

## افزایش شکل پذیری مهاربندهای هم محور با استفاده از المان استهلاکی انرژی

وحید فهیم پور<sup>۱</sup>، دکتر رضا عباس نیا<sup>۲</sup>، دکتر محمد علی کافی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه علم و صنعت ایران vahidfahimpour@yahoo.com

۲- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران abbasnia@iust.ac.ir

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان mkafi@semnan.ac.ir

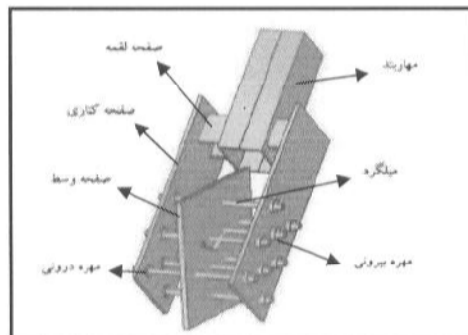
### خلاصه

یکی از عناصر تامین کننده مقاومت جانبی سازه ها در قابهای مهاربندی شده، مهاربندهای هم محور می باشد که در مقایسه با قابهای خمشی به دلیل سهولت اجرا و قیمت تمام شده کمتر مورد توجه بیشتری قرار گرفته اند، ولی این نوع مهاربندها از شکل پذیری مناسبی برخوردار نیستند. به همین دلیل محققان و طراحان در فکر راه حلی برای این مشکل و برطرف نمودن این ضعف، ایده های مختلفی را مطرح ساختند و روشهای مختلفی ابداع و گسترش یافت. از جمله روشهایی که جهت افزایش میزان جذب انرژی در بادبندهای همگرا مورد استفاده قرار گرفته، استفاده از المانهای شکل پذیر در محلی از بادبندها می باشد. در این مقاله وجود یک المان شکل پذیر در نقطه اتصال بادبند به صفحه فولادی گوشه مورد مطالعه قرار گرفته است. تنشها و تغییر شکلهای المان با استفاده از نرم افزار ANSYS و زیر اثر بارهای رفت و برگشت مطالعه شده است. منحنیهای هیستریزس بدست آمده نشان میدهد که المان مورد استفاده می تواند به عنوان یک عضو جاذب انرژی و همچنین یک فیوز جهت کنترل کماتش بادبند عمل نماید.

کلمات کلیدی: مستهلک کننده انرژی، شکل پذیری، هیستریزس، مهاربند هم محور

### مقدمه

تامین شکل پذیری سازه ها متأثر از رفتار غیر خطی اعضا و اتصالات آن در زمان وقوع زلزله است که تعمیر و بازسازی آنها بعد از وقوع زلزله، تابع گستردگی المانهای مقاوم در حجم سازه خواهد بود. به همین دلیل تعمیر و بازسازی سازه های خمشی از هزینه قابل ملاحظه ای برخوردار است. در مقابل، قابهای فولادی بادبند شده هم محور از شکل پذیری مطلوب برخوردار نیستند ولی اعضاء آسیب پذیر آن در مقابل زلزله محدود و در نتیجه بازسازی آنها بسیار کم هزینه تر از قابهای خمشی است [۱]. به منظور رفع نقطه ضعف بادبندهای هم مرکز و تامین شکل پذیری مطلوب آنها تحقیقات گسترده ای توسط محققین مختلف صورت گرفته است که هریک به نحوی کوشیده اند میزان شکل پذیری بادبندهای هم محور (CBF) را بهبود ببخشند. در این مقاله و به منظور رسیدن به این هدف، از یک المان مستهلک کننده انرژی در نقطه اتصال بادبند به صفحه فولادی گوشه استفاده شده است. در شکل (۱) المان مورد نظر نشان داده شده است.



شکل (۱): مدل کلی المان مستهلک کننده

### مدلسازی و مطالعه عملکرد المان مستهلک کننده

به منظور بررسی عملکرد المان مورد نظر زیر اثر بارهای رفت و برگشت زلزله، از المان مطابق شکل (۱) با مشخصات زیر استفاده شده است.  
۱- صفحات کناری مستطیل با مشخصات زیر:

$$\begin{aligned} \text{بعد کوچک} &= \frac{1}{21} \times \text{ضخامت} \\ &= \frac{1}{21} \times 28 = 1.33 \approx 1.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

عرض = 28 cm      طول = 58 cm      تعداد = 2

۲- صفحه وسط ( صفحه اتصال گوشه مهاربندی) مربع با مشخصات زیر:

$$\text{ضخامت} = \frac{1}{21} \times \text{بعد کوچک} = \frac{1}{21} \times 45 = 2.2 \text{ cm}$$

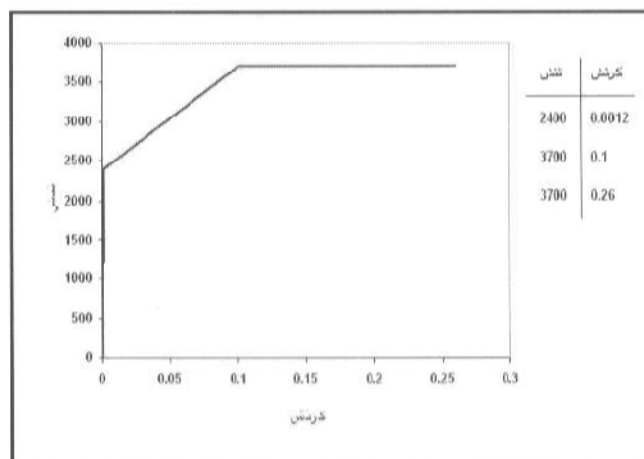
ابعاد اضلاع = 45 × 45 cm

۳- میلگردهای ساده ساختمانی با مشخصات زیر:

طول آزاد بین صفحات = 12 cm      قطر = 2.5 cm      طول کل = 35 cm

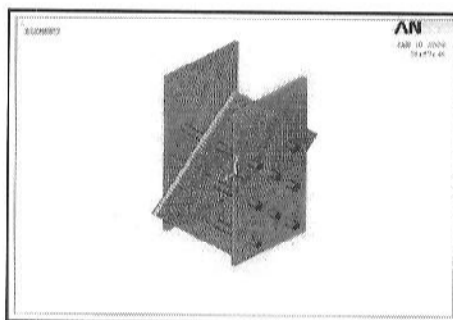
تعداد = 8      طول آزاد انتها = 3 cm

عملکرد سیستم بدین صورت می باشد که نیروی محوری مهاربندی ابتدا از طریق صفحات لقمه که با جوش گوشه به صفحات کناری متصل می باشد به این صفحات انتقال می یابد و این صفحات نیز نیروی خود را به میلگردها منتقل کرده و میلگردها با تغییر مکان خود و وارد شدن به مرحله غیر خطی سبب جذب انرژی و افزایش شکل پذیری می گردند. به منظور اتصال میلگردها با صفحات کناری می توان انتهای میلگردها را رزوه کرد و سپس با بستن مهره در طرفین صفحات کناری این اتصال را انجام داد. در سیستم مورد نظر هدف این است که فقط میلگردها به عنوان اعضای شکل پذیر وارد عمل شوند لذا لازم است بقیه اعضای سیستم از اندازه و ضخامت مناسب برخوردار باشند تا در اثر انتقال نیروی مهاربندی به میلگرد ها خود دچار تسلیم و جذب انرژی نگردند. فاصله های افقی و همچنین قائم مرکز تا مرکز میلگردها برابر  $3D = 3 \times 2 = 7.5 \text{ cm}$  که  $D$  قطر میلگردها می باشد، در نظر گرفته شده و فاصله مرکز میلگردها تا لبه صفحات برابر  $2.5D = 2.5 \times 2.5 = 6.26 \approx 6.5 \text{ cm}$  در نظر گرفته شده، همچنین در این مدل، فاصله آزاد میلگردها یعنی فاصله آزاد بین صفحات کناری و صفحه وسط 12cm در نظر گرفته شده و نیز در دو انتهای میلگرد ها 3cm برای بستن مهره به میلگردها به منظور اتصال میلگردها با صفحات کناری در نظر گرفته شده است. مصالح مورد استفاده در مدل سازی و ساخت المان، فولاد ST 37 یا همان فولاد ترمه با مدول الاستیسیته  $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  و ضریب پواسون 0.3 می باشد. همچنین مدل رفت و پسماند آن کینماتیک سخت شوندگی چند خطی می باشد. برای معرفی مشخصات فولاد به نرم افزار ANSYS از مدل سه خطی منحنی تنش - کرنش که در شکل (۲) نشان داده شده استفاده شده است.



شکل (۲): منحنی تنش - کرنش

برای مدل نمودن سیستم مورد نظر از دو المان SHELL و BEAM استفاده شده است. با توجه به تقارن المان مستهلک کننده امکان مطالعه یک دوم از المان به جای کل آن وجود داشت ولی المان به صورت کامل مطابق شکل (۳) در نرم افزار ANSYS مدل سازی و مش بندی گردید.



شکل (۳): المان مش بندی شده در ANSYS

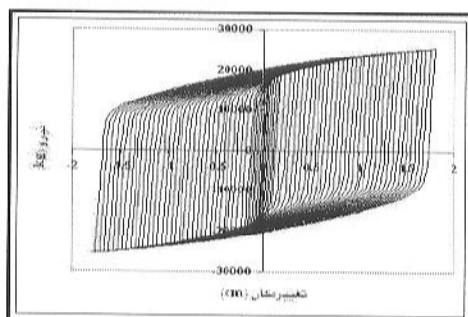
پس از مش بندی المان، در نقاط مورد نظر در صفحه وسط تکیه گاهها تعریف شده اند در ادامه از بارگذاری استاتیکی رفت و برگشت استفاده شده است که به صورت کنترل تغییر مکان می باشد که به بالای صفحات کناری اعمال می شود. برای بررسی المان مستهلک کننده مورد بررسی در این مقاله، از معیار تسلیم فون میزز استفاده شده است.

### آنالیز المان و نتایج آن

در نرم افزار ANSYS امکان انجام چندین نوع آنالیز بر روی المان وجود دارد که بر اساس هدفی که از آنالیز المان وجود دارد، از آنالیز استاتیکی غیر خطی با فعال کردن بخش مربوط به جابجایی های بزرگ استفاده شده است. به این ترتیب تنش ها، کرنش ها و نیروهای ایجاد شده در المان مورد بررسی قرار گرفته است.

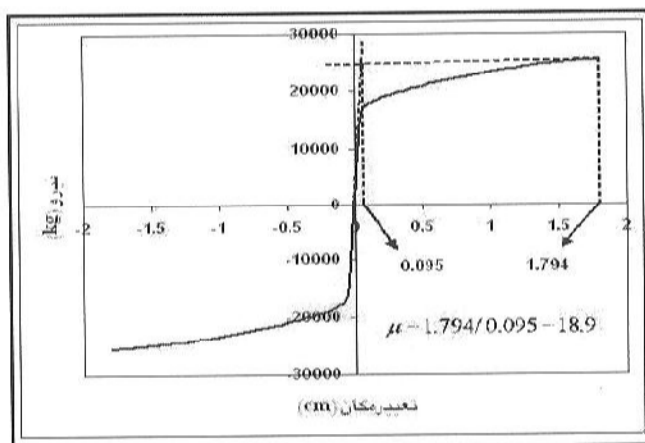
### نیرو - جابجایی (تنش - کرنش)

با انجام آنالیز نیروی تحمل شده در حالت غیر خطی ۲۵۵۲۴/۳۴ کیلوگرم و حداکثر جابجایی حالت غیر خطی ۱/۷۹۴ سانتیمتر بدست آمده است. همانطور که قبلاً گفته شد در بررسی این المان از معیار تسلیم فون میزز استفاده شده است. حداکثر تنش ایجاد شده در اثر این جابجایی ها ۳۷۰۰  $\text{kg/cm}^2$  و حداکثر کرنش ایجاد شده برابر ۲۵/۶۹٪ می باشد. منحنی هیستریزیس المان در شکل (۴) نشان داده شده است.



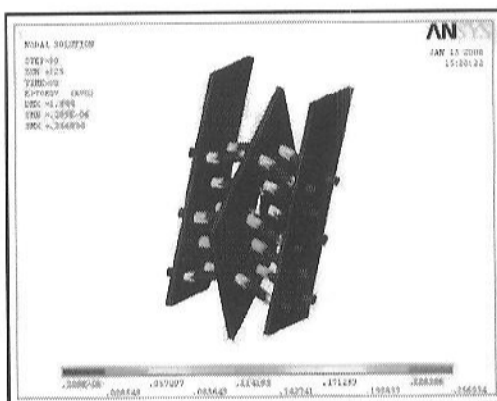
شکل (۴): منحنی هیستریزیس المان

پوش منحنی نیرو - تغییر مکان سیستم در شکل (۵) نشان داده شده است.

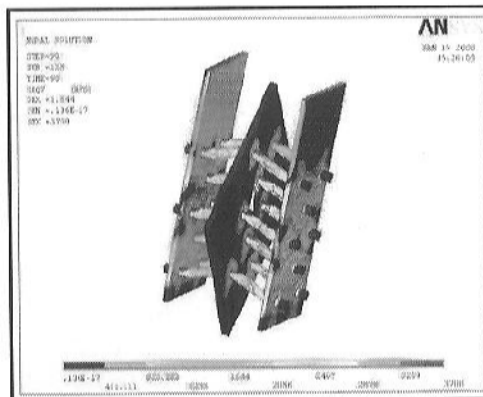


شکل (۵): ضریب شکل پذیری المان

همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، حداکثر نیروی قابل تحمل توسط این سیستم برابر ۲۵۵۲۴/۳۴ کیلوگرم است. مطابق این شکل مقدار حداکثر تغییر مکان این سیستم ۱/۷۹۴ سانتی متر و تغییر مکان سیستم در انتهای محدوده الاستیک ۰/۰۹۵ سانتیمتر می‌باشد. این منحنی نشان می‌دهد که ضریب شکل پذیری سیستم یعنی تغییر طول نهایی پلاستیک ۱۸/۹ برابر میزان تغییر طول نهایی الاستیک است. در اشکال (۶) و (۷) تنشها و کرنشهای ایجاد شده در المان مشاهده می‌گردد.



شکل (۷): توزیع کرنش در المان

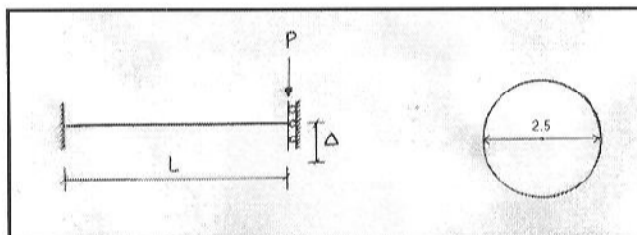


شکل (۶): توزیع تنش در المان

همانطور که از اشکال (۶) و (۷) مشاهده می‌شود تنش‌های ایجاد شده در صفحات کناری و صفحه وسط کمتر از تنش تسلیم می‌باشد و فقط می‌لگردها به مرحله غیرخطی رسیده و جذب انرژی فقط توسط می‌لگردها صورت گرفته است.

### مقایسه نتایج آنالیز کامپیوتری با روابط مقاومت مصالح

با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) و با توج به تقارن المان نظر می‌رسد میلگردها به صورت تیرهای یک سرگیردار - یک سرگیردار غلتکی عمل می‌کنند. برای مقایسه نتایج آنالیز با نرم افزار، و روابط مقاومت مصالح ابتدا با توجه به شکل (۱۰) و با توجه به روابط تئوری مقاومت مصالح نقطه تسلیم و تغییر مکان تسلیم را برای تیر یکسرگیردار - یکسرگیردار غلتکی پیدا می‌کنیم [۲].



شکل (۱۰)

$$\Delta = \frac{PL^3}{12EI}$$

$$\Delta_y = \frac{P_y L^3}{12EI}$$

$$I = 1.91748$$

$$\Rightarrow M_y = \frac{\sigma_y \cdot I}{C} = 3681.55 \text{ kg.cm}$$

$$M_y = \frac{P_y \cdot L}{2} \Rightarrow P_y = 613.592 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \Delta_y = 0.023 \text{ cm}$$

در این روابط و با توجه به شکل (۱۰):

$L$ : طول تیر

$\Delta$ : تغییر مکان تیر

$\Delta_y$ : تغییر مکان تیر در لحظه تسلیم

$\sigma_y$ : تنش تسلیم تیر که برابر ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد

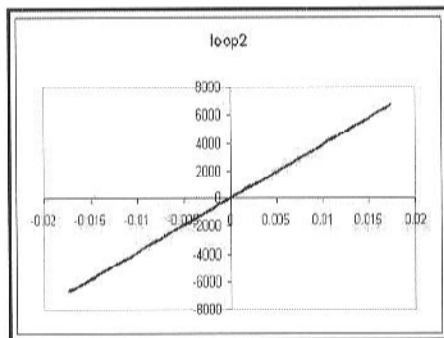
$I$ : ممان اینرسی تیر

$P_y$ : نیروی تسلیم تیر

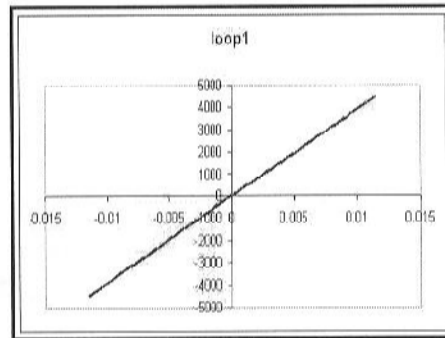
$M_y$ : لنگر تسلیم تیر

بنا براین مکان تغییر مکان نقطه تسلیم برای یک نیر یکسرگیردار- یکسرگیردار غلتکی با مقطع دایره به قطر ۲/۵ سانتی متر و طول ۱۲ سانتی متر برابر ۰/۰۲۳ سانتی متر می باشد.

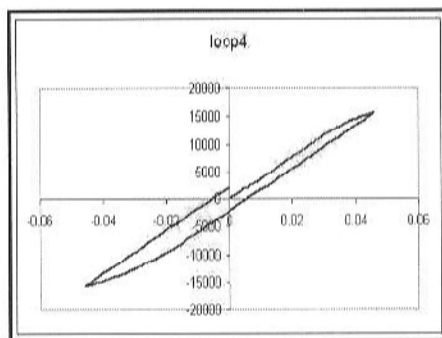
سیکلهای اول تا چهارم بارگذاری در شکلهای (۱۱) و (۱۲) و (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است. با توجه به این اشکال مشاهده می شود که تغییر مکان تسلیم سیستم مورد نظر به نقطه ۰/۰۲۳ سانتیمتر بسیار نزدیک است و سیستم قبل از این نقطه به صورت خطی عمل کرده که انتظار مورد نظر نیز همین می باشد که سیستم قبل از تسلیم به صورت خطی عمل کند.



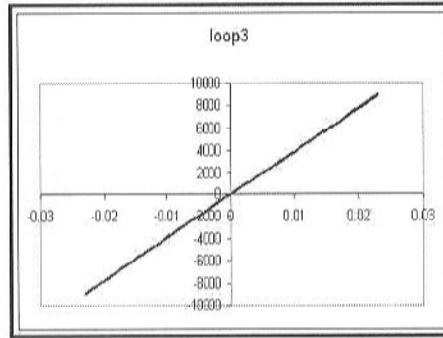
شکل(۱۲): سیکل دوم بارگذاری



شکل(۱۱): سیکل اول بارگذاری

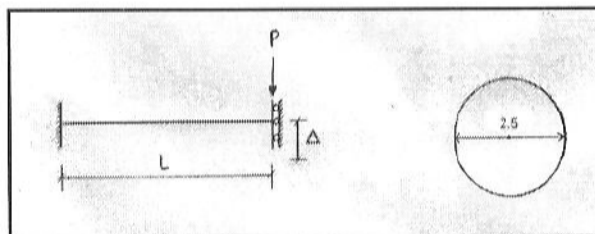


شکل(۱۳): سیکل چهارم بارگذاری



شکل(۱۲): سیکل سوم بارگذاری

این بررسی را به صورت دقیقتر و با توجه به خروجی آنالیز نیز می توان انجام داد. برای مقایسه ۳ نقطه را تا قبل از نقطه تسلیم در نظر می گیریم و از روابط مقاومت مصالح، نیروی مورد نیاز برای تغییر مکان این ۳ نقطه را بدست می آوریم و با آنالیز کامپیوتری مقایسه می کنیم. با توجه به شکل (۱۵) داریم:



شکل(۱۵)

$$\Delta = \frac{PL^3}{12EI}$$

از مقاومت مصالح :

نقطه اول :  $I = 1.91748$  تغییر مکان =  $0.0115 \text{ cm}$

$$\Rightarrow P_1 = 306.264 \text{ kg}$$

نقطه دوم : تغییر مکان =  $0.01725 \text{ cm}$

$$\Rightarrow P_2 = 459.396 \text{ kg}$$

نقطه سوم : تغییر مکان =  $0.023 \text{ cm}$

$$\Rightarrow P_3 = 613 \text{ kg}$$

بنابراین از روابط مقاومت مصالح نیروهای لازم برای تغییر مکان ۳ نقطه مورد نظر را بدست آوردیم حال باید نیروهای بدست آمده از آنالیز را برای این سه نقطه از فایل خروجی آنالیز بدست آوریم. لازم به ذکر است که در آنالیز کامپیوتری، نیروی بدست آمده را برای کلیه میلگردها داریم. می‌توانیم مدل را شامل ۱۶ تیر یک سرگیردار- یک سرگیردار غلتکی در نظر بگیریم و با توجه به اشکال (۶) و (۷) که توزیع تنش و کرنش را در سیستم نشان می‌دهد و این که این توزیع تقریباً در کلیه میلگردها یکسان است، لذا برای بدست آوردن نیروی یک تیر و مقایسه آن با روابط مقاومت مصالح، نیروی کل را بر عدد ۱۶ تقسیم می‌کنیم و نیروی یک تیر یا یک میلگرد به طول ۱۲ سانتی‌متر را بدست می‌آوریم. این مقایسه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مقایسه نیروی بدست آمده از ANSYS و مقاومت مصالح

تغییر مکان (cm)	نیرو (kg) (روابط مقاومت مصالح)	نیرو (kg) (آنالیز کامپیوتری)
0.0115	306.264	$\frac{4460.55904}{16} = 278.785$
0.01725	459.396	$\frac{6690.83856}{16} = 418.177$
0.023	613	$\frac{8921.11808}{16} = 557.57$

همانطور که از جدول (۱) ملاحظه می‌گردد نتایج آنالیز کامپیوتری به نتایج حاصل از روابط تئوری مقاومت مصالح در مورد تیر یک سرگیردار- یک سرگیردار غلتکی نزدیک است و این نشان می‌دهد که عملکرد سیستم مستهلک کننده مشابه تیرهای یک سرگیردار- یک سرگیردار غلتکی می‌باشد.

## نتیجه گیری

ارزیابی و مطالعات انجام شده بر روی مهارندهای هم مرکز نشان داد که ایده استفاده از عضو شکل پذیر به منظور افزایش شکل پذیری آنها ایده ارزشمندی است. ارزش این ایده از آن جهت است که با افزایش شکل پذیری و بهبود عملکرد این نوع سازه‌ها، محدودیت کاربردی آنها مرتفع می‌شود و استفاده از دیگر ویژگیهای مثبت و قابل توجه آنها فراهم می‌شود. تلاش بر آن بود که افزایش شکل پذیری مهارندهای هم محور با استفاده از عضوی انجام شود، که دارای کارایی و قابلیت مناسب باشد. مطالعات نشان داد که سیستم مورد نظر به عنوان یک عضو شکل پذیر گزینه مناسبی برای این منظور است، زیرا ضمن قابلیت جذب انرژی زیاد، به نظر می‌رسد با توجه به مصالح موجود در بازار، امکان تهیه و نصب آن در انواع مهارندهای هم محور نیز وجود دارد، همچنین به نظر می‌رسد امکان تعویض سیستم مورد نظر، پس از خرابی نیز به راحتی امکان پذیر بوده و از هزینه کم و سرعت بالایی برخوردار باشند.

## مراجع

- 1-j. w. ,butterworth, 1999, seismic damage limitation in steel frames using friction energy dissipaters, 6<sup>th</sup> international conference on steel and space structures, 2-3 september.
- 2- s. p. timoshenko. "theory of elastic stability" 2<sup>nd</sup> edition., Mc Graw-Hill, 1982.