

## تعیین موقعیت بهینه کمرندهای میانی در سازه‌های بلند بتنی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مسعود فرزام

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

سپیده محمدی سپاسی \*

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

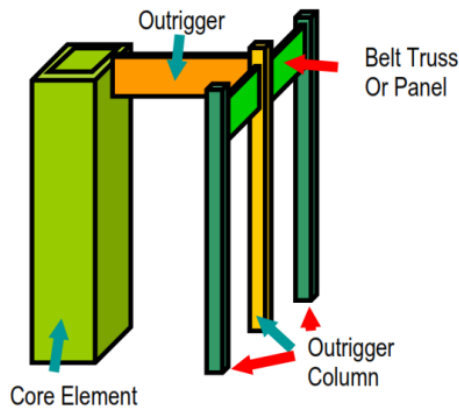
### چکیده

در سازه‌های بلند، سیستم‌های باربر جانبی مختلفی از جمله قاب‌های برشی و قاب‌ها با هسته برشی برای مقابله با بار جانبی بکار گرفته می‌شوند. در سازه‌های با هسته مرکزی برای افزایش صلبیت جانبی، از سیستم کمرندهای خرپایی و مهاربند بازویی استفاده می‌شود که تغییر مکان نسبی طبقات را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد. هدف در این تحقیق، تعیین موقعیت بهینه مهارهای بازویی در سازه‌های بلند بتنی می‌باشد. موقعیت بهینه مهارهای بازویی در سازه‌های بتنی با هسته دیوار برشی، با در نظر گرفتن کمترین تغییر مکان بام و همچنین کمترین مجموع لنگرهای بالا و پایین مهار بازویی تعیین می‌شود و برای بهینه‌سازی از الگوریتم تکاملی ژنتیک استفاده می‌شود. بدین منظور اعضای اصلی سازه قبلاً با توجه به بارهای ثقلی طراحی شده و در طول تحلیل، مقاطع تیرها و ستون‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شوند. نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که با انتخاب موقعیت بهینه برای مهار بازویی، ۴۵٪ تغییر مکان نسبی و ۵۱٪ تغییر مکان ماکزیمم کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سازه‌های بلند، سیستم کمرند میانی، مهار بازویی، موقعیت بهینه، بارهای جانبی، الگوریتم ژنتیک.

## ۱- مقدمه

مهاربند و ایجاد کشش و فشار در ستون‌ها می‌شود. هسته می‌تواند شامل دیوار برشی و یا قاب مهار شده باشد. در این تحقیق از هسته دیوار برشی استفاده شده است. تعداد مهار بازویی می‌تواند دو، سه و یا بیشتر در نظر گرفته شود.



شکل ۱- دیوار برشی با تیر مهاربند بازویی [۳]

توسعه روش‌های ساده تحلیلی برای سازه‌های دارای مهار بازویی در اواسط قرن هفدهم صورت گرفت. تارانات نشان داد که موقعیت بهینه یک مهاربند بازویی تقریباً در وسط ارتفاع سازه می‌باشد [۴]. ام‌سی‌ناب موقعیت بهینه دو مهاربند بازویی را برای کاهش جابجایی نسبی بررسی کرد [۵]. او نتایج به دست آمده توسط تارانات را تأیید کرد (موقعیت بهینه تک مهاربند بازویی در ارتفاع ۰/۴۴۵ از بالای سازه) و نشان داد که موقعیت بهینه دو مهاربند بازویی در ارتفاع ۰/۳۱۲ و ۰/۶۸۵ از بالای سازه می‌باشد.

در بسیاری از مدل‌های ارائه شده، صلبیت خمشی هسته و صلبیت محوری ستون‌های کناری در ارتفاع ثابت فرض شده و بار جانبی، بار یکنواخت در نظر گرفته شده است.

در ادامه این مطالعات، محققان روش‌های جدیدی را برای تعیین تأثیر مهار بازویی در رفتار سازه و بهترین موقعیت آن در ارتفاع سازه بررسی کردند. هوندرکمپ روش ساده‌ای برای تحلیل طراحی اولیه مهاربند بازویی و دیوار برشی تخت بار جانبی ارائه کرد [۶]. در این تحقیق سعی بر آن است که موقعیت مهار بازویی سازه چنان به دست آید که تغییر مکان بالای سازه، وزن و مجموع لنگر بالا و پایین مهار بازویی حداقل شده و درعین حال تمام ضوابط طراحی و آیین‌نامه‌ای رعایت شوند.

اسمیت و همکاران عملکرد سیستم مهاربند بازویی ویژه‌ای را مطالعه کردند [۷]. در این سیستم، که مهاربند بازویی انحراف‌دار

در دهه‌های اخیر روش نسبتاً جدیدی به نام سیستم کمربند خرپایی و مهاربند بازویی برای مقابله با بارهای جانبی در سازه‌های بلند ارائه شده است. این روش یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین سیستم‌های مسلح سازه‌ای در سازه‌های بلند می‌باشد. تعیین کردن تعداد و موقعیت این مهارهای بازویی در طول ارتفاع سازه موضوع بسیاری از مطالعه‌ها بوده است. روش‌های بهینه‌سازی طراحان را قادر کرده است که بهترین طراحی را برای سازه‌های مورد نظر انجام دهند. هر طراحی می‌تواند هدف‌های مختلفی برای طراحی بهینه داشته باشد (همانند وزن سازه و اقتصادی بودن آن). هدف در این تحقیق، تعیین موقعیت بهینه مهار بازویی در سازه‌های بتنی به ازای کمینه کردن تغییر مکان پشت‌بام و مجموع لنگر بالا و پایین مهار بازویی بوده است. از جمله الگوریتم‌های تکاملی جدید برای بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک است که دارای فرایند تکرار شونده می‌باشد و بر اساس قانون بقای اصلح تئوری داروین بنا شده است. در این تحقیق نیز از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده شده است. ضوابط آیین‌نامه‌ای در تمام مراحل تحلیل و طراحی نیز رعایت شده است.

## ۱-۲- مفاهیم اصلی بهینه‌سازی مهار بازویی

مهندسين سازه همیشه سعی بر آن دارند که راهی برای مقابله با تغییر شکل جانبی و تغییر مکان نسبی طبقات و وزن خود سازه اعمال شده بر پی سازه پیدا کنند [۱]. در ساختمان‌های بلند مدرن، برای مقابله با بار باد و زلزله از دیوارهای برشی کوپل استفاده می‌شود اما با افزایش ارتفاع، افزایش سختی جانبی سازه بیشتر اهمیت پیدا می‌کند. یکی از مؤثرترین راه‌کارها، استفاده از روش سیستم کمربندهای خرپایی و مهارهای بازویی در سازه‌های کامپوزیت می‌باشد [۲]. سیستم کمربند خرپایی و مهار بازویی نوعی سیستم باربر جانبی می‌باشد که سختی جانبی مناسبی برای سازه تأمین می‌کند و تغییر مکان نسبی سازه تحت انواع بارگذاری جانبی را کنترل می‌کند تا خسارت سازه‌ای و غیر سازه‌ای ناشی از بارگذاری را حداقل کند.

در این سیستم ستون‌های کناری به دیوار هسته‌ای توسط مهار بازویی کمربند خرپایی متصل می‌شوند (شکل ۱). زمانی که سازه تحت بارگذاری قرار می‌گیرد، خمش هسته باعث دوران بازویی

کلی برسد بسیار زیاد است. استفاده از یک مجموعه نقاط، سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیک را نیز افزایش می‌دهد.

۳- الگوریتم ژنتیک با مقدار تابع هدف کار می‌کند و نه با مشتقات تابع هدف. لذا محدودیتی روی شکل تابع هدف و مشتق‌پذیر بودن آن وجود ندارد.

۴- الگوریتم ژنتیک با قوانین احتمالی کار می‌کند و نه با قوانین مشخص و ثابت.

### ۳- مبانی روش

#### ۳-۱- بهینه‌سازی تعداد و محل مهار بازویی

برای این کار ابتدا برنامه تحلیل خودکار در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته شده است. به منظور کاهش تغییر شکل جانبی و تغییر مکان نسبی طبقات و وزن سازه اعمال شده بر پی سازه، از مهار بازویی و هسته دیوار برشی استفاده شده است. مقاطع تیر و ستون و دیوار برشی برای بارهای ثقلی و جانبی و ترکیب آن‌ها طراحی شده، سپس موقعیت بهینه کمربندهای میانی به کمک الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که در تمام مراحل، برنامه این قابلیت را دارد که بعد از تغییر دادن موقعیت مهار بازویی، کل سازه را برای تغییر مکان نسبی و سایر موارد آیین‌نامه‌ای کنترل کند تا از نظر سازه‌ای قابل قبول باشد.

#### ۳-۲- فرضیات تحلیل

فرضیات تحلیل به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- اتصال مهارهای بازویی به ستون‌ها مفصلی می‌باشد.
- ۲- اتصال هسته به پی و همچنین ستون‌ها به پی صلب می‌باشد.
- ۳- مشخصات مقطع هسته، تیرها و ستون‌ها در ارتفاع سازه تغییر می‌کنند.
- ۴- سازه الاستیک خطی در نظر گرفته شده است.

در این تحقیق به جای سختی بی‌نهایت در جهت افقی، از صلبیت واقعی مهارهای بازویی استفاده شده است. بر اساس فرضیات بالا، مدل تحلیلی مطابق شکل ۲ در نظر گرفته شده است.

نامیده می‌شود، مهاربند بازویی در موقعیت متفاوتی نسبت به پلان دیوار هسته قرار می‌گرفت یا اینکه بازوهای مهاربند به صورت افقی نسبت به دیوار هسته انتقال می‌یافت. هدف این روش کاهش فضای از دست‌رفته نسبت به روش سنتی بود.

### ۲- معرفی الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی به عنوان یک رشته تصادفی نیرومند

از جمله روش‌های محبوب در عرصه بهینه‌سازی سازه‌ها، روش الگوریتم ژنتیک می‌باشد. این روش که نخستین بار توسط جان هالند در دانشگاه میشیگان مطرح گردید، یک روش فرا کاوشی<sup>۱</sup> است که بر اساس تئوری تکاملی داروین بنا نهاده شده است و برای حل انواع مسائل پیوسته و گسسته کاربرد دارد [۸]. از جمله مهم‌ترین توانایی‌های الگوریتم ژنتیک، قابلیت بهینه‌یابی با متغیرهای گسسته و پیوسته، توانایی دستیابی به بهینه کلی، امکان بررسی هم‌زمان مجموعه‌ای از طرح‌ها و همچنین توانایی ارائه طرح‌های مختلف برای یک مسئله طراحی می‌باشد. الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی تنها نیاز به مجموعه جواب‌های اولیه که به صورت رشته‌هایی با طول محدود از حروف کد شده‌اند، دارند. همچنین این الگوریتم‌ها محدودیت‌های دیگر روش‌ها از جمله پیوستگی و مشتق‌پذیری را ندارند. در اکثر روش‌های بهینه‌سازی یک نقطه اولیه در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از قوانین انتقالی نقاط بعدی تولید می‌شوند.

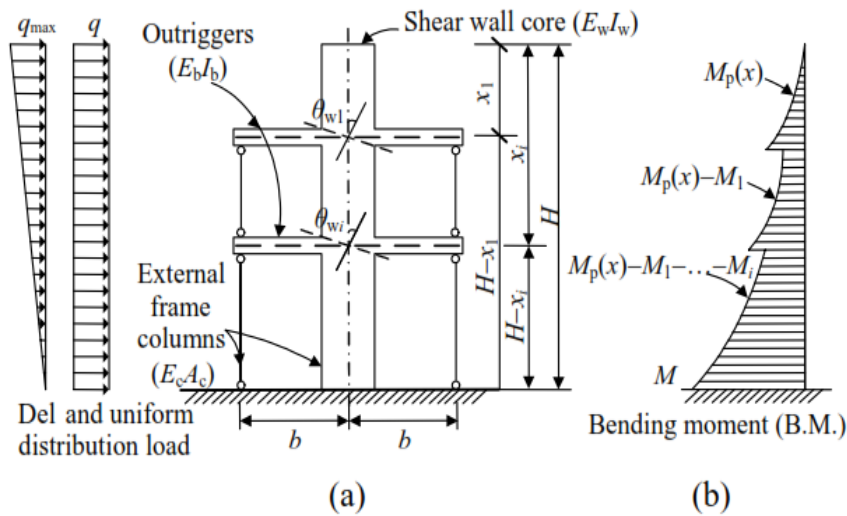
ضعف این روش‌ها آن است که در مسائل چند قله‌ای ممکن است حداکثر یا حداقل محلی را به جای حداکثر یا حداقل مطلق تابع پیدا کند اما الگوریتم ژنتیک از یک مجموعه نقاط (جمعیت رشته‌ای) شروع به بالا رفتن از قله‌ها می‌کند و احتمال دست یافتن به قله محلی به جای حداکثر یا حداقل مطلق بسیار کم می‌باشد.

الگوریتم ژنتیک به خاطر چهار دلیل زیر از سایر روش‌های بهینه‌یابی کلاسیک بهتر می‌باشد:

۱- الگوریتم ژنتیک با کدی از پارامترها سروکار دارد و نه با خود پارامترها.

۲- الگوریتم ژنتیک با مجموعه‌ای از نقاط کار می‌کند و نه یک نقطه. به همین دلیل احتمال اینکه الگوریتم ژنتیک به یک نقطه بهینه

<sup>۱</sup> Metaheuristic



شکل ۲- (a) دیاگرام مدل تحلیلی دارای چند کمر بند میانی (b) دیاگرام لنگر برآیند هسته [۹]

### ۳-۳- روند بهینه‌سازی

که والدین نسل بعدی خواهند بود، استفاده شده است. پس از انتخاب والدین به کمک مکانیسم انتخاب، از دو عملگر هم‌گذری<sup>۳</sup> پراکنده<sup>۴</sup> و جهش<sup>۵</sup> سازگار عملی<sup>۶</sup> برای تولید نسل جدید استفاده شده است. از آنجایی که الگوریتم ماهیتی تصادفی دارد، دستیابی به نتایج متفاوت در هر بار اجرای الگوریتم امری طبیعی می‌باشد. در این تحقیق، برای بررسی ثبات نتایج، الگوریتم ژنتیک در حدود ۲۰ بار اجرا شده است. شرط خاتمه به منظور توقف اجرای الگوریتم ژنتیک، رسیدن به مقدار تفرانس در تغییر نتایج در دو تکرار متوالی می‌باشد. موارد زیر به منظور رسیدن به اهداف تحقیق انجام شده است.

- ایجاد برنامه کامپیوتری برای خودکار کردن فرایند مش بندی سازه.
- ایجاد برنامه کامپیوتری برای خودکار کردن فرایند تحلیل سازه بتنی مدنظر بر اساس آیین‌نامه ACI در محیط نرم‌افزار MATLAB.
- تعیین تعداد و موقعیت بهینه مهار بازویی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک در MATLAB بدون بهینه کردن طراحی سازه.
- کنترل کردن رفتار سازه با معیارهای آیین‌نامه‌ای از جمله تغییر مکان نسبی طبقات تا اینکه سازه از نظر سازه‌ای قابل قبول باشد

مسئله بهینه‌سازی در واقع تلاش برای یافتن حداقل مقدار یک تابع غیرخطی می‌باشد. برای این منظور تابعی به نام تابع هدف باید تعریف شود تا کل روند یافتن موقعیت بهینه در راستای به حداقل رساندن این تابع انجام گیرد. در این تحقیق برای تعیین کردن موقعیت بهینه مهارهای بازویی دو تابع هدف تغییر مکان بام و مجموع لنگر در بالا و پایین مهار بازویی در نظر گرفته شده است. یک مسئله بهینه‌سازی زمانی مورد قبول خواهد بود که بتواند کلیه محدودیت‌های تعیین شده را رعایت نماید. در این مسئله نیز، تابع محدودکننده، تغییر مکان نسبی طبقات می‌باشد. عملکرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی سازه‌ها به این صورت است که فرآیند بهینه‌سازی، با تشکیل مجموعه‌ای از طرح‌های پیشنهادی برای مسئله، به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و هر یک از این طرح‌ها به عنوان یک جواب بالقوه برای مسئله قلمداد می‌گردند. به هر یک از این طرح‌ها اصطلاحاً کروموزوم و به اولین مجموعه از طرح‌های پیشنهادی، جمعیت اولیه گفته می‌شود. تابع شایستگی<sup>۱</sup> میزان صلاحیت هر کروموزوم را در جمعیت مشخص می‌کند. به عنوان تابع شایستگی، می‌توان تابع هدف را به کار برد. پس از تحلیل طرح‌های موجود و مشخص شدن شایستگی هر کروموزوم، از روش رقابتی<sup>۲</sup> برای شناسایی نسل برتر،

<sup>5</sup> Mutation  
<sup>7</sup> Adaptive Feasible

<sup>1</sup> Fitness function  
<sup>2</sup> Tournament Selection Method  
<sup>3</sup> Crossover function  
<sup>4</sup> Scattered

### ۳-۴- مثال‌هایی از طراحی بهینه سازه بلند دارای هسته و تعیین موقعیت بهینه و تعداد مهار بازویی در ارتفاع سازه

#### ۳-۴-۱- بهینه کردن تغییر مکان بام

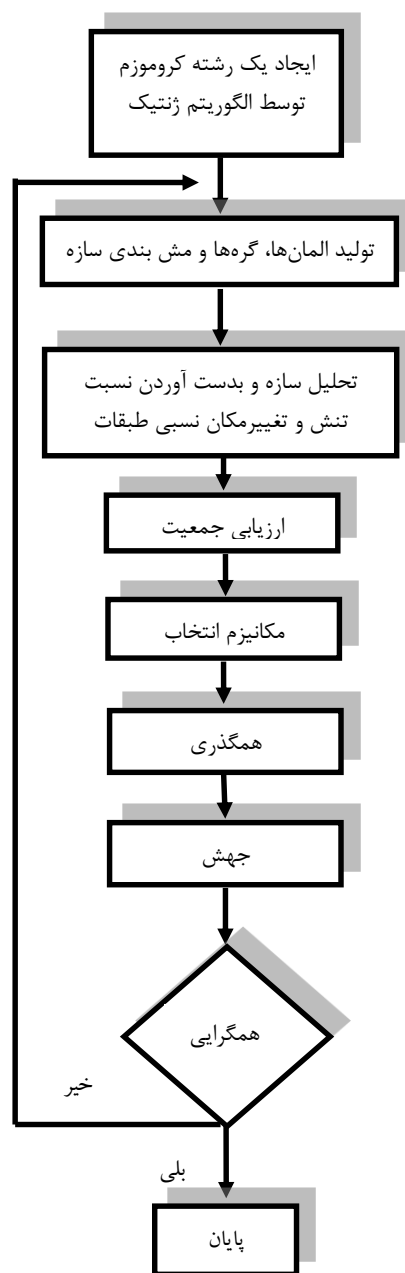
در این مثال یک قاب بتنی ۴۰ طبقه ۳ دهانه در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات ۴ متر، عرض دو دهانه کناری ۱۲ متر و دهانه میانی که هسته مرکزی در آن در نظر گرفته شده است ۶ متر می‌باشد. بار وارده در تمام طبقات به صورت نقطه‌ای و به مقدار ۳۰ کیلو نیوتن می‌باشد. قبل از ورود به مرحله بهینه‌سازی تمامی اعضای اصلی طراحی شده و مقاطع تیرها ۶۰×۴۰ و ستون‌ها ۹۰×۹۰ به دست آمده آمده است. متغیر ورودی برای بهینه‌سازی، طبقه قرارگیری مهاربند می‌باشد. تابع هدف این مسئله تغییر مکان بام و تابع محدودیت تغییر مکان نسبی طبقات می‌باشد. مسئله در ۴ حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد. این حالت‌ها عبارت‌اند از:

- ۱- عدم استفاده از مهار بازویی
- ۲- استفاده از یک مهار بازویی
- ۳- استفاده از دو مهار بازویی
- ۴- یافتن محل بهینه برای مهار بازویی دوم با فرض ثابت بودن موقعیت مهار بازویی اول در طبقه ۴۰ ام.

جدول ۱- مقایسه نتایج تحقیق پزشک و این تحقیق

	نتایج این تحقیق		نتایج تحقیق پزشک	
	مقاطع ستون	مقاطع تیر	مقاطع ستون	مقاطع تیر
1	W30X99	W36X150	W14X233	W33X118
2	W30X108	W36X135	W14X176	W30X90
3	W21X132	W30X132	W14X159	W27X84
4	W24X76	W21X101	W14X99	W24X55
5	W18X40	-	W12X79	-
مجموع وزن	28564.22 kg		29545.20 kg	
3% اختلاف جواب بهینه برای وزن دو سازه				

• در شکل ۳، دیاگرام نحوه بهینه‌سازی توضیح داده شده است. قبل از انجام بهینه‌سازی، برای تأیید برنامه، یکی از مثال‌های بهینه‌سازی قاب‌ها که در آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است، مدل می‌شود. در تحقیق پزشک و همکاران [۱۰] یک قاب ۱۰ طبقه با یک دهانه مدل شده است. در این مدل برای ستون‌ها ۵ تپ و برای تیرها ۴ تپ در نظر گرفته شده است. تابع هدف، بهینه‌سازی وزن سازه، و توابع محدودیت، نسبت تنش در المان‌ها و تغییر مکان نسبی در طبقات می‌باشند. پس از مدل‌سازی این مثال و به دست آوردن نتایج، اختلاف وزن سازه در حدود ۳ درصد به دست آمد. در جدول ۱ نتایج حاصل مقایسه شده است.



شکل ۳- فلوچارت روند بهینه‌سازی

جدول ۲- نتایج به دست آمده برای بهینه کردن تغییر مکان بام

بلون مهاربازویی	یک مهاربازویی	دو مهاربازویی	دو مهاربازویی
-	27	19, 29	27, 40
17.02	10.21	8.33	8.2
0.012	0.00722	0.00655	0.00689
6020	5510	5130	5420

نتیجه بهینه‌سازی برای حالت یک مهاربازویی که تابع هدف مجموع لنگر بالا و پایین مهاربازویی است، که مقدار بهینه آن ۷۶/۶۷ کیلونیوتن متر به دست آمده است.

نتیجه بهینه‌سازی برای مهار دوم با فرض مهار اول در طبقه ۴۰ ام که تابع هدف مجموع لنگر بالا و پایین مهاربازویی است مقدار بهینه ۵۲/۹۹ کیلونیوتن متر به دست آمده است. با توجه به جدول ۳، محل قرارگیری مهاربند بازویی برای حالت یک مهاربازویی در طبقه ۳۷، برای دو مهاربند بازویی در طبقات ۳۷ و ۴۰ به دست آمد.

با توجه به جدول ۲، محل قرارگیری مهاربند بازویی برای حالت یک مهاربازویی در طبقه ۲۷، برای دو مهاربند بازویی در طبقات ۱۹ و ۲۱، برای حالتی که یک مهاربند بازویی در طبقه ۴۰ ام قرار دارد، مهاربند دیگر در طبقه ۲۷ به دست آمده است.

در جدول ۲، بیشترین تغییر مکان، بیشترین تغییر مکان نسبی طبقات و بیشترین لنگر ایجاد شده در ستون‌های هسته برای هر چهار حالت آورده شده است.

### ۳-۴-۲- بهینه‌سازی لنگر در بالا و پایین مهاربازویی

تابع هدف این مسئله مجموع لنگر در بالا و پایین مهاربازویی و تابع محدودیت تغییر مکان نسبی طبقات می‌باشد. لنگر بالا و پایین مهاربازویی باعث چرخش مهاربازویی می‌شود و اگر مقدار آن کمتر شود طراحی مهاربازویی اقتصادی می‌شود. در حالتی که موقعیت طبقه دو مهاربازویی متغیر فرض شده است، طبقات ۳۷ و ۴۰ به دست آمده است؛ لذا حالت سوم و چهارم بر هم منطبق شده است و نتایج برای ۳ حالت آورده شده است.

جدول ۳- نتایج به دست آمده برای بهینه کردن مجموع لنگر بالا و پایین مهاربند

بدون مهاربازویی	یک مهاربازویی	دو مهاربازویی	
-	37	37, 40	طبقه مهاربازویی
17.02	13.22	11.89	بیشترین تغییر مکان (cm)
0.012	0.0087	0.0085	بیشترین تغییر مکان نسبی
6020	5600	5750	بیشترین لنگر ستون‌های هسته (kN.m)

### ۳-۵- انتخاب طرح بهینه

یک سازه ۴۰ طبقه با ۳ دهانه انتخاب شد و در حالت‌های مختلف و برای توابع هدف مختلف مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. با توجه به اینکه در سازه‌های بتنی عوامل متعددی مانند تغییر مکان، تغییر مکان نسبی و لنگر برای انتخاب طرح بهینه تأثیر دارند، برای انتخاب یک طرح، از روش معیارهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در جدول ۴ و ۵ انتخاب طرح بهینه برای توابع هدف مختلف نشان داده شده است.

در این روش برای هر معیار، وزنی مخصوص با توجه به اهمیتش داده می‌شود. در این پروژه وزن تمام معیارها برابر یک فرض می‌شود. برای به دست آوردن طرح بهینه، ابتدا امتیاز هر طرح برای معیارهای مختلف محاسبه می‌شود، سپس مجموع امتیازها برای طرح‌ها به دست می‌آید. امتیاز هر طرح از تقسیم مقدار متناظر برای هر معیار به کمترین مقدار موجود برای آن معیار به دست می‌آید. هر طرح که کمترین امتیاز را داشته باشد به عنوان طرح بهینه انتخاب می‌شود.

در جدول ۴ امتیاز طرح‌ها برای معیارهای مختلف محاسبه شده و مجموع آن‌ها برای تابع هدف تغییر مکان بام نشان داده شده است.

۲- سیستم کمر بند میانی باعث افزایش سختی خمشی سازه می‌شود و تغییر مکان بالای سازه‌های بلند دارای هسته را کاهش می‌دهد. برای تابع هدف اول (تغییر مکان بام)، ۵۱٪ کاهش در تغییر مکان بام و برای تابع هدف دوم (مجموع لنگر بالا و پایین مهاربند بازویی)، ۳۰٪ کاهش مشاهده می‌شود.

۳- استفاده از کمر بند میانی باعث کاهش مقدار تغییر مکان نسبی طبقات می‌شود. برای تابع هدف اول ۴۵٪ و برای تابع هدف دوم ۲۸٪ کاهش مشاهده می‌شود.

۴- طراحی بهینه برای تابع هدف تغییر مکان بام، استفاده از دو مهاربند میانی در طبقات ۱۹ و ۲۱ می‌باشد که نشان می‌دهد استفاده از مهاربند در طبقات میانی بسیار مؤثر می‌باشد.

۵- طراحی بهینه برای تابع هدف مجموع لنگر بالا و پایین مهاربند بازویی، استفاده از دو مهاربند میانی در طبقات ۳۷ و ۴۰ می‌باشد که نشان می‌دهد استفاده از مهاربند در طبقات فوقانی برای کاهش لنگر بالا و پایین مهاربند بازویی بسیار مؤثر می‌باشد.

۶- استفاده از مهاربند بازویی لنگر موجود در ستون‌های هسته را تا حدودی کاهش می‌دهد. ۱۴٪ کاهش لنگر برای تابع هدف اول و ۴٪ کاهش لنگر برای تابع هدف دوم مشاهده می‌شود.

با توجه به جدول ۴، دو مهار بازویی کمترین امتیاز را به دست آورده و طرح بهینه می‌باشد.

در جدول ۵ امتیاز طرح‌ها برای معیارهای مختلف محاسبه شده و مجموع آن‌ها برای تابع هدف مجموع لنگر بالا و پایین مهار بازویی نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵، دو مهار بازویی کمترین امتیاز را به دست آورده و طرح بهینه می‌باشد.

جدول ۴- انتخاب طرح بهینه برای تابع هدف تغییر مکان بام

معیار انتخاب	بدون مهار بازویی	یک مهار بازویی	دو مهار بازویی	دو مهار بازویی یکی در طبقه ۴۰
بیشترین تغییر مکان	2.08	1.25	1.02	1
بیشترین تغییر مکان نسبی	1.83	1.10	1	1.05
بیشترین لنگر خمشی	1.17	1.07	1	1.05
مجموع	5.08	3.42	3.02	3.10

جدول ۵- انتخاب طرح بهینه برای تابع هدف مجموع لنگر بالا و

پایین مهار بازویی

معیار انتخاب	بدون مهار بازویی	یک مهار بازویی در طبقه	دو مهار بازویی
بیشترین تغییر مکان	1.43	1.11	1
بیشترین تغییر مکان نسبی	1.41	1.03	1
بیشترین لنگر خمشی	1.08	1	1.03
مجموع	3.92	3.14	3.03

#### ۴- نتیجه گیری

پس از انجام تحلیل و بهینه‌سازی یک سازه ۴۰ طبقه برای دو تابع هدف مختلف نتایج زیر به دست آمد:

۱- با توجه به مقایسه به عمل آمده الگوریتم ژنتیک می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت بهینه‌سازی موقعیت مهارهای بازویی استفاده شود.

#### ۵- مراجع

- [1] F. T. Fawzia S, "Deflection Control in Composite Building by Using Belt Truss and Outriggers Systems "World Academy of Science, Engineering and Technology" 2010.
- [2] S. F. T. Kian P.S "THE USE OF OUTRIGGER AND BELT TRUSS SYSTEM FOR HIGH-RISE CONCRETE BUILDINGS," Dimensi Teknik Sipil", vol. 3, 2001.
- [3] H. N. Herath N, Mendis T.Ngo & P, "Behavior of outrigger Beams in High rise Buildings under Earthquake Loads," presented at the Autralian Earthquake Engineering Society, 2009.
- [4] B. S. Taranath, "Structural analysis and design of tall buildings New York," ed: McGraw-Hill, 1988.
- [5] M. B. B. McNabb J W, "Drift reduction factors for belted highrise structures," Engineering journal-American Institute of steel construction, 1975.
- [6] J. C. D. Hoenderkamp, "Second outrigger at optimum location on high rise shear wall," The structural design of tall and special buildings, vol. 1, pp. 619-634, 2008.

- [7] S. B. S. e. al, "Offset Outrigger Concepts for Tall Building Structures," in Tall Building Structure-A World View, Chicago, Illinois, 1996, pp. 73-80.
- [8] H. J, Adaptation in natural and artificial systems: University of Michigan Press, 1975.
- [9] Z. Z. Zhang J, Zhao WG, Zhu HP, Zhou CS, "Safety analysis of optimal outriggers location in high rise building structures," Journal of Zhejiang university Science, vol. 8, pp. 264-269, 2007.
- [10] P. S. Camp CV, Cao G, "Optimized design of two dimensional structures using a genetic algorithm," Journl of Structural Engineering, ASCE, vol. 5, pp. 551-9, 1998.



## Optimum Location of Outriggers at Concrete High-rise Buildings Using Genetic Algorithm

Masood Farzam

Professor asistant, Dep. of Civil Engineering, Tabriz University

Sepideh Mohammadi Sepasi \*

Alumni student of M.sc., Dep. of Civil Engineering, Tabriz University

### Abstract

All design projects, regardless of their complexity or their structural approach, are governed by one major principle, that of using the minimum necessary material. For high-rise buildings, the complexity of the solutions and the difficulty of their implementation, necessitate optimization techniques which are proven crucial for the desired outcome of the design concept. The race towards new heights has not been without challenges. After the invention of elevators, tall structures have continued to climb higher and higher facing lateral load effects. Usually, any increase in height is combined with unintended increase in flexibility and possible lack of stiffness or damping adds vulnerability for severe wind actions. Steel and concrete are the two most commonly used materials in the design of high-rise structures. Both have their unique qualities but can be distinguished by their unit price. Therefore, determining their optimum performance is a key factor when material price is of concern. There are numerous structural lateral systems used in high-rise building design such as: shear frames, shear trusses, frames with shear core, framed tubes, trussed tubes, etc. The outriggers and belt trusses system is the one providing significant drift control for the building where the core alone is not rigid enough to resist lateral loads. perimeter columns are mobilized for increasing the effective width of the structure. In this study, Optimum locations of the outriggers have been obtained in concrete structures. A novel evolutionary algorithm based upon Genetic algorithm (GA) is used in this research. The optimum location of outriggers in the concrete structures with shear wall core is obtained regarding to minimizing top displacement and the sum of the above and below moment of the outriggers. The main elements of the structures are designed according to the gravity loads previously and during the Analyses, sections of beams and columns have considered constant. The results show appreciable decline in the deflection with the use of outrigger system. There is 45% reduction in the top displacement by the use of one outrigger at the effective level. Furthermore, 51% drop in maximum displacement is achieved by the use of two outrigger levels.

**Keywords:** High-rise buildings, Belt truss systems, Outriggers, Optimum location, Lateral loads, Genetic Algorithm.

---

\*Corresponding author: sepideh.sepasi@gmail.com.

