

## بررسی رفتار دیوار برشی فولادی به روش اجزا محدود

مهدی قاسمیه

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمد سهیل قبادی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد زلزله - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۲/۸/۳، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۳/۱۲/۸، تاریخ تصویب ۸۴/۲/۲۴)

### چکیده

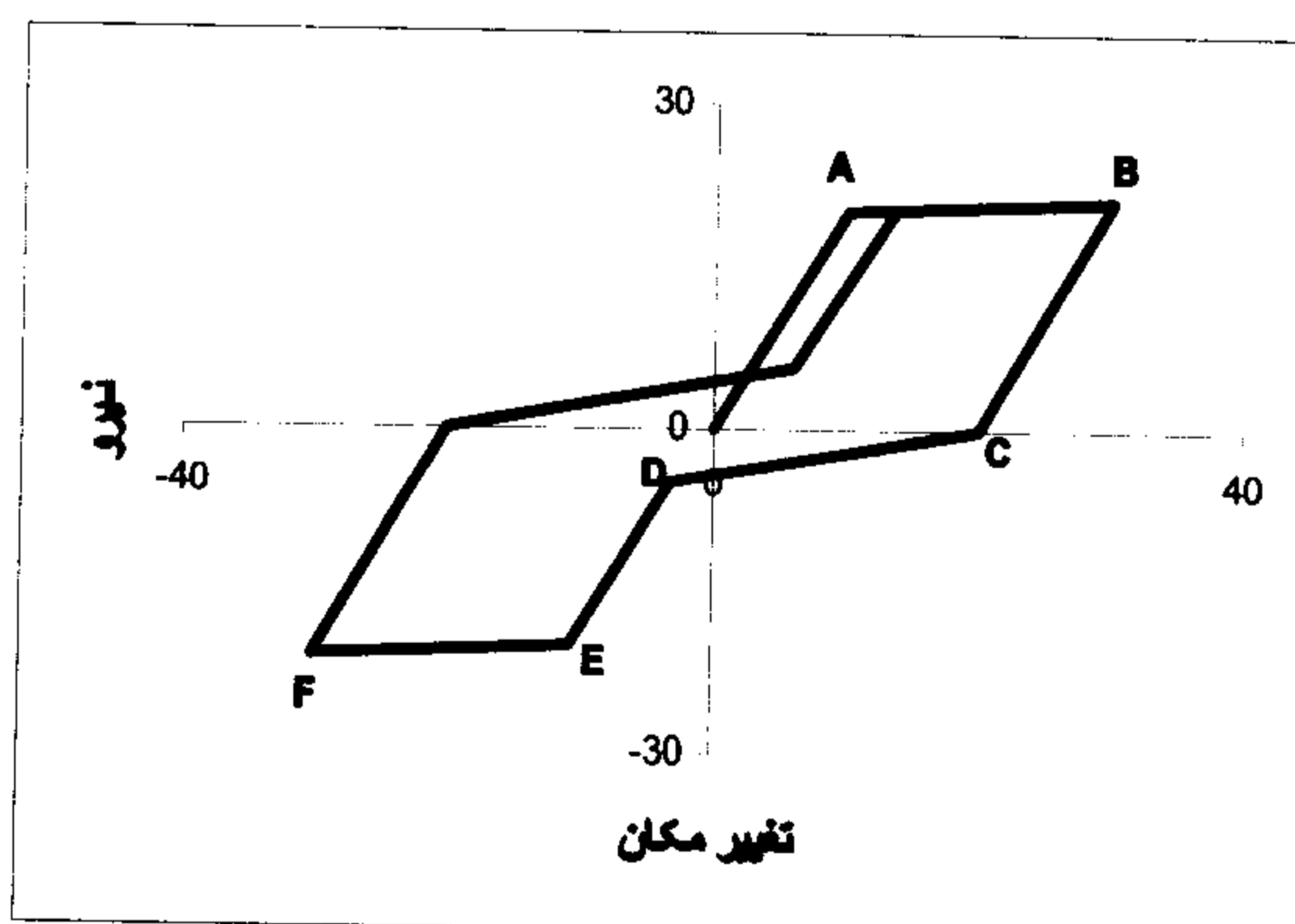
بعد از ساخته شدن ساختمانهای مهم از سال ۱۹۷۰ تا کنون، امروزه دیوار برشی فولادی به عنوان سیستم باربر جانبی مناسبی مطرح می باشد. از مزایای اصلی این سیستمها، به شکل پذیری بالا و مقاومت زیاد آنها می توان اشاره کرد. در تحلیل دیوار برشی فولادی کمانش ورق سبب پیچیدگی تحلیل می گردد. در این مقاله با استفاده از روش اجزا محدود دو مدل تحلیلی ارائه شده و به کمک آنها رفتار هیستریزیس تحت بارگذاری چرخه ای و رفتار غیرخطی تاریخچه زمانی تحت زلزله های طیس، السنترو و منجیل ارائه گردیده است. پس از آن تأثیر تیر، ستون، ورق فولادی، وجود سخت کننده و نسبت عرض دهانه به ارتفاع در رفتار سیستم دیوار برشی فولادی بررسی گردیده است.

**واژه های کلیدی:** دیوار برشی فولادی، روش اجزاء محدود، شکل پذیری، منحنی هیستریزیس

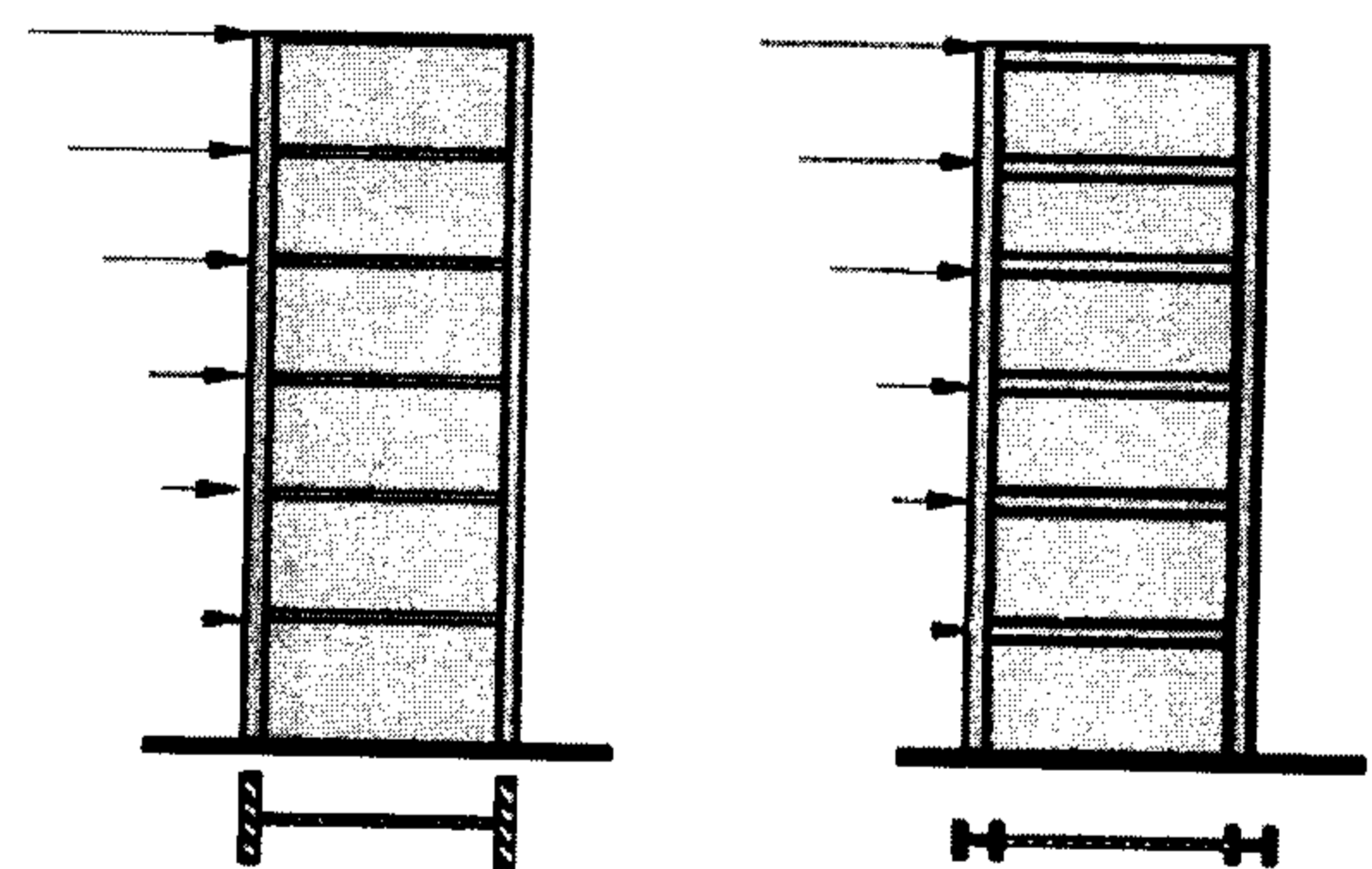
### مقدمه

بارگذاری ورق در قطر فشاری کمانش می کند و قطر کششی جاری می گردد، و در هنگام بار برداری قطر کمانش یافته به صفحه ورق باز می گردد و تبدیل به قطر کششی می گردد، در این فاصله مقاومت نمونه کم می شود و در منحنی هیستریزیس پینچینگ<sup>۱</sup> بوجود می آید. شکل (۲) وضعیت پینچینگ به وجود آمده در فاصله بین نقاط C و D را نشان می دهد. با وجود کمانش ورق، سیستم دیوار برشی فولادی همچنان پایدار بوده و بکار بردن سخت کننده به منظور ایجاد و حفظ پایداری سیستم و جلوگیری از کمانش لازم نیست.

در نگاه اول، دیوار برشی فولادی مشابه تیر ورق می باشد، که در آن تیرها به عنوان سخت کننده، ستون ها به عنوان بال و ورق فولادی به عنوان جان تیر ورق عمل می کند (شکل ۱). در ابتدای شروع استفاده از اینگونه دیوارهای برشی، ورق فولادی با استفاده از سخت کننده به کار گرفته می شد و سعی میگردید تا از کمانش ورق جلوگیری شود، ولی امروزه محققین بر اساس آزمایشهای انجام شده استفاده از دیوار برشی فولادی با ورق نازک و بدون سخت کننده را بیشتر پیشنهاد می کنند.



شکل ۲: منحنی هیستریزیس دیوار برشی فولادی.



شکل ۱: دیوار برشی فولادی (سمت راست)  
تیرورق (سمت چپ).

در سیستم دیوار برشی فولادی با ورق نازک، در هنگام

گیری کردند که رفتار غیر خطی سیستم با جاری شدن فولاد در ورق شروع می شود و مقاومت سیستم با تشکیل مفصل پلاستیک در ستون کنترل می گردد. به عبارت دیگر آنها توصیه نمودند که ورق دیوار، قبل از کمانش ستون، کاملاً جاری شود.

Astaneh-asl [۶] آزمایشهای چرخه ای روی دیوار برشی فولادی نیز انجام داده است. ورق فولادی در این آزمایشها بدون استفاده از سخت کننده بوده است. وی نتیجه گیری نمود که دیوار برشی فولادی بعد از گسیختگی در اتصالات، قادر به تحمل ۶۰٪ نیروی قابل تحمل قبل از گسیختگی می باشد. این موضوع در هنگام وقوع زلزله های شدید بسیار مفید است، چرا که سیستم دیوار برشی فولادی بعد از گسیختگی، همچنان قادر به تحمل بار جانبی است.

### مدلسازی دیوار برشی فولادی با المان پوسته

برای مدلسازی و تحلیل از نمونه یک طبقه Lubell و همکاران [۴] (شکل ۱) استفاده گردید. نمونه به صورت استاتیکی و مطابق با آزمایش انجام شده بارگذاری شد.



شکل ۳: نمونه یک طبقه آزمایش شده توسط Lubell و همکاران [۴].

ابعاد ورق ۸۲۴ میلیمتر × ۸۲۴ میلیمتر، ضخامت آن ۱/۵ میلیمتر و مقطع تیر و ستون از پروفیل کانادائی S75×8 بود. مطابق با آزمایش انجام شده تمام اتصالات گیردار در نظر گرفته شده اند. برای تحلیل از برنامه کامپیوتری ANSYS [۷] استفاده گردید. در مدلسازی برای تیر و ستون از المان Beam 188 و برای ورق فولادی از المان Shell 143 نرم افزار استفاده شد. تیر و ستون به ۱۰

از این رو اکثر آزمایشها، روی دیوار برشی فولادی بدون سخت کننده انجام شده است. در صورت وجود بازشو، استفاده از سخت کننده در اطراف باز شو الزامی است. در کشورهای آمریکا، کانادا، انگلیس و ژاپن آزمایشهای مفیدی روی دیوار برشی فولادی صورت گرفته است. اکثر آزمایشهای انجام شده روی دیوارهای برشی فولادی تحت بارگذاری استاتیکی و بارگذاری چرخه ای<sup>۲</sup>، بر اساس ضوابط پیشنهادی ATC-24 [۱] انجام شده است.

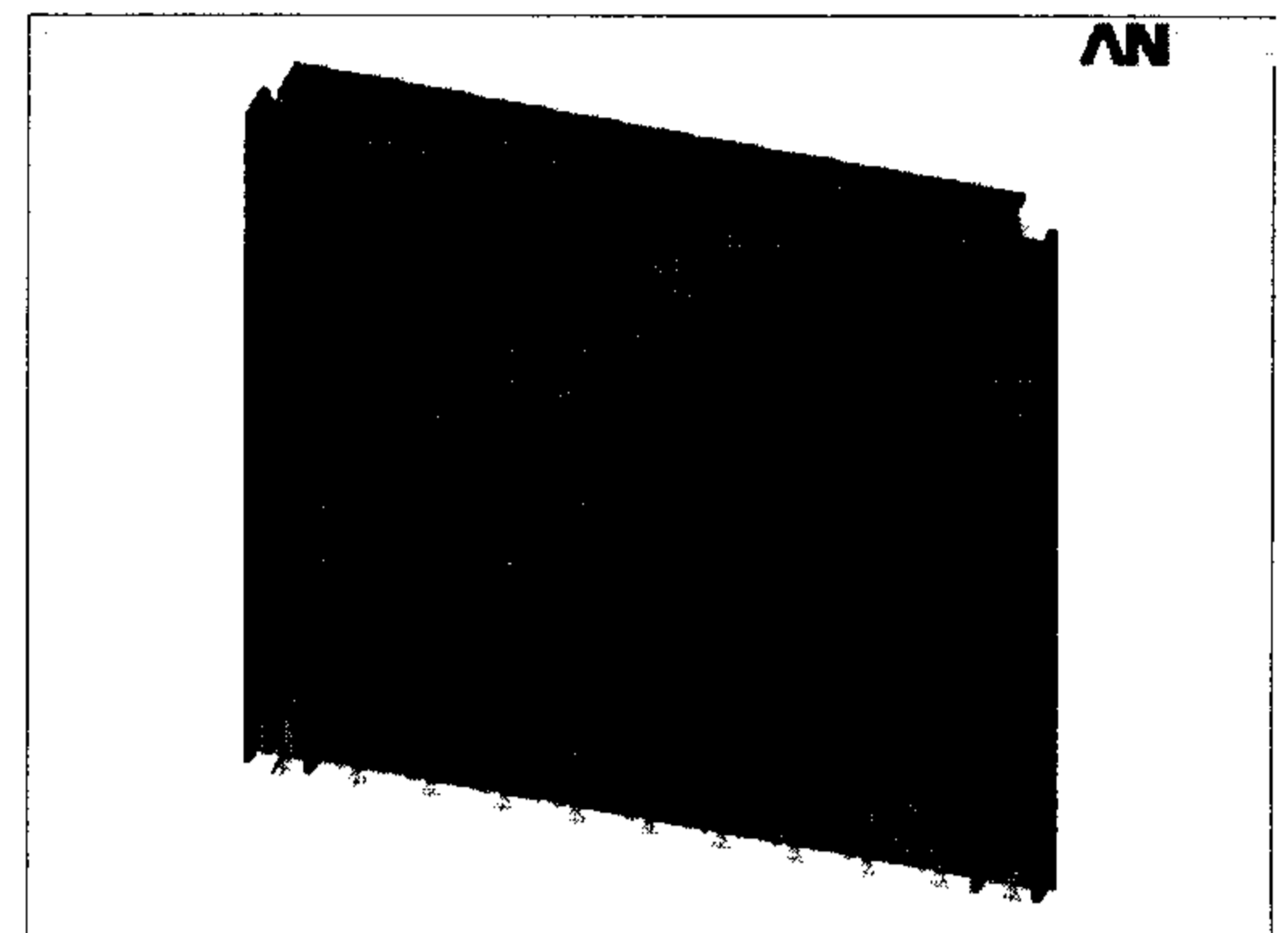
Timler و همکاران [۲] آزمایشهای چرخه ای روی دیوار برشی فولادی بدون سخت کننده انجام دادند. در آزمایش های انجام گرفته، رفتار کمانش ورق به خوبی نشان داده شده است که از نتایج آن ضریب شکل پذیری  $\mu$  عدد چهار می باشد. آنها یک مدل تحلیلی ساده نیز برای دیوار برشی فولادی ارائه کردند. در این مدل المانهای میله ای مورب جایگزین ورق فولادی شده بود که برای یک بارگذاری چرخه ای رفتار آزمایش بخوبی پیشگویی گردید.

Driver و همکاران [۳] آزمایش چرخه ای را روی یک نمونه چهار طبقه انجام دادند. در این آزمایش دیوار برشی فولادی بدون سخت کننده بود و از نتایج بدست آمده ضریب شکل پذیری  $\mu$  عدد شش می باشد. همچنین آنها یک مدل تحلیلی ارائه نمودند، که در آن ورق فولادی با المان پوسته مدل سازی گردیده و رفتار غیر خطی هندسی و مادی در نظر گرفته شده بود. نتایج تحلیل کامپیوتری مدل آنها، دقت خوبی را در بر نداشت. آنها نهایتاً نتیجه گیری کردند، که سیستم دیوار برشی فولادی شکل پذیری بالائی دارد.

Lubell و همکاران [۴] آزمایشهای چرخه ای را روی یک نمونه چهار طبقه و دو نمونه یک طبقه انجام دادند. نمونه های آنها بدون سخت کننده بود. آنها از نتایج آزمایشها ضریب شکل پذیری  $\mu$  عدد شش را بدست آوردند. نمونه یک طبقه آنها در این مقاله مدلسازی گردیده و رفتار هیستریزیس آن نیز بررسی گردیده است. آنها نتیجه گیری کردند که وجود ورق فولادی باعث کاهش دوران ها در اتصالات خمشی می گردد و آنها را از آسیب حفظ می کند.

Elgaaly و همکاران [۵] آزمایشهای چرخه ای روی شش نمونه سه طبقه با یک دهانه انجام دادند، که در این آزمایشها ورق فولادی بدون سخت کننده بود. آنها نتیجه

قسمت و ورق فولادی به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم گشته است (شکل ۴).

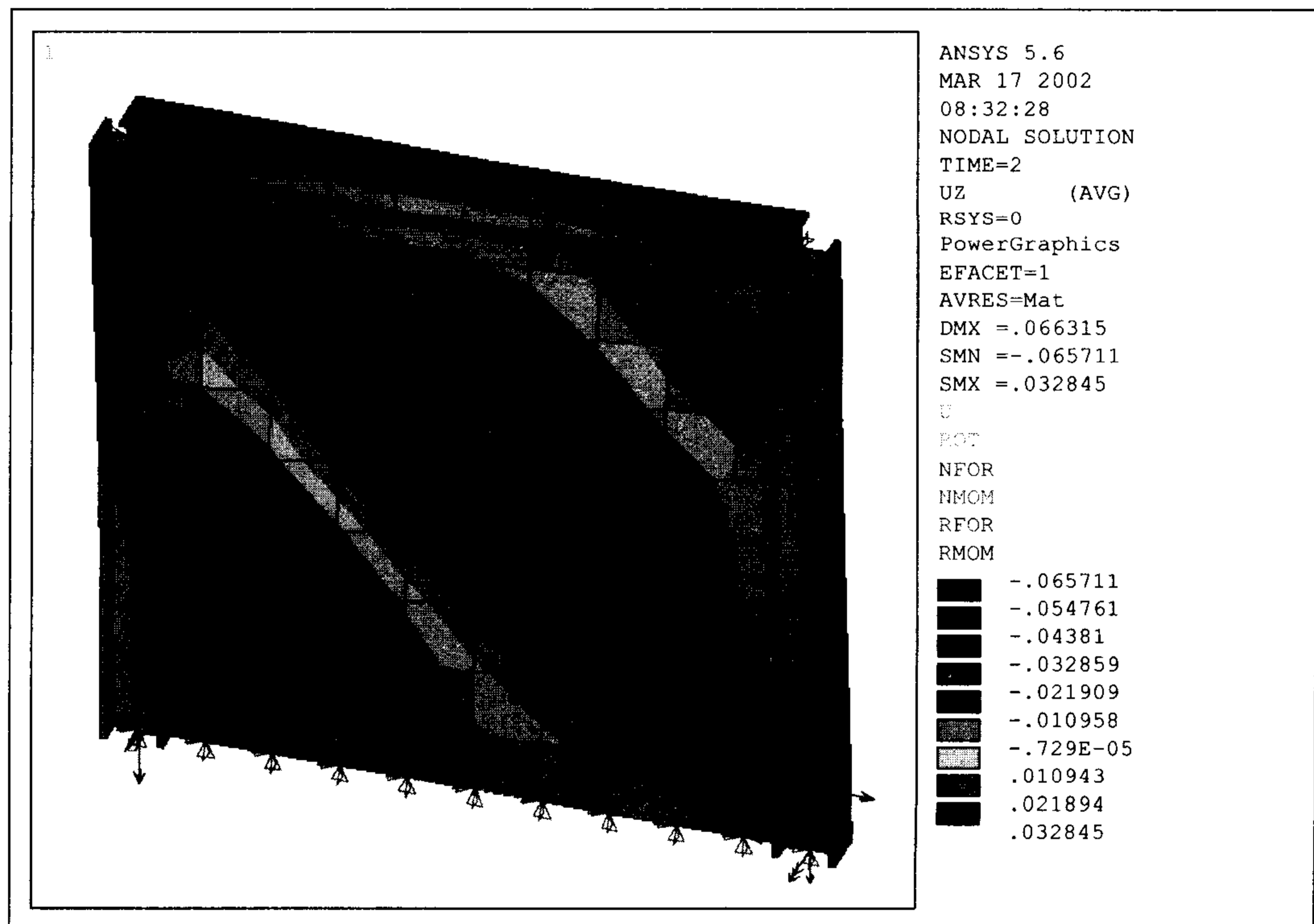


شکل ۴: نمونه مدل‌سازی شده در برنامه ANSYS.

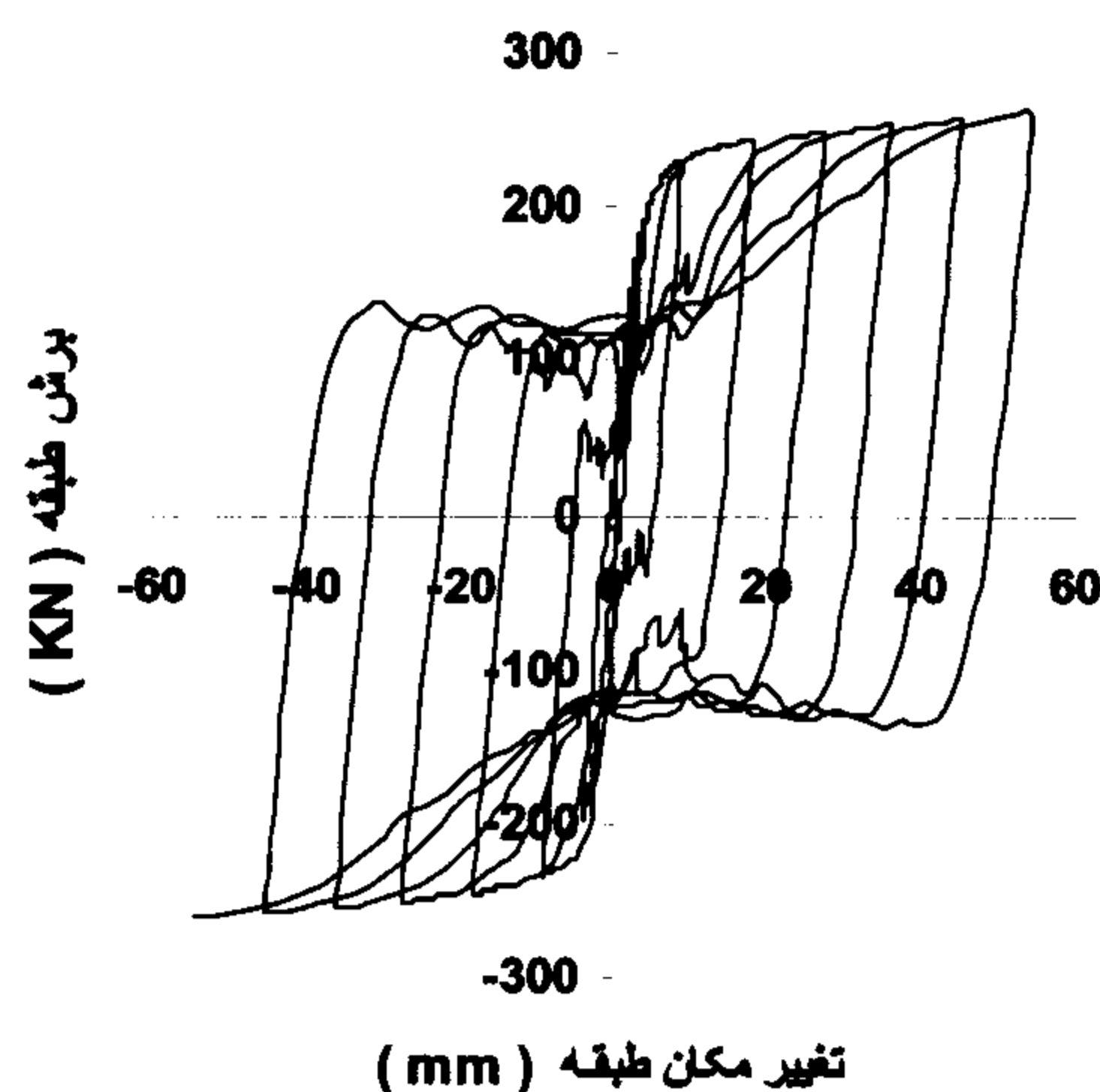
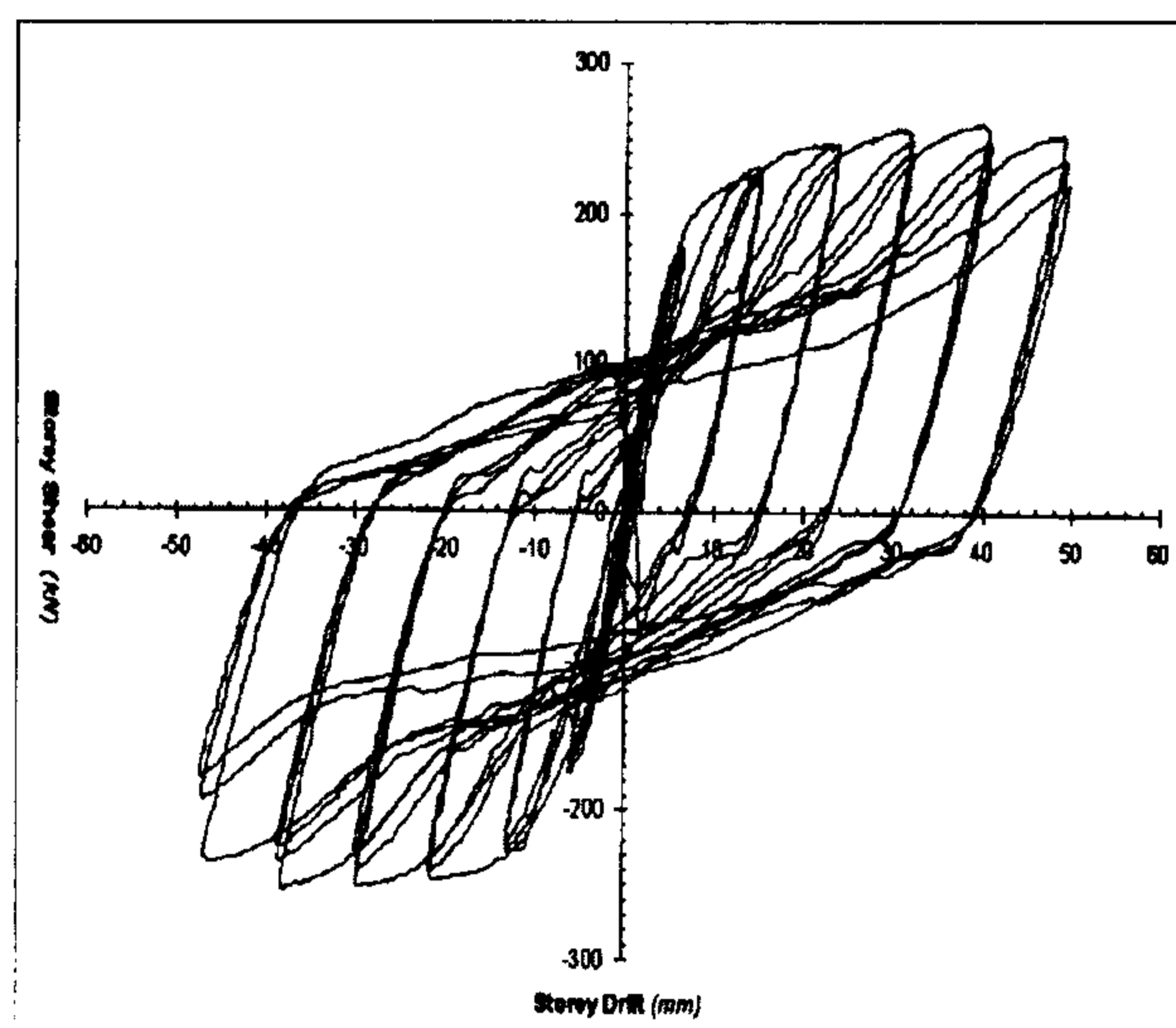
نیز درجه آزادی جابجائی خارج صفحه تیر و ستون بسته است. این تحلیلها با استفاده از روابط غیر خطی هندسی و مادی انجام گردیده است. برای فولاد معیار سخت شدگی سینماتیک<sup>۳</sup> و سطح تسلیم فونمیسیس<sup>۴</sup> انتخاب گردیده و همچنین قانون جریان نیز بر اساس معادلات پیرانتل روس<sup>۵</sup> در نظر گرفته شده اند. رفتار غیر خطی مادی مطابق با مشخصات مکانیکی نمونه های آزمایش شده در نظر گرفته و برای به کار گیری و در نظر گرفتن روابط غیر خطی هندسی، از روش لاگرانژین توسعه یافته<sup>۶</sup> استفاده گردیده است. شکل (۵) گویای کمانش قطر فشاری پس از تحلیل می باشد.

تحلیل این مدل بسیار وقت گیر است و زمان تحلیل در نقطه کمانش ورق بسیار طولانی می باشد. برای حل معادلات غیر خطی از روش نیوتن رافسون<sup>۷</sup> استفاده شده است. برای تحلیل کمانش ابتدا در نقاطی از صفحه ورق، بیرون زدگی بصورت مصنوعی ایجاد گردید تا کمانش ورق در آن نقاط آغاز شود. در واقعیت نیز کمانش از نقاط معیوب ورق ایجاد میگردد. شکل (۶) منحنی هیستریزیس بدست آمده از تحلیل و آزمایش را نشان می دهد.

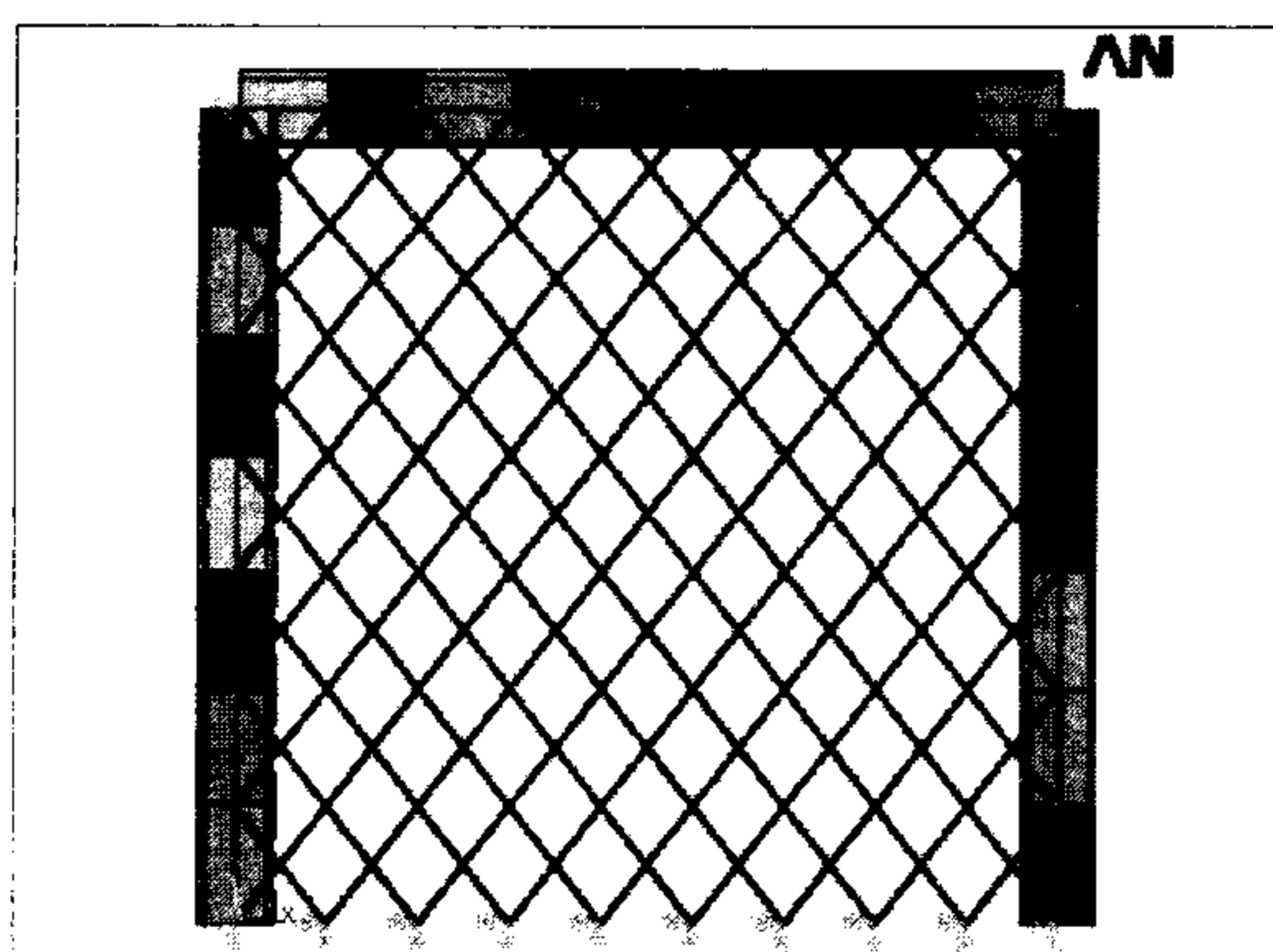
المان Beam 188 نرم افزار دارای خواص پلاستیک و تغییر شکلهای بزرگ است. برای این المان سطح مقطع تیر تعریف گردیده و تغییر شکلهای برشی بر اساس تیر تیموشنکو در نظر گرفته می شود. المان Shell 143 نرم افزار دارای خواص پلاستیک و تغییر شکل های بزرگ است. هر دو المان در هر گره سه درجه آزادی جابجائی و سه درجه آزادی دورانی دارند. با توجه به اینکه کمانش خارج از صفحه تیر و ستون گزارش نشده است، در تحلیل



شکل ۵: مدل تغییر شکل یافته.



شکل ۶: منحنی هیستریزس بدست آمده از تحلیل کامپیوتری (سمت راست) آزمایش [۴] (سمت چپ).



شکل ۷: مدلسازی دیوار برشی فولادی با استفاده از المان میله ای.

هر قدر تعداد نوارها بیشتر باشد جوابها دقت بیشتری دارند و حداقل ۱۰ نوار توصیه میگردد. مساحت میله ها در هر جهت برابر عرض نوار میله ضرب در ضخامت ورق می باشد. با توجه به اینکه بار گذاری رفت و برگشتی می باشد، میله ها در دو جهت قرار داده شده اند و میله های دو جهت در نقاط داخل صفحه به هم متصل نیستند. در واقع در این مدل رفتار کمانشی و کششی ورق از هم جدا شده و بصورت دو لایه جداگانه مدلسازی گردیده اند. برای اینکه کمانش میله ها مطابق تئوری باشد، باید میله ها را به چند بخش مساوی تقسیم نمود، که در این مقاله میله ها به هفت بخش مساوی تقسیم شده اند. برای مدلسازی تیر و ستون در نرم افزار المانهای میله ای از نوع المان Beam 188 استفاده گردید. اتصالات میله ها در دو انتها مفصلی و اتصالات تیر و ستون گیردار هستند.

با توجه به شکل مذکور مدل قابلیت پیشگویی رفتار آزمایش را دارد ولی کمانش در مدل کامپیوتری دیرتر از واقعیت اتفاق افتاده است و سبب استهلاک انرژی بیشتری گشته است. برای تسریع تحلیل و بررسی بیشتر استهلاک انرژی دیوار برشی فولادی مدل دیگری نیز ارائه میگردد.

## مدلسازی دیوار برشی فولادی با المان میله ای

در این مدل میله های مایل جایگزین ورق فولادی می شود. این میله ها در کشش جاری گردیده و در فشار کمانش می کنند. زاویه قرار گیری این میله ها با راستای قائم بر اساس مطالعات Timler و همکاران [۲] مطابق فرمول ذیل استفاده گردید:

$$\tan^4 \alpha = \frac{\frac{2}{tL} + \frac{1}{A_c}}{\frac{2}{tL} + \frac{2h_s}{A_b L} + \frac{h_s^4}{180I_c L^2}} \quad (1)$$

که در آن  $t$  ضخامت ورق،  $L$  عرض ورق،  $h_s$  ارتفاع طبقه،  $A_c$  سطح مقطع ستون،  $A_b$  سطح مقطع تیر و  $I_c$  ممان اینرسی ستون می باشد. شکل (۷) مدل ساخته شده با استفاده از المان های میله ای را نشان می دهد.

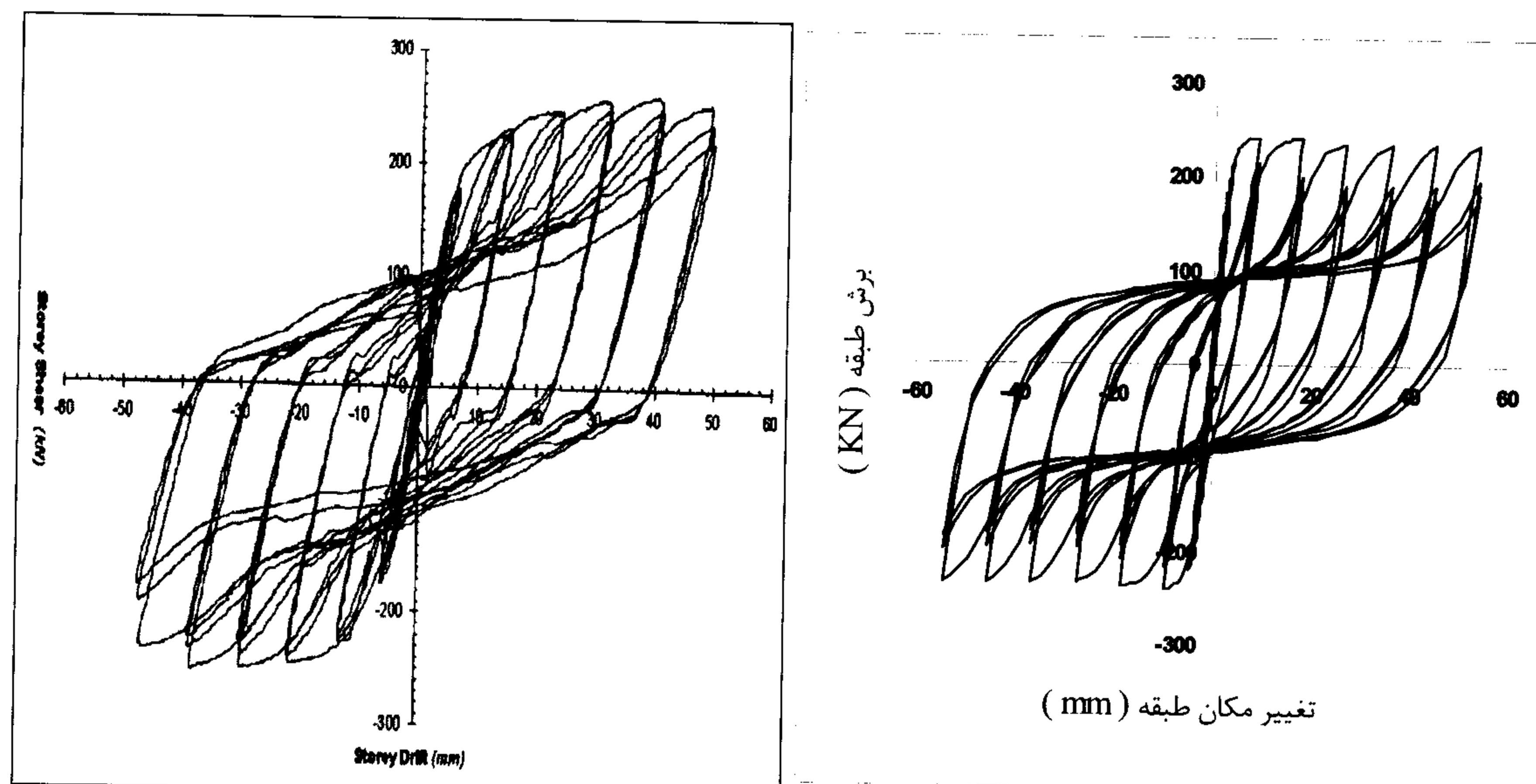
در این مدلسازی ورق به ۱۵ نوار تقسیم گردیده است و بنابراین ۱۵ میله در هر دو جهت وجود دارد.

دیوار برشی فولادی از مدل سازی میله ها استفاده شده است. با تغییر ضخامت ورق از ۱/۵ میلیمتر به ۱۰ میلیمتر زاویه میله ها سه درجه تغییر میکند ، که از تغییر آن صرف نظر می شود . در استفاده از این مدل ابتدا یک چرخه کوچک بارگذاری و بار برداری انجام شده است تا المانهای دارای نقص کمانش کنند و رفتار مدل به واقعیت نزدیکتر شود. شکل (۹) گویای این مطلب است که افزایش ضخامت ورق باعث افزایش قابلیت اتلاف انرژی منحنی اولیه، افزایش مقاومت نهائی و کاهش افت مقاومت در وضعیت بینچینگ می شود .

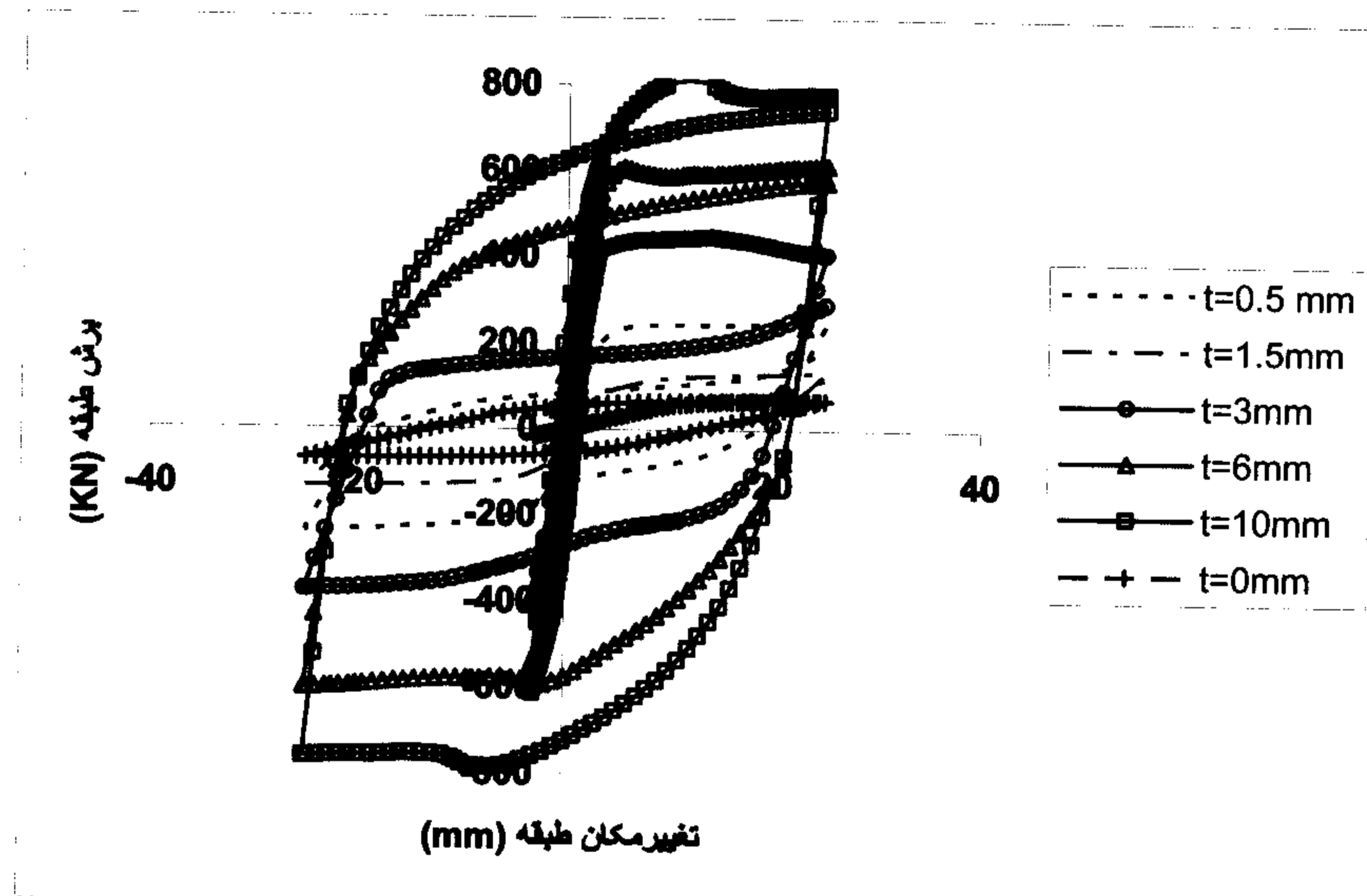
رفتار غیر خطی ورق فولاد برای المانهای میله ای نیز در نظر گرفته می شود. شکل (۸) مقایسه منحنی های هیستریزیس بدست آمده از تحلیل و آزمایش را نشان می دهد. تحلیل این مدل در مدت زمان بسیار کوتاهتری نسبت به مدل با المان پوسته انجام می گردد. این مدل با دقت خوبی قابلیت پیش گوئی رفتار هیستریزیس آزمایش را دارد.

### تأثیر ضخامت ورق فولادی

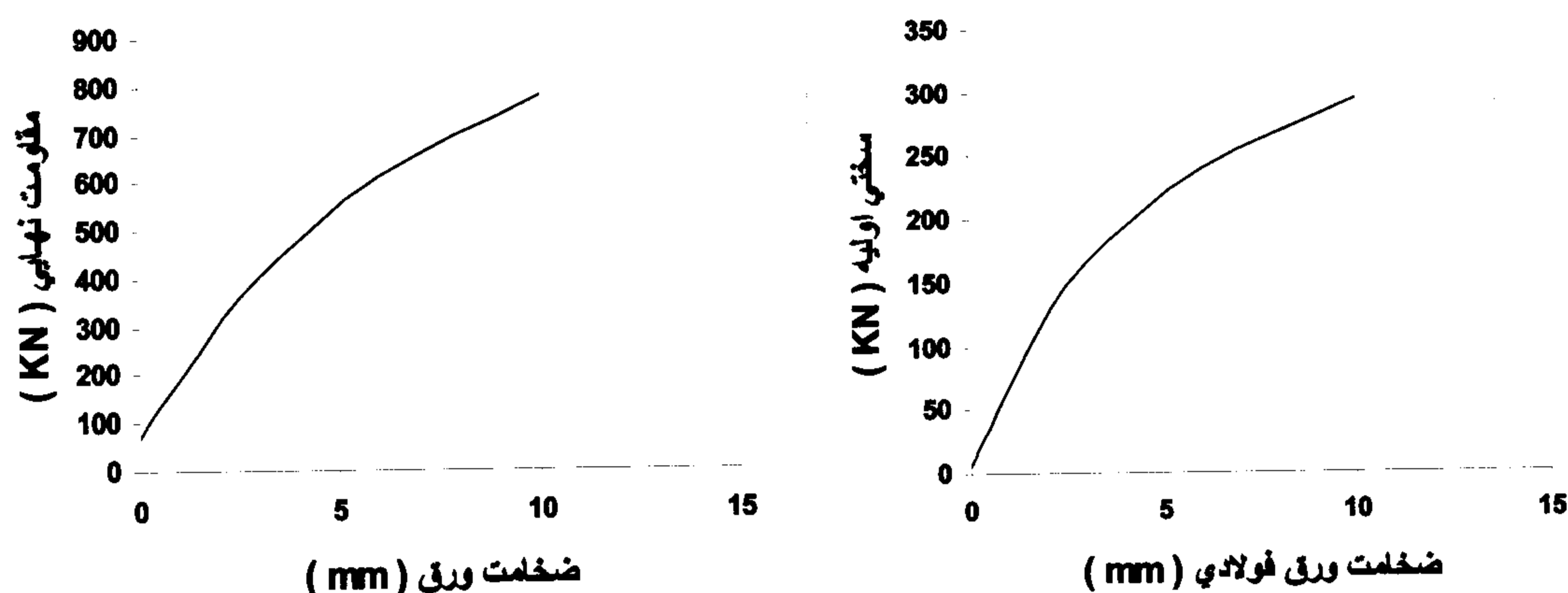
برای مطالعه تأثیر ضخامت ورق فولادی در رفتار



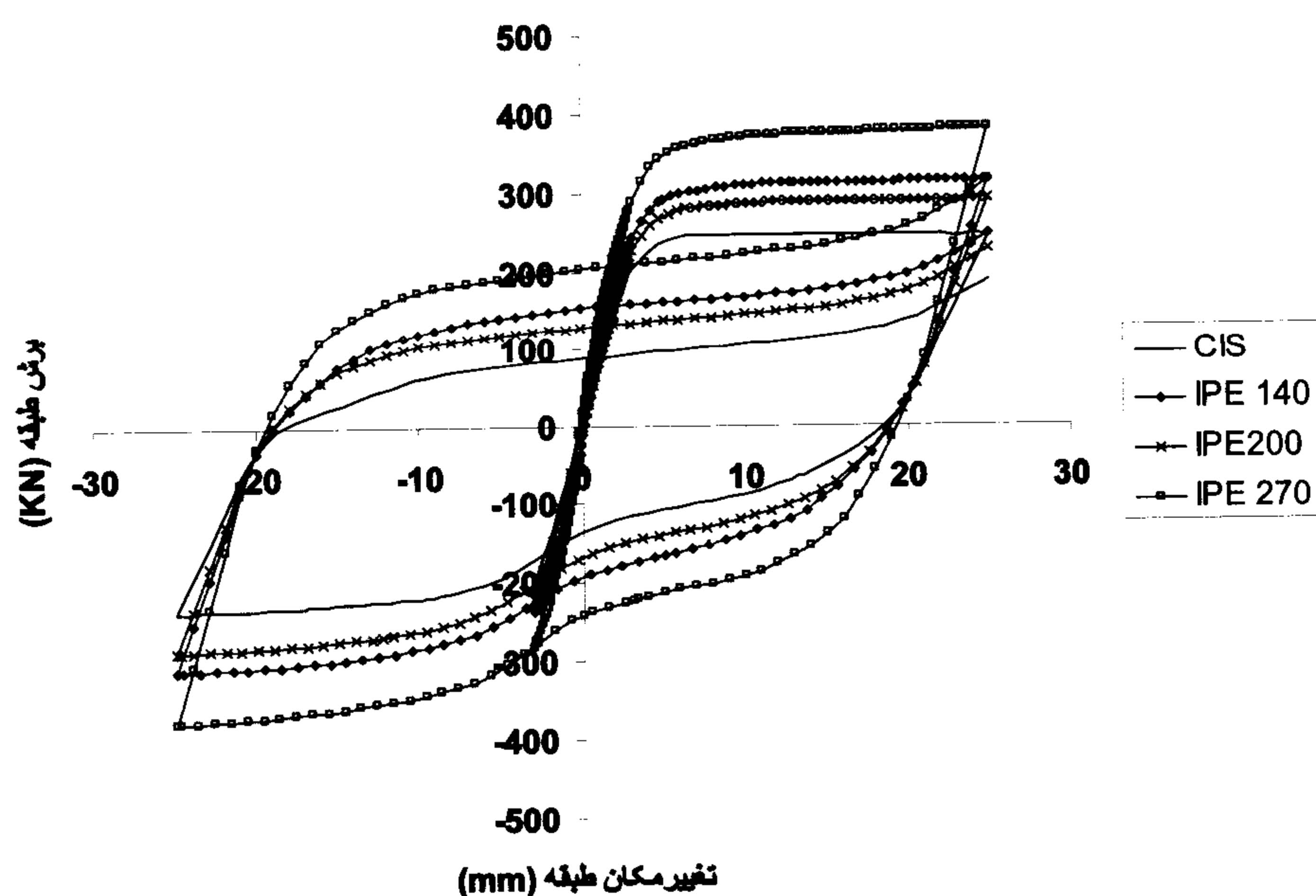
شکل ۸: منحنی هیستریزیس بدست آمده از تحلیل کامپیوتری (سمت راست) آزمایش [۴] (سمت چپ) .



شکل ۹: تغییر رفتار هیستریزیس با افزایش ضخامت ورق .



شکل ۱۰: تاثیر ضخامت ورق فولادی بر پارامترهای مقاومت.



شکل ۱۱: تاثیر سختی ستون بر رفتار هیستریزیس.

افزایش سطح مقطع ستون از IPE 140 به IPE 270 از لحاظ وزنی معادل افزایش  $7/5$  میلیمتر ضخامت ورق می باشد، ولی افزایش سختی ستون باعث اتلاف انرژی کمتری شده است. بنابراین افزایش سختی ستون برای بهبود رفتار سیستم در صورتی که نیاز به سختی بیشتر نباشد کار مطلوبی نیست. البته سختی مناسب ستون نکته مهمی است که نباید فراموش نمود. به عبارت دیگر ستون باید به اندازه کافی قوی باشد تا قبل از تشکیل شدن قطر کششی در ورق جاری نگردد.

تقریباً با ۱۰ برابر شدن ضخامت ورق قابلیت اتلاف انرژی نیز ۱۰ برابر می گردد. شکل (۱۰) تاثیر افزایش ضخامت ورق را بر پارامترهای مقاومت نشان می دهد. با توجه به اشکال (۹) و (۱۰) ضخامت ورق پارامتر مؤثری بر رفتار دیوار برشی فولادی می باشد و ضخامت بهینه، ضخامتی است که اتلاف انرژی مورد نظر را تامین کند. در ادامه بحث تاثیر پارامترهای دیگر در کنار پارامتر ضخامت بررسی می گردد.

### تأثیر سختی ستون

نتیجه افزایش سختی ستون در شکل (۱۱) نشان می دهد که استهلاک انرژی افزایش کوچکی داشته است.

### تأثیر سختی تیر

Astaneh-asl [۶] گزارش نموده بود که در قابها

باربری دیوار برشی فولادی بر اثر عملکرد قطر کششی میباید هر قدر دهانه بزرگتری انتخاب شود قطر کششی بزرگتری نیز به وجود می آید و سیستم رفتار بهتری از خود نشان می دهد. افزایش طول قطر کششی سبب افزایش شکل پذیری و اتلاف انرژی می شود، که باعث عملکرد بهتر سیستم باربر جانبی میگردد.

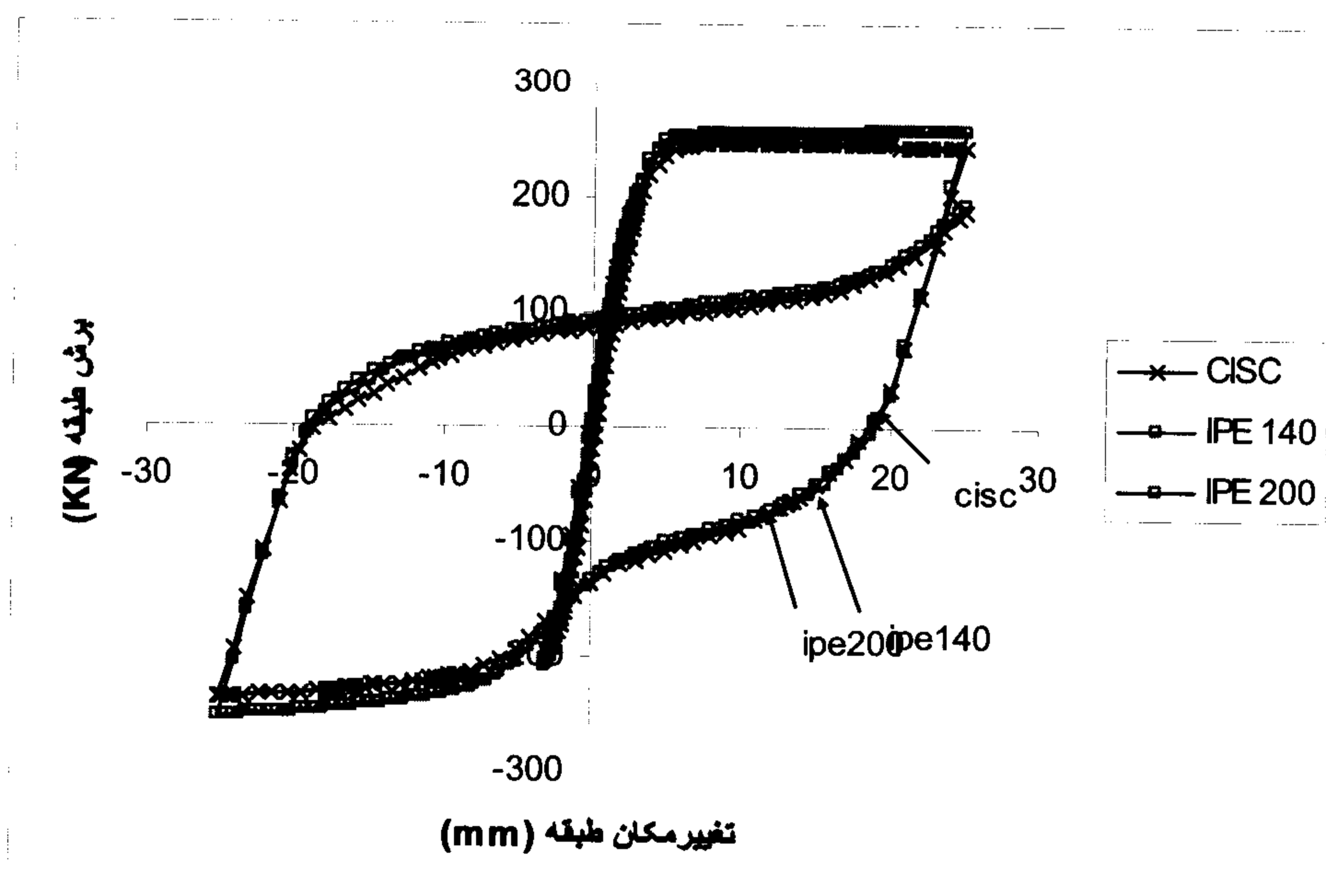
### بررسی وجود سخت کننده

سخت کننده های عمودی و افقی سبب افزایش سختی ارتجاعی و استهلاک انرژی می گردد و باید اثر سخت کننده را با افزایش ضخامت مقایسه نمود. برای انجام این مطالعه نیاز به یک مدل با تعداد المانهای زیاد و ریزتری میباشد که ورق محصور بین سخت کننده ها قابلیت کمانش داشته باشد. برای این منظور ورق به ۹۰۰ بخش تقسیم گردید که شکل (۱۵) مدل ساخته شده و نمونه تغییر شکل یافته را بعد از تحلیل را نشان می دهد. در این شکل کمانش گسترده ورق به خوبی ملاحظه می گردد. در نمونه سخت کننده دار از سخت کننده عمودی با مقطع ناودانی در دو طرف ورق استفاده شده است. در شکل (۱۶)، مدل نمونه با سخت کننده ملاحظه می گردد. با توجه به شکل مذکور می توان نتیجه گیری کرد که سخت کننده تأثیر مناسبی بر رفتار سیستم دارد و از کمانش ورق نیز جلوگیری می کند.

چنانچه اتصالات گیردار باشند به علت وجود ورق هیچگاه دورانهای گره ها به حد نهائی ظرفیت اتصال نمی رسد و در حالتی که در قاب اتصالات مفصلی باشند، اتصالات قادر به تحمل ۲۰٪ تا ۵۰٪ ظرفیت اتصال گیر دار می باشند. شکل (۱۲) نیز نشان می دهد که افزایش سختی تیر تأثیری در رفتار سیستم دیوار برشی فولادی ندارد و در سیستم دیوار برشی فولادی نیروی جانبی از طریق ورق فولادی جذب ستونها میگردد و تیر نقشی در انتقال نیرو ایفا نمی کند. نتایج آزمایشگاهی نشانگر این مطلبند که سختی تیر تأثیر کمی در وضعیت پینچینگ دارد.

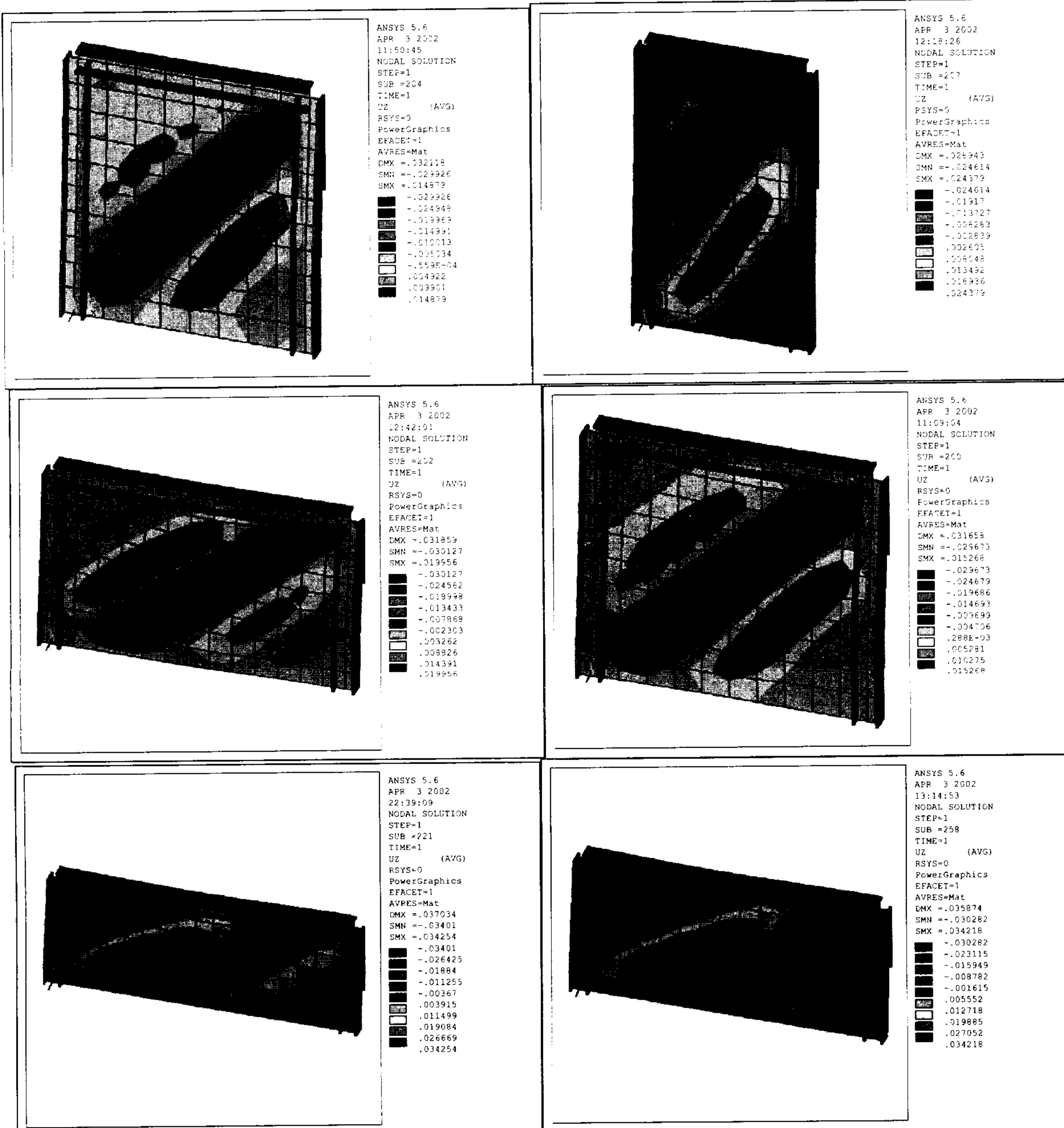
### تأثیر نسبت عرض دهانه به ارتفاع آن

این نسبت، پارامتر مهمی در طراحی می باشد و در انتخاب محل دیوار به کار می آید. برای مطالعه اثر این پارامتر، با ثابت در نظر گرفتن مساحت ورق فولادی، ابعاد عرض و ارتفاع آن تغییر داده شد. شکل (۱۳) نمای تغییر شکل یافته این مدلها را به ترتیب از نسبت عرض دهانه به ارتفاع طبقه کوچک به بزرگ نشان می دهد. برای مدل سازی در این بخش، از مدل کامل تر پوسته ها استفاده گردید تا تغییر شکل های برشی و خمشی کاملاً در نظر گرفته شود. شکل (۱۴) نشان می دهد که هر قدر نسبت عرض دهانه به ارتفاع طبقه بزرگتر باشد، قابلیت اتلاف انرژی و مقاومت بیشتر میگردد. با توجه به اینکه

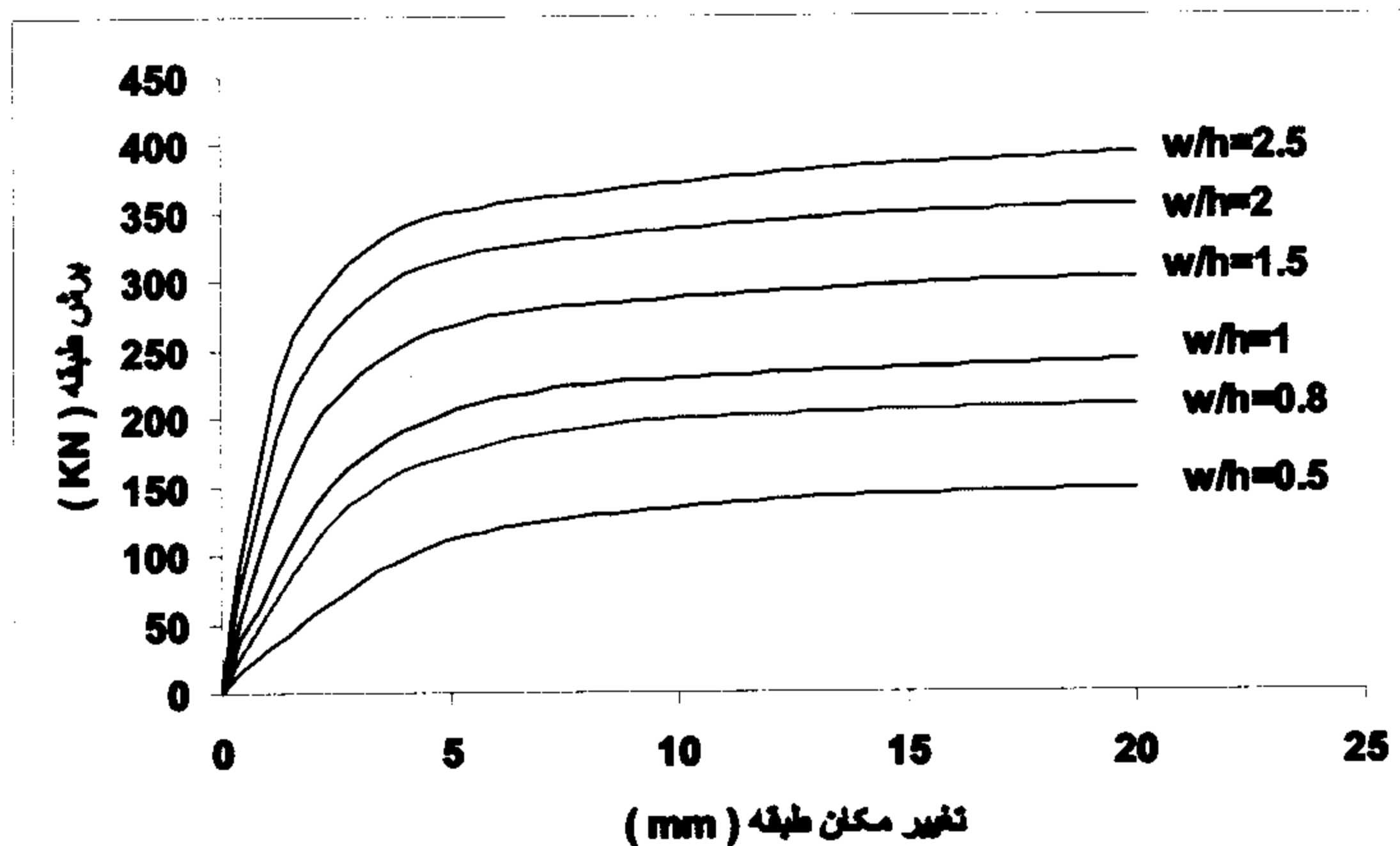


شکل ۱۲: تأثیر سختی تیر بر رفتار هیستریزیس.



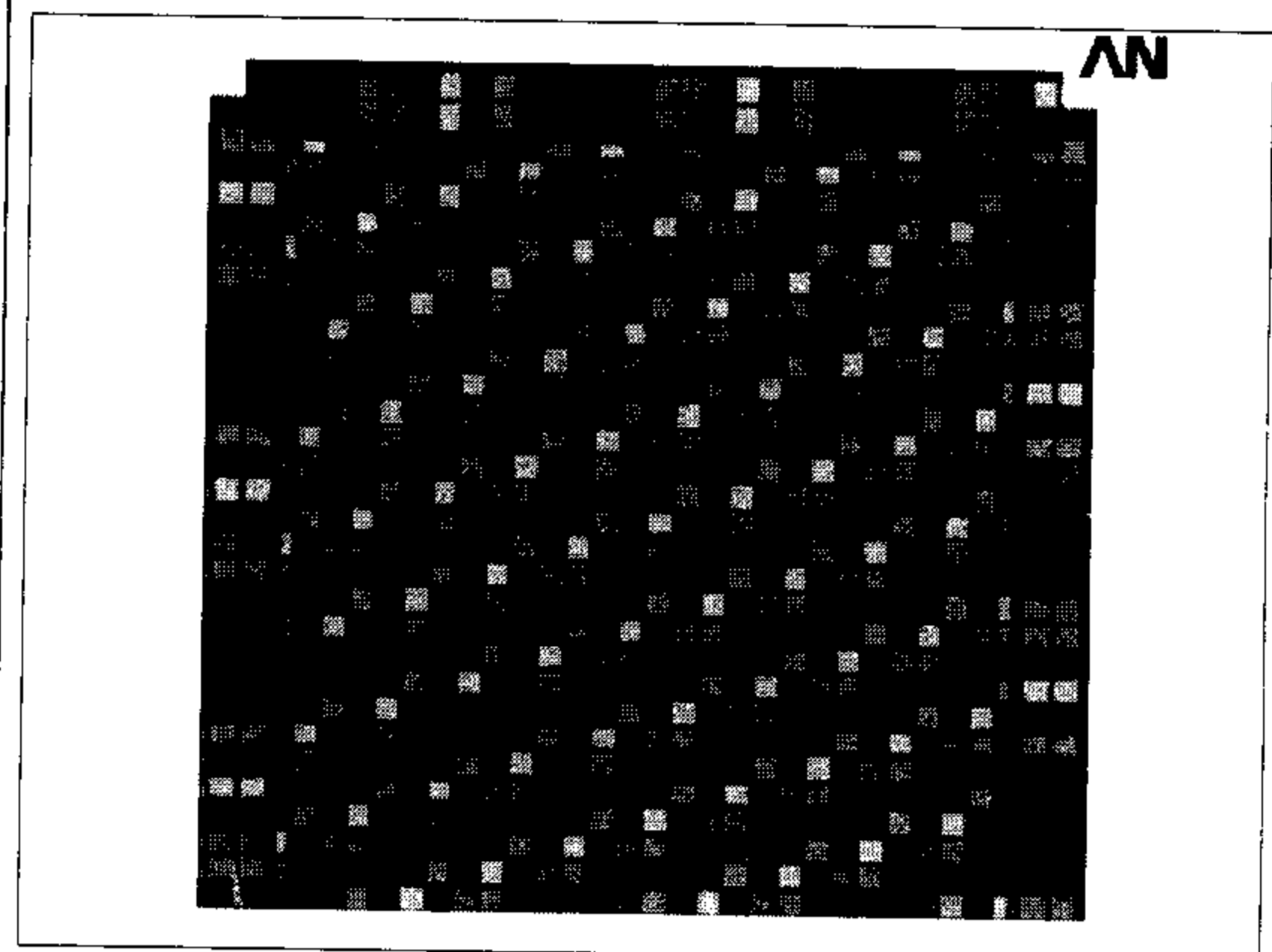
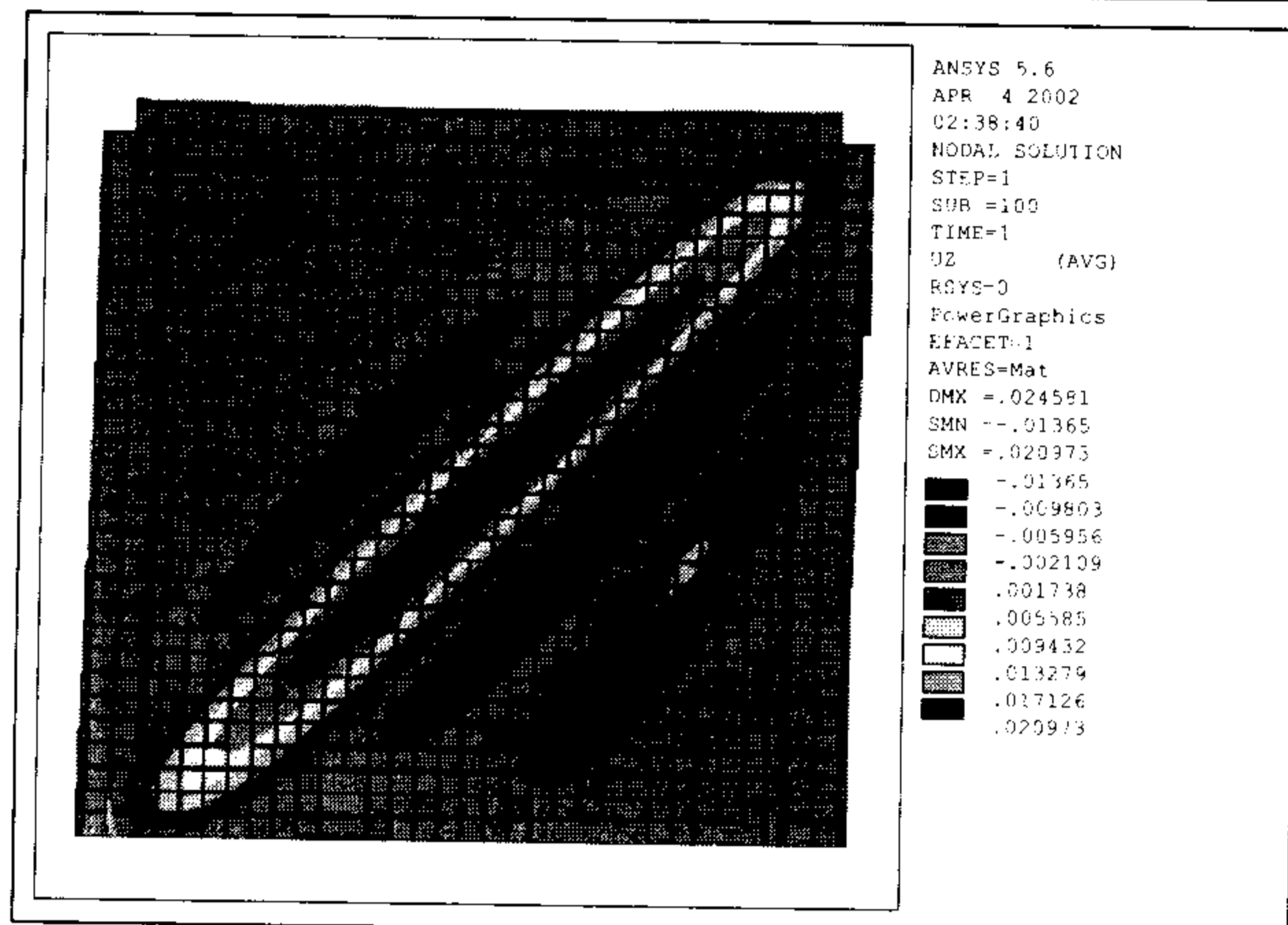


شکل ۱۳: نمای تغییر شکل یافته مدل با نسبت‌های مختلف عرض دهانه به ارتفاع طبقه (به ترتیب از بالا و راست ۰/۵، ۰/۸، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵).

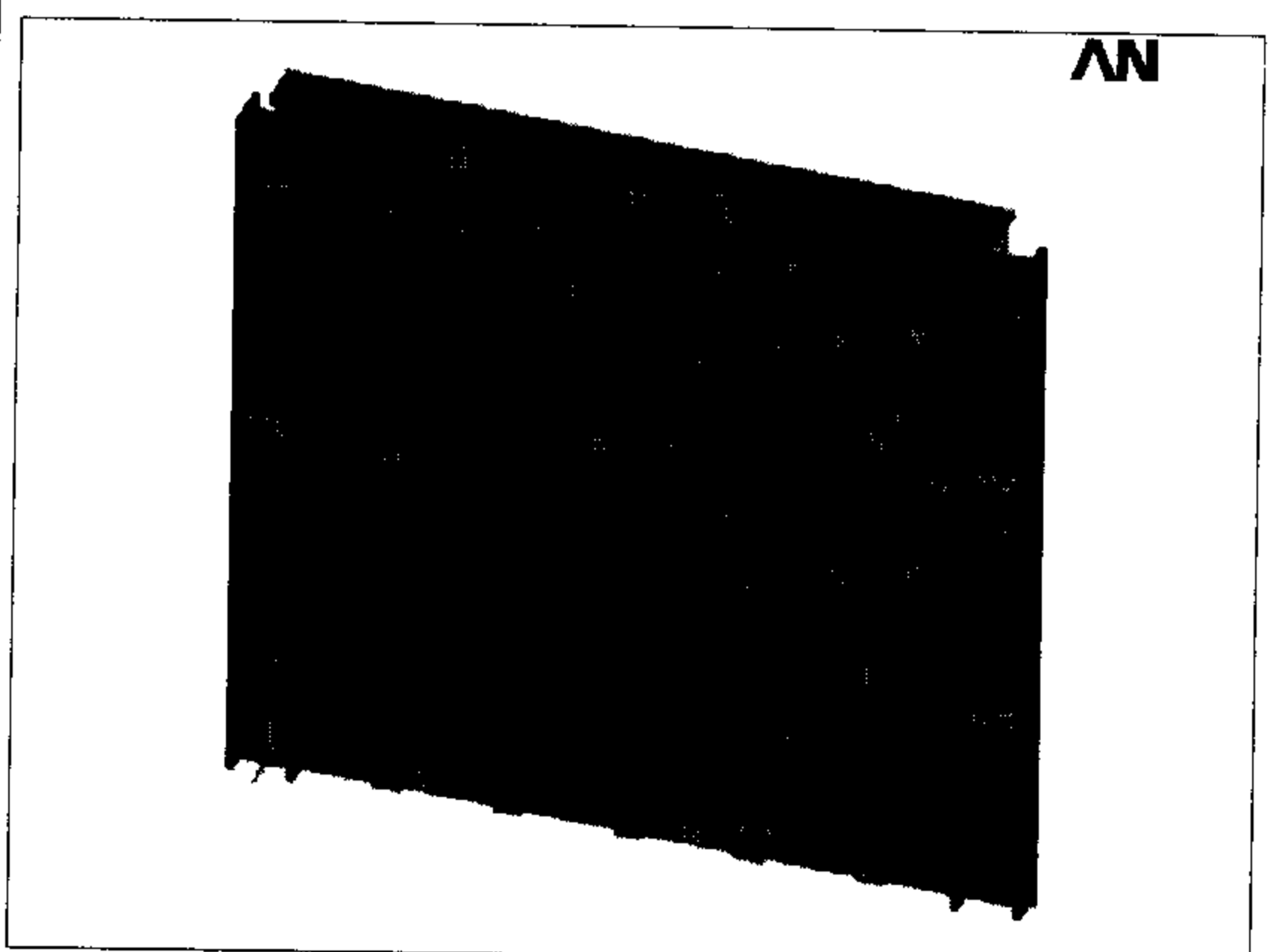
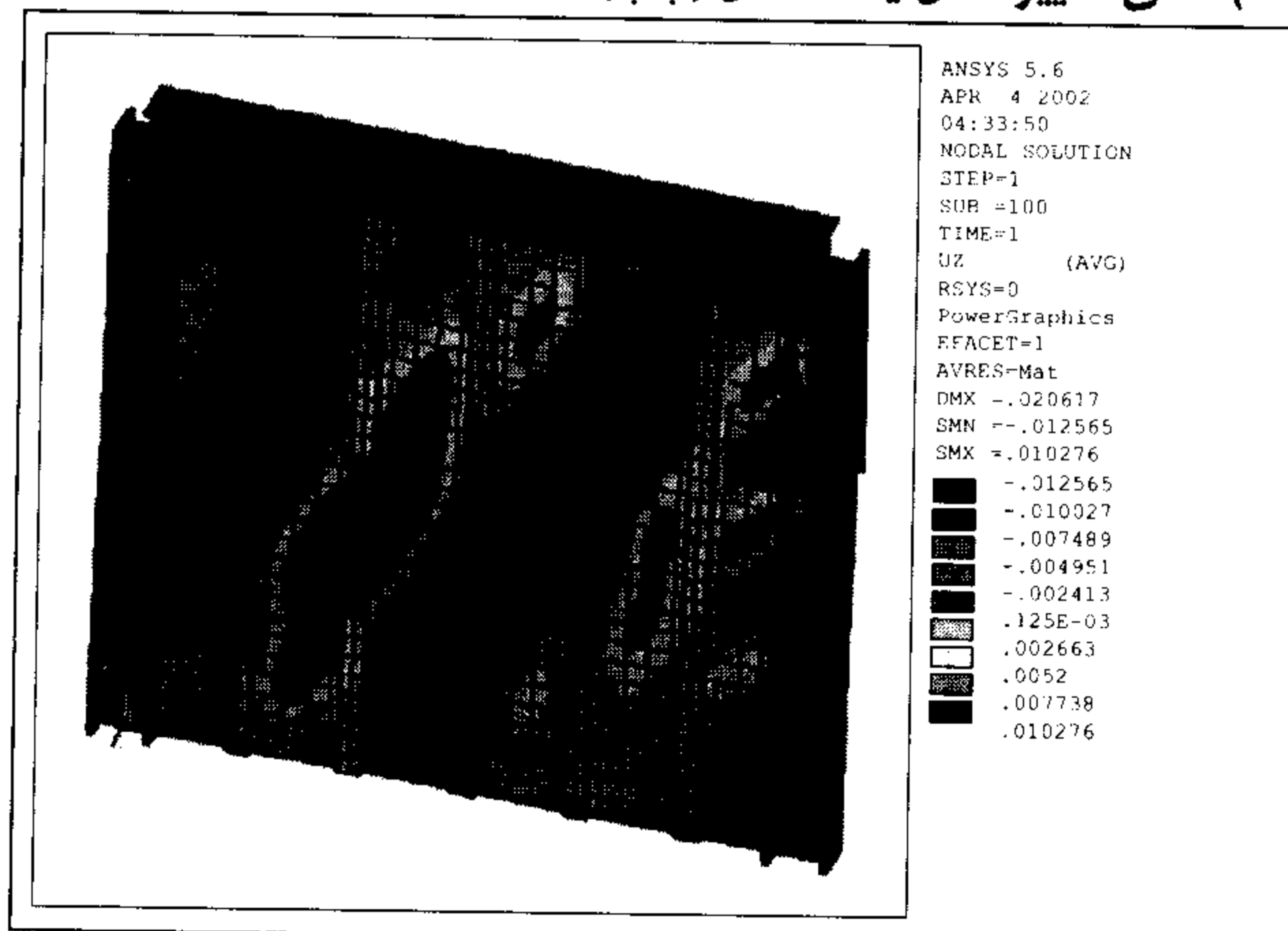


شکل ۱۴: تاثیر نسبت عرض دهانه به ارتفاع طبقه در مقاومت سیستم.





شکل ۱۵: مدل بدون سخت کننده (راست) نمای تغییر شکل یافته مدل (چپ).



شکل ۱۶: مدل سخت کننده دار (راست) نمای تغییر شکل یافته مدل (چپ).

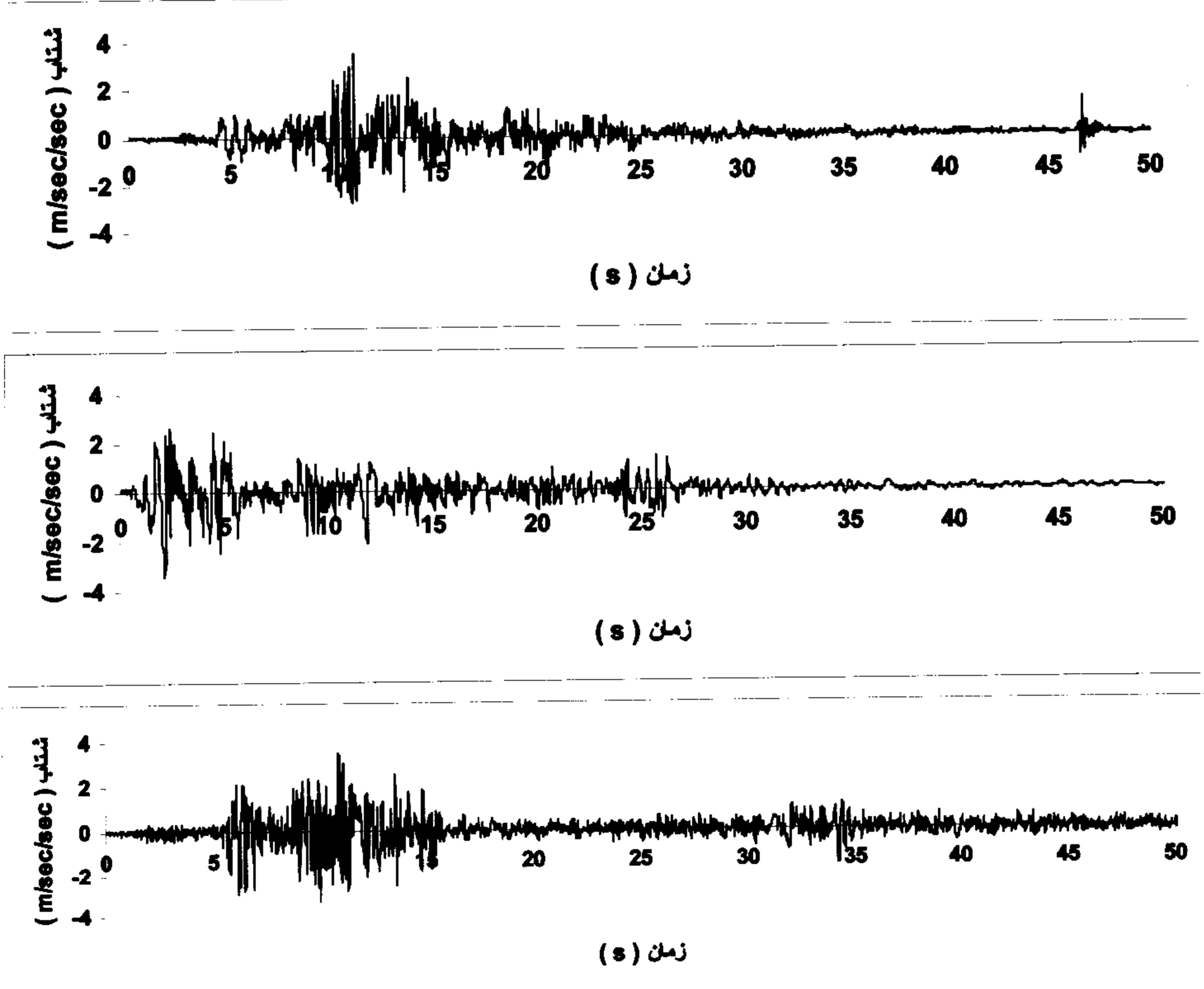
خوبی مشاهده شده و مشخص می گردد که چگونه دو زلزله با شتاب حداکثر یکسان اثر تخریبی متفاوت بر سازه دارند. برای بررسی دقیقتر رفتار دیوار برشی فولادی تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی انجام گردیده و در تحلیل از مدل ساده با المان های میله ای استفاده شده است. سه زلزله طیس، منجیل و السنترو برای بارگذاری انتخاب شده اند و برای شتاب حداکثر 0.35g مقیاس شده اند. شکل (۱۷) شتاب نگاشت این زلزله ها را با شتاب حداکثر ۳/۵ متر بر مجذور ثانیه نشان می دهد.

در تحلیل دینامیکی اثر زلزله بر روی سازه در مدت ۳۰ ثانیه دیده می شود. برای حل معادلات وابسته به زمان در نرم افزار از روش نیومارک<sup>۱۱</sup> و در هر لحظه روش نیوتن رافسون بکار گرفته شده است. با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مادی و هندسی از فرض ساده کننده جمع اثر مودها استفاده نشده است و معادلات به طور مستقیم حل گشته اند. برای ماتریس میرائی، میرائی رایلی [۸] با ۵٪ برای مد اول تا پنجم در نظر گرفته شده است. رفتار هیستریزس این تحلیل ها در شکل (۱۸) نشان میدهد که

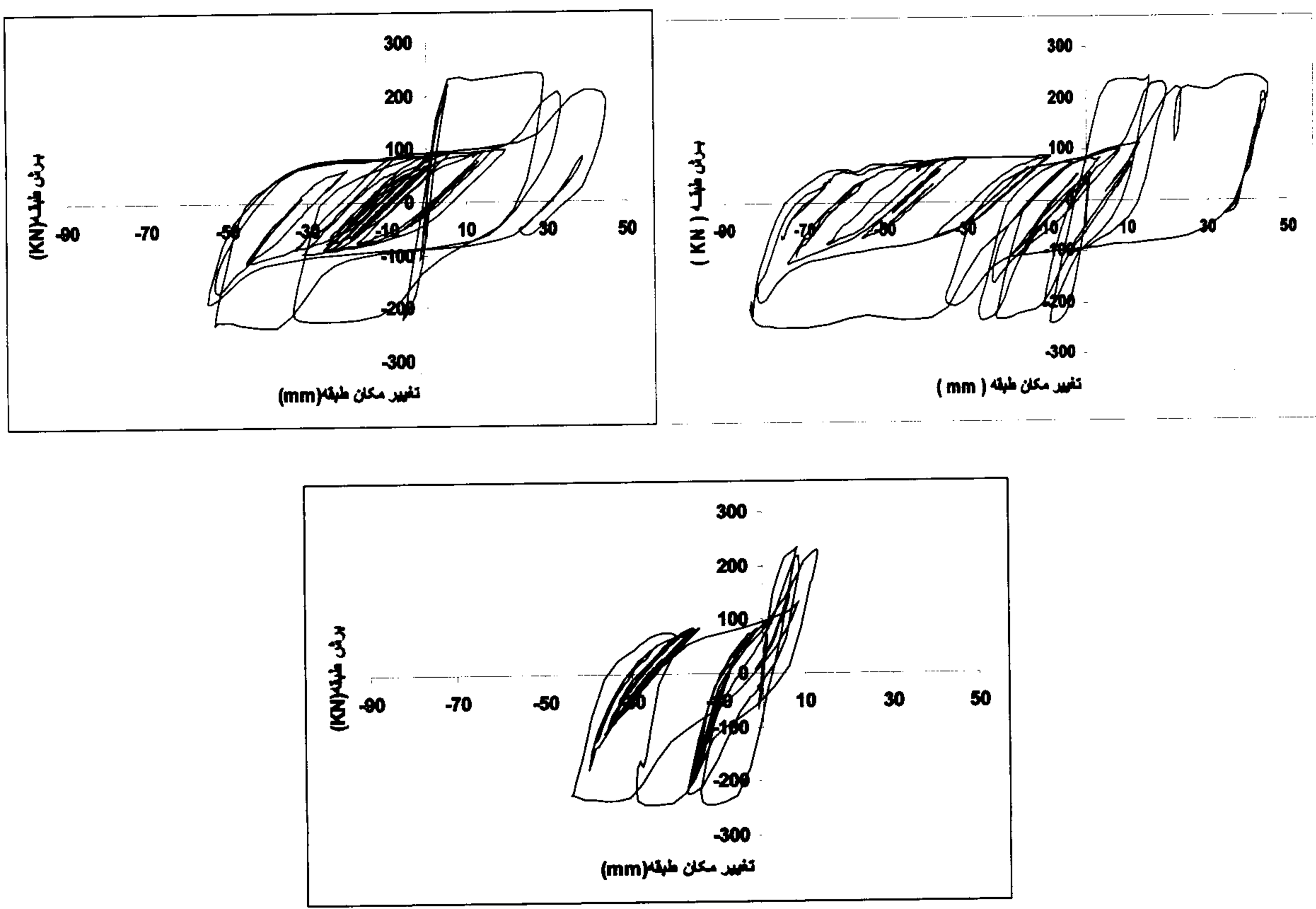
سخت کننده سبب افزایش سختی اولیه و مقاومت در وضعیت پینچینگ میشود و سبب استهلاک انرژی می شود. اما نصب سخت کننده ها وقتگیر و اتصالات جوشی و پیچی آن سبب نقص در ورق دیوار برشی میگردد. و در نتیجه هزینه اجرای پروژه افزایش می یابد. با در نظر گرفتن مشکلات اجرائی سخت کننده ها، وزن فولاد مصرفی و کیفیت بهتر اجرایی کار برای افزایش کارائی سیستم، بهتر است ضخامت ورق را افزایش داد. به عبارت دیگر افزایش ضخامت ورق به طرز مؤثرتری رفتار سیستم را بهبود میبخشد، البته افزایش ضخامت تا جایی مجاز است که ورق شکننده نگردد و در باربری پاره نشود.

### بررسی دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی

در تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی رفتار سازه به صورت جزئی و در طول زمان زلزله مشاهده می گردد و این رفتار بیانگر واقعی ترین رفتار سازه در طول زلزله نسبت به تحلیل های دیگر می باشد. در این نوع تحلیل اثر محتوی فرکانسی<sup>۸</sup>، شتاب حداکثر<sup>۹</sup> و زمان زلزله<sup>۱۰</sup> به



شکل ۱۷: شتاب نگاشت مقیاس شده زلزله های طبس (بالا) السترو (وسط) منجیل (پایین).



شکل ۱۸: منحنی هیستریزیس زلزله های طبس (بالا) السترو (وسط) منجیل (پایین).

طریق میتوان صحت تحلیل دینامیکی را بررسی کرد و ضریب رفتار را بدست آورد. البته بدست آوردن ضریب رفتار مستلزم آزمایشهای مناسب است و در اینجا سعی میگردد با روش ساده عددی به صورت تقریبی، ضریب رفتار محاسبه گردد. ضریب زلزله بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ عبارت است از:

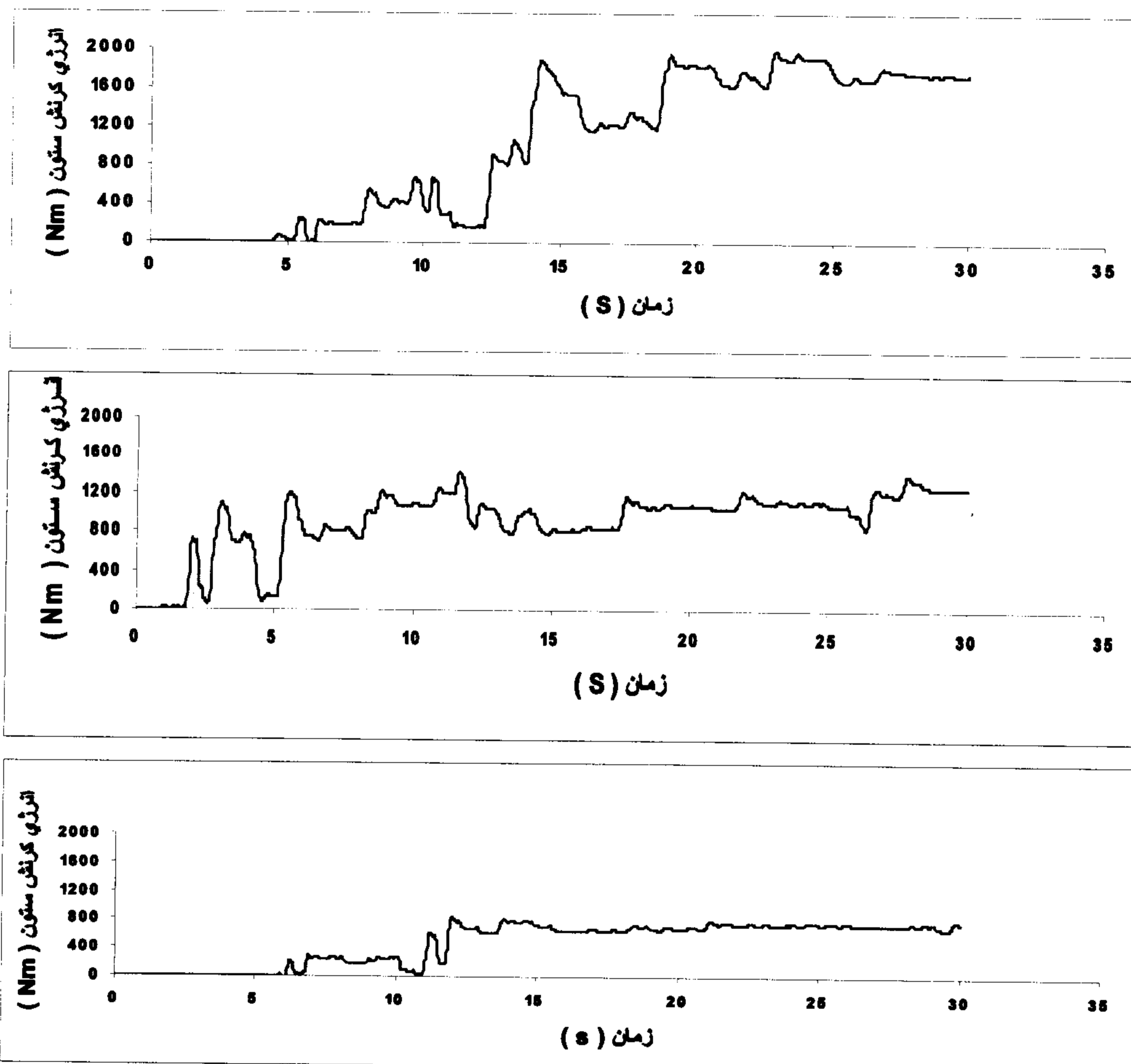
$$C = \frac{ABI}{R}$$

(۲)

با توجه به زمان تناوب مود اول سازه ضریب بازتاب ۲/۵ بدست می آید. شتاب مبنای طرح نیز 0.35g در نظر گرفته شده است و اگر ضریب اهمیت سازه را یک در نظر بگیریم ضریب رفتار سازه برابر ۱۰/۹۳ بدست می آید. این عدد نشان دهنده این است که سیستم دیوار برشی فولادی همراه قاب خمشی، شکل پذیری بالایی دارد.

زلزله طبس تغییر مکانهای بیشتری را به سازه تحمیل کرده است.

برای اینکه بتوان میزان تخریب زلزله ها را روی سازه مقایسه نمود میبایست و انرژی کرنشی ستونها را بررسی نمود. انرژی کرنشی برابر است با کار انجام شده روی یک المان بر اثر تغییر شکلهای ارتجاعی و پلاستیک. شکل (۱۹) انرژی مستهلک شده در ستونها را نشان می دهد و تأثیر مخرب زلزله طبس را آشکار می سازد. همچنین می توان از این شکل نتیجه گیری کرد که ستونها به عنوان اعضای باربر قائم می باشند در زلزله طبس آسیب بیشتری می بینند و از این منظر زلزله طبس از سایر زلزله ها مخرب تر است. با توجه به شکل (۱۸) ملاحظه می گردد که حداکثر برش پایه جذب شده در زلزله های مختلف توسط سازه برابر ۲۴۰ KN بوده است. از تقسیم برش ۲۴۰ KN بر وزن سازه که ۳۰۰ KN در نظر گرفته شده است، ضریب زلزله ۰/۰۸ بدست می آید. از این



شکل ۱۹: انرژی کرنش مستهلک شده توسط ستونها در زلزله های طبس (بالا) السنترو (وسط) منجیل (پایین).

## نتیجه گیری

سیستم دیوار برشی فولادی رفتار شکل پذیری بسیار خوبی دارد. با استفاده از المانهای پوسته ای و یا میله ای میتوان رفتار پیچیده اینگونه سازه ها را تحت بارگذاری چرخه ای پیش بینی کرد. جهت تسریع در بررسی و مطالعات عمیق تر میتوان به نتایج بدست آمده از مدل ساده میله ای اتکا نمود. موثرترین پارامتر بر رفتار این سیستم، ضخامت ورق فولادی می باشد. افزایش ضخامت ورق به نحو موثری سبب افزایش شکل پذیری سیستم میگردد و ظرفیت باربری را افزایش میدهد ولی این افزایش تا حد شکننده شدن ورق مجاز است و برای

افزایش بیشتر شکل پذیری سیستم استفاده از سخت کننده الزامی میگردد. در دهانه های بدون بازشو ورق بدون سخت کننده توصیه می گردد و در دهانه های دارای بازشو استفاده از سخت کننده در اطراف بازشو الزامی است. در این سیستم ستون باید به گونه ای طراحی شود که قبل از جاری شدن کامل ورق، گسیخته نگردد و عملکرد استهلاک انرژی سیستم توسط ورق به خوبی انجام پذیرد. تیر تاثیر کمی بر رفتار این سیستم دارد. در انتخاب محل دیوار برشی باید دهانه های بزرگتر را انتخاب نمود زیرا در این حالت اتلاف انرژی و سختی بیشتر میگردد.

## مراجع

- 1 - ATC-24. (1992). "Guidelines of cyclic seismic testing on components for steel structures." *Applied Technology Council*, Redwood City, California, U.S.A.
- 2 - Timler, P. A. and Kulak, G. L. (1983). "Experimental study of steel plate shear walls." *Structural Engineering Report No. 114*, University of Alberta, Canada.
- 3 - Driver, R. G., Kulak, A. E. and Kennedy, D. J. L. (1998). "FE and simplified models of steel plate shear wall." *Journal of Structural Engrg., ASCE*, Vol. 124, No. 2, PP.121-130.
- 4 - Lubell, A. S., Prion, G. L., Ventura, C. E. and Rezai, M. (2000). "Unstiffend steel plate shear wall performance under cyclic loading." *J. of Str. Engrg., ASCE*, Vol. 126, No. 4, PP. 453-460.
- 5 - Elgaaly, M. and Liu, Y. (1997). "Analysis of thin steel plate shear walls." *J. of Str. Engrg., ASCE*, Vol 123, No. 11, PP. 1487-1496.
- 6 - Astaneh-Asl, A. (2001). "Seismic behavior and design of steel sheer walls." *Structural Steel Educational Council Technical Information and Product Service*.
- 7 - ANSYS, (1999). "Finite element method software." *SAS IP*, Release 5.6.
- 8 - Naeim, F. (2002). *The seismic Design Handbook*. 2<sup>nd</sup> Edition.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1 - Pinching                 | 2 - Cyclic Monotonic Test                 |
| 3 - Kinematic Hardening      | 4 - Von Mises Yield Criterion             |
| 5 - Prantdl-Reuss Flow Rule  | 6 - Updated Lagrangian Formulation Method |
| 7 - Newton-Raphson Method    | 8 - Frequency Content                     |
| 9 - Peak Ground Acceleration | 10 - Earthquake Duration                  |
| 11 - Newmark                 |   |