فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۳، ۱۳۹۷، صفحه: ۱-۱۰

تحلیل آماری تاثیر پارامترهای موثر در تغییر مکان گره های خرپای پرات و ارائه مدلی مناسب برای پیش بینی آن

مهدی عباسی[۱]، رامین مشک آبادی*[۲]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

[*۲] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران (r-meshkabadi@iau-ahar.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۲/۱۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۹/۱۰)

چکیده

خرپاها یکی از پرکاربردترین سازه‌های مهندسی می‌باشند که از ترکیب المان‌های میله‌ای بوجود آمده و شکل مثلث را که پایدارترین شکل ممکن خرپا می‌باشد تشکیل می‌دهند. در این تحقیق با استفاده از تحلیل‌های آماری، تاثیر هر یک از پارامترهای جنس، قطر المان‌ها، نیروی وارده به گره‌های خرپا و ترکیب زاویه داخلی بر تغییر مکان قائم و افقی گره‌های خرپای پرات بررسی شده است. برای این منظور تعداد ۴۵ مدل، در نرم افزار **Sigma/w** مدلسازی و تحلیل شده است، براساس نتایج حاصل، تحلیل آماری بر روی داده‌ها با استفاده از نرم افزار **SPSS** صورت گرفته و پیوستگی هر یک از پارامترهای مذکور با تغییر مکان گره‌ها بررسی شده و رابطه‌ای برای تخمین حداکثر جابجایی گره‌های خرپا ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می دهند که در حالت تک پارامتری، سناریویی با ترتیب عناصرقطر ، مدول الاستیسیته و زاویه بین المان‌ها، جواب‌های به مراتب بهتری نسبت به سناریویی با پارامتر نیروی وارد بر اعضا ارائه می‌دهد و براساس نتایج آزمون پیرسون، ماکزیمم جابجایی با پارامترهای قطر، مدول الاستیسیته، نیروی وارده و زاویه بین اعضا ارتباط مستقیم و خطی دارد.

کلمات کلیدی

خرپا، پایداری، زاویه، مدول الاستیسیته، تحلیل آماری.

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۳، ۱۳۹۷، صفحه: ۱-۱۰

Statistical Analysis of Effective Parameters on Displacement Joints in Pratt Truss and Providing an Appropriate Model for Predict

Mehdi Abbasi [1], Ramin Moshkabadi [2]*

[1] M.Sc. of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

[2]Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran. (r-meshkabadi@iau-ahar.ac.ir)*

Date of received: 04/05/2018, Date of accepted: 01/12/2018

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, with using statistical analyses methods effects of per parameters such as material, diameter of bar, applied force to joints, combination of interior angles in vertical and horizontal displacement in Pratt truss have been evaluated. For this purpose, 45 models in Sigma/w analyzed. Then, statistical analyses on data's by using SPSS program have been performed and continuity of parameters with considering of displacement in joints was evaluated. In finally, a relationship for estimation of maximum displacement in joints of truss has proposed. Results of this study showed that in single parameter mode, a scenario with combination bar diameter, elastic modulus and angles between elements results much better than scenario with considering force in joints. According to results of Pearson test it can be explained that maximum displacement in joints have liner direct relationship with diameter, elastic modulus, applied force and angle between elements.

Keywords:

Truss, Stability, Angle, Elastic modulus, Statistical analyses.

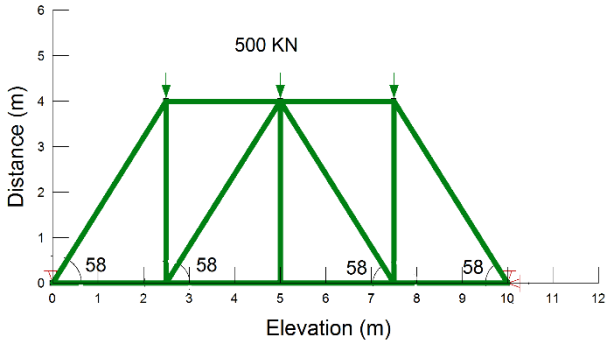
۱- مقدمه

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 می‌توانند 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 مفصل‌ها انتقال بدهد. سازه‌های فضایی نیز ترکیبی از خرپاها می باشد که عموما برای فضاهای بزرگ مانند سالن‌های ورزشی و اجتماعات به کار برده می‌شوند. از مزایای این سیستم‌ها می‌توان به وزن کم، درجه نامعینی بالا، سختی زیاد، تولید ساده، عدم نیاز به جوش در محل و طرح‌های 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 دیگر 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 پاسخ‌های بهینه بهتر در مقایسه با روش‌های 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 گل‌ها 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 سازه‌ای 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 کمانش 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 سازه‌های خرپایی تحت بارهای قائم که شامل بارهای گسترده به صورت یکنواخت و یا متمرکز می‌باشد با در نظر گرفتن تاثیر تغییرات حرارتی ارائه کرده‌اند. نتایج بدست آمده بدین ترتیب است

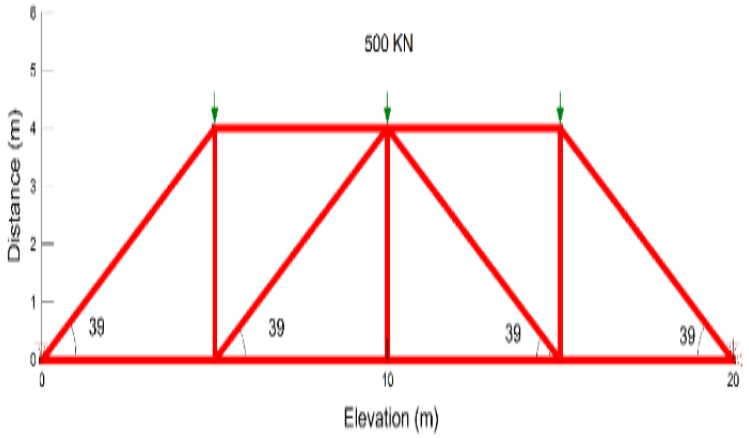
که، کاهش دما، تنش ها را تشـدید می بخشد و مستعد خرابی‌های شدید می‌کند که به دلیل تغییر رفتار فولاد از رفتار شکل پذیر به رفتار شـــکننده می باشـــند. در این تحقیق، با اســـتفاده از نرم افزار Sigma/w از مجموعه نرم افزارهای گروه نرم افزاری Geo-Studio 2012 خرپای پرات را در یک طبقه و دو دهانه با مدول الاســتیســیته، قطر و زوایای داخلی معین مدل کرده و ســپس با تغییر هریـک از پـارامترهـای مـذکور، تاثیر تغییر هر یک از پارامترها را بر تغییر مکان گره های خرپا در جهت X و Y اندازه گیری کرده و با هم مقایســه می‌کنیم. در ادامه تحلیلی آماری از بررسی تاثیر پارامترهای مذکور در میزان تغییر مکان افقی و قائم گره های خرپا صورت گرفته و مدل های مناسب برای پیش‌بینی رفتار تغییر شکل بررسی و ارائه گردیده است.

۲- مواد و روش ها

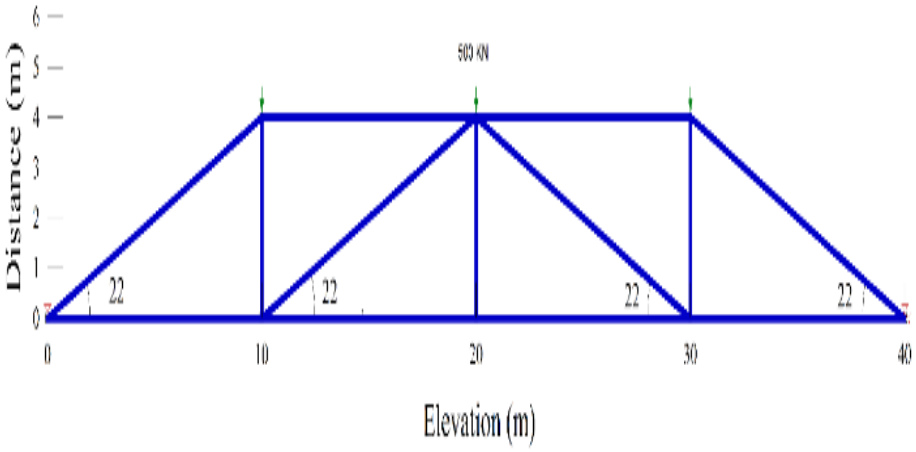
در این تحقیق خرپای پرات با ابعاد ارائه شده در اشکال (۱) الی (۳) در حالت مبنا در نرم‌افزار Sigma/w از مجموعه نرم افزارهای Geo Studio 2012 جهت محاسبه تغییر مکان گره های پایینی خرپا مدل شده است. جهت بررسی تاثیر تغییر مدول الاستیسیته اعضای خرپا، خرپا از جنس چوب، آلومینیوم و فولاد به ترتیب با مدول الاستیسیته 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 خرپای 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 خرپای پرات آلومینیومی با زاویه داخلی ۵۸ درجه



شکل ۲: مدل خرپای پرات فولادی با زاویه داخلی ۳۹ درجه



شکل ۳: مدل خرپای پرات چوبی با زاویه داخلی ۲۲ درجه

در نهایت با استفاده از نتایج بدست آمده در تحلیل نرم افزاری، تحلیل آماری بر روی داده های مسئله صورت می‌گیرد. بدین منظور با استفاده از نرم افزار SPSS و تحلیل رگرسیونی، تحلیل رگرسیون خطی بر روی داده‌های موجود برای محاسبه ماکزیمم جابجایی گره ها در جهت قائم و افقی با استفاده از ترکیبات مختلف از داده‌های مسئله صورت گرفته و براساس نتایج R^2 و RMSE برای هر یک از ترکیبات پارامترها تصمیم گیری شده و ترکیبی که حداکثر R^2 با حداقل RMSE داشته باشد به عنوان ترکیب برتر شناخته شده و از این ترکیب جهت محاسبه ماکزیمم جابجایی‌ها استفاده خواهد شد. همچنین جهت بررسی نرمال بودن داده ها و ارتباط و همبستگی داده ها با هم، ابتدا آزمون کولموگروف اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن دادها انجام می گیرد، سپس با توجه به نرمال یا غیرنرمال بودن داده ها، به ترتیب با استفاده از آزمون پیرسون و اسپیرمن، همبستگی و ارتباط پارامترها با هم بررسی خواهد شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل رگرسیونی

در این بخش براساس نتایج بدست آمده از مدلسازی در نرم افزار Sigma/w به تحلیل آماری داده های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS پرداخته شده است. بدین ترتیب که با استفاده از مدل های رگرسیون خطی که با استفاده از سناریوهای مختلف ارائه شده اند به ارائه فرمول هایی جهت محاسبه ماکزیمم جابجایی در جهت قائم و افقی پرداخته شده است. بدین منظور با استفاده از ۱۵ سناریو مختلف که ترکیبات مختلفی از پارامترهای مستقل می‌باشد، ماکزیمم جابجایی در جهت X و Y محاسبه شده است، سپس براساس R^2 و RMSE مستخرج از تحلیل رگرسیون خطی حاصل از نرم افزار SPSS بهترین ترکیب پارامترها و فرمول بندی ارائه و انتخاب می‌شود. در جدول (۱) سناریوهای مختلف جهت محاسبه ماکزیمم جابجایی در جهات قائم و افقی به همراه R^2 و RMSE مربوطه ارائه شده است. مطابق جدول (۱)، کمترین ضریب تبیین مربوط به حالتی است که با استفاده از پارامتر نیروی وارد بر خرپا به محاسبه ماکزیمم جابجایی پرداخته می شود. حداکثر مقدار ضریب تبیین و حداقل میزان جذر میانگین مربعات خطا مربوط به حالتی می‌باشد که تمامی پارامترهای مستقل به همراه ماکزیمم جابجایی در جهت دیگر در محاسبات ماکزیمم جابجایی وارد شود، که این حالت، بهترین سناریو و فرمول می باشد. همچنین در حالت تک پارامتری، به ترتیب سناریو با عنصر قطر اعضا، مدول الاستیسیته اعضا و زاویه بین المان ها، جواب های به مراتب بهتری نسبت به سناریو با پارامتر نیروی وارد بر اعضا ارائه می دهد.

جدول ۱: سناریوهای محاسبه ماکزیمم جابجایی به ازای ترکیبات مختلف پارامترها

ردیف	سناریو	Max Dx		Max Dy	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
۱	D(قطر میله)	۰/۱۰۱	۰/۰۳۳۵	۰/۰۷۲	۰/۱۰۷۹
۲	P(نیروی وارد بر خرپا)	۰/۰۰۱	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۱۱۱
۳	α (زاویه خرپا)	۰/۱۴۸	۰/۳۲۳	۰/۱۶۱	۰/۱۰۱۵
۴	E(مدول الاستیسیته اعضا)	۰/۱۱۶	۰/۰۳۲۸	۰/۰۸۳	۰/۱۰۶۱
۵	D+P	۰/۱۰۱	۰/۰۳۳۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰۹۲
۶	D+E	۰/۲۱۳	۰/۰۳۱۷۴	۰/۱۵۱	۰/۱۰۴۵
۷	P+E	۰/۱۱۷	۰/۰۳۳۲	۰/۰۸۷	۰/۱۰۷۱
۸	α D +	۰/۲۴۲	۰/۰۳۰۸۳	۰/۲۴۲	۰/۰۲۴۱
۹	α p+	۰/۱۶۱	۰/۰۳۲۴۳	۰/۱۶۱	۰/۰۲۵۴
۱۰	αE+	۰/۲۶۴	۰/۰۳۰۳۷	۰/۲۶۴	۰/۰۲۳۸
۱۱	α D+p+	۰/۲۶۵	۰/۰۳۰۷۱	۰/۲۶۶	۰/۰۲۴
۱۲	D+p+E	۰/۲۱۶	۰/۰۳۱۷۴	۰/۲۱۶	۰/۰۲۴۸
۱۳	+Eα D+p+	۰/۳۸۲	۰/۰۲۸۵۳	۰/۳۸۲	۰/۰۲۲۳
۱۴	+E+ Max Δα D+p+	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۹۸۸	۰/۰۰۰۰۴

در جدول های (۲) و (۳) به ترتیب فرمول های مستخرج از نرم افزار SPSS براساس اطلاعات وارده از نرم افزار Sigma/w برای محاسبه ماکزیمم جابجایی در جهت X و Y ارائه شده است. قابل ذکر است که ماکزیمم جابجایی در جهت X و Y به ترتیب در مرکز خرپا و قید دارای ۲ درجه آزادی روی می دهد.

جدول ۲: فرمولاسیون ماکزیمم جابجایی در جهت X به اعضای ترکیبات مختلف پارامترها

حالت ترکیب	رابطه ارائه شده
۱۴	Max Dx= 1.126e-4-(1.204e-4*d)+(1.247e-7*p)-(1.126e-6*α)-(2.271e-13*E)+(1.276* Max Dy)
۱۳	Max Dx =-0.089+(0.061*D)-(4.226e-5*P)+(0.001*α)+(1.476e-10*E)
۱۲	Max Dx =-0.042+(0.059*D)-(2.117e-6*P)+ (1.476e-10*E)
۱۱	Max Dx =-0.075+(0.061*D)-(4.226e-*P)+(0.001*α)
۱۰	Max Dx =-0.074+ (0.001*α)+(1.476e-10*E)
۹	Max Dx =-0.060-(3.102e-5*P)+(0.001*α)
۸	Max Dx =-0.074+(0.058*D)+(0.001*α)
۷	Max Dx =-0.029+ (8.017e-6*P)+ (1.476e-10*E)
۶	Max Dx =-0.043+ (0.059*d)+ (1.471e-10*E)
۵	Max Dx =-0.029+ (0.06*d)- (7.951e-7*p)
۴	Max Dx =-0.028+ (1.476e-10*p)
۳	Max Dx =-0.06+ (0.001*α)
۲	Max Dx =-0.015+ (8.017e-6*p)
۱	Max Dx =-0.029+ (0.06*d)

جدول ۳: فرمولاسیون ماکزیمم جابجایی در جهت Y به اعضای ترکیبات مختلف پارامترها

حالت ترکیب	رابطه ارائه شده
۱۴	Max Dy =-8.854e-5+(0.784* Max Dx)+ (9.452e-5*D)- (9.785e-8*P) +(8.856e-7*α)+(1.784e-13*E)
۱۳	Max Dy =-0.07+(0.048*D)-(3.221e-5*P)+(0.001*α)+(1.158e-10*E)
۱۲	Max Dy =-0.033+(0.047*D)-(1.724e-6*P)+ (1.158e-10*E)
۱۱	Max Dy =-0.059+(0.048*D)-(3.321e-5*P)+(0.001*α)
۱۰	Max Dy =-0.058+ (0.001*α)+(1.158e-10*E)
۹	Max Dy =-0.047-(2.438e-5*P)-(0.001*α)
۸	Max Dy =-0.058+(0.045*D)+(0.001*α)
۷	Max Dy =-0.083+ (5.026e-5*P)+ (3.95e-10*E)

۶	Max Dy =-0.114+ (0.158*d)+ (3.936e-10*E)
۵	Max Dy =-0.083+ (0.157*d)+(2.731e-5*p)
۴	Max Dy =-0.074+ (3.95e-10*E)
۳	Max Dy =-0.19+ (0.003*α)
۲	Max Dy =-0.046+ (5.026e-5*p)
۱	Max Dy =-0.079+ (0.16*d)

۳-۲- آزمونهای آماری

جهت بررسی آماری داده‌ها با توجه به توزیع گسترده آنها، تعیین نوع توزیع داده‌ها و آزمون‌های لازم جهت این نوع پراکنش، انجام آزمون کولموگروف اسمیرنوف ضروری است.

جدول ۴: نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

پارامترها	تعداد داده	پارامترهای نرمال		کولموگروف اسمیرنوف Z	Pآماره آزمون
		متوسط	انحراف استاندارد		
Max Dy	۴۵۱	-۰/۱۰۹	۰/۰۲۷۱	۲/۳۰۴	۰/۰۰۰۰۴۸۸
Max Dx	۴۵	-۰/۱۳۹	۰/۰۳۴۶	۲/۳۰۶	۰/۰۰۰۰۴۸۲
E	۴۵	۹/۳۳×۱۰^{۷}	۷/۹۹×۱۰^{۷}	۱/۹۲	۰/۰۰۱
α	۴۵	۴۸/۰۶۶	۱۳/۷۹	۲/۴۴۴	۰/۰۰۰۰۱۳
P	۴۵	۱۶۶/۷	۱۳۶/۵	۲/۸۲۲	۰/۰۰۰۰۰۰۲۴۲
d	۴۵	۰/۲۵۳	۰/۱۴۸	۲/۲۱۹	۰/۰۰۰۱۰۵

مطابق جدول (۴)، به دلیل اینکه در پارامترهای ذکر شده در جدول مقدار Z>۰/۰۵ می‌باشد، توزیع داده‌ها نرمال بوده و برای تحلیل داده‌ها باید از آزمون‌های پارامتریک (پیرسون) استفاده کرد. در ادامه براساس نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنوف و به دلیل توزیع نرمال داده‌ها، از آزمون پارامتریک پیرسون جهت بررسی رابطه خطی بین دو متغیر کمی مرتبط با هم استفاده می شود. جدول (۵)، نتایج آزمون پیرسون را برای داده‌های موجود بیان می‌کند.

جدول ۵: نتایج آزمون پیرسون

		d	p	α	E
MaxD	Pearson Correlation (r)	۰/۳۱۵	۰/۰۳۲	۰/۳۸۴	۰/۳۴۱
	Sig. (p)	۰/۰۳۵	۰/۸۳۷	۰/۰۰۹	۰/۰۲۲

مطابق جدول (۵) که نتایج آزمون اسپیرمن را برای پارامترهای مستقل ذکر شده در محاسبات ارائه می دهد می توان بیان کرد که ماکزیمم جابجایی با پارامترهای قطر، مدول الاستیسیته، نیروی وارده و زاویه بین اعضا ارتباط مستقیم و خطی دارد، بدین معنی که با افزایش و کاهش هر کدام از پارامترهای مذکور، پارامتر ماکزیمم جابجایی نیز به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

براساس مدل های رگرسیونی که جهت محاسبه حداکثر جابجایی قائم و افقی در نرم افزار SPSS مدل شده است کمترین ضریب تبیین در بین مدل‌ها مربوط به حالتی می‌باشد که با استفاده از پارامتر نیروی وارد بر خرپا به محاسبه ماکزیمم جابجایی پرداخته شود. حداکثر مقدار ضریب تبیین و حداقل میزان جذر میانگین مربعات خطا مربوط به حالتی می‌باشد که تمامی پارامترهای مستقل به همراه ماکزیمم جابجایی در جهت دیگر در محاسبات ماکزیمم جابجایی وارد شود، که این حالت، بهترین سناریو و فرمول می باشد. همچنین در حالت تک پارامتری، به ترتیب سناریو با عنصر قطر اعضا، مدول الاستیسیته اعضا و زاویه بین المان ها، جواب های به مراتب بهتری نسبت به سناریو با پارامتر نیروی وارد بر اعضا ارائه می دهد. جهت بررسی آماری داده‌ها با توجه به توزیع گسترده آنها، تعیین نوع توزیع داده‌ها از نظر نوع پراکنش ضروری است. بدین منظور با استفاده از نتایج آزمون کولموگروف اسمیرنوف به تحلیل داده ها پرداخته شده است که آزمون مذکور بیانگر توزیع داده‌ها به صورت نرمال بوده که برای تحلیل داده‌ها باید از آزمون‌های پارامتریک (پیرسون) استفاده کرد. جهت بررسی رابطه خطی بین دو متغیر کمی مرتبط با هم با استفاده از نتایج آزمون پیرسون می توان کفت که ماکزیمم جابجایی با پارامترهای قطر، مدول الاستیسیته، نیروی وارده و زاویه بین اعضا ارتباط مستقیم و خطی دارد، بدین معنی که با افزایش و کاهش هر کدام از پارامترهای مذکور، پارامتر ماکزیمم جابجایی نیز به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت.

۵- مراجع

[۱]- فرشی، ب و علی نیا زیازی، 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 & Yang, X., 2015, **Sizing optimization of truss structures using flower pollination algorithm,** Applied Soft Computing, 37, 322–331.

[5]- David, G & 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**, Structures, Volume 10, Pages 39-48.

[7]-Zhao, X and Yan, Sh and Chen, Y and Xu, Zh and Lu, Y., 2017, **Experimental study on progressive collapse-resistant behavior of planar trusses**, Engineering Structures, Volume 135, Pages 104-116.