



## بررسی و مدل سازی تاثیر پارامترهای جنس، قطر، بارگذاری و زاویه داخلی اعضای خرپا در تغییر مکان گره های آن

مهدی عباسی<sup>۱</sup>، رامین مشک آبادی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

<sup>۲\*</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران (r-meshkabadi@iau-ahar.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۶/۲۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۱/۰۸)

### چکیده

خرپاها مجموعه‌ای از اعضا هستند که همگی در یک صفحه قرار داشته و ترکیب آنها یک شبکه مثلثی ایجاد نماید. با توجه به اینکه در خرپاها فرض می‌شود که اعضا در انتهای خود به اعضای دیگر لولا شده‌اند بنابراین شکل مثلثی تنها شکل پایدار خواهد بود. در این تحقیق به بررسی تاثیر تغییر زوایای داخلی خرپا، مدول الاستیسیته اعضای خرپا، نیروهای وارد بر خرپا و همچنین قطر اعضای خرپا بر تغییر مکان گره های خرپا پرداخته شده است. بدین منظور تعداد ۴۵ مدل جهت بررسی، در نرم افزار  $\Sigma/w$  مدلسازی و تحلیل شده است. نتایج تحلیل بیانگر این مطلب می باشد که مصالح با مدول الاستیسیته کمتر تغییر مکان افقی و قائم بیشتری را خواهند داشت، همچنین تغییر مکان افقی تکیه گاه با ۲ درجه آزادی بیشتر از تغییر مکان تکیه گاه با ۱ درجه آزادی می‌باشد.

### کلمات کلیدی

خرپا، پایداری، زاویه داخلی، مدول الاستیسیته، قطر، تغییر مکان گره.



# Study of Material, Diameter, Loading and Internal Angles Effects on Joints Displacements in Truss Members

Mehdi Abbasi <sup>1</sup>, Ramin Moshkabadi <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran. (r-meshkabadi@iau-ahar.ac.ir)

(Date of received: 12/09/2018, Date of accepted: 28/01/2019)

## ABSTRACT

Trusses is one of most usable structures in engineering. Truss is combination of bar elements created. Triangle shape is most stable possible are formed by bar elements in truss. In this research, effects of variations in internal angles, elastic modulus, diameters and loading on truss members and displacement in joints were evaluated. For this purpose, 45 models in Sigma/w analyzed. Results of present study showed that with decreasing elastic modulus in members, vertical and horizontal displacement in joints increase. Also, horizontal displacement in supports with two freedom degree is more than supports including one freedom degree.

## Keywords:

Truss, Stability, Angle, Elastic modulus, Diameter, Joint displacement.



## ۱- مقدمه

خرپاها برای تحمل بار طراحی می شوند و معمولا سازه های ساکن و کاملا مقیدند. خرپاها صرفا از اعضای مستقیم تشکیل می شوند که در مفصل های واقع در دو سر عضو به هم متصل شده اند. بنابراین عضوهای هر خرپا عضوهای دو نیرویی اند، یعنی عضوهایی هستند که دو نیروی برابر و در خلاف جهت، که هر دو در امتداد همان عضو قرار دارند بر آنها وارد می شود. بیشتر سازه های واقعی از اتصال چندین خرپا به هم ساخته می شوند و در مجموع یک قاب فضایی را تشکیل می دهند. هر خرپا برای تحمل بارهایی که در صفحه آن اثر می کند طراحی می شود و می شود آن را یک سازه دو بعدی در نظر گرفت. به طور کلی عضوهای هر خرپا باریک اند و بار جانبی اندکی را می توانند تحمل کنند، بنابراین همه بارها باید به مفصل ها وارد شود و نه بر خود عضوها. وقتی قرار باشد بار متمرکزی بین دو مفصل وارد شود یا بار گسترده ای توسط خرپا تحمل شود، مانند خرپای پل، باید یک سیستم کف برای خرپا ایجاد کرد که توسط تیرهای عرضی و تیرهای کف، بار را به مفصل ها انتقال بدهد. سازه های فضایی نیز ترکیبی از خرپاها می باشد که عموما برای فضاها بزرگ مانند سالن های ورزشی و اجتماعات به کار برده می شوند. از مزایای این سیستم ها می توان به وزن کم، درجه نامعینی بالا، سختی زیاد، تولید ساده، عدم نیاز به جوش در محل و طرح های هندسی جذاب اشاره نمود. طراحی بهینه و اقتصادی خرپا به عنوان یکی از کاربردی ترین سازه های عمرانی، همواره مورد توجه بوده است. در تحقیقی به بررسی بهینه سازی وزن سازه خرپا تحت قیود تنش، سطح مقطع و ارتباط بین سطح مقاطع اعضا، تحت یک یا چند حالت بارگذاری استاتیکی پرداخته شده است [۱]. در تحقیقی روش بهینه سازی فراابتکاری جدیدی تحت عنوان الگوریتم مثلث بهینه گر برای پایین آوردن وزن سازه های خرپا ارائه شده است. نتایج آماری بدست آمده از بهینه سازی سازه های خرپا، قابلیت الگوریتم مثلث بهینه گر را جهت دستیابی به پاسخ های بهینه بهتر در مقایسه با روش های بهینه سازی دیگر نشان می دهد [۲]. در تحقیق دیگری چند راهکار برای تسریع بهینه یابی خرپا با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحت قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای ارائه شده است [۳]. پژوهشگران در پژوهشی الگوریتم گرده افشانی گل ها را برای کاهش وزن سازه های خرپا، شامل متغیرهای طراحی سایز، مورد استفاده قرار داده اند. نتایج بهینه سازی نشان دهنده این مطلب می باشد که روش ارائه شده امکان رقابت با الگوریتم های فراابتکاری را دارد [۴]. در تحقیقی دیگری به بررسی و مطالعه خرپاهای استفاده شده برای تقویت سقف در معادن محلی که توسط دو پیچ و مهره که در مقابل هم با زاویه ۴۵ درجه نصب شده اند پرداخته شده است [۵]. در تحقیقی یک تحلیل آزمایشگاهی بر روی خرپای چوبی هاو برای تخمین نیروهای وارده به جان تیر، انجام گرفته است. در این تحقیق برای تعیین کردن نیروهای جان، تست های بارگذاری آزمایشگاهی با استفاده از اندازه گیری کرنش و جابجایی بارها در مدلی که در یک هشتم مدل واقعی اجرا شده است انجام گرفته است. نتایج آزمایش نشان داد که جان تیر یک درصد کوچکی از بارهای اعمالی را انتقال می دهند که، دقیقا برعکس ملاحظات اخیر نویسنده می باشد که قسمتهایی از جان، اعضای با نیروی داخلی صفر می باشد [۶]. در تحقیقی یک مطالعه آزمایشگاهی را بر روی رفتار خرابی پیشرونده سازه خرپای دو بعدی ارائه نموده اند. در این مطالعه یک وسیله شکست عضو، با طراحی خاص ایجاد شده است، تا عضو سازه ای از پیش تعیین شده و مخصوصا عضو مورب مورد آزمایش را دچار شکست نماید. نتایج آزمایشگاهی در رابطه با تحلیل های عددی نشان داد که: (۱) خرپا با مفاصل مستقیم جوش داده شده (خرپای WJ) بعد از از دست دادن عضو به سرعت قادر بود که، تعادلش را مجددا به دست آورد، و ظرفیت توزیع مجدد بار اساسا توسط عملیات زنجیروار در وتر پایین، فراهم گردید. (۲) خرپا با مفاصل پین شده (PJ)، رفتاری تقریبا مشابه با خرپای WJ داشت. (۳) خرپا با مفاصل صلب (RJ) تجربه کماتش و خرابی پیشرونده در اعضای مورب را داشت و با اشاره به تاثیر زیان بار سختی بیش از حد مفاصل، به شدت آسیب دید [۷]. در تحقیق دیگری یک راه حل تحلیلی برای تحلیل سازه های خرپایی تحت بارهای قائم که شامل بارهای گسترده به صورت یکنواخت و یا متمرکز می باشد با در نظر گرفتن تاثیر تغییرات حرارتی ارائه کرده اند. نتایج بدست آمده بدین ترتیب است

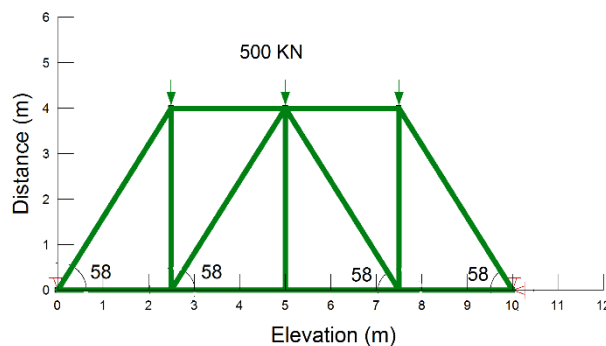


که، کاهش دما، تنش ها را تشدید می بخشد و مستعد خرابی‌های شدید می‌کند که به دلیل تغییر رفتار فولاد از رفتار شکل پذیر به رفتار شکننده می‌باشند.

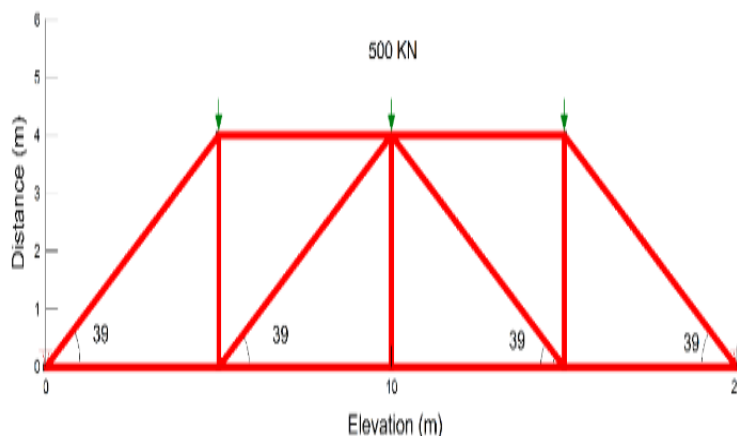
در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار Sigma/w از مجموعه نرم افزارهای گروه نرم افزاری Geo-Studio 2012 خرابی پرات را در یک طبقه و دو دهانه با مدول الاستیسیته، قطر و زوایای داخلی معین مدل کرده و سپس با تغییر هریک از پارامترهای مذکور، تاثیر تغییر هر یک از پارامترها را بر تغییر مکان گره های خرپا در جهت X و Y اندازه گیری کرده و با هم مقایسه می‌کنیم. جنبه نوآوری این تحقیق استفاده از نرم افزار Sigma/w جهت بررسی تغییر مکان گره های خرپا می‌باشد، که نرم افزاری بسیار ساده جهت محاسبات تغییر مکان و تنش می‌باشد.

## ۲- مواد و روش ها

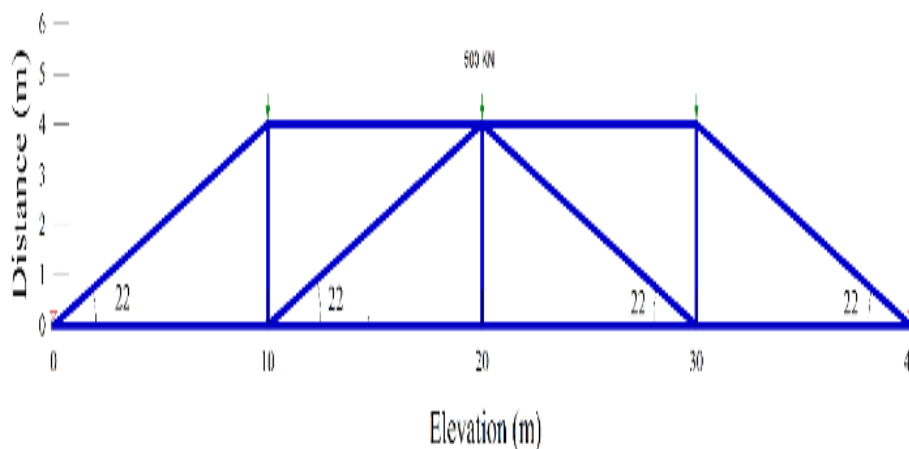
در این تحقیق خرابی پرات با ابعاد ارائه شده در شکل (۱) در حالت مبنا در نرم‌افزار Sigma/w از مجموعه نرم افزارهای Geo Studio 2012 جهت محاسبه تغییر مکان گره های پایینی خرپا مدل شده است. جهت بررسی تاثیر تغییر مدول الاستیسیته اعضای خرپا، خرپا از جنس چوب، آلومینیوم و فولاد به ترتیب با مدول الاستیسیته ۱۱، ۶۹ و ۲۰۰ گیگاپاسکال مدل شده است. در مرحله بعدی با تغییر زاویه اعضای مورد نظر از ۵۸ درجه به ۳۹، ۲۲، ۴۵، ۳۰ و ۶۰ درجه، تاثیر تغییر زوایای مورد نظر بر تغییر مکان افقی و قائم گره های خرپا بررسی شده است. همچنین با تغییر قطر اعضای خرپا از ۰،۵ به ۰،۳، ۰،۲ و ۰،۱ متر و تغییر نیروی وارده بر گره های مورد نظر از ۱۰۰ به ۲۰۰ و ۵۰۰ کیلونیوتن، تاثیر تغییر قطر و نیروی وارد بر گره ها بر تغییر مکان گره های خرپا ارائه شده است. در کل تعداد ۴۵ مدل جهت بررسی، مدلسازی و بررسی شده است. در اشکال (۱) الی (۳) به ترتیب مدل خرابی بررسی شده در نرم افزار Sigma/w به ازای زوایای مختلف ۵۸، ۳۹ و ۲۲ درجه و جنس های مختلف به کار رفته آلومینیوم، فولاد و چوب ارائه شده است.



شکل ۱: مدل خرابی پرات آلومینیومی با زاویه داخلی ۵۸ درجه.



شکل ۲: مدل خرابای پرات فولادی با زاویه داخلی ۳۹ درجه.

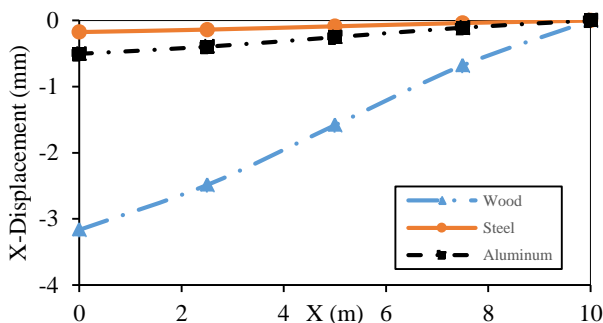


شکل ۳: مدل خرابای پرات چوبی با زاویه داخلی ۲۲ درجه.

### ۳- نتایج و بحث

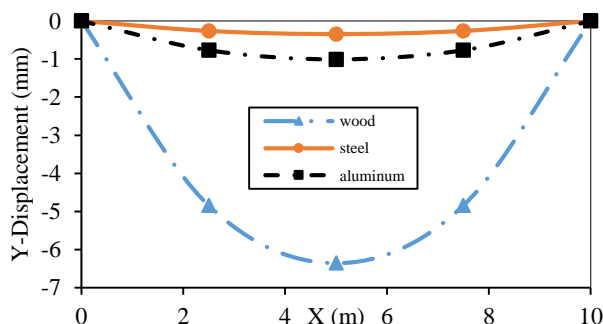
#### ۳-۱- مدل رگرسیونی

شکل (۴) بیانگر تغییر مکان گره های پایینی خرپا در جهت X به ازای مصالح مختلف چوب، فولاد St37 و آلومینیوم در حالی می باشد که قطر تیرها و ستون های خرپا ۰/۲ متر و نیروی وارده به گره های بالایی خرپا ۱۰۰ کیلونیوتن و زاویه  $\alpha$  مورد بحث ۵۸ درجه می باشد. همچنین مصالح دارای مقطع دایره ای می باشد. با توجه به شکل، هرچه مدول الاستیسیته مصالح بیشتر باشد، تغییر مکان افقی کمتری خواهد داشت و مصالح با مدول الاستیسیته کمتر، تغییر مکان بیشتری را خواهند داشت. با توجه به فرمول  $\delta = \frac{Pl^3}{48EI}$  می توان صحت جمله قبلی را تایید کرد، که در این فرمول P بار وارد بر گره، L طول تیر، E مدول الاستیسیته و I ممان اینرسی مقطع می باشد که می توان از این فرمول برای اثبات مطالب بعدی استفاده کرد. همچنین تغییر مکان تکیه گاه با ۲ درجه آزادی بیشتر از تغییر مکان تکیه گاه با ۱ درجه آزادی می باشد. همچنین میزان تغییر مکان گره های پایینی خرپای چوبی در جهت X در مقایسه با خرپای فولادی و آلومینیومی به ترتیب ۱۷/۶ و ۶/۳۲ برابر بیشتر می باشد.



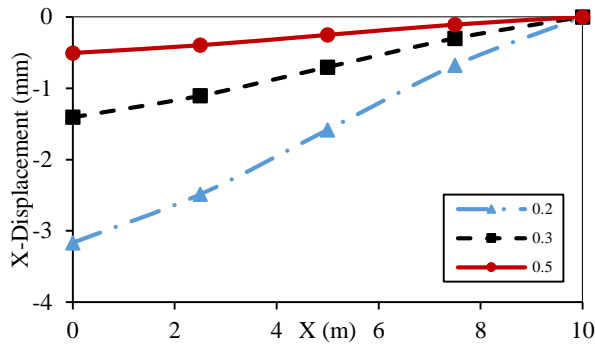
شکل ۴: تاثیر جنس اعضا در تغییر مکان افقی گره های خرپا.

شکل (۵) بیانگر تغییر مکان گره های پایینی خرپا در جهت Y به ازای مصالح مختلف چوب، فولاد St37 و آلومینیوم در حالی می باشد که قطر تیرها و ستون های خرپا ۰/۲ متر و نیروی وارده به گره های بالایی خرپا ۱۰۰ کیلونیوتن و زاویه  $\alpha$  مورد بحث ۵۸ درجه می باشد. همچنین مصالح دارای مقطع دایره ای می باشد. با توجه به شکل، هرچه مدول الاستیسیته مصالح بیشتر باشد، تغییر مکان افقی کمتری خواهد داشت و مصالح با مدول الاستیسیته کمتر، تغییر مکان بیشتری را خواهند داشت. همچنین تغییر مکان در مرکز شکل خرپا بیشتر از تکیه گاه های خرپا می باشد. قابل ذکر است که هر دو تکیه گاه خرپا دارای محدودیت حرکت در جهت قائم می باشند. همچنین میزان تغییر مکان گره های پایینی خرپای چوبی در جهت Y در مقایسه با خرپای فولادی و آلومینیومی به ترتیب ۱۸/۲ و ۶/۳ برابر بیشتر می باشد.

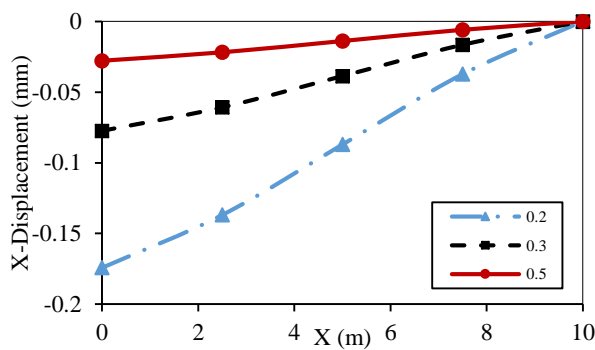


شکل ۵: تاثیر جنس اعضا در تغییر مکان قائم گره های خرپا.

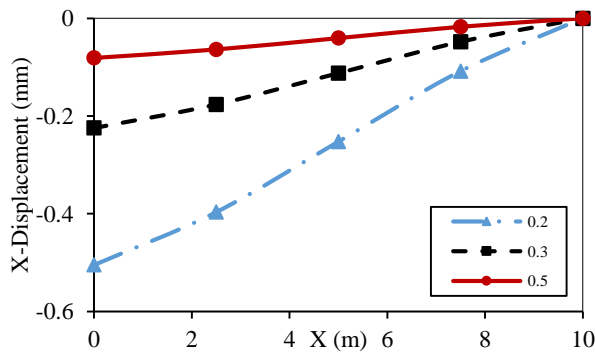
در اشکال (۶) الی (۸) به ترتیب تغییر مکان افقی گره های خرپا به ازای قطرهای مختلف ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ متر برای مصالح چوب، فولاد و آلومینیوم ارائه شده است. مطابق شکل ها با افزایش قطر تیر و ستون، تغییر مکان افقی گره های خرپا کاهش می یابد. مطابق فرمول  $\delta = \frac{Pl^3}{48EI}$  افزایش قطر اعضا باعث افزایش ممان اینرسی مقطع شده و با توجه به تاثیر کاهنده ممان اینرسی، هر قدر ممان اینرسی بیشتر، تغییر مکان کمتر خواهد شد. قابل ذکر می باشد که در صورت افزایش قطر مصالح از ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ متر برای چوب، تغییر مکان گره های خرپا در جهت X به ترتیب ۲/۲۵ و ۶/۳۲ برابر کاهش می یابد. این تغییر برای فولاد به ترتیب برابر ۲/۲۵ و ۹ برابر و برای آلومینیوم به ترتیب برابر ۲/۲۷ و ۶/۲۵ برابر می باشد. بنابراین بیشترین تغییر مکان افقی گره های خرپا به ازای تغییر قطر اعضا برای فولاد می باشد.



شکل ۶: تاثیر قطر اعضا بر تغییر مکان افقی گره‌های خرپای چوبی.



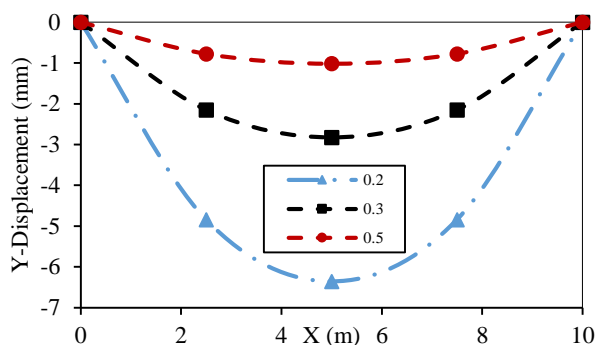
شکل ۷: تاثیر قطر اعضا بر تغییر مکان افقی گره‌های خرپای فولادی.



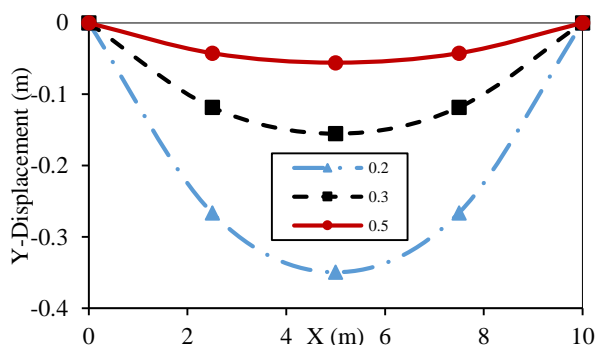
شکل ۸: تاثیر قطر اعضا بر تغییر مکان افقی گره‌های خرپای آلومینیومی.



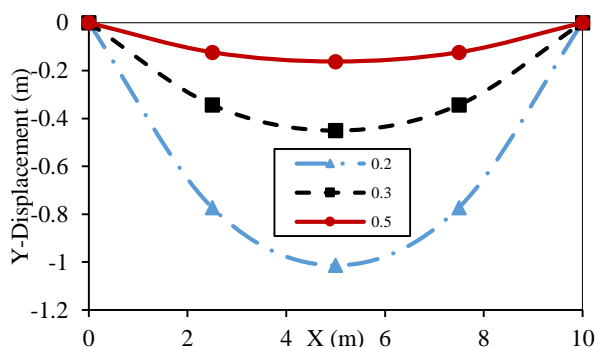
در اشکال (۹) الی (۱۱) به ترتیب تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای قطرهای مختلف ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ متر برای مصالح چوب، فولاد و آلومینیوم ارائه شده است. مطابق شکل ها با افزایش قطر تیر و ستون، تغییر مکان قائم گره های خرپا کاهش می یابد. قابل ذکر می باشد که در صورت افزایش قطر مصالح از ۰/۲ به ۰/۳ و ۰/۵ متر برای چوب، تغییر مکان قائم گره های خرپا در جهت Y به ترتیب ۲/۲۵ و ۶/۲۶ برابر کاهش می یابد. این تغییر برای فولاد به ترتیب برابر ۲/۲ و ۵/۵ برابر و برای آلومینیوم به ترتیب برابر ۲/۲۸ و ۶/۴ برابر می باشد. بنابراین بیشترین تغییرات تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای تغییر قطر اعضا برای آلومینیوم می باشد.



شکل ۹: تاثیر قطر اعضا بر تغییر مکان قائم گره های خرپای چوبی.



شکل ۱۰: تاثیر قطر اعضا بر تغییر مکان قائم گره های خرپای فولادی.

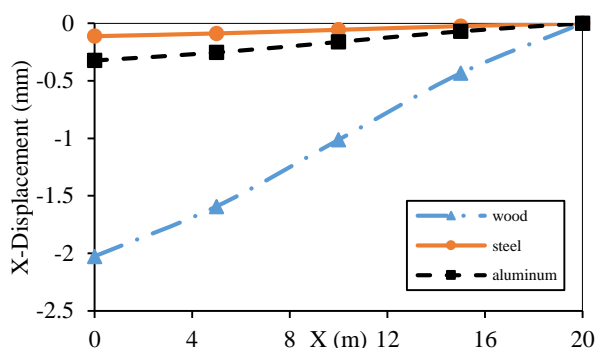


شکل ۱۱: تاثیر قطر اعضا بر تغییر مکان قائم گره های خرپای آلومینیومی.

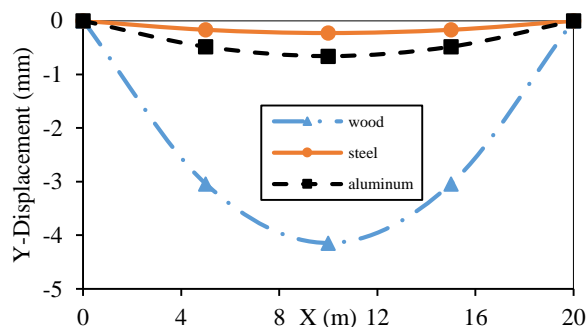




شکل (۱۲) بیانگر تغییر مکان گره های پایینی خرپا در جهت  $X$  به ازای مصالح مختلف چوب، فولاد St37 و آلومینیوم در حالی می باشد که قطر تیرها و ستون های خرپا  $۰/۵$  متر و نیروی وارده به گره های بالایی خرپا  $۱۰۰$  کیلو نیوتن و زاویه  $\alpha$  مورد بحث  $۳۹$  درجه می باشد. همچنین مصالح دارای مقطع دایره ای می باشد. با توجه به شکل ، هرچه مدول الاستیسیته مصالح بیشتر باشد، تغییر مکان افقی کمتری خواهد داشت و مصالح با مدول الاستیسیته کمتر، تغییر مکان بیشتری را خواهند داشت. همچنین تغییر مکان در محل تکیه گاه غلتکی بیشتر از محل تکیه گاه مفصلی می باشد. همچنین میزان تغییر مکان افقی گره های پایینی خرپای چوبی در جهت  $X$  در مقایسه با خرپای فولادی و آلومینیومی به ترتیب  $۱۸/۴۵$  و  $۶/۳۴$  برابر بیشتر می باشد. همچنین در شکل (۱۳) که بیانگر تغییر مکان گره های پایینی خرپا در جهت  $Y$  به ازای مصالح مختلف چوب، فولاد St37 و آلومینیوم می باشد قابل بیان است که میزان تغییر مکان قائم گره های پایینی خرپای چوبی در جهت  $Y$  در مقایسه با خرپای فولادی و آلومینیومی به ترتیب  $۱۸/۲۸$  و  $۶/۲۴$  برابر بیشتر می باشد. همچنین تغییر مکان گره های وسط خرپا بیشتر از تغییر مکان گره های خرپا می باشد.



شکل ۱۲: تاثیر جنس اعضا در تغییر مکان افقی گره های خرپا (قطر  $۰/۵$  متر و زاویه  $۳۹$  درجه).

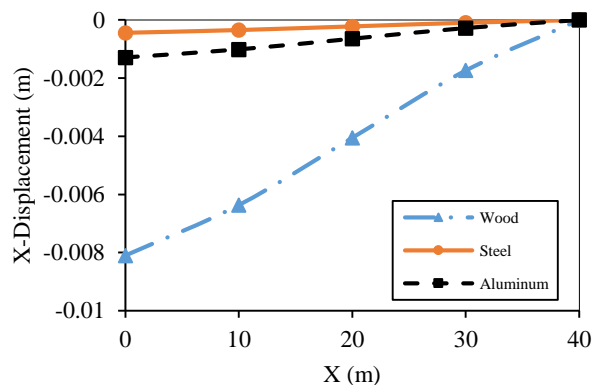


شکل ۱۳: تاثیر جنس اعضا در تغییر مکان قائم گره های خرپا (قطر  $۰/۵$  متر و زاویه  $۳۹$  درجه).

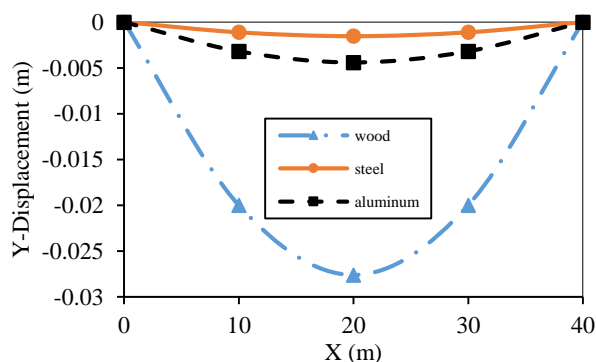
شکل (۱۴) بیانگر تغییر مکان گره های پایینی خرپا در جهت  $X$  به ازای مصالح مختلف چوب، فولاد St37 و آلومینیوم در حالی می باشد که قطر تیرها و ستون های خرپا  $۰/۵$  متر و نیروی وارده به گره های بالایی خرپا  $۱۰۰$  کیلو نیوتن و زاویه  $\alpha$  مورد بحث  $۲۲$  درجه می باشد. همچنین مصالح دارای مقطع دایره ای می باشد. با توجه به شکل ، هرچه مدول الاستیسیته مصالح بیشتر باشد، تغییر مکان افقی کمتری خواهد داشت و مصالح با مدول الاستیسیته کمتر، تغییر مکان بیشتری را خواهند داشت. همچنین تغییر مکان در محل تکیه گاه غلتکی بیشتر از محل تکیه گاه مفصلی می باشد. همچنین میزان تغییر مکان افقی گره های پایینی خرپای چوبی در جهت  $X$  در مقایسه با خرپای فولادی و آلومینیومی به ترتیب  $۱۸/۲۱$  و  $۶/۲۸$  برابر بیشتر می باشد. همچنین در



شکل (۱۵) که بیانگر تغییر مکان گره های پایینی خرپا در جهت  $Y$  به ازای مصالح مختلف چوب، فولاد St37 و آلومینیوم می باشد قابل بیان است که میزان تغییر مکان قائم گره های پایینی خرپای چوبی در جهت  $Y$  در مقایسه با خرپای فولادی و آلومینیومی به ترتیب ۱۸/۱۷ و ۶/۲۷ برابر بیشتر می باشد. همچنین تغییر مکان گره های وسط خرپا بیشتر از تغییر مکان گره های خرپا می باشد.

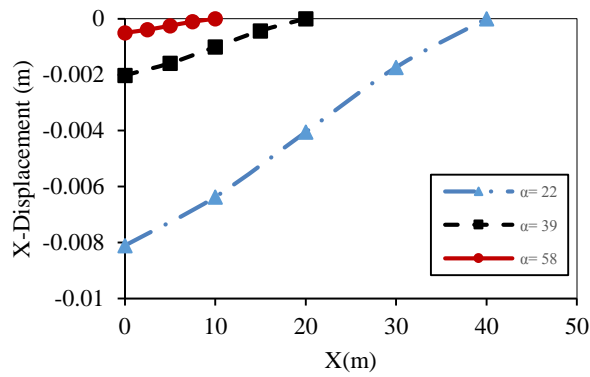


شکل ۱۴: تاثیر جنس اعضا در تغییر مکان افقی گره های خرپا (قطر ۵/۵ متر و زاویه ۲۲ درجه).

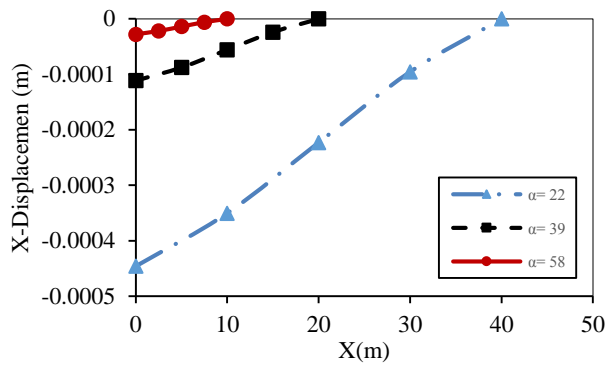


شکل ۱۵: تاثیر جنس اعضا در تغییر مکان قائم گره های خرپا (قطر ۵/۵ متر و زاویه ۲۲ درجه).

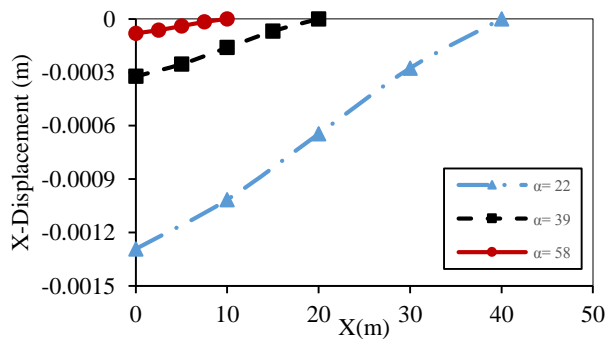
در اشکال (۱۶) الی (۱۸) به ترتیب تغییر مکان افقی گره های خرپا به ازای زوایای مختلف ۵۸، ۳۹ و ۲۲ درجه برای مصالح چوب، فولاد و آلومینیوم ارائه شده است. مطابق نمودارها با افزایش زاویه مورد نظر، تغییر مکان افقی گره های خرپا کاهش می یابد. قابل ذکر می باشد که در صورت کاهش زاویه مورد نظر از ۵۸ درجه به ۳۹ و ۲۲ درجه برای چوب، تغییر مکان افقی گره های خرپا در جهت  $X$  به ترتیب ۸/۱۲ و ۶۴/۸۴ برابر افزایش می یابد. این تغییر برای فولاد به ترتیب برابر ۱۱ و ۸۹ برابر و برای آلومینیوم به ترتیب برابر ۸ و ۶۴/۵ برابر می باشد. بنابراین بیشترین و کمترین تغییرات تغییر مکان افقی گره های خرپا به ازای تغییر زاویه اعضا برای خرپای فولادی و آلومینیومی می باشد.



شکل ۱۶: تغییر مکان افقی گره‌های خربای چوبی در زوایای مختلف.



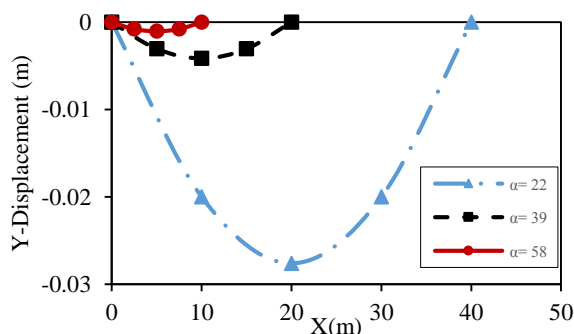
شکل ۱۷: تغییر مکان افقی گره‌های خربای فولادی در زوایای مختلف.



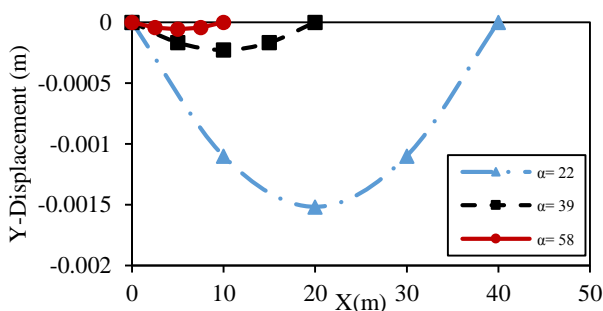
شکل ۱۸: تغییر مکان افقی گره‌های خربای آلومینیومی در زوایای مختلف.



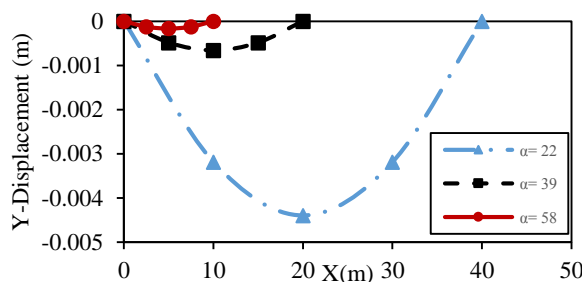
در اشکال (۱۹) الی (۲۱) به ترتیب تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای زوایای مختلف ۵۸، ۳۹ و ۲۲ درجه برای مصالح چوب، فولاد و آلومینیوم ارائه شده است. مطابق نمودارها با افزایش زاویه مورد نظر، تغییر مکان قائم گره های خرپا کاهش می یابد. قابل ذکر می باشد که در صورت کاهش زاویه مورد نظر از ۵۸ درجه به ۳۹ و ۲۲ درجه برای چوب، تغییر مکان قائم گره های خرپا در جهت Y به ترتیب ۸ و ۱۰۵/۵۹ برابر افزایش می یابد. این تغییر برای فولاد به ترتیب برابر ۷ و ۹۳ برابر و برای آلومینیوم به ترتیب برابر ۸/۲ و ۱۰۷/۷ برابر می باشد. بنابراین بیشترین و کمترین تغییرات تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای تغییر زاویه اعضا به ترتیب برای خرپای آلومینیومی و فولادی می باشد.



شکل ۱۹: تغییر مکان قائم گره های خرپای چوبی در زوایای مختلف.



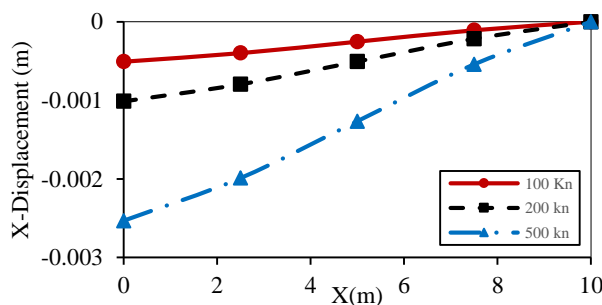
شکل ۲۰: تغییر مکان قائم گره های خرپای فولادی در زوایای مختلف.



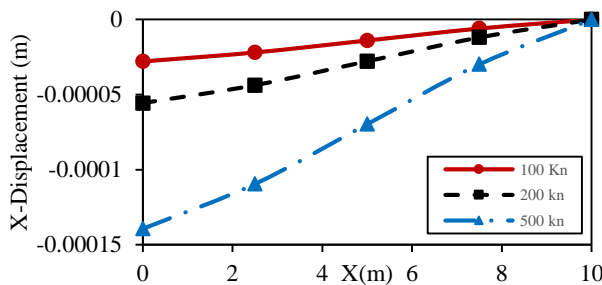
شکل ۲۱: تغییر مکان قائم گره های خرپای آلومینیومی در زوایای مختلف.



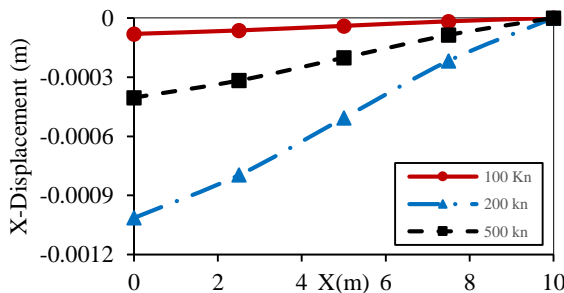
در اشکال (۲۲) الی (۲۴) به ترتیب تغییر مکان افقی گره های خرپا به ازای بارهای مختلف وارده به گره های خرپا به میزان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ کیلونیوتن برای مصالح چوب، فولاد و آلومینیوم ارائه شده است. مطابق نمودارها با افزایش بار وارده، تغییر مکان افقی گره های خرپا افزایش می یابد. قابل ذکر می باشد که در صورت افزایش بار وارده از ۱۰۰ به ۲۰۰ و ۵۰۰ کیلونیوتن، برای چوب، تغییر مکان قائم گره های خرپا در جهت X به ترتیب  $2/04$  و  $5/08$  برابر افزایش می یابد. این تغییر برای فولاد به ترتیب برابر ۳ و ۷ برابر و برای آلومینیوم به ترتیب برابر  $12/75$  و  $32$  برابر می باشد. بنابراین بیشترین و کمترین تغییرات تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای تغییر بار وارده به ترتیب برای خرپای آلومینیومی و چوبی می باشد.



شکل ۲۲: تغییر مکان افقی گره های خرپای چوبی در بارگذاری مختلف.



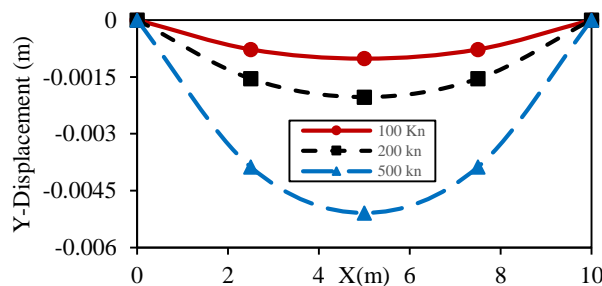
شکل ۲۳: تغییر مکان افقی گره های خرپای فولادی در بارگذاری مختلف.



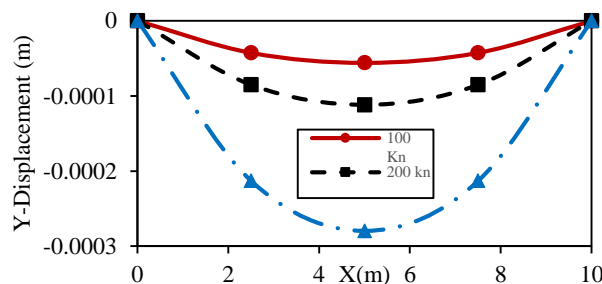
شکل ۲۴: تغییر مکان افقی گره های خرپای آلومینیومی در بارگذاری مختلف.



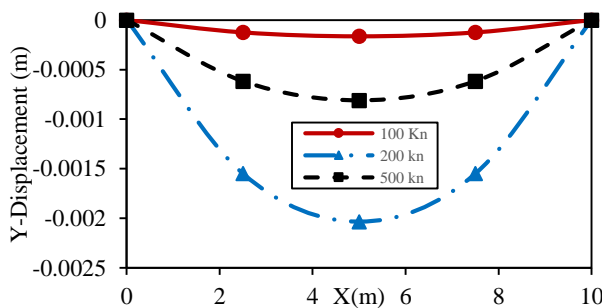
در اشکال (۲۵) الی (۲۷) به ترتیب تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای بارهای مختلف وارده به گره های خرپا به میزان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ کیلونیوتن برای مصالح چوب، فولاد و آلومینیوم ارائه شده است. مطابق نمودارها با افزایش بار وارده، تغییر مکان قائم گره های خرپا افزایش می یابد. قابل ذکر می باشد که در صورت افزایش بار وارده از ۱۰۰ به ۲۰۰ و ۵۰۰ کیلونیوتن، برای چوب، تغییر مکان قائم گره های خرپا در جهت  $X$  به ترتیب ۲ و ۵ برابر افزایش می یابد. این تغییر برای فولاد به ترتیب برابر ۱/۷۵ و ۴/۵ برابر و برای آلومینیوم به ترتیب برابر ۲ و ۵ برابر می باشد. بنابراین کمترین تغییرات تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای تغییر بار وارده برای خرپای فولادی بوده و خرپای چوبی و آلومینیومی دارای تغییرات یکسانی می باشد.



شکل ۲۵: تغییر مکان قائم گره های خرپای چوبی در بارگذاری مختلف.



شکل ۲۶: تغییر مکان قائم گره های خرپای فولادی در بارگذاری مختلف.



شکل ۲۷: تغییر مکان قائم گره های خرپای آلومینیومی در بارگذاری مختلف.



#### ۴- جمع بندی و نتیجه گیری

هرچه مدول الاستیسیته مصالح بیشتر باشد، تغییر مکان افقی و قائم کمتری خواهد داشت و مصالح با مدول الاستیسیته کمتر، تغییر مکان افقی و قائم بیشتری را خواهند داشت. تغییر مکان افقی تکیه گاه با ۲ درجه آزادی بیشتر از تغییر مکان تکیه گاه با ۱ درجه آزادی می باشد. در محاسبه تغییر مکان قائم اعضای خرپا، تغییر مکان در مرکز شکل خرپا بیشتر از تکیه گاه های خرپا می باشد. قابل ذکر است که هر دو تکیه گاه خرپا دارای محدودیت حرکت در جهت قائم می باشند. با افزایش قطر تیر و ستون، تغییر مکان افقی گره های خرپا کاهش می یابد. با افزایش قطر تیر و ستون، تغییر مکان قائم گره های خرپا کاهش می یابد. همچنین تغییر مکان گره های وسط خرپا بیشتر از تغییر مکان گره های خرپا می باشد. با افزایش زاویه داخلی، تغییر مکان افقی گره های خرپا کاهش می یابد. با افزایش زاویه مورد نظر، تغییر مکان قائم گره های خرپا کاهش می یابد. کمترین تغییرات تغییر مکان قائم گره های خرپا به ازای تغییر بار وارده برای خرپای فولادی بوده و خرپای چوبی و آلومینیومی دارای تغییرات یکسانی می باشد.

#### ۵- مراجع

- ۱- فرشی، ب و علی نیا زبازی، ع.، ۱۳۹۰، به کارگیری روش نیرو و روش مرکزها در بهینه سازی وزن خرپاها، مجله مهندسی مکانیک شریف، سال بیست و هفتم، شماره ۲.
- ۲- قدوسیان، ع و نیکوبین، ا و ریاحی، م.، ۱۳۹۵، بهینه سازی اندازه و شکل سازه های خرپا با روش بهینه سازی الگوریتم مثلث بهینه گر، فصلنامه مدل سازی در مهندسی، شماره ۴۶.
- ۳- کاوه، ع و کلات جاری، و و منصوریان، پ.، ۱۳۹۲، بهینه یابی سریع خرپا با استفاده از الگوریتم ژنتیک موازی تحت قید قابلیت اعتماد با بهبود روش جبری نیروها و هوش مصنوعی، نشریه مهندسی عمران، سال بیست و چهارم، شماره ۲.
- 4- Bekdas, G., Nigdeli, S. and Yang, X., 2015, **Sizing optimization of truss structures using flower pollination algorithm**, Applied Soft Computing, 37, 322–331.
- 5- David, G. and Morsy, M., 2016, Vertical load capacities of roof truss cross members, **International Journal of Mining Science and Technology**, 26, 517–520.
- 6-Islam, A. and Phillips, D., 2017, **an experimental analysis of a timber Howe truss**, Engineering Structures, 10, 39-48.
- 7- Zhao, X., Yan, Sh., Chen, Y., Xu, Zh. and Lu, Y., 2017, **Experimental study on progressive collapse-resistant behavior of planar trusses**, Engineering Structures, 135, 104-116.