

## تعیین موقعیت بهینه مهاربازویی و کمر بند خربایی در سازه های بلند مرتبه با سطح مقطع غیر- یکنواخت

حمید رئیسی<sup>۱</sup>، محسن ملکی نژاد شهر بابکی<sup>۲،۳\*</sup> و رضا رهگذر<sup>۴</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۳	<p>در این مقاله، رفتار سازه های بلند با سیستم ترکیبی قاب محیطی و هسته مرکزی همراه با مهار بازویی و کمر بند خربایی با احتساب تغییرات ممان اینرسی قاب محیطی در ارتفاع مورد بررسی قرار گرفته و محل بهینه سیستم مهار بازویی و کمر بند خربایی در ارتفاع سازه ارائه شده است. سازه قاب محیطی و هسته مرکزی تحت بارهای جانبی بر اساس روش پیوسته با یک تیر طره با مقطع قوطی شکل مدل شده است. اثر مهار بازویی و کمر بند خربایی بر روی هسته مرکزی به صورت فنر پیشگی در محل قرار گیری سیستم مهار بازویی و کمر بند خربایی در ارتفاع سازه در نظر گرفته شده است. با استفاده از قضایای لنگر سطح و اصل رویهم- گذاری، روابطی جهت محاسبه تغییر شکل های سازه بدست آمده و سپس با در نظر گرفتن اثری سیستم معادل بر اساس تغییر شکل های بدست آمده، موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خربایی در سازه بلند با سیستم ترکیبی قاب محیطی و هسته مرکزی همراه با مهار بازویی و کمر بند خربایی تحت بار گسترده مثلثی بر اساس حداکثر نمودن انرژی جذب شده توسط فنر معادل با در نظر گرفتن تغییرات ممان اینرسی ستون های خارجی در ارتفاع سازه محاسبه شده است. همچنین گرافی جهت تعیین موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خربایی با احتساب تغییرات ممان اینرسی قاب محیطی تحت بار گسترده مثلثی پیشنهاد شده است. صحت و کارایی روش پیشنهادی با استفاده از یک مثال عددی برای ساختمان فولادی و مقایسه با روش های ارائه شده توسط سایر محققین و همچنین نتایج حاصل از آنالیز کامپیوتری نرم افزار SAP2000، بررسی شده است. نتایج بیانگر دقت قابل قبول روش پیشنهادی می باشد. بر اساس نتایج بدست آمده، موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خربایی در سازه بلند تحت بار گسترده مثلثی با سیستم ترکیبی مذکور، در محدوده میانی ارتفاع سازه قرار دارد.</p>
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸	
واژگان کلیدی:	
سازه بلند، قاب محیطی، هسته مرکزی، مهار بازویی و کمر بند خربایی، تغییرات سطح مقطع، موقعیت بهینه.	

۱-مقدمه

زمین به نحو مطلوبی استفاده گردد. ساختمان های بلند

با توجه به افزایش جمعیت در شهرها لازم است که از یک راه حل اقتصادی برای اقرار سازه های مسکونی،

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: malekinejad@eng.uk.ac.ir

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران.

۳. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شهر بابک، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر بابک، ایران.

۴. استاد، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تجاری، ادارات و غیره در یک وسعت کم از زمین می‌باشد که می‌تواند علاوه بر جلوه زیبایی خود، به برنامه ریزان شهری نیز کمک بسزایی نماید. هدف از ایجاد ساختمان‌های بلند، استفاده از فضای بیشتر به منظور پاسخگویی به نیازهای مختلف شهروندان است. این مورد ضمن صرفه‌جویی در مصرف زمین و تسهیم قیمت آن به نسبت استفاده‌کنندگان، راه حلی در جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه زمین، مقابله با کمبود آن و گسترده شدن سطوح شهری محسوب می‌شود. پس از در نظر گرفتن کلیه جوانب ایجاد یک سازه بلند، بایستی سیستم سازه‌ای مناسبی برای ساختمان تعیین گردد. یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی طراحان انتخاب نوع سیستم مقاوم تحت بارهای اعمال شده به ساختمان است. لازم است که طراح بتواند بهترین نوع سیستم سازه‌ای را با توجه به شرایط مشخص کرده و طراحی را بر اساس آن انجام دهد. یکی از راه‌های اقتصادی پذیرفته شده جهت احداث ساختمان‌های بلند استفاده از سیستم هسته برشی به همراه مهار بازویی و کمربند خریایی می‌باشد. سیستم سازه‌ای هسته مرکزی به همراه مهار بازویی، شامل قاب مهار شده و یا دیوار برشی، مهار بازویی افقی و یا شاه‌تیرهایی است که هسته مرکزی را به ستون‌های بیرونی متصل می‌کند. در بسیاری از موارد، ستون‌های بیرونی با خرپا و شاه‌تیرها به هم متصل می‌شوند. مهار بازویی و کمربند خریایی باید سختی کافی را داشته باشند برای این امر در یک طبقه و در برخی از موارد دو طبقه عمق دارند. ساختمان ۴۲ طبقه فلزی اولین مرکز ویسکانسین، ساختمان ۸۸ طبقه جین ماو با سازه مرکب در شانگهای و برج ۱۰۱ طبقه تایپه با سازه مرکب بهترین موارد با این سیستم سازه‌ای می‌باشند [۱]. محققین زیادی رفتار سیستم مهار بازویی و کمربند خریایی و همچنین رفتار سیستم قاب محیطی، هسته مرکزی، مهار بازویی و کمربند خریایی را در ساختمان‌های بلند مورد بررسی قرار داده‌اند و نشان داده‌اند که این سیستم تغییر شکل‌های جانبی و ممان در پای سازه را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد [۲-۷]. تارنات (Taranath) در سال ۱۹۷۵ موقعیت بهینه کمربند خریایی را در ساختمان‌های بلند مرتبه را با معیار حداقل شدن تغییر شکل‌های بالای سازه بدست آورد [۸]. سوادیچپونگ (Swaddiwudhipong) و همکاران در سال ۲۰۰۱ اندرکنش سیستم ترکیبی قاب و هسته مرکزی در

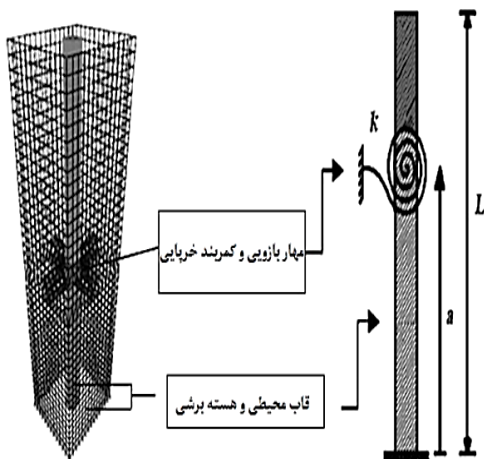
سازه‌های بلند را مورد بررسی قرار دادند [۹]. یک روش ساده تقریبی جهت آنالیز سازه‌های با مهار بازویی توسط اسمیت (Smith) و کول (Coull) در سال ۱۹۹۱ [۱۰] و تارنات (Taranath) در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید [۱۱]. همچنین هندرکمپ (Hoenderkamp) و بیکر (Bakker) در سال ۲۰۰۳ و هندرکمپ (Hoenderkamp) در سال ۲۰۰۴ اثرات سیستم دیوار برشی به همراه کمربند خریایی بر روی تغییر مکان جانبی سازه را با استفاده از یک مدل ساده مورد بررسی قرار دادند [۱۲ و ۱۳]. در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ رهگذر و همکاران توزیع تنش و جابجایی سیستم ترکیبی قاب محیطی، هسته مرکزی به همراه مهار بازویی و کمربند خریایی با سطح مقطع ثابت اعضا در ارتفاع را با استفاده از یک مدل ساده بدست آوردند [۱۴] و [۱۵]. در سال ۲۰۱۱ فازیا (Fawzia) و همکاران تأثیر سیستم مهار بازویی در کنترل تغییر شکل‌ها و بهینه‌سازی فرکانس‌ها را مورد مطالعه قرار دادند [۱۶]. ملکی نژاد و رهگذر در سال ۲۰۱۱ آنالیز ارتعاش آزاد سازه‌های بلند با سیستم مهار بازویی و کمربند خریایی را مورد بررسی قرار دادند [۱۷]. همچنین در سال ۲۰۱۲ یک راه حل فرم بسته برای آنالیز ارتعاش آزاد سیستم قاب لوله ای تو در تو و نیز یک روش ساده برای محاسبه فرکانس طبیعی و اشکال مودی ساختمان‌های بلند ارائه کردند [۱۸ و ۱۹]. در سال ۲۰۱۳ جهان‌شاهی و رهگذر با روش انرژی به تعیین موقعیت مهار بازویی در سازه بلند پرداختند [۲۰]. در سال ۲۰۱۳ نادوری (Nanduri) و همکاران موقعیت بهینه مهار بازویی ساختمان‌های بلند بتنی را تحت بار باد و زلزله تعیین کردند [۲۱]. در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ کامگار و رهگذر موقعیت بهینه سیستم مهار بازویی انعطاف‌پذیر را با هسته برشی ثابت و متغیر محاسبه کردند [۲۲ و ۲۳].

## ۲- بررسی سیستم ترکیبی قاب محیطی، مهار

### بازویی، کمربند خریایی و هسته برشی

در این بخش، سیستم ترکیبی قاب محیطی، مهار بازویی، کمربند خریایی و هسته برشی و مدل تحلیلی آن مورد

و کمر بند خربایی در نظر گرفته می شود [ ۱۸ و ۱۹].



شکل ۲- مدل تحلیلی سیستم ترکیبی قاب محیطی، مهار بازویی، کمر بند خربایی و هسته برشی [۲۳]

### ۲-۳- فرضیات بکار گرفته شده

فرضیات بکار گرفته شده برای ارائه روش پیشنهادی به شرح زیر می باشند:

- ۱- اتصال مهارهای بازویی به ستونهای خارجی بصورت مفصلی بوده و فقط نیروهای محوری را منتقل می کنند.
- ۲- اتصال مهار بازویی به هسته مرکزی بصورت صلب می باشد.
- ۳- مهارهای بازویی و کمر بند خربایی کاملاً صلب بوده و از پیچش کل سازه جلوگیری می کنند (از انعطاف پذیری مهارهای بازویی و کمر بند خربایی صرف نظر شده است).
- ۴- سطح مقطع ستونهای خارجی به صورت خطی در ارتفاع سازه تغییر می کند (تغییرات خطی ممان اینرسی قاب محیطی).
- ۵- ممان اینرسی هسته مرکزی در ارتفاع بصورت ثابت و یکنواخت می باشد.
- ۶- هسته مرکزی در پائین سازه کاملاً صلب و گیردار می باشد.

### ۳- مروری بر روش انرژی در تعیین موقعیت بهینه

#### مهار بازویی و کمر بند خربایی

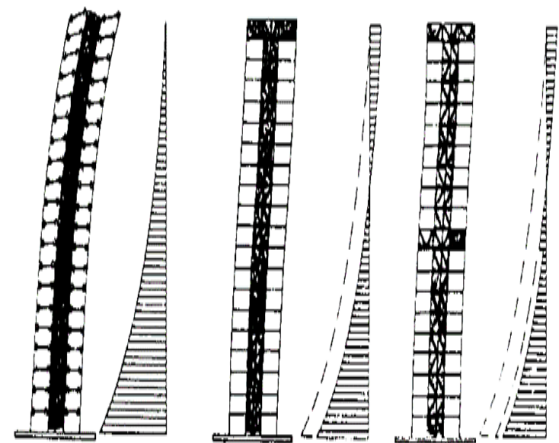
معیار انرژی در خصوص محاسبه موقعیت بهینه مهار بازویی به صورت زیر بیان می گردد:

وقتی که سازه تحت بارهای خارجی قرار می گیرد، توسط بار خارجی بر روی سازه کار انجام می شود. کار نیروهای خارجی بصورت انرژی کرنشی در اعضا ذخیره می گردد. در

بررسی قرار گرفته است. همچنین به فرضیات بکار گرفته شده جهت انجام تحلیل سازه ای اشاره شده است.

### ۲-۱- تاثیر سیستم ترکیبی قاب محیطی، مهار بازویی، کمر بند خربایی و هسته برشی در کاهش جابجایی سازه

در دهه های اخیر استفاده از مهار بازویی و کمر بند خربایی در سازه های بلند، جهت کاهش تغییر شکل های سازه و مقاومت در برابر بارهای جانبی بسیار متداول شده است. مهار بازویی به همراه کمر بند خربایی، ستون های خارجی را به هسته مرکزی داخلی متصل می نماید شکل (۱). در نتیجه مجموعه ستون های خارجی و مهار بازویی در مقابل چرخش هسته مرکزی مقاومت می کنند. به همین دلیل انحنای سازه به صورت یک طره نخواهد بود، بلکه باعث برگشت انحنای و ایجاد نقطه عطف در هسته می شود [۳]. بنابر این مطابق شکل (۱) باعث کاهش تغییر شکل های جانبی و کاهش ممان در پای سازه می شوند.



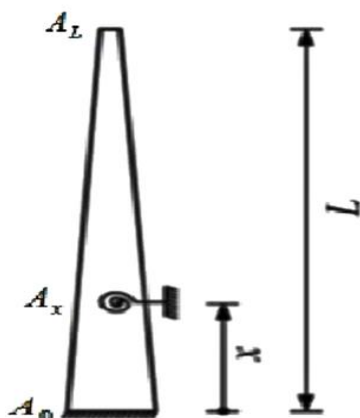
شکل ۱- سیستم مهار بازویی و کمر بند خربایی و تاثیر آن در کاهش تغییر شکل جانبی [۲۴]

### ۲-۲- مدل کردن سیستم ترکیبی قاب محیطی، مهار بازویی، کمر بند خربایی و هسته برشی

در این مقاله سازه بلند با سیستم ترکیبی قاب محیطی، مهار بازویی، کمر بند خربایی و هسته برشی یک مدل پیوسته در نظر گرفته شده است. قاب محیطی با یک تیر طره قوطی شکل با مقطع قوطی شکل مدل می شود [۲۷-۲۵]. که در این مقاله سطح مقطع این قوطی به صورت خطی متغیر است. همانند شکل (۲) اثر سیستم مهار بازویی، کمر بند خربایی و قاب محیطی بر روی هسته برشی به صورت یک فنر پیچشی در محل قرارگیری مهار بازویی

پای سازه می‌باشند. برای محاسبه  $\Delta A$  از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta A = A_L - A_0 \quad (3)$$



شکل ۳- تغییرات خطی سطح مقطع ستون‌های پیرامونی در ارتفاع

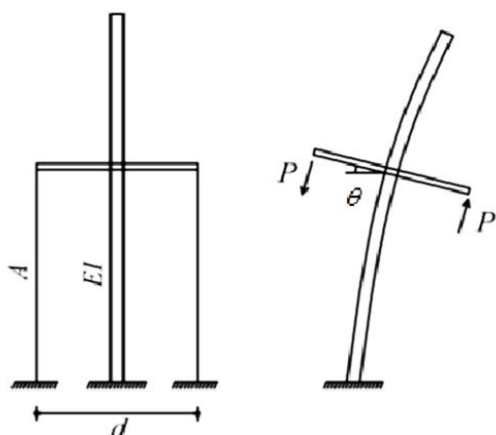
با توجه به شکل (۴) اگر میزان چرخش مهار بازویی  $\theta_a$  باشد، ممان ایجاد شده در فنر برابر است با:

$$M_a = K \theta_a \quad (4)$$

با توجه به فرض صلبیت مهار بازویی و فرض اتصال مفصلی مهار بازویی به ستون‌های خارجی مطابق شکل (۴) این ممان را می‌توان بصورت یک کوپل نیرو در ستون‌های خارجی در نظر گرفت، بنابراین:

$$M_a = Pd \quad (5)$$

که در آن  $P$  کوپل نیروی ایجاد شده در ستون‌ها و  $d$  فاصله ستون‌های پیرامونی می‌باشند.



شکل ۴- مدل سازی ستون‌های زیر مهار بازویی با کوپل نیرو

صورت استفاده از کمربند خرپایی و مهار بازویی، بخشی از انرژی توسط کمربند خرپایی و مهار بازویی (یا همان فنر معادل در شکل (۲)) ذخیره می‌گردد. بنابراین وقتی که انرژی جذب شده توسط فنر حداکثر گردد، فنر در بهترین موقعیت قرار دارد.

انرژی کرنشی فنر معادل ( $U_s$ ) برابر است با:

$$U_s = \frac{1}{2} K \theta_a^2 \quad (1)$$

که در آن  $\theta_a$  میزان چرخش فنر و  $K$  سختی فنر معادل می‌باشند. اگر موقعیت قرارگیری فنر نسبت به پای سازه با پارامتر  $a$  نمایش دهیم، برای تعیین موقعیت بهینه فنر کفایت از رابطه انرژی فنر نسبت به موقعیت قرارگیری آن از پای سازه ( $a$ ) مشتق گرفته و آن را برابر صفر قرار دهیم. برای این منظور ابتدا بایستی روابط  $\theta_a$  و  $K$  را نسبت به  $a$  محاسبه نمود. باتوجه به اینکه رابطه  $\theta_a$  وابسته به نوع بارگذاری جانبی میباشد، برای حالت بارگذاری گسترده مثلثی محاسبات انجام شده است.

#### ۴- تعیین موقعیت بهینه مهار بازویی و کمربند خرپایی با احتساب تغییرات سطح مقطع ستون‌های پیرامونی

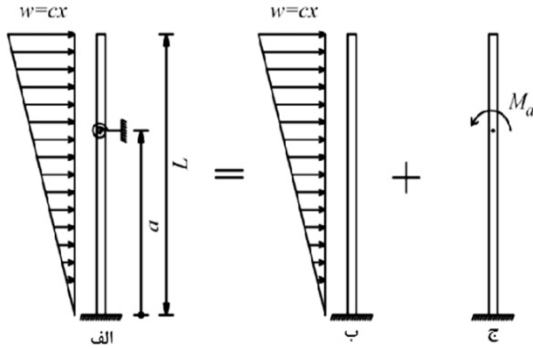
##### ۴-۱- محاسبه سختی فنر معادل

سختی فنر تابعی از موقعیت مهار بازویی و کمربند خرپایی و مشخصات ستون‌های خارجی می‌باشد. چون با تغییر سطح مقطع ستون‌های خارجی سختی فنر تغییر می‌کند، لازم است که با در نظر گرفتن این تغییرات سختی فنر معادل محاسبه شود.

در این بخش سعی شده است با در نظر گرفتن فرضیات بخش ۲-۳ و اعمال تغییرات در سطح مقطع ستون‌های خارجی سختی فنر معادل محاسبه شود.

$$A_x = A_0 + \frac{\Delta A}{L} x \quad (2)$$

که  $A_0$  سطح مقطع ستون‌های خارجی در پای سازه،  $A_x$  سطح مقطع ستون‌های خارجی در نوک سازه،  $L$  ارتفاع مقطع ستون‌های خارجی در هر نقطه دلخواه،  $\Delta A$  تغییرات سطح مقطع ستون‌های کلی ساختمان،  $x$  موقعیت هر نقطه دلخواه از ساختمان نسبت به



شکل ۵- مدل سازه ترکیبی تحت بار گسترده مثلثی

$$\theta_a = \theta_{a,1} + \theta_{a,2} \quad (12)$$

برای محاسبه  $\theta_{a,1}$ ، اگر در شکل ۵- ب مقطعی به فاصله  $x$  از تکیه‌گاه در نظر گرفته شود:

$$\theta_{x,1} = \frac{1}{EI} \int_0^x M_x dx + \theta_0 \quad (13)$$

که  $E$  مدول الاستیسیته هسته،  $I$  ممان اینرسی هسته و  $M_x$  لنگر در نقطه  $x$  می‌باشند. با توجه به اینکه مبدأ مختصات در تکیه‌گاه انتخاب گردیده است،  $\theta_0 = 0$ . در این حالت رابطه  $M_x$  برای شکل ۵- ب بصورت زیر خواهد بود:

$$M_x = \frac{cL^2x}{2} - \frac{cL^3}{3} - \frac{cx^3}{6} \quad (14)$$

که در آن شدت بار گسترده به صورت  $cL$  در نظر گرفته شده است.

از جایگزینی رابطه (۱۴) در رابطه (۱۳) حاصل می‌گردد:

$$\theta_{x,1} = \frac{1}{EI} \left( \frac{cL^2x^2}{4} - \frac{cL^3x}{3} - \frac{cx^4}{24} \right) \quad (15)$$

بنابراین مقدار  $\theta_1$  در نقطه  $a$  برابر خواهد بود با:

$$\theta_{a,1} = \frac{1}{EI} \left( \frac{cL^2a^2}{4} - \frac{cL^3a}{3} - \frac{ca^4}{24} \right) \quad (16)$$

برای محاسبه  $\theta_{a,2}$  حاصل از لنگر  $M_a$  خواهیم داشت:

$$\theta_{x,2} = \frac{1}{EI} \int_0^x M_x dx + \theta_0 \quad (17)$$

بنابراین مقدار  $\theta_2$  در نقطه  $a$  برابر خواهد بود با:

$$\theta_{a,2} = \frac{-M_a a}{EI} \quad (18)$$

از قرار دادن رابطه (۴) در رابطه (۱۸):

$$\theta_{a,2} = -\frac{K \theta_a a}{EI} \quad (19)$$

با توجه به فرض تغییرات خطی سطح مقطع ستون‌های خارجی در ارتفاع سازه نتیجه می‌شود:

$$\delta = \int_0^a \frac{P}{A_x E} dx \quad (6)$$

که  $\delta$  میزان تغییر شکل محوری ستون‌های خارجی و  $E$  مدول الاستیسیته و  $A_x$  سطح مقطع ستون‌ها در فاصله  $x$  از پای سازه می‌باشند.

با جایگذاری رابطه (۲) در رابطه (۵) نتیجه می‌شود:

$$\delta = \frac{P}{E} \int_0^a \frac{1}{A_0 + \frac{\Delta A}{L} x} dx \quad (7)$$

پس از محاسبه انتگرال فوق مقادیر  $P$  و  $\delta$  در نقطه  $a$  از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$\delta = \frac{PL}{E \Delta A} \times \ln \left( 1 + \frac{a \Delta A}{L A_0} \right) \quad (8)$$

$$P = \frac{\delta E \Delta A}{L \ln \left( 1 + \frac{a \Delta A}{L A_0} \right)} \quad (9)$$

با توجه به کوچک بودن زاویه چرخش مهار بازویی، نتیجه می‌شود:

$$\theta_a = \frac{2\delta}{d} \quad (10)$$

که  $d$  فاصله ستون‌های خارجی از یکدیگر می‌باشد.

از ترکیب روابط (۴) تا (۱۰) نتیجه می‌شود:

$$K = \frac{Ed^2 \Delta A}{2L \ln \left( 1 + \frac{a \Delta A}{L A_0} \right)} \quad (11)$$

رابطه (۱۱) نشان می‌دهد که سختی فنر تابعی از موقعیت قرارگیری فنر ( $a$ ) می‌باشد.

#### ۴-۲- محاسبه میزان چرخش فنر معادل

با توجه به اینکه میزان چرخش فنر وابسته به نیروی جانبی می‌باشد، مطابق شکل ۵ اگر سازه تحت بارگذاری جانبی گسترده مثلثی قرار گیرد، زاویه چرخش تیر در نقطه  $a$  برابر  $\theta_a$  خواهد بود. که می‌توان مطابق شکل ۵، بر اساس اصل رویهم‌گذاری برابر با مجموع  $\theta_{a,1}$  (حاصل از بار جانبی گسترده بدون وجود فنر) و  $\theta_{a,2}$  (حاصل از لنگر  $M_a$  به دلیل وجود فنر) در نظر گرفته می‌شود.

با جایگذاری روابط (۱۱)، (۲۱)، (۲۴) و (۲۵) در رابطه (۲۳) معادله مشخصه محاسبه موقعیت بهینه کمر بند خرابایی به دست می‌آید که پس از عملیات ریاضی و بی‌بعد کردن روابط حاصله، نهایتاً معادله مشخصه بدست می‌آید. بدین منظور تغییر متغیرهای زیر تعریف شده‌اند:

$$\alpha = \frac{a}{L} \quad (26)$$

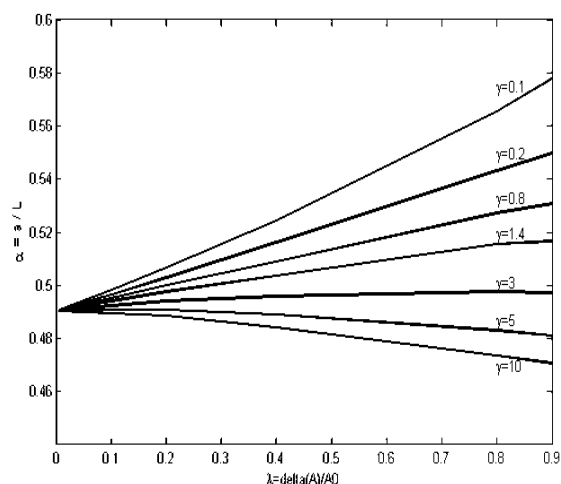
$$\lambda = \frac{\Delta A}{A_0} \quad (27)$$

$$\gamma = \frac{\Delta A d^2}{I} \quad (28)$$

با توجه به این پارامترها، رابطه معادله مشخصه به صورت زیر در می‌آید:

$$\left[ \frac{(6\alpha^2 - 8\alpha - \alpha^4)\lambda}{1 + \alpha\lambda} \right] + \frac{(6\alpha^2 - 8\alpha - \alpha^4)\gamma}{\ln(1 + \alpha\lambda) - 0.5\alpha\gamma} \times \left[ \ln(1 + \alpha\lambda) - \frac{\alpha\lambda}{1 + \alpha\lambda} \right] - \left[ \frac{2(12\alpha - 4\alpha^3 - 8)(\ln(1 + \alpha\lambda))^2}{\ln(1 + \alpha\lambda) + 0.5\alpha\gamma} \right] = 0 \quad (29)$$

با نوشتن برنامه در محیط MATLAB [۲۸] به ازای مقادیر مختلف  $\gamma$  ( $\gamma = 0.1, 0.2, 0.8, 1.4, 3, 5, 10$ ) و  $\lambda$  مقادیر  $\alpha$  که بیانگر موقعیت بهینه کمر بند خرابایی می‌باشد، محاسبه می‌گردد. نتایج بصورت گراف در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل ۶- موقعیت بهینه کمر بند خرابایی با در نظر گرفتن تغییرات سطح مقطع ستون‌های خارجی در ارتفاع سازه تحت بارگذاری گسترده مثلثی

با جایگزینی روابط (۱۶) و (۱۹) در رابطه (۱۲) نتیجه می‌شود:

$$\theta_a = \frac{\frac{cL^2 a^2}{4} - \frac{cL^3 a}{3} - \frac{ca^4}{24}}{EI + ak} \quad (30)$$

با جایگذاری سختی فنر از رابطه (۱۱) در رابطه (۲۰)،  $\theta_a$  به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$\theta_a = \frac{\frac{cL^2 a^2}{4} - \frac{cL^3 a}{3} - \frac{ca^4}{24}}{EI + \frac{aEd^2 \Delta A}{2L \ln(1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})}} \quad (31)$$

۴-۳- موقعیت بهینه سیستم ترکیبی تحت بار گسترده مثلثی با در نظر گرفتن تغییرات سطح مقطع پس از مشخص شدن روابط  $\theta_a$  و  $K$ ، همان‌گونه که در بخش (۳) بیان گردید، برای یافتن موقعیت بهینه فنر باید مشتق انرژی (رابطه ۱) را نسبت به  $a$  برابر صفر قرار داد:

$$\frac{dU_s}{da} = 0 \quad (32)$$

از قرار دادن رابطه (۱) در رابطه (۳۲) حاصل می‌گردد:

$$\theta_a \frac{dK}{da} + 2K \frac{d\theta_a}{da} = 0 \quad (33)$$

با مشتق‌گیری از رابطه (۱۱) نسبت به  $a$ :

$$\frac{dk}{da} = - \frac{Ead^2 \Delta A^2}{2(L \ln(1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0}))^2 A_0 (1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})} \quad (34)$$

با مشتق‌گیری از رابطه (۲۱) نسبت به  $a$ :

$$\frac{d\theta_a}{da} = \frac{1}{24} \frac{c(\frac{12a}{L^2} - \frac{8}{L} - \frac{4a^3}{L^4})}{L^4 (EI + \frac{Ead^2 \Delta A}{2L \ln(1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})})} - \frac{c(\frac{6a^2}{L^2} - \frac{8a}{L} - \frac{a^4}{L^4}) (\frac{Ed^2 \Delta A}{2L \ln(1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})}) (\frac{Ed^2 \Delta A^2}{2L \ln(1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})})^2 A_0 (1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})}{L^4 (EI + \frac{Ead^2 \Delta A}{2L \ln(1 + \frac{a}{L} \frac{\Delta A}{A_0})})^2}$$

## ۵-صحت سنجی با نرم افزار

### ۵-۱- مثال ساختمان فولادی

یک ساختمان ۵۰ طبقه فولادی با سیستم ترکیبی قاب محیطی، هسته مرکزی، مهار بازویی و کمر بند خرابایی به ابعاد پلان ۳۰×۳۵ متر (۳۰ متر = طول قاب جان و ۳۵ متر = طول قاب بال) در نظر گرفته شده است که ارتفاع هر طبقه ۳ متر و فاصله ستون ها ۲/۵ متر می باشد. سطح مقطع ستون های سازه ذکر شده که به صورت باکس می باشند، از پای سازه ( $A_0$ ) تا بالای سازه ( $A_L$ ) به صورت خطی کاهش می یابد، سازه مذکور در نرم افزار SAP2000 [۲۹] تحت بارگذاری گسترده مثلی قرار گرفته است. در این مدل از ده تپ ستون استفاده شده است، که برای هر پنج طبقه یک تپ ستون مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر سطح مقطع ستون های قاب محیطی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مقاطع مورد استفاده در ساختمان فولادی ۵۰ طبقه

ردیف	طبقات مورد استفاده	سطح مقطع ( $m^2$ )
۱	۱ تا ۵	۰/۰۶۷۵
۲	۶ تا ۱۰	۰/۰۶۴۱
۳	۱۱ تا ۱۵	۰/۰۶۰۸
۴	۱۶ تا ۲۰	۰/۰۵۷۵
۵	۲۱ تا ۲۵	۰/۰۵۴۱
۶	۲۶ تا ۳۰	۰/۰۵۰۸
۷	۳۱ تا ۳۵	۰/۰۴۷۵
۸	۳۶ تا ۴۰	۰/۰۴۴۱
۹	۴۱ تا ۴۵	۰/۰۴۰۸
۱۰	۴۶ تا ۵۰	۰/۰۳۷۵

مدول الاستیسیته فولاد برابر با  $210 \times 10^9$  نیوتن بر متر مربع و ضریب پواسون برابر با ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است.

### ۵-۲- نتایج مثال ساختمان فولادی

پس از بررسی، موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خرابایی با استفاده از روش پیشنهادی بر اساس معیار انرژی بدست آمده و با نتایج حاصل از مدل نرم افزاری سازه فولادی مقایسه شده است (جدول ۲).

مقایسه نتایج بدست آمده، درستی روش پیشنهادی ارائه شده را نشان می دهد. دلایل تفاوت های موجود بین نتایج

نرم افزار و نتایج روش پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

۱- در مدل تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق، سازه واقعی بصورت یک سازه پیوسته (یک تیر طره) مدل می شود در حالی که سازه واقعی، یک سازه گسسته با بارهای در تراز طبقات می باشد.

۲- در مدل تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق، مهار بازویی بصورت کاملاً صلب فرض شده است، در حالی که در مدل نرم افزاری مهار بازویی کاملاً صلب نمی باشد.

جدول ۲- موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خرابایی بدست آمده از آنالیز کامپیوتری سازه فولادی ۵۰ طبقه و مقایسه آن با روش پیشنهادی

نوع بار وارده	$\lambda$	$\gamma$	نتایج روش پیشنهادی	نتایج نرم افزار
بار گسترده مثلی	0.44	4.22	0.494	0.54

جدول ۳- مقایسه محل بهینه سیستم مهار بازویی و کمر بند خرابایی با استفاده از روش پیشنهادی و روش های ارائه شده توسط سایر محققین

نوع بار وارده	محدوده نتایج روش پیشنهادی	نتایج مرجع [۸]	نتایج مرجع [۲۰]
بار گسترده مثلی	0.47L تا 0.577L	0.571L	0.49L

## ۶- نتیجه گیری

ملاحظه گردید که می توان جهت تعیین موقعیت بهینه سیستم ترکیبی کمر بند خرابایی، مهار بازویی، قاب محیطی و هسته برشی را به صورت یک تیر طره با مقطع متغیر همراه با یک فنر پیچشی در محل مهار بازویی و کمر بند خرابایی مدل سازی کرد. همچنین موقعیت بهینه فنر بر اساس بیشترین انرژی ذخیره شده در فنر که حاصل از کار وارده به دلیل بار جانبی می باشد، محاسبه گردید. با بررسی مثال عددی صحت و دقت و کارایی روش پیشنهادی نشان داده شد و ملاحظه گردید که به وسیله گراف ارائه شده و سهولت و کارایی استفاده از آن می توان موقعیت بهینه مهار بازویی و کمر بند خرابایی را در حالت های مختلف بدست آورد. موقعیت بهینه یک مهار بازویی و کمر بند خرابایی، با

پیشنهادی با روش تغییر شکل تارانات [۸] و روش انرژی جهانشاهی و رهگذر [۲۰] که حالت ممان اینرسی ثابت را مورد بررسی قرار داده‌اند، مقایسه شده است، که نشان می‌دهد روش پیشنهادی با تغییرات سطح مقطع ستون‌ها در محدوده قابل قبولی قرار گرفته است

اعمال اثرات تغییرات ممان اینرسی قاب محیطی بسته به پارامترهای مختلف از جمله ممان اینرسی هسته مرکزی، سطح مقطع ستون‌های خارجی، و ... برای بارگذاری‌های مختلف در محدوده مقادیر جدول ۳ در قسمت روش پیشنهادی متغیر خواهد بود. نتایج بدست آمده از روش

## مراجع

- [1] D. C. Poon, S. S. Shieh, L. M. Joseph, and C. Chang "Structural design of Taipei 101, the world's tallest building", Proceedings of the CTBUH 2004, Seoul Conference, Seoul, Korea, 2004, pp. 271-278.
- [2] B. S. Smith, and I. Salim, "Parameter Study of outrigger-braced tall building structures", Journal of the Structural Division, Vol. 107, NO. 10, October 1981, pp. 2001 – 2014.
- [3] B. S. Taranath, Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction CRC Press, Taylor & Francis Group, London, 2011.
- [4] A. Alavi, R. Rahgozar, P. Torzadeh, and M.A. Hajabasi, "Optimal design of high-rise buildings with respect to fundamental eigenfrequency", International Journal of Advanced Structural Engineering, Vol. 9, NO. 4, 2017, pp.:365-374.
- [5] Z. G. Zhang, X. Y. Fu, J. Wang, and Y. N. Wei, "Studies on structural performance of ultra-high-rise building with outrigger belts", Journal of Building Structures, Vol. 17, NO. 4, 1996, pp. 2 – 9.
- [6] J. R. Wu, and Q. S. Li, "Structural performance of multi-outrigger-braced tall buildings", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 12, NO. 2, June 2003, pp. 155 – 176.
- [7] X. Fu, "Design proposal for reinforced concrete high-rise building structure with outrigger belts", Journal of Building Structures, Vol. 10, 1999, pp. 11 – 19.
- [8] B. S. Taranath, "Optimum belt truss location for high-rise structures", Structural Engineering, Vol. 53, NO. 8, August 1975, pp. 363 – 367.
- [9] S. Swaddiwudhipong, S. L. Lee, and Q. Zhou, "Effect of axial deformation on vibration of tall buildings", Journal of Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 10, NO. 2, June 2001, pp. 79 – 91.
- [10] B. Stafford Smith, and A. Coull, Tall Building Structures: Analysis and Design, John Willey, New York, 1991.
- [11] B. S. Taranath, Structural Analysis and Design of Tall Buildings, McGraw Hill Book Company, New York, 1988.
- [12] J. C. D. Hoenderkamp, and M. C. M. Bakker, "Analysis of high-rise braced frames with outriggers", Journal of Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 12, NO. 4, December 2003, pp. 335 – 350.
- [13] J. C. D. Hoenderkamp, "Second outrigger at optimum location on high-rise shear wall", Journal of Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 17, NO. 3, September 2008, pp. 619 – 634.
- [14] R. Rahgozar, and Y. Sharifi, "An approximate analysis of combined system of framed tube shear core and belt truss in high-rise buildings", Journal of Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 18, NO. 6, October 2009, pp. 607 – 624.



- [15] R. Rahgozar, A. Ahmadi, and Y. Sharifi, "A simple mathematical model for approximate analysis of tall buildings", *Journal of Applied Mathematical Modeling*, Vol. 34, NO. 9, September 2010, pp. 2437 – 2451.
- [16] S. Fawzia, A. Nasir, and T. Fatima "Study of the effectiveness of outrigger system for high-rise composite buildings for cyclonic region", *International Conference on Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering*, Vol. 60, December 2011, pp. 937-945.
- [17] M. Malekinejad, and R. Rahgozar, "Free vibration analysis of tall buildings with outrigger-belt truss system", *Earthquake and Structures*, Vol. 2, NO. 1, August 2011, pp. 89 – 107.
- [18] M. Malekinejad, and R. Rahgozar, "A closed form solution for free vibration analysis of tube-in-tube systems in tall buildings", *International Journal of Engineering*, Vol. 25, NO. 5, April 2012, pp. 107 – 114.
- [19] M. Malekinejad, and R. Rahgozar, "A simple analytic method for computing the natural frequencies and mode shapes of tall buildings", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 36, NO. 8, August 2012, pp. 3419 – 3432.
- [20] M. R. Jahanshahi, and R. Rahgozar, "Optimum location of outrigger-belt truss in tall buildings based on maximization of the belt truss strain energy", *International Journal of Engineering*, Vol. 26, NO. 7, 2013, pp. 693 – 700.
- [21] P. R. K. Nanduri, B. Suresh, and M. I. Hussain, "Optimum position of outrigger system for high-rise reinforced concrete buildings under wind and earthquake loadings", *American Journal of Engineering*, Vol. 2, NO. 8, 2013, pp. 76 – 89.
- [22] R. Kamgar, and R. Rahgozar, "Determination of optimum location for flexible outrigger systems in non-uniform tall buildings using energy method", *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, Vol. 5, NO. 4, 2015, pp. 433 – 444.
- [23] R. Kamgar, and R. Rahgozar, "Determination of optimum location for flexible outrigger systems in tall buildings with constant cross section consisting of framed tube, shear core, belt truss and outrigger system using energy method", *International Journal of Steel Structures*, Vol. 17, NO. 1, March 2017, pp. 1 – 8.
- [24] W. Schueller, *High-Rise Building Structures*, John Wiley & Sons, New York, 1977.
- [25] A. K. H. Kwan, "Simple method for approximate analysis of framed tube structures", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120, NO. 4, April 1994, pp. 1221 – 1239.
- [26] K. K. Lee, Y. C. Loo, and H. Guan, "Simple analysis of framed-tube structures with multiple internal tubes", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 127, NO. 4, April 2001, pp. 450 – 460.
- [27] M. Jahanshahi, R. Rahgozar, and M. Malekinejad, "A simple approach to static analysis of tall buildings with a combined tube-in-tube and outrigger-belt truss system subjected to lateral loading", *International Journal of Engineering*, Vol. 25, NO. 3, July 2012, pp. 289 – 299.
- [28] Matlab R2013a, Version 8.8.0.604, Mathworks Inc., California, USA. [29] SAP2000 Advanced 14.0.0, Computers and Structures, Berkeley, California, US

