

# کار برد سطوح SST در بررسی رفتار غیر خطی ساختمانهای چند طبقه نامتقارن

احسان مینایی

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

محمود یحیایی\*

استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۸۳/۱۲/۱۶، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۸/۱۴، تاریخ تصویب ۸۵/۳/۶)

## چکیده

در این مقاله رفتار غیرخطی ساختمانهای چند طبقه نامتقارن با در نظر گرفتن تاریخچه برش و پیچش طبقات در فضای که سطح SST نامیده می شود مورد بررسی قرار گرفته است. اولین قدم برای درک رفتار غیر خطی، شناخت این سطوح می باشد که در واقع نشانگر تمامی ترکیبات برش و پیچش طبقه است که به صورت استاتیکی به سازه وارد شده و باعث ایجاد مکانیزم در آن طبقه می شوند. عوامل متعددی بر روی شکل سطح SST اثر می گذارند که تأثیر عواملی مانند مقاومت صفحات مقاوم در راستای عمود برجهت اصلی زلزله، خروج از مرکزیت مقاومت و خروج از مرکزیت سختی در این مطالعه در نظر گرفته شده و اثر آنها بر روی رفتار سازه های نامتقارن با در نظر گرفتن ساختمانهای ۵، ۸ و ۱۲ طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی ساختمانها حاکی از آن است که سطح SST به همراه تاریخچه برش و پیچش در طبقات یک ساختمان، چارچوب بسیار مفیدی برای درک رفتار سیستم های نامتقارن ارائه می دهد. با استفاده از این سطوح، می توان رفتار یک سیستم غیرمتقارن را حتی قبل از آنالیز دینامیکی پیش بینی نموده و به بهینه سازی طراحی و یا طرحهای مقاوم سازی مبادرت نمود. از این روش می توان در مورد ساختمانهای فولادی و بتنی استفاده نمود و فرقی بین این دو سیستم در این روش وجود ندارد که همین موضوع باعث کاربردی بودن این روش شده است.

**واژه های کلیدی:** ساختمان نامتقارن - پیچش - برش - سطح BST - سطح SST - نیاز تغییر شکل - خروج از مرکزیت مقاومت - خروج از مرکزیت سختی

## مقدمه

نامتقارن صورت گرفته است [۲،۱]، لیکن هنوز نمی توان با اطمینان نتایج حاصل از این تحقیقات را به ساختمانهای چند طبقه تعمیم داد و از سوی دیگر مدلهای عددی پیچیده روشی کاربردی برای طراحی نمی باشند. هدف از این تحقیق، ضمن ادامه کار سایر محققین [۲،۱]، ارائه یک چارچوب قابل درک است که مهندسی و محققین را قادر می سازد که رفتار ساختمانهای چند طبقه نامتقارن را قبل از انجام هر گونه آنالیز دینامیکی غیر خطی پیچیده پیش بینی نموده و با یکدیگر مقایسه نمایند.

## معرفی سطوح SST و BST

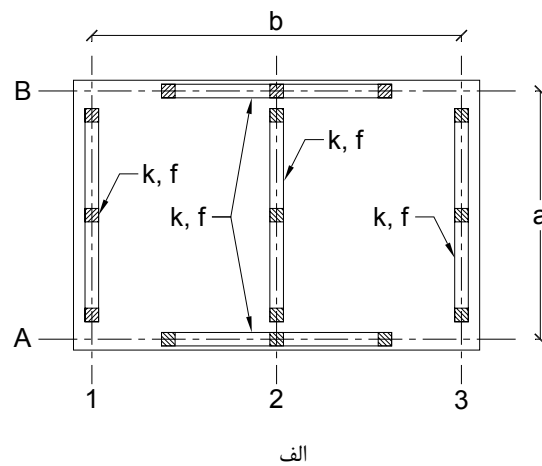
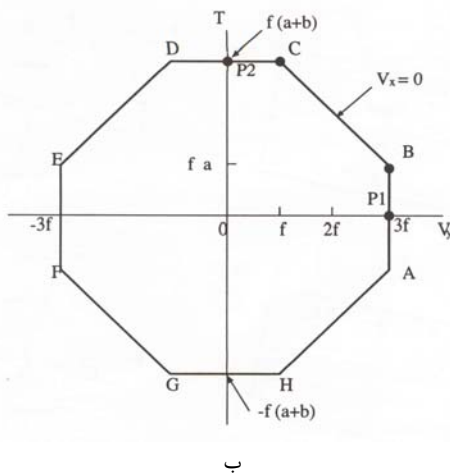
یکی از مطالعات بسیار مفید که در زمینه رفتار غیر خطی ساختمانهای نامتقارن یک طبقه صورت گرفته است، ایده سطوح BST<sup>۲</sup> می باشد که توسط Kan و

فرو ریزش جزئی یا کلی حدود چهل و دو درصد از ساختمانها در زلزله ۱۹۸۵ مکزیک به علت آثار پیچشی نشان داد که ساختمانهای نامتقارن از لحاظ سختی و مقاومت در پلان، بسیار آسیب پذیر هستند. ارتباط موجود بین حرکات جانبی و پیچشی در یک ساختمان با پلان نامتقارن که در اینجا به عنوان پیچش طبیعی معرفی می شود باعث ایجاد نیاز تغییر شکل غیر یکسان در صفحات مقاوم جانبی در سیستم می گردد. واضح است که رفتار پیچشی سازه ممکن است اثرات مخربی را بر رفتار سازه در حین زلزله های شدید داشته باشد. علیرغم تحقیقات وسیع، رفتار پیچشی غیر خطی ساختمانهای نامتقارن هنوز کاملاً درک نشده است. دلیل عمده آنرا می توان تعداد زیاد پارامترهای مؤثر دانست. هرچند مطالعات نسبتاً وسیعی در زمینه رفتار غیر خطی ساختمانهای یک طبقه

پلان نا متقارن از لحاظ سختی و مقاومت و همچنین ساختمانهای دارای تعداد صفحات مقاوم بیشتر نیز به همین صورت بوده و توضیحات کامل تر در این خصوص در مرجع [۵] ارائه شده است. در این جملات،  $f$  مقاومت برشی صفحات مقاوم می باشد.

حتی بدون آنالیز دینامیکی هم می توان عملکرد مورد نظر سازه های متفاوت را براساس سطوح BST آنها مقایسه کرد. این یکی از فواید روش سطح BST نسبت به روش های آنالیز معمول می باشد که در آنها مقایسه بین سیستم های مختلف فقط بعد از محاسبه پاسخ آنها ممکن می باشد. Chopra و La Llera به بررسی خصوصیات سطوح BST و عوامل مؤثر بر روی شکل سطح BST در ساختمانهای یک طبقه پرداخته اند [۱]. از پارامترهای بررسی شده می توان به مقاومت صفحات مقاوم، مقاومت صفحات مقاوم در راستای عمود بر جهت اصلی زلزله و نامتقارنی در مقاومت اشاره نمود. شایان ذکر است که نامتقارنی در سختی تأثیری در شکل سطح BST نداشته و تنها توزیع ترکیبات برش و پیچش پایه را درون سطح BST تغییر می دهد [۵]. Killar و Fajfar در مطالعه ای به بررسی و تعیین سطوح BST برای تراز پایه ساختمانهای هشت طبقه پرداخته اند [۲]. در روشی که آنها مورد استفاده قرار داده اند سطح BST برای تراز پایه سه ساختمان هشت طبقه به وسیله یک سری آنالیز استاتیکی غیر خطی با نسبت های متفاوت بین برش پایه  $V_y, V_x$  و پیچش پایه  $T$  تعیین می شود.

Chopra در سال ۱۹۷۷ معرفی شد [۳]. پس از آن این روش توسط محققین دیگری مورد استفاده قرار گرفت [۴،۲۰۱]. سطح BST برای یک سازه، فضایی از  $V_y, V_x$  و  $T$  است که ترکیبات برش پایه در جهت های  $x$  و  $y$  و پیچش پایه ای که به صورت استاتیکی به سازه وارد شده و باعث ایجاد فرو ریزش در آن می شوند را نشان می دهد [۵،۲۰۱]. سطح BST فضای نیرو را به دو ناحیه تقسیم می کند: فضای داخل که در برگیرنده ترکیبات برش و پیچش پایه ای است که رفتار الاستیک سازه را نمایش می دهند و فضای خارج که شامل ترکیبات استاتیکی برش و پیچش پایه می باشد که قابل اعمال به سازه نمی باشند. Chopra و La Llera کاربرد سطوح BST را در ساختمانهای یک طبقه مورد بررسی قرار داده اند [۱]. آنها سطح BST را برای یک سازه یک طبقه با پلان مستطیل شکل با ابعاد  $a$  و  $b$  (شکل ۱-الف) با استفاده از روشهای مقاومت مصالح تعیین نمودند. نقاط خاصی از سطح BST در ابتدا مشخص هستند. مانند حداکثر ظرفیت پیچشی در شکل ۱-ب (نقطه  $P_2$ ) که برابر  $T_0 = f(a+b)$  است و یا حداکثر ظرفیت برشی (نقطه  $P_1$ ) که برابر  $3f$  می باشد. نقطه  $B$  با مکانیزم برشی در جهت  $x$  (جهت اصلی زلزله) و مکانیزم پیچشی در جهت  $y$  در ارتباط است، لذا در این حالت ظرفیت برشی ساختمان برابر  $3f$  و ظرفیت پیچشی آن برابر  $fa$  می باشد. همچنین در مورد نقطه  $C$  که با مکانیزم برشی و پیچشی در جهت  $x$  و مکانیزم پیچشی در جهت  $y$  در ارتباط است، ظرفیت برشی برابر  $f$  (محور ۲) و ظرفیت پیچشی برابر  $f(a+b)$  می باشد. تعیین سطوح BST برای ساختمانهای دارای



شکل ۱-الف): پلان ساختمان یک طبقه متقارن، (ب) سطح BST برای سازه یک طبقه متقارن [۱].

می باشند و در هر دو جهت  $x$  و  $y$  وجود دارند تأمین می شود. منظور از صفحه مقاوم کلیه المانهای باربر جانبی است که در یک راستا در یک محور خاص قرار داشته و یک صفحه باربر جانبی را تشکیل می دهند. پلان ساختمانهای فوق در شکل (۲) نشان داده شده است. انتخاب مدل‌های فوق و همچنین توزیع سختی و مقاومت در پلان به گونه ای مشابه مدل‌های مورد بررسی در مرجع [۱] انتخاب شده اند که بتوان نتایج حاصله را با نتایج ارائه شده در این مرجع مقایسه نمود. همانطور که در این شکل دیده می شود،  $i$  امین صفحه مقاوم در جهت  $x$  دارای ماتریس سختی  $K_x^{(i)}$  و ماتریس مقاومت  $f_x^{(i)}$  بوده و در فاصله  $y^{(i,j)}$  از مرکز جرم CM طبقه  $j$ ام ( $j=1, 2, \dots, n$ ) واقع شده است. به طور مشابه، برای جهت  $y$ ، این ماتریس ها و فاصله از مرکز جرم CM با اندیس  $y$  نوشته می شوند. صفحات مقاوم در جهت  $y$  ممکن است که دارای سختی و مقاومت متفاوتی بوده و به صورت نامتقارن حول محور  $y$  قرار گیرند ولی سیستم حول محور  $x$  همواره از لحاظ سختی و مقاومت متقارن می باشد. سختی پایه  $K$  در ساختمانهای ۵، ۸ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر  $630000$ ،  $933300$   $\text{kgf/cm}$  و  $1120000$   $\text{kgf/cm}$  و مقاومت پایه  $f$  برای این ساختمانها به ترتیب برابر  $740000$   $\text{kgf}$ ،  $1480000$   $\text{kgf}$  و  $1973000$   $\text{kgf}$  میباشد. توزیع سختی و مقاومت در ارتفاع ساختمان متغیر است. در ساختمانهای ۵ طبقه دو طبقه اول به ترتیب دارای سختی و مقاومت  $K$  و  $f$ ، دو طبقه دوم  $3/4K$  و  $3/4f$  و طبقه پنجم  $K/2$  و  $f/2$ ؛ در ساختمانهای ۸ طبقه همین توزیع سختی و مقاومت به ترتیب در سه طبقه اول، سه طبقه دوم، دو طبقه آخر و در ساختمانهای ۱۲ طبقه این توزیع به ترتیب در چهار طبقه اول، چهار طبقه دوم و چهار طبقه سوم می باشد. علت این توزیع، نزدیک شدن طراحی مدل‌های مذکور به ضوابط طراحی آئین نامه های طراحی لرزه ای می باشد. لازم به ذکر است که با توجه به رفتار برشی ساختمانهای مذکور، منظور از مقاومت صفحات مقاوم، مقاومت برشی آنها می باشد که با توجه به مشخصات هر صفحه مقاوم و بر اساس اصول مقاومت مصالح تعیین می شود.

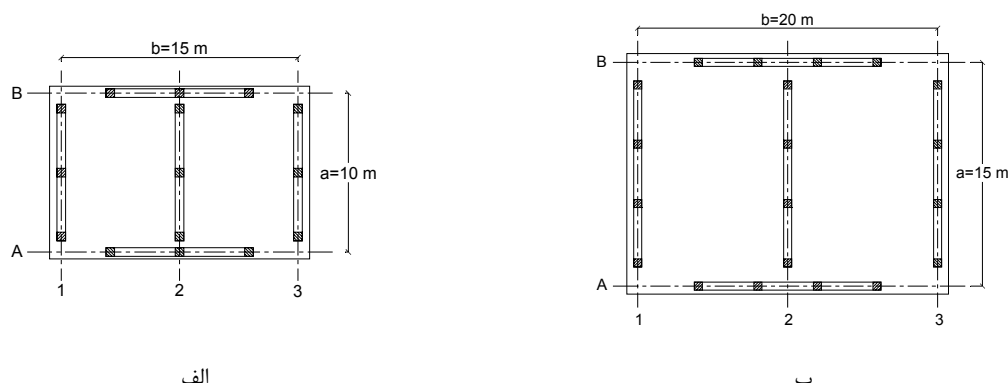
برای تحلیل دینامیکی غیر خطی، از نرم افزار RAM Perform 3D نگارش 1.25 استفاده شده است.

این دو محقق پس از تعیین سطح BST برای سطح پایه برای ساختمانهای هشت طبقه، با استفاده از نمودارهای تغییر مکان حداکثر برای تراز بام در قابهای مورد مطالعه، نتیجه می گیرند که در برخی حالات ممکن است قبل از آنکه مکانیزم کلی در یک سازه اتفاق بیافتد، تغییر مکان یک قاب به ظرفیت تغییر مکان آن رسیده و ظرفیت برشی سازه کاهش یابد.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط محققین دیگر در رابطه با سطوح BST در ساختمانهای یک و چند طبقه [۴،۲،۱]، به نظر می رسد که روش ارائه شده توسط Chopra و La Llera [۱]، نسبت به روش ارائه شده توسط Killar و Fajfar [۲]، روش کاربردی تری برای بررسی رفتار ساختمانهای چند طبقه می باشد. زیرا این روش فقط محدود به ساختمانهای یک طبقه نیست و می توان سطوح BST را برای هر طبقه از ساختمان بدست آورده و رفتار هر طبقه از ساختمان را بطور مجزا مورد بررسی قرار داد، که در اینصورت این سطوح، سطوح SST نامیده خواهند شد. خصوصیات و نحوه تعیین سطوح SST همانند سطوح BST بوده و تنها تفاوت آنها در این است که سطوح BST مربوط به تراز پایه ساختمان می باشد در حالیکه سطوح SST در هر طبقه از ساختمان تعیین میگردد. با توجه به مطالب فوق و همچنین با در نظر گرفتن این موضوع که تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققین کاربرد این سطوح را در ساختمانهای یک طبقه مورد بررسی قرار می دهد، در این مطالعه سعی شده است که رفتار ساختمانهای چند طبقه با استفاده از سطوح SST در هر طبقه مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از نتایج آن روشی اصولی و کاربردی در تحلیل، طراحی و مقاوم سازی ساختمانهای چند طبقه ارائه شود. در این مطالعه سعی خواهد شد که در ادامه تحقیقات صورت گرفته [۲،۱] رفتار ساختمانهای ۵، ۸ و ۱۲ طبقه با استفاده از سطوح SST مورد بررسی قرار بگیرد.

### مدلهای در نظر گرفته شده و روش تحلیل

ساختمانهای ۵، ۸ و ۱۲ طبقه برای تحلیل در نظر گرفته شده اند. دیافراگم ها صلب بوده و جرم طبقات با توزیع متقارن در هر دو جهت در مرکز جرم CM طبقات متمرکز فرض شده است. مقاومت جانبی ساختمانها توسط صفحات مقاومی که شامل المان های تیر و ستون



شکل ۲- (الف) پلان ساختمان های ۵ طبقه، (ب) پلان ساختمانهای ۸ و ۱۲ طبقه .

های یک جهته و مؤلفه های عرضی نیز در تحلیلهای دو جهته به همراه مؤلفه های طولی به کار گرفته می شوند. این شتابنگاشتها مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران به روش همپایه کردن طیفهای حاصل از شتابنگاشتها و طیف طرح استاندارد برای شتاب پایه  $0.35g$  همپایه شده اند [۷،۵]. پارامترهای پاسخی که در این مطالعه مورد توجه بوده و بر روی آنها بحث و بررسی صورت خواهد گرفت عبارتند از:

الف) ترکیبات  $V_x^{(i)}$ ،  $V_y^{(i)}$  و  $T^{(i)}$  که به ترتیب برش در جهات  $x$  و  $y$  و پیچش در طبقه  $i$  ام هستند.

ب) تاریخچه تغییر مکان در لبه ها و مرکز جرم در طبقات مورد نظر

ج) تاریخچه نیرو - تغییر مکان (منحنی هیستریزس) المان های مورد نظر

برای تحلیل، جهت اصلی همیشه مطابق جهت  $y$  می باشد، لذا از این به بعد از جهت  $x$  به عنوان جهت عمود نام برده می شود.

### بررسی رفتار غیر خطی سیستم ها

سطح SST را برای طبقه ای از سازه با بیش از سه صفحه مقاوم در جهت بار، می توان با سطح SST برای طبقه ای معادل، با سه صفحه مقاوم در جهت بار، با دقت بسیار خوبی تخمین زد [۵،۱].

در این تحقیق از این روش برای تعیین شکل این سطح برای مدلها در نظر گرفته شده، استفاده خواهد شد. روابط مربوط به تعیین سطوح SST در مرجع [۵] ارائه شده است.

برای مدلسازی المانهای تیر و ستون بکار گرفته شده و رفتار غیر خطی اعضاء به صورت الاستیک- کاملاً پلاستیک و بدون سخت شدگی پس از جاری شدن تعریف شده است. جهت بررسی صحت مدلها در نظر گرفته شده، مدل نرم افزاری و همچنین روش تحلیل مورد استفاده، چند مدل یک طبقه با مشخصات ارائه شده در مرجع [۱] با استفاده از نرم افزار RAM Perform 3D مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصله با نتایج ارائه شده در مرجع فوق مقایسه گردید که انطباق نتایج حاکی از صحت مدلها و روش تحلیل می باشد.

معادله حاکم بر حرکت یک سیستم غیر الاستیک چند طبقه به صورت زیر است:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + f_S(u, \dot{u}) = -M\ddot{r}_g(t) \quad (1)$$

که در آن  $M$  ماتریس جرم طبقات،  $C$  ماتریس میرایی و یسکوز خطی سیستم و  $f_S(u, \dot{u})$  نیروی مقاوم برای یک سیستم الاستو- پلاستیک می باشد. همچنین ماتریس  $3n \times 2$  است که از بردارهای تأثیر  $u = \{u_x \ u_y \ u_\theta\}^T$  بردار تغییر مکان بوده و  $r$  نیز یک ماتریس  $3n \times 2$  است که از بردارهای تأثیر  $r_x = \{1 \ 0 \ 0\}^T$  و  $r_y = \{0 \ 1 \ 0\}^T$  برای بردار شتاب  $\ddot{u}_g(t) = \{\ddot{u}_{gx}(t) \ \ddot{u}_{gy}(t)\}^T$  تشکیل شده است. برای تعیین  $u(t)$ ، رابطه (۱) باید به کمک یکی از روشهای عددی حل گردد. نرم افزار ذکر شده از روش نیومارک شتاب متوسط با  $\beta = 1/4$  برای حل این معادله کمک می گیرد [۶]. شتابنگاشت های مورد استفاده در تحلیل سیستم ها در جدول (۱) ارائه شده است. لازم به ذکر است که مؤلفه های طولی زلزله های فوق برای تحلیل

جدول ۱: شتابنگاشتهای مورد استفاده [۸، ۹].

شتابنگاشت	محل وقوع	زمان وقوع	مؤلفه	تداوم (ثانیه)	بزرگا	بیشینه شتاب (g)
El Centro	Imperial Valley	May 1940	N-S	53.74	6.9	0.31288
			E-W	53.74		0.21478
Northridge	Mulholland	Jan. 1994	N-S	25	6.6	0.41578
			E-W	25		0.51646
Tabas	Tabas	Sept. 1978	N16W	25	7.3	0.93312
			S74E			0.87878

مقاوم در جهت عمود، یعنی  $0.1f$ ، بیشتر رفتار دینامیکی غیر خطی خود را در امتداد شاخه های با شیب مثبت سطح SST نشان می دهد (شکل ۳- a). در این حالت در بسیاری از گامهای زمانی سیستم تحت مکانیزم های پیچشی حول قوی ترین صفحه مقاوم (صفحه ۳) در پلان قرار می گیرد. در نتیجه، انتظار می رود که بیشتر رفتار غیر خطی سیستم در صفحه مقاومی که دورترین صفحه به صفحه مقاوم ۳ است به دلیل چرخش در پلان به وجود آید. وقتی مقاومت صفحات مقاوم در جهت عمود افزایش می یابد، بخش عمده ای از رفتار غیر خطی سیستم از شاخه های با شیب مثبت سطح SST به شاخه های برش ثابت سطح SST انتقال می یابند (شکل ۳- c). در این حالت سیستم های با صفحات قوی در جهت عمود در بیشتر چرخه های غیر خطی خود با مکانیزم های انتقالی که با جاری شدن صفحات مقاوم در جهت  $y$  در ارتباط هستند مواجه می شوند. لذا نیاز تغییر شکل یکسان تری را می توان از صفحات مقاوم در جهت زلزله انتظار داشت [۵]. همین نتایج را می توان از بررسی جدول (۲) دریافت. مشاهده می شود که با افزایش مقاومت صفحات مقاوم در جهت عمود بیشینه تغییر مکان صفحه مقاوم ۱ به بیشینه تغییر مکان صفحه مقاوم ۳ در طبقات مورد نظر نیز کاهش می یابد. علت این امر را می توان استفاده مؤثرتر از مقاومت صفحات مقاوم در جهت اصلی دانست. نتایج مشابهی نیز برای ساختمانهای ۵ و ۸ طبقه بدست آمده است [۵].

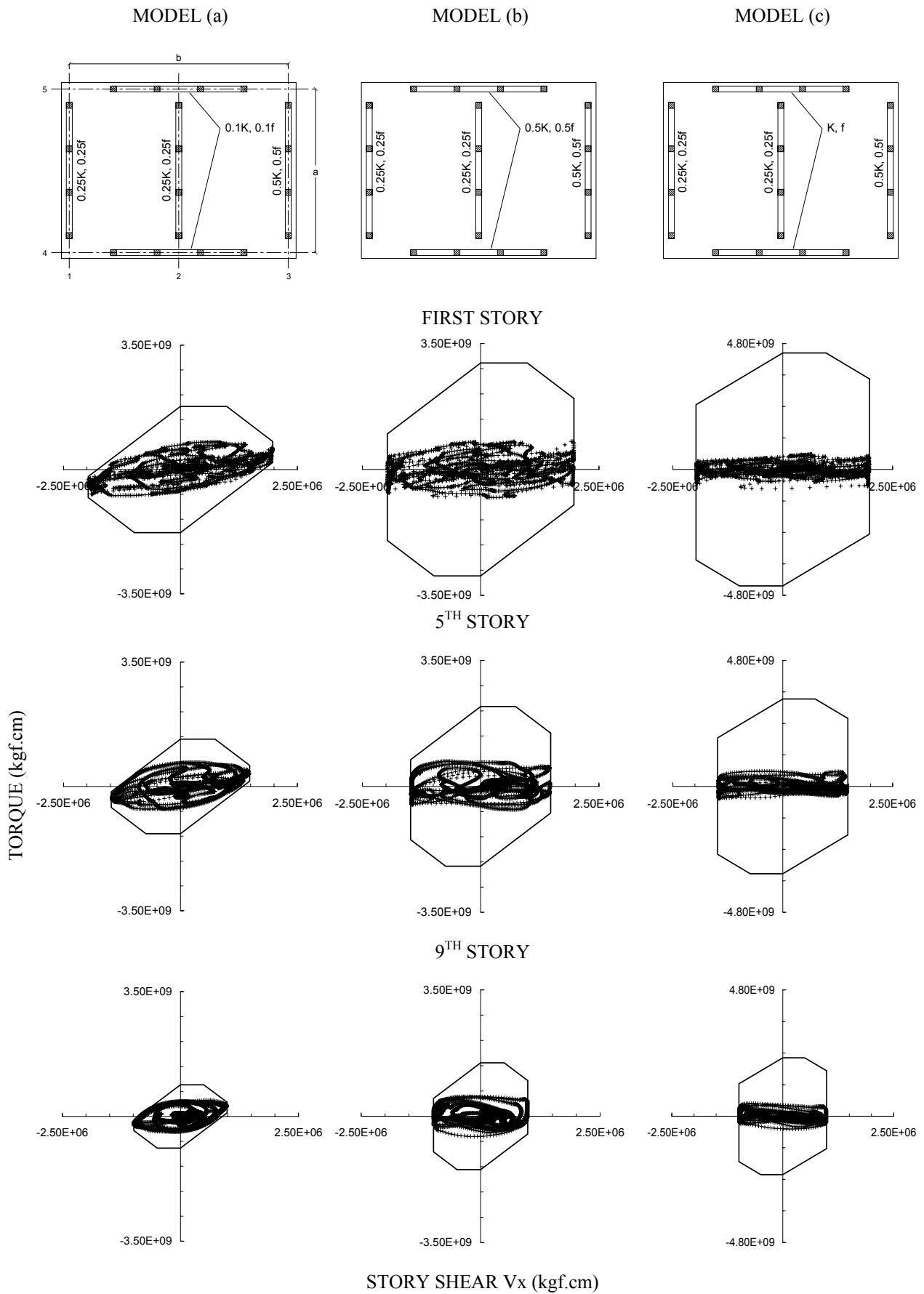
### خروج از مرکزیت سختی

تأثیر خروج از مرکزیت سختی در رفتار غیر خطی سازه های نامتقارن با تحلیل ساختمانهای نشان داده

هدف از این تحقیق را می توان بررسی اثرات پارامترهای زیر در رفتار ساختمانهای چند طبقه نامتقارن دانست: (۱) مقاومت صفحات مقاوم در جهت عمود بر جهت اصلی (۲) عدم تقارن در سختی (۳) عدم تقارن در مقاومت. برای بررسی هر یک از موارد فوق سه ساختمان ۵، ۸ و ۱۲ طبقه، و برای هر ساختمان سه مدل با مشخصات متفاوت سازه ای (به عنوان مثال توزیع سختی متفاوت برای بررسی اثر خروج از مرکزیت سختی) تحت سه شتابنگاشت طیس، ال سنترو و نورتریج مورد تحلیل قرار گرفته و بر اساس نتایج حاصله و مقایسه این نتایج و موارد ارائه شده در مرجع [۱] مربوط به ساختمانهای یک طبقه نتیجه گیری کلی در پایان مقاله ارائه شده است. به علت کثرت نتایج و نمودارهای مربوطه، فقط نتایج مربوط به ساختمانهای ۱۲ طبقه تحت شتابنگاشت ال سنترو در این مقاله ارائه شده و سایر نتایج در مرجع [۵] موجود می باشند. در شکل های ۳، ۴ و ۵ سطوح SST مربوط به طبقات اول، پنجم و نهم ساختمانهای ۱۲ طبقه به همراه تاریخچه برش و پیچش طبقه تحت شتابنگاشت ال سنترو ارائه شده است.

### مقاومت صفحات مقاوم در جهت عمود بر جهت اصلی زلزله

برای بررسی اثر تغییر مقاومت صفحات مقاوم در راستای عمود بر جهت اصلی زلزله، مدل های نشان داده شده در شکل های (۳- a، b) و (۳- c) در نظر گرفته شده اند. هر مدل دارای خروج از مرکزیت سختی و مقاومت  $0.125b$  می باشد. مقاومت صفحات مقاوم در راستای عمود بر جهت اصلی زلزله برابر  $0.1f$ ،  $0.5f$ ،  $f$  در نظر گرفته شده است. سیستم با مقاومت کم برای صفحات



شکل ۳: تأثیر مقاومت صفحات مقاوم در جهت عمود در تاریخچه برش-پیچش طبقه تحت شتابنگاشت ال سنترو (ساختمانهای دوازده طبقه).

جدول ۲: تأثیر مقاومت صفحات مقاوم در جهت عمود در نسبت بیشینه تغییر مکان طرف نرم به طرف سخت در طبقات مختلف تحت شتابنگاشتهای مورد نظر.

ساختمان ۱۲ طبقه	Model	EL CENTRO			NORTHRIDGE			TABAS		
		BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>
ساختمان ۱۲ طبقه	a	1.42092	1.49442	2.16979	1.34779	1.94131	2.64171	1.44495	1.7489	2.15225
	b	1.18862	1.43946	1.83531	1.21164	1.46338	1.95502	1.09887	1.45742	1.93507
	c	1.09427	1.20076	1.37647	1.16575	1.18533	1.73475	1.06143	1.30453	1.50712

جدول ۳: تأثیر خروج از مرکزیت سختی در نسبت بیشینه تغییر مکان طرف نرم به طرف سخت در طبقات مختلف تحت شتابنگاشتهای مورد نظر.

ساختمان ۱۲ طبقه	Model	EL CENTRO			NORTHRIDGE			TABAS		
		BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>
ساختمان ۱۲ طبقه	a	1.09073	1.18815	1.29808	1.00115	1.27314	1.70087	1.0628	1.15527	1.35336
	b	1.18862	1.43946	1.83531	1.21164	1.46338	1.95502	1.09887	1.45742	1.93507
	c	1.46436	2.53554	7.11052	1.96317	2.33124	2.3481	1.69791	1.65142	4.53243

جدول ۴: تأثیر خروج از مرکزیت مقاومت در نسبت بیشینه تغییر مکان طرف نرم به طرف سخت در طبقات مختلف تحت شتابنگاشتهای مورد نظر.

ساختمان ۱۲ طبقه	Model	EL CENTRO			NORTHRIDGE			TABAS		
		BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	BASE	5 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>
ساختمان ۱۲ طبقه	a	1.10036	1.23018	1.35208	1.15851	1.29109	1.91792	1.03513	1.22856	1.41545
	b	1.18862	1.43946	1.83531	1.21164	1.46338	1.95502	1.09887	1.45742	1.93507
	c	1.38677	2.04597	2.92858	1.75975	2.77734	3.54355	1.21708	2.56065	2.40171

تاریخچه تغییر مکان لبه ها و مرکز جرم سازه و همچنین تاریخچه نیرو- تغییر مکان صفحات مقاوم می باشند. واضح است که زمانی که خروج از مرکزیت سختی افزایش می یابد، بیشینه تغییر مکان در لبه های نرم و سخت ساختمان اختلاف بیشتری پیدا می کنند و نسبت آنها همانطور که در جدول (۳) ارائه شده است افزایش می یابد. همچنین افزایش خروج از مرکزیت سختی باعث افزایش اختلاف در نیاز تغییر شکل صفحات مقاوم می شود. این نیاز تغییر شکل برای صفحات دورتر از سخت ترین صفحه بیشتر است. نتایج حاصل از تحلیل ساختمانهای ۵ و ۸ طبقه نیز نتایج فوق را تأیید می کند [۵].

شده در شکل (۴) بررسی شده است. ساختمانهای مذکور دارای خروج از مرکزیت مقاومت 0.125b و خروج از مرکزیت سختی متغیر برابر 0.0، 0.125b و 0.4b می باشند. زمانی که خروج از مرکزیت سختی افزایش می یابد، پیچش زیادی در سیستم به وجود می آید. اگر خروج از مرکزیت سختی زیاد باشد، مانند ساختمانهای (c)، ترکیبات برش و پیچش طبقه، بدلیل مثبت بودن خروج از مرکزیت سختی، به سمت ربع دوم و چهارم سطح SST متمایل می شوند. در نتیجه، جاری شدن در ساختمانهای (a) که درامتدادشاخه های برش ثابت سطح SST رخ می دهد، تمایل به حرکت به سمت شاخه های با شیب مثبت در سطوح SST برای ساختمانهای (c) دارد. نمودارهایی که با این مشاهدات در ارتباط هستند،





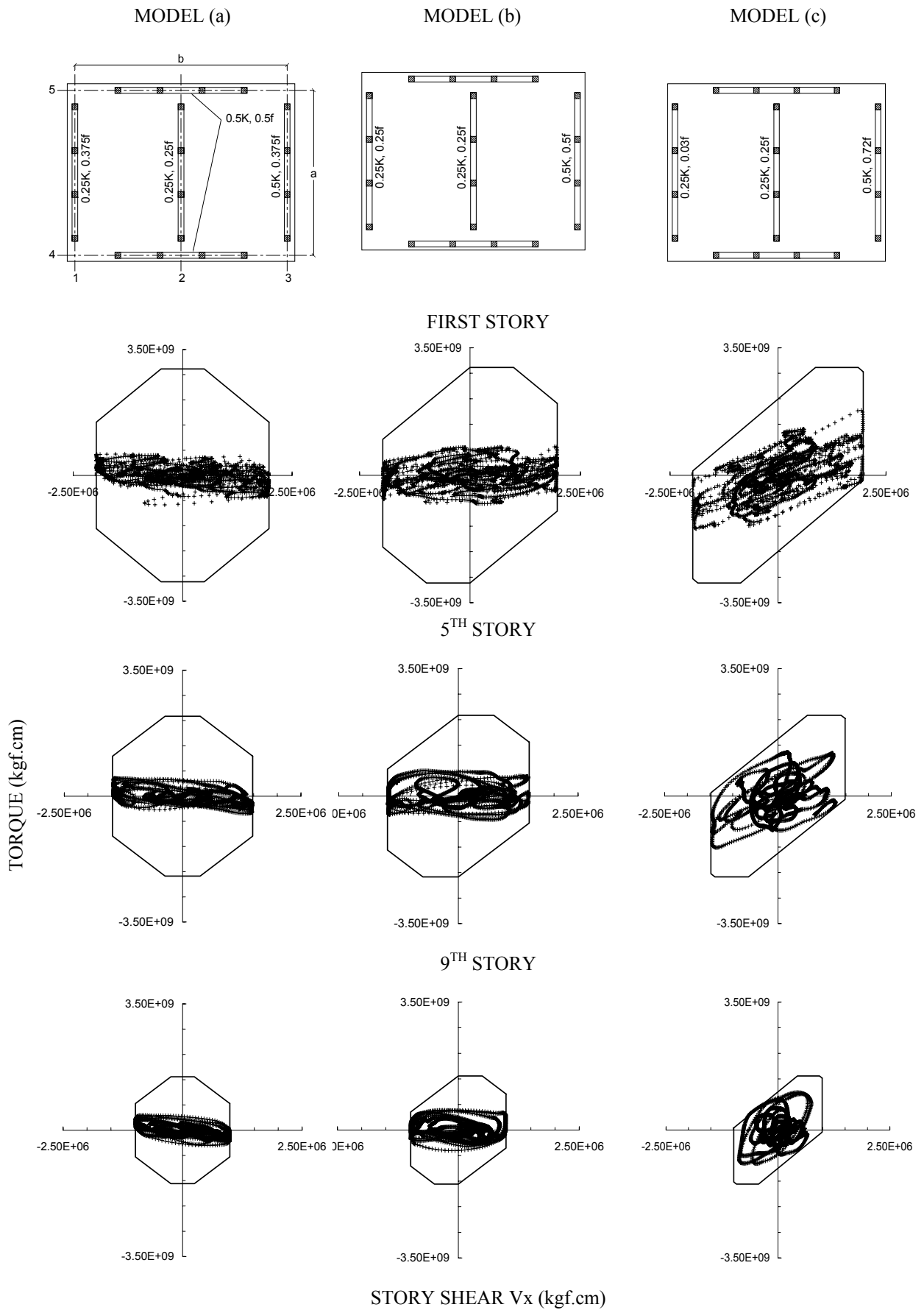
## خروج از مرکزیت مقاومت

اثر خروج از مرکزیت مقاومت در رفتار ساختمانهای ۱۲ طبقه نشان داده شده در شکل (۵- a, b) و (۵- c) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مربوطه در شکل (۵) ارائه شده است. تمام سیستم هادارای خروج از مرکزیت سختی 0.125b و خروج از مرکزیت مقاومت متغیر برابر 0.0، 0.125b و 0.324b می باشند. لازم به ذکر است که پاسخ الاستیک سیستم های فوق برای ساختمانهای ۵، ۸ و ۱۲ طبقه بطور مجزا، یکسان می باشد و تفاوت در رفتار غیر خطی آنها را نیز می توان در تغییرات سطوح SST مربوطه کاملاً مشاهده نمود. سطح SST برای ساختمانهای (a) که از لحاظ مقاومت متقارن هستند حول محورهای برش و پیچش متقارن می باشد و این تقارن با افزایش خروج از مرکزیت مقاومت از ساختمانهای (a) تا (c) از بین می رود. سطح SST با افزایش خروج از مرکزیت مقاومت باریکتر شده و بدلیل مثبت بودن خروج از مرکزیت مقاومت به سمت ربع اول و سوم تورب پیدا می کند. تاریخچه برش- پیچش طبقه برای ساختمانهای (a) نشان می دهد که رفتار غیر خطی این ساختمانهای متقارن از لحاظ مقاومت در امتداد شاخه برش ثابت سطح SST اتفاق می افتد. زمانی که خروج از مرکزیت مقاومت افزایش می یابد، ترکیبات بیشتری از برش و پیچش طبقه از شاخه های برش ثابت سطح SST (شکل ۵- a) به سمت شاخه های با شیب مثبت (شکل ۵- c) انتقال می یابند. دلیل این موضوع مربوط به مکانیزیم های پیچشی است که قوی ترین صفحه مقاوم (صفحه ۳) را الاستیک رها می کنند [۱۶]. مشاهدات فوق با نتایج ارائه شده در جدول (۴) در طبقات مختلف مورد تأیید قرار می گیرند. نتایج حاکی از آن است که نسبت میان بیشینه تغییر مکان صفحه طرف نرم و طرف سخت سازه در مدل های مختلف، برای ساختمانهای (a) و (b) تقریباً مشابه بوده ولی در ساختمانهای (c) افزایش می یابد. بنابراین ساختمانهای (c) چرخش های قابل توجهی حول صفحه ۳، که به افزایش شدید تغییر مکان در طرف نرم سازه منجر می شود، دارند. روابط نیرو-تغییر مکان ساختمانهای (c) که خروج از مرکزیت مقاومت بزرگتری دارند، نشان

می دهند که مقاومت صفحه ۳ کمک ناچیزی به مقاومت سازه می کند، زیرا رفتار غیر خطی سیستم به صورتی است که مکانیزم های پیچشی حول این صفحه در اکثر گام های زمانی اتفاق می افتد. نتایج حاصل از تحلیل ساختمانهای ۵ و ۸ طبقه نیز این موضوع را تأیید می نماید [۵].

## نتیجه گیری

خلاصه ای از مهمترین یافته های این مطالعه را می توان به صورت زیر ارائه نمود. رفتار لرزه ای ساختمانهای نامتقارن یک طبقه و چند طبقه در محدوده این مطالعه، روند مشابهی را نشان می دهند و با خصوصیات سازه ای یکسانی تحت تأثیر قرار می گیرند که از آن جمله می توان به مقاومت صفحات مقاوم در راستای عمود بر جهت اصلی و عدم تقارن مقاومت و سختی در سیستم اشاره نمود. عدم تقارن سختی و مقاومت می تواند بصورت مؤثری برای کنترل رفتار پیچشی یک سازه مورد استفاده قرار گیرد. بدین صورت که خروج از مرکزیت سختی ترکیبات برش- پیچش طبقه را در حالت الاستیک در درون سطح SST تغییر می دهد و خروج از مرکزیت مقاومت بر شکل سطح SST تأثیر می گذارد. لذا از این دو مورد می توان برای کنترل رفتار غیر خطی سازه ها استفاده کرد. همچنین، برای ایجاد نیاز تغییر شکل نسبتاً یکنواخت در صفحات مقاوم یک طبقه خاص، ترکیبات برش پیچش طبقه باید نزدیک به مرکز شاخه برش ثابت سطح SST قرار گیرند. بنابراین، بدترین رفتار زمانی حاصل می شود که این ترکیبات در تمامی گامهای زمانی بر روی یکی از شاخه های مورب سطح SST قرار گیرند. لازم به ذکر است که افزایش مقاومت صفحات مقاوم عمود بر جهت مؤلفه اصلی زلزله همواره باعث ایجاد نیاز تغییر شکل یکنواخت تر میان صفحات مقاوم در جهت مؤلفه اصلی زلزله می شود. هر چند که این تأثیر با افزایش شدت مؤلفه زلزله در جهت عمود بر جهت اصلی کاهش می یابد. یکی از مزایای این روش، امکان استفاده از آن در انواع ساختمانهای فلزی و بتنی می باشد.



شکل ۵: تأثیر خروج از مرکزیت مقاومت در تاریخچه برش-پیچش طبقه تحت شتابنگاشت ال سنترو (ساختمانهای دوازده طبقه).

## مراجع

- 1 - Chopra, A. K. and De La Llera, J. C. (1995). "Understanding the inelastic seismic behavior of asymmetric-Plan Buildings." *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, Vol. 24, PP. 549-572.
- 2 - Fajfar, P. and Killar, V. (1999). "Application of the BST Surfaces for Seismic Evaluation of an Asymmetric Multi-Story Building." *Proc. of Second European Workshop on the Seismic Behavior of Asymmetric and Irregular Structures*, Turkey.
- 3 - Kan, C. L. and Chopra, A. K. (1977). "Effects of torsional coupling on earthquake forces in buildings." *J. Struct. Div. ASCE*, Vol. 103, PP.805-820.
- 4 - Postelnicu, T., Gabor, M. and Zamfirescu, D. (1998). "Simplified procedure for the inelastic torsion analysis of structures." *Proc. of 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam.
- ۵ - مینایی، ا. "تأثیر پیچش در رفتار سازه های چند طبقه نامتقارن." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، (۱۳۸۳).
- 6 - RAM Perform 3D User Guide Version 1.15, *RAM International*, L.L.C. (2000).
- ۷ - "آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله." استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش دوم، کمیته دائمی بازنگری آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آذر (۱۳۷۸).
- ۸ - "آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله." استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش اول، کمیته دائمی بازنگری آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بهمن (۱۳۶۶).
- 9 - Naeim, F. (2003). *The Seismic Design Handbook 2<sup>nd</sup> Edition*, John A. Martin and Associates Inc.
- 10 - Chopra, A. K. and Wen-Hsiung Lin. (2003). "Accidental torsion in buildings: analysis versus earthquake motions." *Report No. EERC 2003-01*, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, USA.
- 11 - Humar, J. L. and Kumar, P. (1998). "Torsional motion of buildings during earthquakes. II. Inelastic response." *Canadian Journal of Civil engineering*, Vol. 25, PP.917-934.
- 12 - Humar, J. L. and Kumar, P. (1999). "Effects of orthogonal in plane structural elements on inelastic torsional response." *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, Vol. 28, PP.1071-1097.
- 13 - Paulay, T. (1998). "Torsional mechanisms in ductile building systems." *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, Vol. 27, PP.1101-1121.
- 14 - Tso, W. K. and Myslimaj, B. (2002). "A strength distribution criterion for minimizing torsional response of asymmetric wall-type systems." *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, Vol. 31, PP.99-120.
- 15 - Chopra, A. K. (2001). *Dynamics of Structures*, Prentice Hall International Inc.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Story Shear Torque Surface
- 2 - Base Shear Torque Surface