادیر تغییر مکان هدف (δ_1) برای این ۳ مدل از هر سازه را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که بر اساس دستورالعمل به‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) این تغییرمکان برای مدل‌های دارای جداگر لرزه‌ای در تراز جداسازی می‌باشد [۲۸ و ۳۰].

۳-۶-۲- تخصیص مفاصل پلاستیک به المان‌ها

برای تخصیص مفاصل به المان‌ها، پس از طراحی صورت گرفته برای سازه‌ها و مشخص شدن آرما تور المان‌ها توسط نرم‌افزار، از همان مفاصل تعریف شده‌ی نرم‌افزار ETABS که منطبق با FEMA-356 می‌باشند استفاده شده‌است. برای المان‌های تیر از مفصل نوع M3 و برای المان‌های ستون از مفصل P-M2-M3 استفاده شده‌است. و به $0.5L$ در ابتدا و انتهای آنها اختصاص یافته‌اند [۲۱ و ۲۸].

۳-۷- منحنی نیرو- تغییرمکان مدل‌ها

شکل ۱۳ تا ۲۷ منحنی پوش مدل‌هایی که تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهند. این منحنی برای مدل‌های جداسازی نشده با رعایت ضوابط ذکر شده در مراجع مربوطه با یک

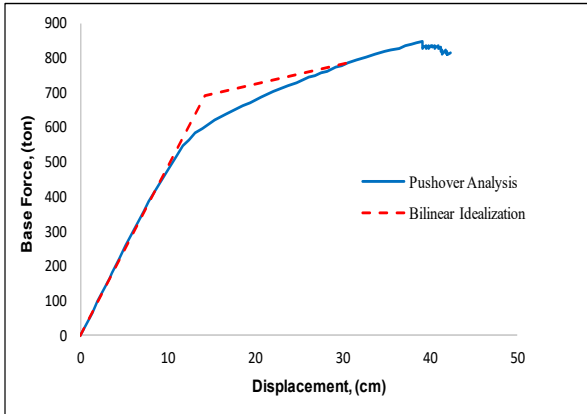
روسازه در سازه‌های بلند جداسازی شده در هنگام زلزله چگونه می‌باشد و چه میزان سختی لازم است تا این قسمت در حالت الاستیک باقی بماند، مدل‌های انتخابی تحلیل استاتیکی غیرخطی شده‌اند. تغییرمکان هدف با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه برآورد می‌شود و مقدار آن برای هر کدام از مدل‌های انتخابی از رابطه ۷ محاسبه می‌شود (FEMA-356). در محاسبه‌ی این تغییرمکان سطح عملکرد مورد نظر برای اعضای سازه‌ای قابلیت استفاده بی‌وقفه انتخاب شده و از زلزله سطح خطر ۱- (DBE) استفاده شده‌است [۲۸ و ۲۹].

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (7)$$

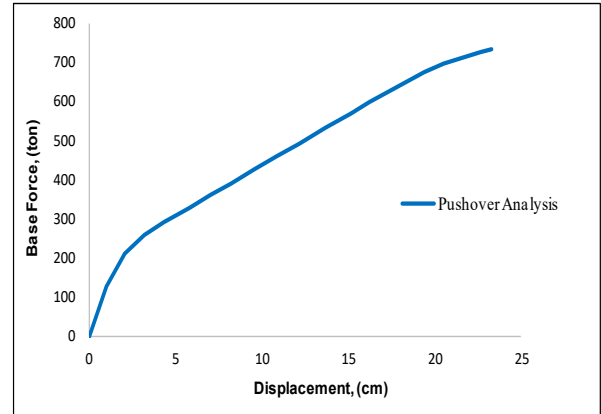
T_e زمان تناوب اصلی موثر ساختمان، C_0 و C_1 ضریب اصلاح، S_a شتاب طیفی، C_2 ضریب اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای، C_3 ضریب اعمال اثرات P- Δ .

۳-۶-۱- تغییرمکان هدف

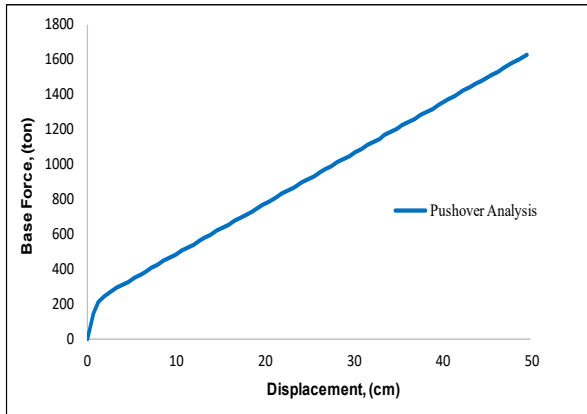
برای بررسی وضعیت شکل‌پذیری قسمت روسازه در سازه‌های جداسازی شده، از هر سازه ۲ مدل جداسازی شده با سختی نرمال



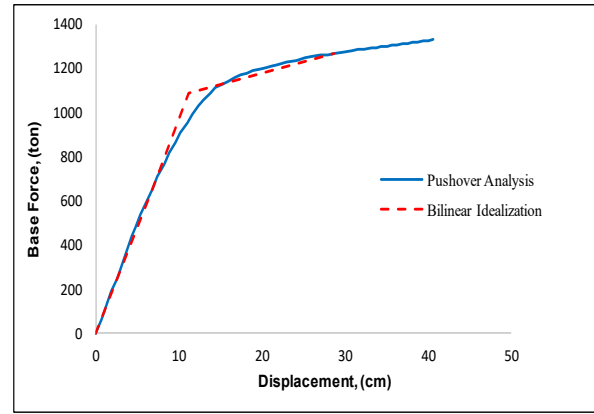
شکل ۱۳. منحنی پوش و دوخطی ایده‌آل برای مدل S10.P



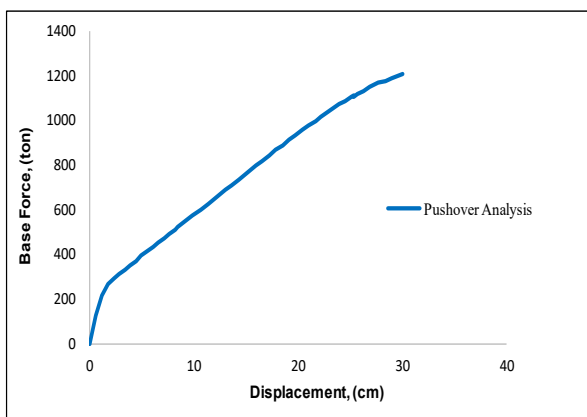
شکل ۱۴. منحنی پوش برای مدل S10.IB.P



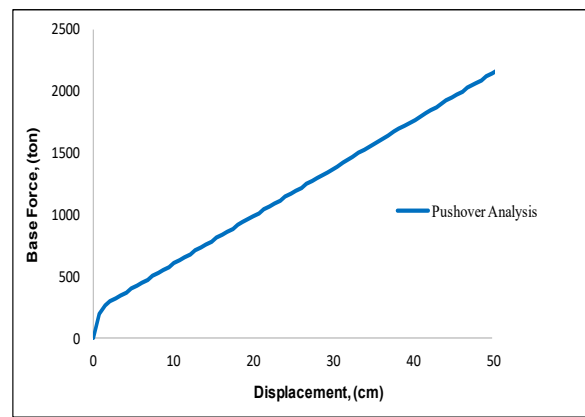
شکل ۱۵. منحنی پوش برای مدل S10.IB.P.10



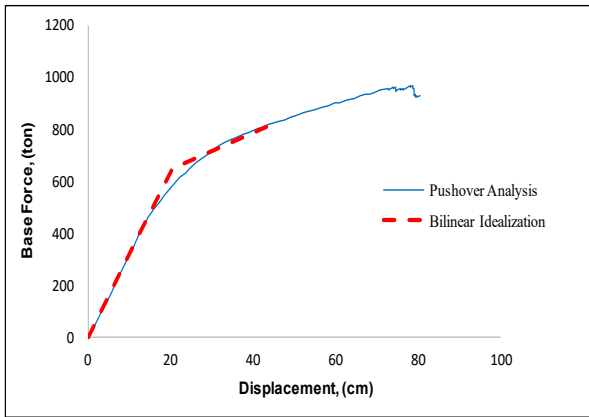
شکل ۱۶. منحنی پوش و دوخطی ایده‌آل برای مدل S15.P



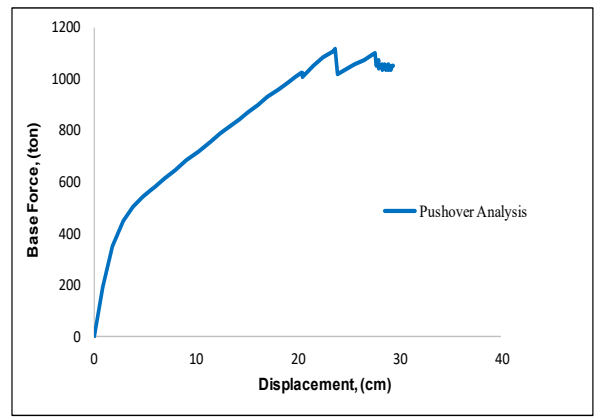
شکل ۱۷. منحنی پوش برای مدل S15.IB.P



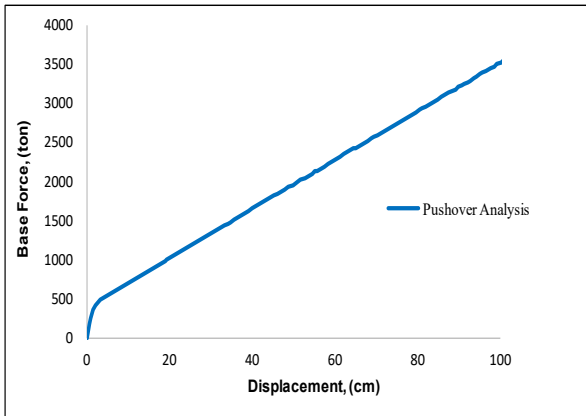
شکل ۱۸. منحنی پوش برای مدل S15.IB.P.10



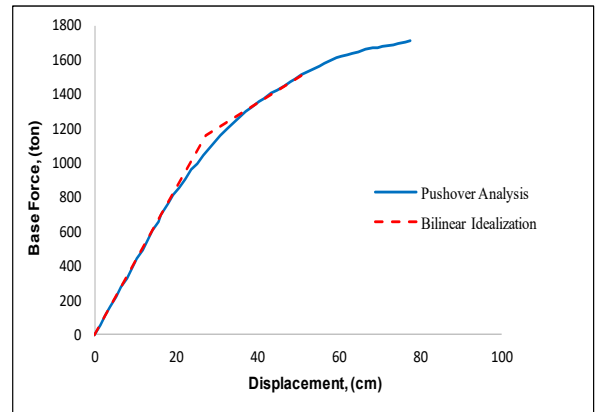
شکل ۱۹. منحنی پوش و دوخطی ایده آل برای مدل S20.P



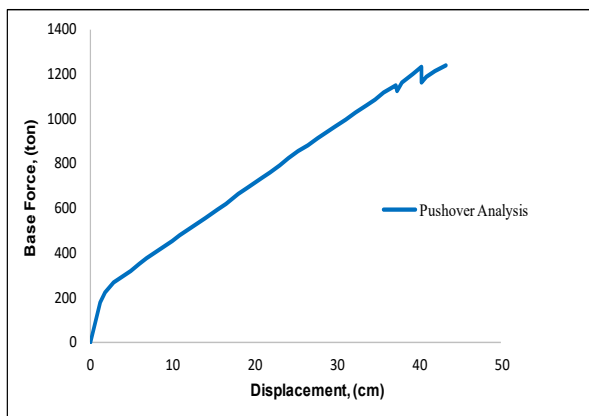
شکل ۲۰. منحنی پوش برای مدل S20.IB.P



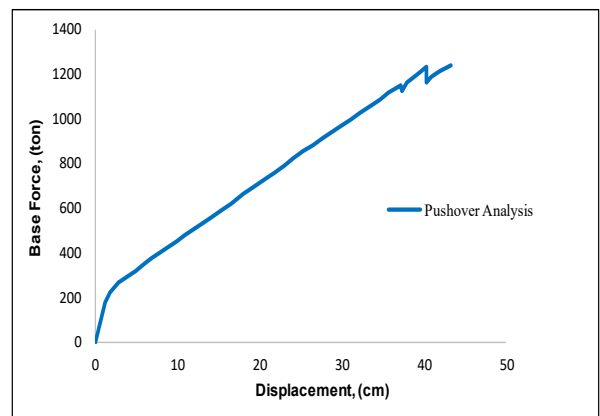
شکل ۲۱. منحنی پوش برای مدل S20.IB.P.10



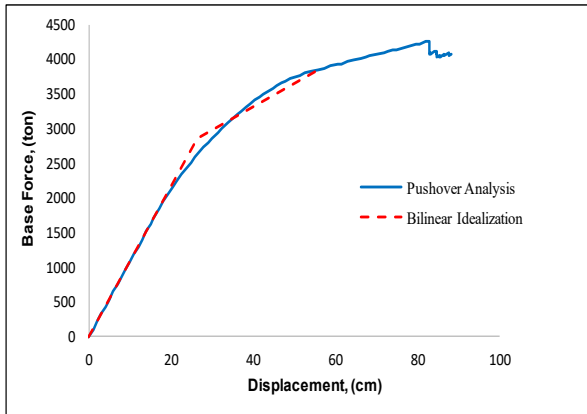
شکل ۲۲. منحنی پوش و دوخطی ایده آل برای مدل S24.P



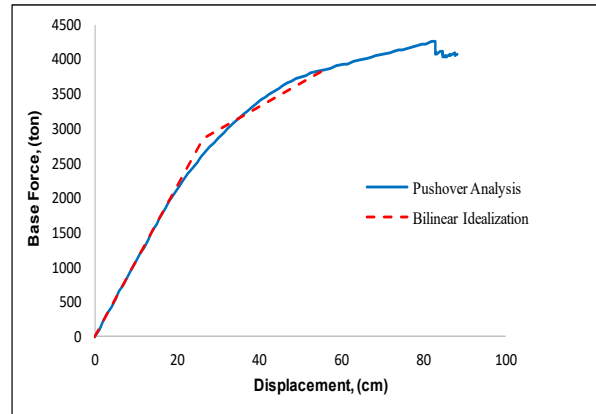
شکل ۲۳. منحنی پوش برای مدل S24.IB.P



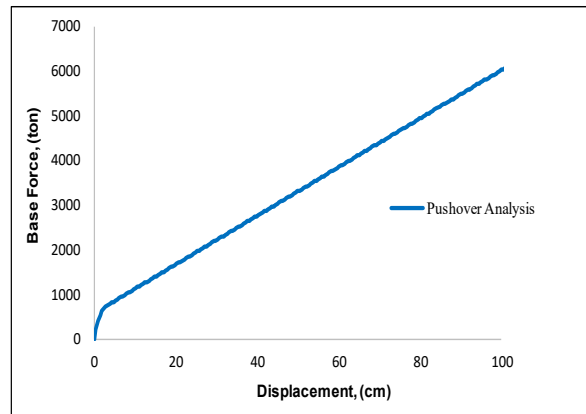
شکل ۲۴. منحنی پوش برای مدل S24.IB.P.10



شکل ۲۵. منحنی پوش و دوخطی ایده آل برای مدل S28.P



شکل ۲۶. منحنی پوش برای مدل S28.IB.P



شکل ۲۷. منحنی پوش برای مدل S28.IB.P.10

که در طول تحلیل پوش آور پاسخگوی هر یک از سطوح عملکرد می‌باشند را برای ۲ مدل جداسازی شده با سختی نرمال و جداسازی نشده هر سازه، نشان می‌دهد. ردیف اول این جدول بر اساس روند تشکیل مفاصل پلاستیک در هنگام تحلیل پوش آور، محدوده هر یک از سطوح عملکرد را نشان می‌دهد. این محدوده از ناحیه خطی (A-) شروع شده و به ناحیه فروریزش ختم می‌شود. [۲۷ و ۲۸ و ۳۱]. از نسبت تعداد مفصل‌های تشکیل شده در محدوده خطی (A-B) بین ۲ مدل جداسازی نشده و جداسازی شده که برای سازه‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۸ طبقه به ترتیب برابر با ۴۰، ۴۹، ۳۶، ۴۷ و ۷۳ درصد است، می‌توان فهمید که استفاده از روش جداسازی لرزه‌ای حتی زمانی که سازه دارای سختی نرمال است باعث رفتار خطی آن در هنگام زلزله می‌شود. هم‌چنین با توجه به اینکه سطح عملکرد انتخابی برای ارزیابی، قابلیت استفاده بی‌وقفه بوده‌است، از تعداد مفصل‌های

منحنی دو خطی ایده آل تقریب زده شده‌است [۲۷ و ۲۸]. در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود که منحنی نیرو- تغییر مکان برای مدل‌های جداسازی شده هم برای زمانی که سختی قسمت روسازه در حالت نرمال است و هم زمانی که سختی قسمت روسازه ۱۰ برابر حالت نرمال بوده، به صورت کاملاً خطی است. این نشان می‌دهد که رفتار سازه‌های جداسازی شده کاملاً خطی بوده و ضریب رفتار برای این سازه‌ها ۱ می‌باشد. هم‌چنین مشخص می‌شود که در سازه‌های جداسازی شده حتی زمانی که سختی سازه در حالت نرمال است، قسمت روسازه شکل‌پذیری نداشته و در زمان زلزله کاملاً در حالت الاستیک باقی می‌ماند.

۳-۸- وضعیت مفصل‌های پلاستیک

جدول ۱۰ تعداد مفصل‌های تشکیل شده در تغییر مکان هدف

جدول ۱۰. تعداد مفاصل پلاستیک تسکیل شده در هر یک از سازه‌های مورد بررسی در هر سطح عملکرد

طبقه	مدل	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
۱۰	FB	۸۸۱	۱۵۶	۱۴۴	۲۱۷	۲۷	۰	۰	۰	۱۴۲۵
	IB	۱۲۴۰	۱۸۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۲۵
۱۵	FB	۱۳۳۳	۴۸۳	۳۷۰	۷۶	۰	۰	۰	۰	۲۲۶۲
	IB	۱۹۹۶	۲۶۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲۶۲
۲۰	FB	۱۸۳۱	۵۴۵	۵۰۰	۱۴	۰	۰	۰	۰	۲۸۹۰
	IB	۲۵۰۶	۳۸۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸۹۰
۲۴	FB	۲۲۹۹	۶۹۲	۴۴۸	۴۱	۰	۰	۰	۰	۳۴۸۰
	IB	۳۳۹۹	۸۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴۸۰
۲۸	FB	۲۱۰۰	۸۶۷	۶۰۲	۷۳	۰	۰	۰	۰	۳۶۴۲
	IB	۳۶۳۶	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۶۴۲

۶. افزایش سختی قسمت روسازه از حالت ۱ برابر تا ۱۰۰ برابر، باعث می‌شود که شتاب در طبقات نزدیک به بام و خود طبقه‌ی آخر به طور میانگین ۴۰٪ کاهش یابد اما بر شتاب طبقات قسمت زیرسازه تأثیری نمی‌گذارد.

۷. کاهش سختی قسمت روسازه از حالت طبیعی تا ۰/۰۰۱ برابر، هیچ تأثیری بر شتاب طبقات روسازه و زیرسازه نخواهد گذاشت.

۸. افزایش میانگین سختی طبقات تا زمانی که مقدار سختی این طبقات ۱۰ برابر حالت طبیعی شود باعث کاهش محسوس شتاب طبقه‌ی بام می‌شود ولی هرچه این افزایش سختی بیشتر می‌شود تأثیر آن برای کاهش شتاب طبقه‌ی آخر کم می‌شود.

۹. رفتار قسمت روسازه در سازه‌های بلندمرتبه جداسازی شده در هنگام زلزله کاملاً خطی بوده و طبق نظر آیین‌نامه‌ها و مراجع مربوطه، این قسمت هنگام زلزله در حالت الاستیک باقی می‌ماند.

۱۰. با استفاده از روش جداسازی لرزه‌ای برای سازه‌های بلندمرتبه، می‌توان هر سطح عملکرد دلخواهی را برای آن‌ها در نظر گرفت.

مراجع

- [1] Naeim F, Kelly JM. Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice. United States: John Wiley & Sons, Inc; 1999.
- [2] Taranath BS. Tall building design : steel, concrete, and composite systems. New York: Taylor & Francis

تشکیل شده در محدوده هر سطح عملکرد این نتیجه حاصل می‌شود که می‌توان با جداسازی در سازه‌های بلند مرتبه سطح عملکرد آن‌ها را بهبود بخشید و به هر سطح دلخواهی رساند.

۳- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده از تحقیق عبارتند از:

۱. در همه‌ی سازه‌های بلندمرتبه مورد بررسی در این تحقیق و تحت همه‌ی زلزله‌های اعمالی، در سازه‌های جداسازی شده شتاب طبقه‌ی بام حداقل ۵۰٪ و شتاب اولین تراز روی جداساز حداقل ۳۰٪ نسبت به سازه‌های جداسازی نشده کاهش پیدا کرده‌است.

۲. افزایش سختی قسمت زیرسازه از حالت ۱ برابر تا ۵۰ برابر، بر شتاب طبقات زیرسازه و روسازه تأثیر نمی‌گذارد.

۳. کاهش سختی قسمت زیرسازه به طور میانگین ۳۰٪ به شتاب آن‌ها می‌افزاید. ولی اگر مقدار این کاهش سختی زیاد باشد به دلیل آن‌که از جرم طبقات کاسته می‌شود، شتاب آن‌ها نیز کم می‌شود.

۴. کاهش سختی طبقات قسمت زیرسازه از حالت طبیعی تا ۰/۰۰۱ برابر و کمتر از آن، تأثیری بر شتاب طبقات روسازه ندارد.

۵. افزایش سختی قسمت روسازه باعث می‌شود مقدار شتاب برای طبقات این قسمت در ارتفاع سازه تقریباً مساوی گردد و روند افزایشی یا کاهشی در ارتفاع سازه نداشته‌باشد (تقویت شتاب در ارتفاع وجود ندارد).

- [12] Sato D, Ooki Y, Morikawa H, Yamada S, Sakata H, Yamanaka H. EVALUATION OF SEISMICALLY ISOLATED TALL BUILDING BASED ON LONG-TERM MONITORING. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17; Beijing, China 2008.
- [13] Li A, Yang C, Xie L, Liu L, Zeng D. Research on the Rational Yield Ratio of Isolation System and Its Application to the Design of Seismically Isolated Reinforced Concrete Frame-Core Tube Tall Buildings applied sciences. 2017:20.
- [14] Gaibaulung K, Subramanian SAV. Study of the effect of base isolation on flat slab building for multistorey building in seismic prone areas. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2016;03(04).
- [15] Shinozaki Y, Hosozawa O, Komuro T, editors. Structural Design of Base Isolation system for Tall Building in Japan. Seoul Conference; 2004 October 10-13, 2004; Seoul Conference: CTBUH 2004 Seoul Conference.
- [16] Taylor AW. Response Control Systems in The United States and Lessons Learned from The Tohoku Earthquake. Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4; Tokyo, Japan 2012. p. 12.
- [17] Nishiyama I, Okawa I, Fukuyama H, Okuda Y. Building damage by 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and Coping activities by NILIM and BRI collaborated with the administration. Japan: Building Research Institute (BRI) and National Institute for land & Infrastructure Mngement (NILIM); 2012.
- [18] Saito T. Behavior of response controlled and seismically isolated buildings during severe earthquakes in Japan. Japan: Earthquake Research Institute (ERI) and Building Research Institute (BRI); 2015.
- [19] Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 4th Edition, 2015.
- [20] Part 9, Design and Construction of Concrete Group, LLC; 2017.
- [3] Calugaro V, Panagiotou M. Earthquake Resistant and Resilient Tall Buildings using Seismic Isolation and Rocking Core Walls. Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Berkeley; 2012.
- [4] Clark PW, Higashino M, Kelly JM, Corporation T. PERFORMANCE OF SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES IN THE JANUARY 17, 1994 NORTHRIDGE EARTHQUAKE. United States; 1995.
- [5] Sorace S, Terenzi G. Analysis, Design, and Construction of a Base-Isolated Multiple Building Structure. Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering. 2014.
- [6] Probha C, Sabu B. Study of Base Isolation in Multi-Storeyed Buildings. Transactions on Engineering and Sciences. 2014;2(8).
- [7] Ahmed M. Building with Base Isolation Techniques. Al-Azhar University Engineering Journal, JAUES. 2012;7(1):13.
- [8] Zhou FL, Yang Z, Liu W, Tan P. New Seismic Isolation System For Irregular Structure with The Largest Isolation Building Area in The World. 13th World Conference on Earthquake Engineering; August 1-6, 2004; Vancouver, B.C., Canada 2004. p. 11.
- [9] Jain SK, Thakkar SK. Application of Base Isolation for Flexible Building. 13th World Conference on Earthquake Engineering; August 1-6, 2004; Vancouver, B.C., Canada 2004. p. 13.
- [10] Komuro T, Nishikawa Y, Kimura Y, Isshiki Y. Development and Realization of Base Isolation System for High-Rise Building. journal of Advanced Concrete Technology. 2005;3(2):7.
- [11] Becker TC, Yamamoto S, Hamaguchi H, Higashino M, Nakashima M. Isolation for Tall Buildings, A Japanese Case Study. Tenth US National Conference on Earthquake Engineering; July 21-25, 2014; Anchorage, Alaska: Earthquake Engineering Research Institute; 2014. p. 10.

- rise isolated building. Khomeinishahr Branch: Islamic Azad University 2016.
- [28] American Society of Civil Engineers. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building: FEMA 356. Washington, D.C: Federal Emergency Management Agency; 2000.
- [29] Andrew Whittaker, Michael Constantinou, Panos Tsopelas, "DISPLACEMENT ESTIMATES FOR PERFORMANCE-BASED SEISMIC DESIGN", Journal of Structural Engineering (ASCE), Vol. 124, No. 8, pp. 905-912, 1998.
- [30] Management and Planning Organization. Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Building: No. 360. Iran: Office of Deputy for Technical Affairs, Technical Criteria Codification & Earthquake Risk, Reduction Affairs Bureau, 2007.
- [31] Taghinejad R., "Seismic Design and Rehabilitation of Structures Based on Performance Level", Ketabdaneshgahi, IRAN, 2014.
- Structures: 4th Edition. Iran: National Building Regulations Office
- [21] Etabs, Nonlinear ver 9.7.4. Berkeley CA: Computers and Structures Inc: 1995. Available from: <http://www.csiberkeley.com>.
- [22] <http://www.peer.berkeley.edu/students/PastSDC>
- [23] "Guide to Designin and Implementing Seismic Base Isolators in Buildings" Code No. 523, Iranian Building and Housing Research Center, 2010.
- [24] "Design Guideline for Base Isolated Structures", Code No. 550, Iranian Building and Housing Research Center, 2010.
- [25] Kelly TE, Ltd HCG. Base Isolation of Structures. New Zealand Holmes Consulting Group Ltd; 2001 July 2001.
- [26] ASCE7-16., "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Building and Other Structures", American Society of Civil Engineers, Washington, 2016.
- [27] Sharifi H. Evaluation of performance level of High-

HOW TO CITE THIS ARTICLE

H.R. Sharifi, S.B. Talaeitaba, *The effect of Stiffness on Behavior of Isolated Tall Buildings*, Amirkabir J. Civil Eng., 51(5) (2019) 993-1016.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14184.5579](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14184.5579)



