

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : عمران و معماری

گروه : عمران - سازه

بهینه یابی سازه های قاب خمشی فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته تحت قیود قابلیت اعتماد

دانشجو:

مرتضی شبستانی

استاد راهنما :

دکتر وحید رضا کلات جاری

استاد مشاور :

دکتر علی کیهانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم بہ

پدر بزرگوارم

او کہ ناتوان شد تا من بہ توانایی برسم و عاشقانہ سوخت تا من بہ روشنائی برسم

و

مادر عزیزم

دریای بی کران فداکاری و عشق کہ وجودم برایش ہمہ رنج است و وجودش برایم ہمہ مہر

تشکر و قدردانی

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر کلات جاری که فراتر از یک استاد، در مسیر پرپیچ و خم زندگی و مسیر حق و حقیقت، سوار بر پیک دوستی و محبت، رهنمود بایشان همواره راهنمای اینجانب بوده است، صمیمانه کمال تشکر و قدردانی می نمایم و از خداوند منان توفیقات روزافزون برای ایشان خواستارم.

همچنین از آقایان دکتر علی کیهانی و دکتر پوریا منصوریان که از مشاوره با ایشان بهره مند بوده ام صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می نمایم و امیدوارم همواره در زندگی پیروز و سربلند باشند.

تعهد نامه

اینجانب مرتضی شهبستانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران-سازه دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهینه یابی سازه های قاب خمشی فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته تحت قید قابلیت اعتماد تحت راهنمایی آقای دکتر کلات جاری به عنوان استاد راهنمای خود متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام << دانشگاه صنعتی شاهرود >> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

*متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیرشده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد.

چکیده

اگرچه در بیشتر طراحی ها و بهینه یابی سازه ها، پارامترهای موثر در آنها بصورت یقین اندیشانه فرض می شوند اما در واقع پارامترهایی نظیر بار، تنش تسلیم، مدول الاستیسیته، سطح مقطع، طول اعضا و غیره دارای عدم قطعیت می باشند. به همین دلیل در روش های نوین بهینه یابی سازه ها برای اعمال اصولی تر عدم قطعیت ها، بجای استفاده از ضرایب اطمینان، برخی یا همه پارامترهای مساله به جای کمیت های معین به صورت متغیرهای تصادفی تعریف می شوند تا از روش های طراحی و بهینه یابی احتمال اندیشانه استفاده شود.

در این پایان نامه، جهت ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های قابی دو بعدی و سه بعدی از فرمول بندی ماتریسی مبتنی بر روش سختی و جهت تعیین مسیرهای محتمل خرابی از روش شاخه و کرانه استفاده شده است تا از تخمین محافظه کارانه احتمال خرابی سیستم سازه ای بر اساس احتمال خرابی اعضا که نتایج غیرقابل قبولی دارد، جلوگیری شود.

جهت بهینه یابی مقاطع سازه های قاب خمشی فولادی بدون استفاده از آئین نامه های طراحی، عملکرد سیستم های سازه ای و نوع توزیع احتمالی متغیرهای تصادفی لحاظ و با کمینه نمودن وزن سازه تحت قیود قابلیت اعتماد اعضا و کل سیستم سازه ای، اثر اندرکنش اعضا بر روی ایمنی تحت یک تحلیل احتمال اندیشانه در نظر گرفته شده است.

برای بهینه یابی نیز از الگوریتم ژنتیک جزیره ای با پردازش موازی و روش های پیشنهادی الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته با حالت ترکیبی عملگرها استفاده شده است که به این منظور برنامه ای تحت نرم افزار متلب نوشته شده است.

کلمات کلیدی: بهینه یابی، قاب های خمشی فولادی، الگوریتم ژنتیک جزیره ای، الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته ترکیبی عملگرها، تئوری قابلیت اعتماد، روش شاخه و کرانه

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. شبستانی م. کلات جاری و.ر. (۱۳۹۲) "تحلیل قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای قاب خمشی فولادی سه بعدی با استفاده از روش شاخه و کرانه" ، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد.
۲. شبستانی م. کلات جاری و.ر. (۱۳۹۲) "بهینه یابی سازه های قاب خمشی فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته تحت قیود قابلیت اعتماد" ، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد.
۳. شبستانی م. کلات جاری و.ر. (۱۳۹۲) "بهبود عملکرد بهینه یابی سازه ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی" ، همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: قابلیت اعتماد سیستم سازه ای	۷
۱-۲ مقدمه	۸
۱-۱-۲ مقدمه و تاریخچه	۸
۲-۱-۲ مفهوم تئوری قابلیت اعتماد	۱۰
۲-۲ ساختار یک سیستم	۱۱
۱-۲-۲ ساختار سری	۱۲
۲-۲-۲ ساختار موازی	۱۳
۳-۲-۲ ساختار k از n	۱۵
۱-۳-۲-۲ عنصر نامربوط یک سیستم	۱۶
۲-۳-۲-۲ ساختار هماهنگ	۱۷
۳-۲ عدم قطعیت ها	۱۸
۴-۲ معیار خرابی و مفهوم احتمال خرابی	۱۸
۱-۴-۲ مقدمه	۱۸
۲-۴-۲ محاسبه خرابی با توابع چگالی احتمال نرمال استاندارد	۱۹
۳-۴-۲ محاسبه احتمال خرابی در حالت کلی	۲۲
۴-۴-۲ تعیین احتمال خرابی سیستم های سازه ای	۲۳
۱-۴-۴-۲ قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای	۲۳
۱-۱-۴-۴-۲ احتمال خرابی سیستم های سری	۲۵
۲-۱-۴-۴-۲ احتمال خرابی سیستم های موازی	۲۷
۳-۱-۴-۴-۲ احتمال خرابی سیستم های ترکیبی	۲۹
۵-۲ فرمول بندی ماتریسی قابلیت اعتماد	۳۰
۱-۵-۲ مقدمه	۳۰
۲-۵-۲ فرمول بندی ماتریسی آنالیز قابلیت اعتماد سازه ها	۳۰
۳-۵-۲ ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های معین استاتیکی	۳۳
۴-۵-۲ ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های نامعین استاتیکی	۳۴
۱-۴-۵-۲ روش ANG و MA در تحلیل قابلیت اعتماد سازه های نامعین	۳۴
۱-۱-۴-۵-۲ شناسایی مدهای مهم انهدام	۳۵
۲-۱-۴-۵-۲ ترکیب مکانیزم های انهدام	۳۷
۳-۱-۴-۵-۲ روش PNET	۳۷

فصل سوم: معرفی و تحلیل سازه قاب خمشی	۳۹
۱-۳ مقدمه	۴۰
۲-۳ تحلیل سازه های قاب خمشی	۴۳
۱-۲-۳ قاب های دو بعدی (صفحه ای)	۴۳
مثال ۱-۳	۴۶
۲-۲-۳ قاب های سه بعدی (فضایی)	۴۸
مثال ۲-۳	۵۲

فصل چهارم: بهینه یابی با الگوریتم ژنتیک	۵۵
۱-۴ مقدمه	۵۶
۲-۴ تاریخچه الگوریتم های ژنتیک	۵۷
۳-۴ مراحل اساسی الگوریتم های ژنتیک	۵۸
۴-۴ مراحل بهینه یابی با الگوریتم های ژنتیک	۶۰
۵-۴ معایب الگوریتم ژنتیک ساده	۶۷
۶-۴ روش جستجوی چند منظوره (M.S.M)	۶۸
۷-۴ کلیات الگوریتم بهینه یابی مقاطع سازه قاب خمشی مورد تحقیق	۷۱
۱-۷-۴ الگوریتم تولید جمعیت اولیه	۷۱
۲-۷-۴ تحلیل سازه مربوط به هر کروموزوم	۷۱
۳-۷-۴ تحلیل قابلیت اعتماد مربوط به هر کروموزوم	۷۲
۴-۷-۴ تابع هدف و تابع جریمه مورد استفاده	۷۲
۵-۷-۴ تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی مورد استفاده	۷۳

فصل پنجم : راهکارهای پیشنهادی و گام های حل مساله	۷۵
۱-۵ مقدمه	۷۶
۲-۵ گام به گام تحلیل قابلیت اعتماد المان و سیستم سازه قابی به روش شاخه و کرانه	۷۷
۱-۲-۵ احتمال خرابی المان قابی	۷۸
۲-۲-۵ احتمال خرابی سیستم سازه ای قاب خمشی	۸۰
۱-۲-۲-۵ ایجاد توابع حالت حدی	۸۰
۲-۲-۲-۵ عملیات شاخه ای	۸۶
۳-۲-۲-۵ تعیین کران بالا و پایین احتمال خرابی سازه	۸۸

۸۸	 عملیات کرانه ای ۴-۲-۲-۵
۸۹	 روش راکویتز- فیسler ۳-۲-۵
۹۳	 راهکارهای پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ۳-۵
۹۳	 الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیبی عملگرها ۱-۳-۵
۹۶	 الگوریتم پیشنهادی تغییر متناوب ترکیباتی عوامل ژنتیک ۱-۱-۳-۵
۹۷	 الگوریتم پیشنهادی پردازش موازی ترکیباتی با شایستگی بالا ۲-۱-۳-۵
۹۹	 چند راهکار پیشنهادی برای برخی عوامل الگوریتم ژنتیک ۲-۳-۵
۹۹	 بهبودی برای عملکرد روش رتبه بندی ۱-۲-۳-۵
۹۹	 رابطه احتمال انتخاب استفاده شده برای روش چرخ گردان ۲-۲-۳-۵
۱۰۱	 مقدار پیشنهادی برای ثابت های تابع جریمه ۳-۲-۳-۵

فصل ششم : مثال های عددی ۱۰۳

۱۰۴	 مقدمه ۱-۶
۱۰۷	 مثال ۱-۶
۱۰۹	 مثال ۲-۶
۱۱۲	 مثال ۳-۶
۱۱۶	 مثال ۴-۶
۱۲۰	 مثال ۵-۶
۱۲۷	 مثال ۶-۶

فصل هفتم : نتایج و پیشنهادات ۱۳۷

۱۳۸	 مقدمه ۱-۷
۱۳۸	 نتایج ۲-۷
۱۳۹	 پیشنهادات ۳-۷

مراجع ۱۴۱

فهرست جداول

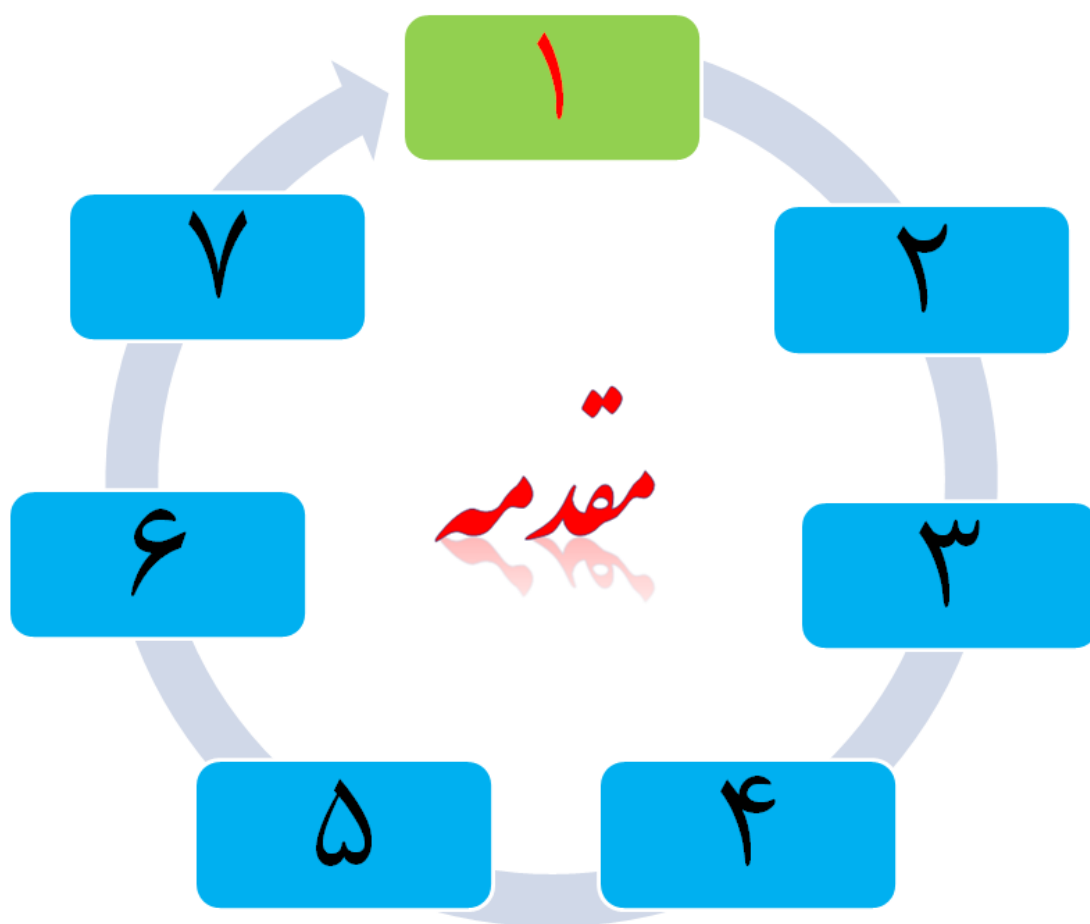
جدول ۱-۳. مقایسه نتایج تغییر مکان های مجهول قاب مثال (۱-۳).....	۴۷
جدول ۲-۳. مقایسه نتایج نیروهای داخلی المان های قاب مثال (۱-۳).....	۴۷
جدول ۳-۳. مقایسه نتایج تغییر مکان های مجهول قاب مثال (۲-۳).....	۵۲
جدول ۴-۳. مقایسه نتایج نیروهای داخلی المان های قاب مثال (۲-۳).....	۵۳
جدول ۱-۶. جدول مشخصات قاب مثال (۱-۶).....	۱۰۵
جدول ۲-۶. جدول مرحله اول مسیر خرابی مثال (۱-۶).....	۱۰۵
جدول ۳-۶. جدول مرحله دوم مسیر خرابی مثال (۱-۶).....	۱۰۶
جدول ۴-۶. جدول مرحله سوم مسیر خرابی مثال (۱-۶).....	۱۰۶
جدول ۵-۶. جدول مرحله چهارم مسیر خرابی مثال (۱-۶).....	۱۰۶
جدول ۶-۶. جدول مشخصات قاب مثال (۲-۶).....	۱۰۷
جدول ۷-۶. جدول چند مسیر خرابی قاب مثال (۲-۶).....	۱۰۸
جدول ۸-۶. روش ها و عملگرهای انتخاب شده برای جزایر الگوریتم ژنتیک جزیره ای.....	۱۱۰
جدول ۹-۶. مقادیر عملگرهای الگوریتم های ژنتیک.....	۱۱۰
جدول ۱۰-۶. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۳-۶).....	۱۱۳
جدول ۱۱-۶. مقاطع بهینه و شاخص قابلیت اعتماد اعضای قاب مثال (۳-۶).....	۱۱۴
جدول ۱۲-۶. محتمل ترین مسیرهای خرابی برای قاب بهینه مثال (۳-۶).....	۱۱۴
جدول ۱۳-۶. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۳-۶).....	۱۱۵
جدول ۱۴-۶. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۴-۶).....	۱۱۷
جدول ۱۵-۶. مقاطع بهینه و شاخص قابلیت اعتماد اعضای قاب مثال (۴-۶).....	۱۱۸
جدول ۱۶-۶. محتمل ترین مسیرهای خرابی برای قاب بهینه مثال (۴-۶).....	۱۱۹
جدول ۱۷-۶. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۴-۶).....	۱۲۰
جدول ۱۸-۶. مختصات گره های قاب مثال (۵-۶).....	۱۲۱
جدول ۱۹-۶. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۵-۶).....	۱۲۲
جدول ۲۰-۶. مقاطع بهینه و شاخص قابلیت اعتماد اعضای قاب مثال (۵-۶).....	۱۲۳
جدول ۲۱-۶. محتمل ترین مسیرهای خرابی برای قاب بهینه مثال (۵-۶).....	۱۲۴
جدول ۲۲-۶. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۵-۶).....	۱۲۵
جدول ۲۳-۶. مختصات گره های قاب مثال (۶-۶).....	۱۲۷
جدول ۲۴-۶. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۶-۶).....	۱۳۰
جدول ۲۵-۶. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶).....	۱۳۲

- جدول ۶-۲۶. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶) ۱۳۳
- جدول ۶-۲۷. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶) ۱۳۴
- جدول ۶-۲۸. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶) ۱۳۵
- جدول ۶-۲۹. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۶-۶) ۱۳۶

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. سیستم با ساختار سری ۱۲
- شکل ۲-۲. سیستم سازه ای سری و مدل قابلیت اعتماد آن ۱۳
- شکل ۳-۲. سیستم با ساختار موازی ۱۳
- شکل ۴-۲. سیستم سازه ای موازی و مدل قابلیت اعتماد آن ۱۴
- شکل ۵-۲. ساختار ۲ از ۳ ۱۶
- شکل ۶-۲. نامربوط بودن عنصر ۲ ۱۶
- شکل ۷-۲. عضو سازه ای منفرد ۱۹
- شکل ۸-۲. نمایش احتمال خرابی ۲۰
- شکل ۹-۲. توابع چگالی احتمال پاسخ و مقاومت ۲۲
- شکل ۱۰-۲. یک عضو، m بار ۲۵
- شکل ۱۱-۲. n عضو، یک بار ۲۶
- شکل ۱۲-۲. n عضو، m بار ۲۶
- شکل ۱۳-۲. مثال تحلیل قابلیت اعتماد سیستم موازی ۲۸
-
- شکل ۱-۳. متداول ترین سازه های ساختمانی ۴۰
- شکل ۲-۳. مختصات محلی و کلی المان قاب دو بعدی ۴۳
- شکل ۳-۳. بار گسترده بر روی یک المان قاب دو بعدی ۴۴
- شکل ۴-۳. شکل مربوط به قاب دو بعدی مثال (۱-۳) ۴۶
- شکل ۵-۳. شماره گذاری المان ها و گره های قاب دوبعدی مثال (۱-۳) ۴۶
- شکل ۶-۳. شماره گذاری درجات آزادی برای یک قاب سه بعدی ۴۸
- شکل ۷-۳. المان قاب سه بعدی در دستگاه های مختصات محلی و کلی ۴۹
- شکل ۸-۳. شکل مربوط به قاب سه بعدی مثال (۲-۳) ۵۲
-
- شکل ۱-۴. روش جستجوی چند منظوره ۷۱
- شکل ۲-۴. روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) ۷۰
- شکل ۳-۴. شمای کلی مراحل بهینه یابی سازه قاب خمشی مورد تحقیق ۷۴
-
- شکل ۱-۵. المان قاب بدون مفصل پلاستیک ۸۱
- شکل ۲-۵. مقاومت های باقیمانده با مفصل پلاستیک در سمت چپ عضو ۸۲
- شکل ۳-۵. مقاومت های باقیمانده با مفصل پلاستیک در سمت راست عضو ۸۴

- شکل ۴-۵. مقاومت های باقیمانده با مفصل پلاستیک در هر دو سمت عضو ۸۵
- شکل ۵-۵. ترکیب های ممکن از مهم ترین عوامل موثر بر نتایج الگوریتم ژنتیک ۹۵
- شکل ۶-۵. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی تغییر متناوب ترکیباتی عوامل ژنتیک ۹۶
- شکل ۷-۵. روش پردازش موازی ترکیب های ممکن ۹۷
- شکل ۸-۵. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی پردازش موازی ترکیباتی با شایستگی بالا ۹۸
-
- شکل ۱-۶. شکل قاب مثال (۱-۶) ۱۰۴
- شکل ۲-۶. شکل قاب مثال (۲-۶) ۱۰۶
- شکل ۳-۶. همه ترکیب های ممکن از بین روش ها و عملگرهای مورد استفاده ۱۰۹
- شکل ۴-۶. قاب دو بعدی دو دهانه سه طبقه مثال (۳-۶) ۱۱۲
- شکل ۵-۶. شماره گذاری المان ها و گره های مثال (۳-۶) ۱۱۳
- شکل ۶-۶. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی مختلف برای مثال (۳-۶) ۱۱۵
- شکل ۷-۶. قاب دو بعدی سه دهانه پنج طبقه مثال (۴-۶) ۱۱۶
- شکل ۸-۶. شماره گذاری المان ها و گره های مثال (۴-۶) ۱۱۷
- شکل ۹-۶. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی مختلف برای مثال (۴-۶) ۱۲۰
- شکل ۱۰-۶. قاب سه بعدی ۲ طبقه ، ۳ دهانه جهت X و ۲ دهانه جهت Z مثال (۵-۶) ۱۲۱
- شکل ۱۱-۶. شماره گذاری المان ها و گره های مثال (۵-۶) ۱۲۳
- شکل ۱۲-۶. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی مختلف برای مثال (۵-۶) ۱۲۶
- شکل ۱۳-۶. قاب سه بعدی ۶ طبقه ، ۴ دهانه جهت X و ۳ دهانه جهت Z مثال (۶-۶) ۱۲۷
- شکل ۱۴-۶. شماره گذاری المان ها و گره های قاب مثال (۶-۶) ۱۲۹
- شکل ۱۵-۶. شماره گذاری المان ها و گره های قاب مثال (۶-۶) ۱۳۰
- شکل ۱۶-۶. شماره گذاری المان ها و گره های قاب مثال (۶-۶) ۱۳۰
- شکل ۱۷-۶. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی مختلف برای مثال (۶-۶) ۱۳۶



بشر از بدو خلقت تاکنون همیشه به دنبال ایمنی و اطمینان بوده است. بیشتر از اینکه ایمنی را به عنوان یک شاخص برای آنچه با آن سروکار داریم بشناسیم، احساس درونی است که در وجود انسان می باشد که قبل از آنکه دست به کاری بزند خطر را از محدوده کار خود دور می کند و یا خطرات را به حداقل ممکن می رساند تا ایمنی داشته باشد.

در بسیاری از موارد، جهت طراحی و بهینه یابی سازه ها، پارامترهای موثر در آن به صورت قطعی در نظر گرفته می شوند و عدم قطعیت در آنها توسط ضریب اطمینان لحاظ می شود. این در حالی است که بهتر است این عوامل از قبیل بارهای وارد بر سازه، مقاومت مصالح، طول و هندسه اعضا و غیره، به صورت احتمالاتی در نظر گرفته شوند و بصورت جامع تر مورد مطالعه قرار گیرند.

از اینرو شاخه ای از تئوری احتمالات، بنام نظریه قابلیت اعتماد پدید آمد تا با استفاده از آن، احتمال خرابی سازه تعیین شده و در طراحی و بهینه یابی مورد استفاده قرار گیرد. یکی از بهترین تعریف ها برای قابلیت اعتماد از طرف موسسه ملی هوافضای آمریکا ارائه شده که چنین است : "قابلیت اعتماد، احتمال عملکرد باکفایت یک سیستم، تحت شرایط کاری از پیش تعیین شده و برای مدت زمانی معین است". طبق این تعریف، قابلیت اعتماد، همیشه معرف احتمالی است که بین عملکرد سیستم و نیازی که در عمل از آن انتظار می رود، ارتباط برقرار می نماید و هر سیستمی که با مقیاس ایمنی^۱ (شاخص قابلیت اعتماد^۲) قابل قبولی ساخته شود، می توان نتیجه گرفت که ایمنی لازم را دارد.

اولین گام در استفاده از نظریه قابلیت اعتماد، تعیین ضابطه خرابی (حاشیه ایمنی^۳) در قاب ها می باشد. با محاسبه تفاوت نیروهای داخلی و مقاومت نهایی در مقاطع بحرانی حاشیه ایمنی بدست

^۱. Safe index

^۲. Reliability index

^۳. Safety margin

می آید و سپس بعد از تشخیص عدم قطعیت های مختلف موثر در مساله، با توجه به نوع تابع توزیع متغیرهای مساله، شاخص قابلیت اعتماد آن بدست می آید.

در فصل دوم این تحقیق، پس از ارائه توضیحاتی مقدماتی درباره خواص ساختاری یک سیستم و ارتباط بین یک سیستم و اجزای آن، به موضوع نظریه قابلیت اعتماد درسیستم های سازه ای و شیوه های مختلف بدست آوردن احتمال خرابی اعضا^۱ و احتمال خرابی کل سیستم های سازه ای^۲ پرداخته شده است. ارزیابی قابلیت اعتماد دارای روش های مختلفی بوده ولی طبقه بندی جامعی برای آن ارائه نگردیده است زیرا بعضی از روش های غیرقابل طبقه بندی می توانند وجود داشته باشند که از ترکیب چند روش دیگر بوجود آمده اند.

در فصل سوم به معرفی و شرح تحلیل بر اساس روابط اجزاء محدود^۳ برای سازه های قابی اعم از دو بعدی و سه بعدی پرداخته و با مثال هایی از قاب های دو بعدی و سه بعدی، صحت سنجی برنامه کامپیوتری اجزاء محدود نوشته شده سازگار با بحث قابلیت اعتماد، ارائه شده است.

در فرآیند بهینه یابی، احتمال خرابی ممکن است به عنوان تابع هدف^۴ و یا بخشی از آن و یا به عنوان قیود^۵ در نظر گرفته شود و بسته به نظر طراح، فرمول بندی ها به سه صورت ارائه می شود:

۱) کمینه سازی وزن سازه تحت محدودیت قابلیت اعتماد اعضای سازه ۲) کمینه سازی وزن سازه تحت محدودیت قابلیت اعتماد سیستم سازه ای ۳) کمینه سازی احتمال خرابی سیستم سازه ای تحت محدودیت وزن سازه که در این پایان نامه موارد ۱ و ۲ به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفته است.

^۱ . Element failure probability

^۲ . System failure probability

^۳ . Finite Element Method

^۴ . Goal function

^۵ . Constraints

بهینه یابی سازه ها^۱ اغلب با استفاده از دو روش کلی روش های مبتنی بر روابط ریاضی^۲ و روش های مبتنی بر جستجوهای تصادفی^۳ انجام می شود. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک^۴ که یکی از انواع روش دوم می باشد، استفاده شده است. این الگوریتم از قوانین طبیعی و نحوه انتقال وراثت^۵ میان نسل های مختلف نشأت گرفته است.

در فصل چهارم، ابتدا مفاهیم اولیه الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. این الگوریتم یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای طراحی بسیار وسیع و بزرگ است و پس از اینکه در هر تکرار یا نسل سازی مجموعه ای از طرح های ممکن مورد پردازش قرار گرفت، در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد. از مهم ترین عیوب الگوریتم ژنتیک ساده وابستگی نتایج آن به نوع عملگرها و پارامترهایش می باشد. عدم شناخت درست از پارامترها و روابط حاکم بر این الگوریتم از قبیل تعداد اعضای جمعیت^۶، تعداد نسل ها^۷، نرخ عملگرهای پیوند^۸ و جهش^۹، نوع تابع جریمه^{۱۰} و مقادیر ثابت های دخیل در آن، نوع تابع شایستگی^{۱۱}، چگونگی فرآیند انتخاب^{۱۲} و غیره سبب می شود تا در برخی مواقع این الگوریتم، بهینه نسبی را بدست آورد. از اینرو در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک جزیره ای تعمیم یافته^{۱۳} که الگوریتمی بر اساس روش جستجوی چند منظوره^{۱۴} است و نیز الگوریتم ژنتیک پیشنهادی استفاده شده که در ادامه این فصل در مورد این الگوریتم ها توضیحاتی داده شده است.

-
1. Structure optimization
 2. Mathematical concepts
 3. Random searches
 4. Genetic Algorithm (GA)
 5. Inheritance Transfer
 6. Population
 7. Generations number
 8. Crossover
 9. Mutant
 10. Penalty function
 11. Competence function
 12. Selection
 13. Developed island genetic algorithm
 14. Multi Search Method

در **فصل پنجم** این پایان نامه راهکارهای پیشنهادی در مباحث مختلف مطرح شده است. این راهکارها شامل دو بخش کلی ارائه الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیبی عملگرها و نیز استفاده از روش شاخه و کرانه^۱ (که مبتنی بر مسیرهای خرابی^۲ است) برای بدست آوردن احتمال خرابی کل سیستم سازه های قابی است.

نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک جزیره ای با وجود در نظر گرفتن برخی از عملگرها در جزایر مختلف، باز هم شاید نتواند بهترین جواب را پس از اتمام نسل ها به ما بدهد. دلیل آن هم این است که به نوعی فقط چند ترکیب از عملگرها^۳ تحت جزایر محدود مورد ارزیابی قرار می گیرند. این در حالی است که ممکن است ترکیب های دیگری از پارامترهای ژنتیک دارای جواب بهینه بهتری باشد. در این فصل چگونگی پیاده سازی این الگوریتم ژنتیک پیشنهادی که خود، شامل ۲ الگوریتم پیشنهادی است، شرح داده شده است.

برای بدست آوردن احتمال خرابی کل سازه، ضابطه خرابی^۴ به صورت ایجاد مکانیزم در سیستم سازه (فروپاشی سازه) تعریف می شود. از جمله روش هایی که برای بدست آوردن احتمال خرابی سیستم سازه ای مورد استفاده قرار می گیرند می توان از روش های شبیه سازی^۵ و روش های مبتنی بر مسیرهای خرابی نام برد که در روش های شبیه سازی بارهای تصادفی و مقاومت اعضا با توجه به مقادیر میانگین و ضریب تغییرات آنها، به تعداد دفعات مشخص شبیه سازی شده و هر بار منفی شدن مقدار حاشیه ایمنی^۶ به معنی انهدام سازه می باشد که نسبت تعداد دفعات خرابی به تعداد کل شبیه سازی ها برابر احتمال خرابی سیستم سازه ای در نظر گرفته می شود که البته اشکال

^۱ . Branch and Bound method

^۲ . Failure approaches

^۳ . Operators hybrid genetic algorithm

^۴ . Failure criterion

^۵ . Simulation

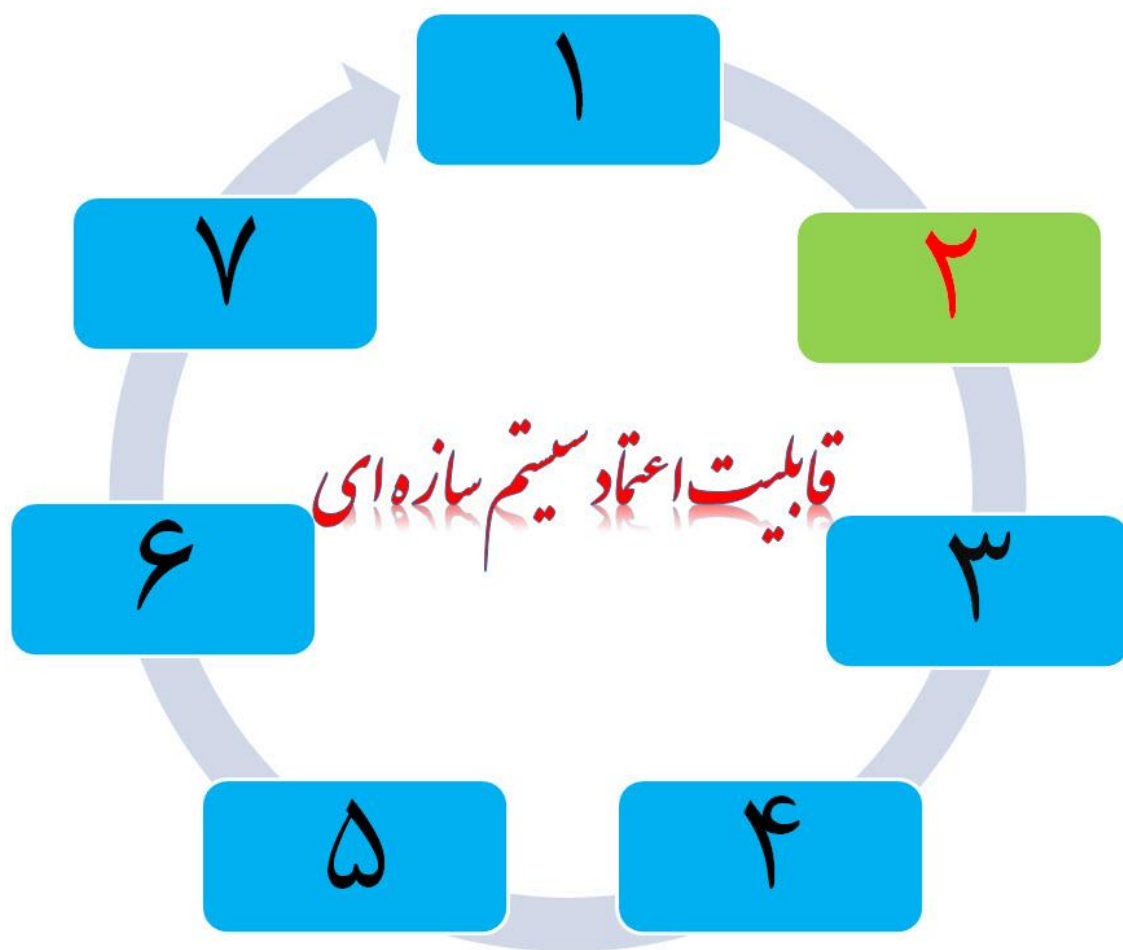
^۶ . Margin of safety

این روش این است که در مسائل متعارف، به دلیل نیاز به تعداد زیاد این شبیه سازی ها غیر قابل استفاده می باشد. روش دوم استفاده از روش شاخه و کرانه می باشد که روشی مبتنی بر مسیرهای خرابی است. این روش شامل ۳ مرحله اصلی عملیات شاخه ای^۱، تنظیم کرانه های بالایی و پائینی^۲ و عملیات کرانه ای^۳ می باشد. در ابتدا مسیرهای خرابی بصورت خودکار تولید می گردند که البته با توجه به تعداد بسیار زیاد این مسیرها، مسیرهای محتمل تر خرابی از سایر مسیرها جدا می شود و بر اساس روش کرنل، کران بالا و پائین احتمال خرابی سیستم سازه ای بر اساس احتمال خرابی مربوط به مسیرهای خرابی محاسبه می شود. در این فصل، با ارائه روندی گام به گام، چگونگی پیاده سازی روش شاخه و کرانه برای سازه های قاب خمشی (دو بعدی و سه بعدی) شرح داده شده است.

در **فصل ششم**، با ارائه مثال های عددی متعدد از قاب های مختلف دو بعدی و سه بعدی، مجموعه مطالب بیان شده در فصل های قبل این پایان نامه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در نهایت در **فصل هفتم**، نتایج حاصل از این تحقیق و پیشنهادات جهت ادامه تحقیقات بیان شده است.

¹ . Branch operations
² . Set the upper and lower bounds
³ . Bound operations



۲-۱ مقدمه

۲-۱-۱ مقدمه و تاریخچه

موضوع قابلیت اعتماد نخستین بار در حین جنگ جهانی دوم مطرح شد، یعنی هنگامی که ارتش آمریکا در اواخر جنگ بر اثر تحقیقات متوجه نتایج تعجب‌انگیزی شد. مثلاً مشخص گردید که در هنگام مانورهای نیروی دریایی فقط ۳۰ درصد از وسائل الکترونیکی فعال بوده‌اند و در جاهای دیگر بین دوسوم تا سه چهارم از تجهیزات قابل استفاده بود. با تحقیقی که در نیروی هوایی انجام گرفت مشخص شد که تعمیر و کنترل دستگاهها به اندازه ده برابر قیمت اصلی هر دستگاه هزینه داشته است. به طور کلی مطالعات فوق همراه با مطالعات دیگر عاملی برای تحقیق بیشتر در نظریه قابلیت اعتماد و جمع‌آوری اطلاعات در مورد چگونگی خرابی دستگاهها گردید.

در سالهای اخیر استفاده از نظریه قابلیت اعتماد در صنایع افزایش یافته چنانکه فعالیتهایی از بررسی ساده گرفته تا تجزیه و تحلیل های پیشرفته آماری در برنامه کار بسیاری از صنایع از قبیل پایگاههای تولید انرژی مخصوصاً انرژی اتمی و سیستمهای تولید برق، پتروشیمی، هواپیماسازی و غیره قرار گرفته است. همین مسأله باعث گردیده تا روش های قابلیت اعتماد، نظر محققان و نویسندگان آیین نامه های طراحی را به خود معطوف نماید. امروزه تقریباً در مسائل متداول مهندسی از نظریه قابلیت اعتماد استفاده می گردد. پیشینه این روشها در سایر شاخه های مهندسی، نظیر مهندسی صنایع، مهندسی برق و مهندسی هسته ای نسبت به مهندسی سازه طولانی تر است.

با این حال نظریه قابلیت اعتماد کمک شایان توجهی در محاسبات و طراحی سازه ها در مهندسی سازه نموده است. در حال حاضر روش ضرایب بار و تقلیل مقاومت مطروح در آیین نامه های ایران، فاقد مطالعات آماری محلی است و ممکن است با توجه به مکان و شرایط ساخت، این ضرایب از جامعیت کافی برخوردار نباشند. به این ترتیب نظریه قابلیت اعتماد کمک می کند تا هر بنا با توجه به اهمیت و مکان ساخت آن با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها، روش طراحی خاص و ایمنی متناسب با

ارزش خود را احراز نماید. بنابراین لازم است فرمول های ریاضی برای لحاظ نمودن ایمنی و اطمینان در سازه ها تعریف گردند.[1]

اولین فرمولبندی ریاضی از مسائل ایمنی سازه ها توسط مایر^۱ در سال ۱۹۲۶، استرلتزکی^۲ در سال ۱۹۴۷ و ویرزبیک^۳ در سال ۱۹۳۶ بیان گردید. آنها بار و مقاومت را کمیت های احتمال اندیشانه در نظر گرفته و در نتیجه برای هر سازه احتمال مشخصی از خرابی در نظر گرفتند. کار آنها در سال ۱۹۵۶ توسط فردنتال^۴ توسعه یافت. کاربرد عملی تحلیل قابلیت اعتماد امکان پذیر نبود تا اینکه این کار توسط کرنل^۵ و لیند^۶ در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ انجام گردید. کرنل یک روش لنگر دوم در تعیین شاخص قابلیت اعتماد در سال ۱۹۶۹ پیشنهاد نمود. هاسوفر^۷ و لیند خطی سازی شاخص قابلیت اعتماد را در سال ۱۹۷۴ بیان نمودند. در سال ۱۹۷۸ یک روش عددی مؤثر برای محاسبه شاخص قابلیت اعتماد به وسیله راکویتز^۸ و فیسلر^۹ بیان شد. در انتهای دهه ۱۹۷۰ روش های قابلیت اعتماد به مرحله بلوغ رسیدند و اکنون به آسانی مورد استفاده قرار می گیرند. در سالهای اخیر کتابهای متعددی در این زمینه، توسط افراد مختلف نوشته شده که فهرست آنها در مرجع [2] آمده است. این تئوری به صورت قابل توجهی گسترش یافته وهم اکنون از آن در توسعه مقررات ملی ساختمان استفاده شود. نکته قابل توجه این است که متاسفانه در حال حاضر بیشتر آیین نامه های مبتنی بر نظریه قابلیت اعتماد براساس ایمنی اعضای سازه ساختار یافته اند و توجه آن چنانی به طراحی مبتنی بر ایمنی کل سیستم سازه ای ندارند. در سالهای نه چندان دور می توان انتظار داشت که روشهای آنالیز و طراحی مورد استفاده بر اساس مدل های رفتاری سیستم سازه ای، توسعه بیشتری یابند.

¹ . Mayer

² . Streletzki

³ . Wierzbicki

⁴ . Freudenthal

⁵ . Cornell

⁶ . Lind

⁷ . Hasofer

⁸ . Rackwitz

⁹ . Fiessler

از جمله آیین نامه های مبتنی بر نظریه قابلیت اعتماد و انجمن های موجود در این زمینه می توان به انجمن آمریکایی ساختمان های فولادی (AISC، ۱۹۸۶، ۱۹۹۴)، روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (LRFD)، آیین نامه طراحی پل های بزرگراه های انتاریو (OHBDG، ۱۹۹۱، ۱۹۸۳، ۱۹۷۹)، انجمن آمریکایی بزرگراه و حمل و نقل (AASHTO، ۱۹۹۴، ۱۹۹۸)، آیین نامه طراحی پل های بزرگراهی در کانادا (۱۹۹۸) و مقررات آیین نامه های اروپایی (CEC، ۱۹۸۴) اشاره کرد. [2]

۲-۱-۲ مفهوم تئوری قابلیت اعتماد

به طور کلی مهمترین عامل برای استفاده کنندگان هر سیستم، میزان اطمینانی است که به کارکرد صحیح آن سیستم دارند. بدین منظور بحث قابلیت اعتماد به عنوان نظریه ای که پاسخگوی نیاز فوق باشد در رشته های مختلف علوم و به ویژه مهندسی مطرح شده است. اگر یک سیستم را بعنوان مجموعه ای از اشیا و عناصر که با یکدیگر ارتباط منطقی دارند و نتیجه فعالیت این مجموعه تولید محصول بخصوص باشد، تعریف نمود، آنگاه می توان به گستردگی زمینه بحث این نظریه پی برد. بدن انسان، مدارهای الکتریکی، ماشین آلات صنعتی، نظام های اجتماعی و اقتصادی، انواع مختلف سازه های ساختمانی و ... مثال هایی از اینگونه سیستم ها می باشند.

یکی از بهترین تعریف هایی که برای قابلیت اعتماد از طرف موسسه ملی هوافضای آمریکا (NASA) داده شده چنین است: «قابلیت اعتماد، احتمال عملکرد با کفایت یکی سیستم، تحت شرایط کاری از پیش تعیین شده و برای مدت زمانی معین است».

بنابراین تعریف، قابلیت اعتماد تابعی از زمان است که بیانگر میزان اعتماد به کار کردن سیستم در فاصله زمانی $[0, t]$ بدون نیاز به تعمیر است و از طرفی این تعریف مشخص می کند که قابلیت اعتماد همیشه معرف احتمالی است که بین عملکرد سیستم و آنچه در عمل از آن انتظار می رود نوعی ارتباط برقرار می کند. در واقع سیستمی که نسبت به مقیاس اطمینان تعیین شده ای عملکرد قابل قبولی داشته باشد، می توان گفت که ایمنی لازم را دارد.

در این تحقیق قابلیت اعتماد سیستم بطور ایستا و مستقل از زمان مورد بررسی قرار گرفته و برای به دست آوردن آن، طی مراحل زیر لازم است [3]:

الف) مرز بندی روشن بین ضوابط خرابی و سلامت طرح مورد نظر، یا به عبارت دیگر تعریفی دقیق برای خرابی

ب) انتخاب یک مدل قطعی که متغیرهای اصلی را به ضابطه خرابی یا سلامت مربوط سازد.

ج) تشخیص عدم قطعیتها در متغیرهای اصلی.

د) به دست آوردن توابع توزیع احتمال و گشتاورهای آماری متغیرهای اصلی.

پس از طی مراحل فوق، می توان به تحلیلهای لازم برای به دست آوردن قابلیت اعتماد پرداخت.

در این فصل ابتدا خواص ساختاری یک سیستم و ارتباط بین یک سیستم و اجزای آن مورد بررسی قرار گرفته، سپس به تعریف عدم قطعیت در مهندسی سازه پرداخته و به تعریف و چگونگی محاسبه احتمال خرابی با فرض نرمال بودن متغیرهای تصادفی می پردازیم و در نهایت قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای را مورد بررسی قرار می دهیم.

۲-۲ ساختار یک سیستم^۱ [1,3]

در این بخش خواص ساختاری و ارتباط بین یک سیستم و اجزاء آن مورد بررسی قرار می گیرد. برای اینکه بتوانیم ساختار یک سیستم را معرفی کنیم نخست باید آن را با استفاده از توابع ریاضی توصیف نمائیم.

به طور کلی برای هر سیستم دو وضع در نظر گرفته میشود: "سیستم فعال"^۲ و "سیستم غیر فعال"^۳. به کمک متغیر دو حالتی ϕ می توان وضع سیستم را به این صورت مشخص نمود:

^۱ . Structure of system

^۲ . Functioning system

^۳ . Failed system

$$\phi = \begin{cases} 1 & \text{functioning system} \\ 0 & \text{failed system} \end{cases} \quad (1-2)$$

وضعیت عنصر i ام یک سیستم که دارای n عنصر متمایز است. با متغیر دو حالتی x_i قابل نمایش است:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{functioning: } x_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ 0 & \text{failed: } x_i \end{cases} \quad (2-2)$$

این فرض که وضعیت سیستم تابعی از وضعیت عناصر آن است فرض معقولانه ای است. بنابراین می توانیم وضعیت یک سیستم را به صورت تابعی از بردار $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ مانند $\phi(x)$ نمایش دهیم. تابع ϕ را تابع ساختار^۱ سیستم گویند و به طور خلاصه آن را ساختار ϕ نیز نامند. تعداد عناصر یک سیستم را مرتبه سیستم گویند، بنابراین $\phi(x)$ تابع ساختار یک سیستم از مرتبه n است.

در اینجا با ذکر چند مثال ساختارهای مهمی را که با آنها آشنایی داریم مورد بررسی قرار می دهیم و تابع ساختار آنها را معین می کنیم.

۲-۲-۱ ساختار سری^۲

شکل (۱-۲) نشان دهنده وضعیت قرار گرفتن عناصر در سیستم با ساختار سری است.



شکل ۱-۲. سیستم با ساختار سری

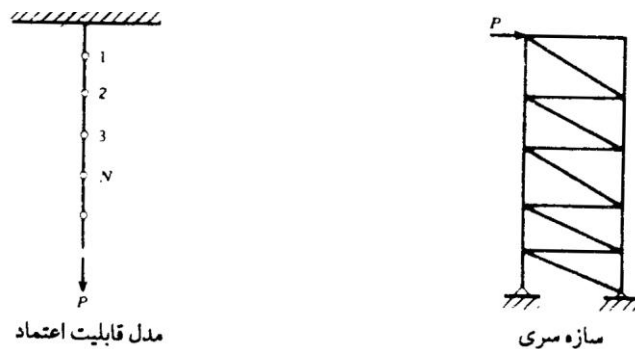
این سیستم فعال است اگر و فقط اگر تمامی اعضای آن فعال باشند، بنابراین تابع ساختار این سیستم را می توان توسط رابطه (۳-۲) نمایش داد :

$$\phi(x) = \bigcap_{i=1}^n x_i = \min(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3-2)$$

^۱ . Structure function

^۲ . Series structure

بنابراین اگر یکی از عناصر سیستم غیر فعال باشد ($x_i = 0$) آنگاه $\varphi(x) = 0$ یعنی کل سیستم غیر فعال خواهد بود و اگر تمامی عناصر سیستم فعال باشند ($x_i = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$) آنگاه $\varphi(x) = 1$ و کل سیستم فعال است.

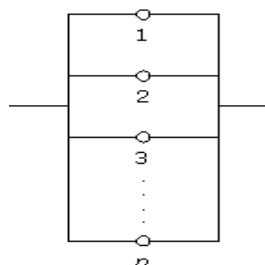


شکل ۲-۲. سیستم سازه ای سری و مدل قابلیت اعتماد آن

در شکل (۲-۲) یک سیستم سازه ای سری^۱ و مدل قابلیت اعتماد آن نشان داده شده است. در این سیستم با خرابی هر عضو، کل سیستم دچار خرابی می گردد و بدین لحاظ به این سیستم، مدل زنجیره ای ضعیفترین اتصال یا به اختصار سیستم ضعیفترین اتصال^۲ نیز گفته میشود. سازه های معین استاتیکی مثال هایی از این نوع سیستم ها هستند.

۲-۲-۲ ساختار موازی^۳

شکل (۳-۲) نشان دهنده ساختار موازی^۳ یک سیستم موازی است.



شکل ۳-۲. سیستم با ساختار موازی

^۱ . Series structural system

^۲ . Weakest link system

^۳ . Parallel structure

این سیستم فعال است اگر حداقل یکی از عناصر آن فعال باشد، بنابراین تابع ساختار این سیستم را می توان به شکل زیر نوشت :

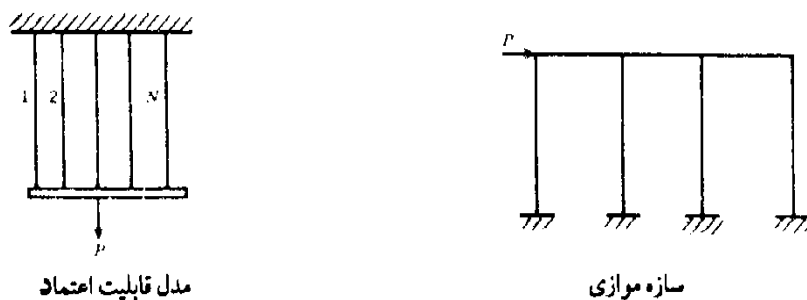
$$\phi(x) = \bigcup_{i=1}^n x_i = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4-2)$$

که در آن :

$$\bigcup_{i=1}^n x_i = 1 - \bigcap_{i=1}^n (1 - x_i) \quad (5-2)$$

در این سیستم اگر به ازای هر $i = 1, 2, \dots, n$ ، $x_i = 0$ باشد، آنگاه $\phi(x) = 0$ است و اگر یکی از عناصر سیستم فعال باشد مثلاً $x_i = 1$ آنگاه طبق رابطه (5-2) خواهیم داشت $\bigcup_{i=1}^n x_i = 1$ و در نتیجه $\phi(x) = \bigcup_{i=1}^n x_i = 1$ است.

در شکل (4-2) یک سیستم سازه ای موازی^۱ و مدل قابلیت اعتماد آن نشان داده شده است. در این سیستم پس از خرابی عضوی خاص، توزیع مجدد نیرو در اعضای باقیمانده انجام می پذیرد و این عمل آنقدر ادامه می یابد تا سیستم دچار انهدام شود. بدین لحاظ به سیستم موازی، سیستم ایمن-زوال^۲ نیز گفته می شود. [1-3]



شکل ۴-۲. سیستم سازه ای موازی و مدل قابلیت اعتماد آن

مقاومت های همبسته نشانگر آن هستند که متغیرهای احتمال اندیشانه مقاومت به گونه ای به یکدیگر مرتبط باشند که اگر مقاومت یک عضو مثلاً بیشتر از مقدار میانگین خود باشد، احتمال زیادی وجود خواهد داشت که سایر مقاومتها نیز از مقدار میانگین خود بیشتر باشند. این همبستگی ممکن

^۱ . Parallel structural system

^۲ . Safe-fail

است در اثر وجود منابع مشترک مصالح، تشابه روش ساخت، روشهای کنترل و بازرسی و شاید تعبیر یکنواختی مقاومت ها توسط طراح پدید آید. فرض استقلال مقاومتها به مفهوم عدم همبستگی بین آنها است.

در سیستم های موازی، استقلال مقاومت ها، ایمنی را به واسطه کاهش عدم قطعیت مقاومت کلی افزایش می دهد. خلاف این موضوع برای سیستم های سری صادق است. در سیستم های سری، استقلال مقاومت ها ایمنی را به واسطه افزایش احتمال آنکه با خرابی یک عضو خاص کل سیستم خراب شود، کاهش می دهد.

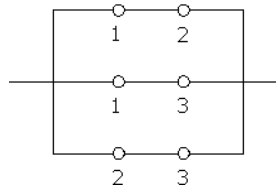
۳-۲-۲ ساختار k از n ^۱

این سیستم فعال است اگر حداقل k عنصر از n عنصر سیستم فعال باشد. تابع ساختار این سیستم عبارت است از :

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & \sum_{i=1}^n x_i \geq k \\ 0 & \sum_{i=1}^n x_i < k \end{cases} \quad (۲-۶)$$

توجه کنید که اگر $k=n$ باشد آنگاه یک ساختار n از n مترادف با سیستمی است که باید تمام عناصر آن فعال باشد تا فعال شود. این نوع سیستم را در بخش (۲-۲-۱) ساختار سری نامیده ایم. بنابراین یک ساختار سری، ساختاری n از n است. همچنین اگر $k=1$ باشد یعنی برای فعال بودن سیستم کافی است یکی از عناصر آن فعال باشد که مشخص کننده ساختار موازی است که در بخش (۲-۲-۲) مورد بررسی قرار گرفت. پس یک ساختار موازی ساختاری ۱ از ۱ است. بعنوان مثال شکل (۲-۵) نشان دهنده یک ساختار ۲ از ۳ می باشد. عناصری از سیستم که با شماره های مشابه شماره گذاری شده اند دارای وضعیت مشابه می باشند.

^۱ . k - out of - n structure



شکل ۲-۵. ساختار ۲ از ۳

بنابراین با فعال بودن ۲ عنصر از ۳ عنصر متمایز این سیستم فعال خواهد بود. تابع ساختار چنین سیستمی را می توان به شکل زیر نوشت :

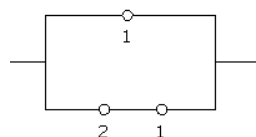
$$\phi(x_1, x_2, x_3) = (x_1, x_2) \cup (x_1, x_3) \cup (x_2, x_3) \quad (۷-۲)$$

مدلهای موازی و سری، تنها الگوهای ایده آل هستند و اکثر سازه ها، ترکیبی از این مدلها هستند. برای مثال در یک ساختمان چند طبقه، هر ستون واقع در یک طبقه در برابر بار جانبی مانند قسمتی از یک سیستم موازی عمل می کند در حالی که هر طبقه قسمتی از یک سیستم سری را تشکیل می دهد و بنابراین از ساختار n از n تبعیت می کنند.

۲-۳-۱ عنصر نامربوط^۱ یک سیستم : عنصر i ام یک سیستم را نامربوط گویند هرگاه تابع ساختار ϕ در x_i ثابت باشد. به عبارت دیگر :

$$\phi(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n) = \phi(x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n) \quad (۸-۲)$$

بنابراین عنصر i ام یک سیستم را نامربوط گوئیم هرگاه فعال بودن یا نبودن این عنصر نقشی در فعال بودن یا نبودن سیستم نداشته باشد. بعنوان مثال در ساختار مشخص شده توسط شکل (۲-۶) عنصر شماره ۲ عنصری نامربوط است.



شکل ۲-۶. نامربوط بودن عنصر ۲

^۱. Irrelevant component

۲-۳-۲-۲ ساختار هماهنگ^۱: یک سیستم یا ساختار آن را هماهنگ گوئیم هرگاه دو شرط

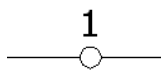
زیر برقرار باشد:

❖ ساختار ϕ مربوط به این سیستم صعودی باشد.

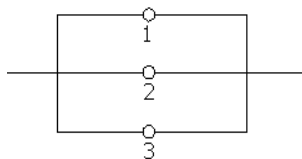
❖ هر عنصر سیستم مربوط باشد یعنی نامربوط نباشد.

توجه کنید که تابع $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ را صعودی گوئیم اگر f روی هر یک از مولفه هایش صعودی باشد. سیستم های زیر نشان دهنده چند سیستم هماهنگ می باشند.

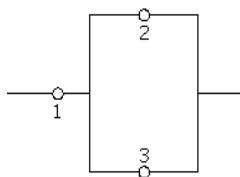
سیستم سری از مرتبه ۱: $\phi(x) = x_1$



سیستم موازی از مرتبه ۳: $\phi(x) = x_1 \cup x_2 \cup x_3 = 1 - (1 - x_1)(1 - x_2)(1 - x_3)$



سیستم ترکیبی: $\phi(x) = x_1(1 - (1 - x_2)(1 - x_3))$



اکنون که با انواع ساختار سیستم ها آشنا شدیم، نوبت به آن است که ساختار سیستم های سازه ای را بدانیم تا بتوانیم انواع سازه ها را با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد مورد بررسی قرار دهیم. همانگونه که در بخش (۱-۲-۲) عنوان گردید سازه های معین استاتیکی از نوع سیستم های سری می باشند، بنابراین خرپاهای معین از این نوع سیستم تبعیت نموده و از طرفی خرپاهای نامعین استاتیکی و قاب های خمشی ترکیبی از هر دو نوع سیستم سری و موازی می باشند.

¹. Coherent structure

۲-۳ عدم قطعیت ها^۱

شاید در یک سازه مورد بررسی بارهای مرده نسبت به آنچه در طراحی در نظر گرفته ایم آنچنان تغییراتی نداشته باشند که نتوان از آنها چشمپوشی نمود، ولی از تغییرات بارهای زنده وارده نمی توان به سادگی گذشت. بنابراین بار وارد بر یک ساختمان دارای عدم قطعیت بوده و یک کمیت احتمال اندیشانه است. این عدم قطعیت در جنس مصالح، مقاومت سازه، ابعاد هندسی مقاطع و غیره نیز می تواند وجود داشته باشد و در واقع همین عدم قطعیت ها باعث شده اند تا در طراحی، پارامترهای احتمال اندیشانه جایگزین پارامترهای یقین اندیشانه مبتنی بر ضرایب اطمینان شده و نظریه قابلیت اعتماد مطرح گردد.

در بخش بعدی با مفهوم احتمال خرابی که جزء اساسی نظریه قابلیت اعتماد است، آشنا می شویم. با توجه به اینکه در محاسبه احتمال خرابی، دانستن مفاهیم متغیرهای احتمال اندیشانه و توابع چگالی احتمال ضروری است، راجع به این مفاهیم نیز مطالبی ارائه شده است. احتمال خرابی جزء پارامترهای اصلی در بهینه یابی بر اساس نظریه قابلیت اعتماد بوده و در فرآیند بهینه یابی، به عنوان محدودیت، مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۴ معیار خرابی و مفهوم احتمال خرابی

۲-۴-۱ مقدمه

واژه خرابی بسته به اینکه چه عاملی از نظر ما باعث عدم کارایی یک سیستم می گردد میتواند با تعاریف مختلفی بکار رود. در کارهای مهندسی این خرابیها غالباً ناشی از تأثیر بارهای بیش از حد انتظار^۲ یا کوچکتر بودن ظرفیت اعضا از مقادیر مشخص شده توسط فرمولهای مقاومت طراحی و یا اثر

^۱. Inpragmatism

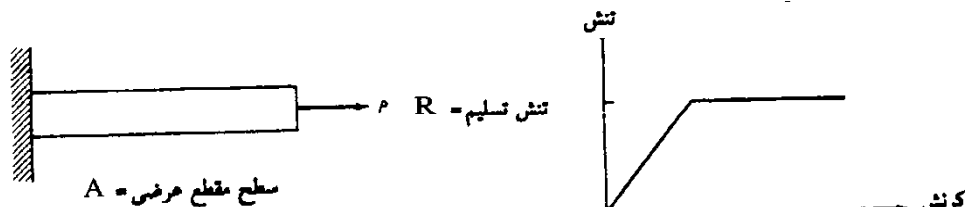
^۲. Over- load

ترکیبی هر دوی آنها پیش آید. واژه نامه ها کلمه خرابی را قصور در انجام وظیفه یا برآورده نساختن انتظارات معنی کرده اند. لذا تعریف خرابی، تابعی از بینش و تلقی مهندس طراح خواهد بود.

برای مثال اگر در یک قاب خمشی لنگر وارده به یک گره از مقاومت مجاز آن تجاوز نماید می توان آن را خرابی نامید و یا چنانچه معیار طراحی مقاومت نهایی گره باشد در این صورت تجاوز نمودن مقدار لنگر وارد در گره از حد مقاومت نهایی و در نتیجه مفصل پلاستیک شدن آن تعریف خرابی خواهد بود یا چنانچه تغییر مکان طبقه میانی یک ساختمان بزرگتر از مقدار مشخصی شود، می توان آن را خرابی تلقی نمود. مثالهای متعددی از این قبیل می توان مطرح کرد و آنچه حائز اهمیت می باشد این است که اساساً مفهوم خرابی را مهندس سازه تعیین می کند.

۲-۴-۲ چگونگی محاسبه احتمال خرابی با استفاده از توابع چگالی احتمال نرمال استاندارد

در آغاز بحث، نخست حالت خاصی مورد بررسی قرار می گیرد. یک عضو سازه ای منفرد را در نظر بگیرید که تحت تاثیر بار احتمال اندیشانه p قرار گرفته باشد. [4-5]



شکل ۷-۲. عضو سازه ای منفرد

فرض کنید میانگین بار و انحراف معیار آن معلوم و به ترتیب برابر $\bar{P}$ و σ_P باشد. بار وارده P موجب ایجاد تنش S می شود. چنانچه سطح مقطع عرضی تیر دارای مقدار قطعی A باشد، متغیر احتمال

$$\text{اندیشانه تنش } S \text{ دارای میانگین } \bar{S} = \frac{\bar{P}}{A} \text{ و انحراف معیار } \sigma_S = \frac{\sigma_P}{A} \text{ خواهد بود.}$$

منحنی رفتار مصالح تشکیل دهنده عضو (منحنی تنش - کرنش) به صورت شکل (۷-۲) و تنش تسلیم مصالح متغیر احتمال اندیشانه R با میانگین $\bar{R}$ و انحراف معیار σ_R منظور می شود. اگر واژه خرابی را که نقصان و کاستی در انجام وظیفه یا عدم توانایی در برآورده ساختن انتظارات طرح، تعریف

کردیم، در اینجا به مفهوم تجاوز تنش ناشی از بار وارده از تنش تسلیم مصالح تعبیر کنیم، خرابی هنگامی رخ می دهد که

$$S \geq R \quad (9-2)$$

باشد. اگر متغیر احتمال اندیشه F به صورت زیر تعریف شود:

$$F \equiv R - S \quad (10-2)$$

خرابی هنگامی رخ خواهد داد که F کوچکتر یا مساوی صفر باشد.

چنانچه S و R دارای PDF های نرمال و مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شوند، یعنی:

$$P(s) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{s - \bar{S}}{\sigma_s} \right)^2 \right\} \quad (11-2)$$

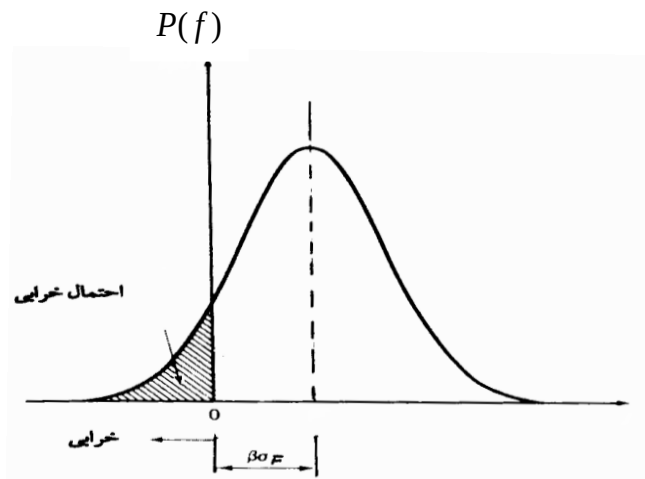
$$P(r) = \frac{1}{\sigma_r \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{r - \bar{R}}{\sigma_r} \right)^2 \right\} \quad (12-2)$$

متغیر احتمال اندیشه F نیز دارای تابع چگالی احتمال نرمال خواهد بود، چرا که ترکیب خطی از دو

متغیر احتمال اندیشه با توزیع نرمال است. بنابراین میانگین و واریانس F به صورت زیر می باشد:

$$\bar{F} = \bar{R} - \bar{S} \quad (13-2)$$

$$\sigma_F^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (14-2)$$



شکل ۸-۲. نمایش احتمال خرابی

در نتیجه تابع چگالی احتمال نرمال F برابر است با:

$$P(f) = \frac{1}{\sigma_F \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{f - \bar{F}}{\sigma_F} \right)^2 \right\} \quad (۱۵-۲)$$

این تابع در شکل (۸-۲) نشان داده شده است. با توجه به آن، چون خرابی زمانی اتفاق می افتد که F کوچکتر یا مساوی صفر باشد لذا احتمال خرابی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$P_f = \Pr[F \leq 0] = \int_{-\infty}^0 P(f) df \quad (۱۶-۲)$$

در شکل (۸-۲) ملاحظه می شود که $F=0$ در فاصله $\bar{F} = \beta \sigma_F$ قرار دارد. بنابراین کمیت β مستقیماً به احتمال خرابی مربوط خواهد بود. با داشتن $\bar{F}$ و σ_F و قرار دادن $F=0$ ، مقدار β به صورت زیر به دست می آید. [6]

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \frac{\bar{F}}{\sigma_F} \quad (۱۷-۲)$$

کمیت β شاخص قابلیت اعتماد^۱ یا شاخص ایمنی نامیده می شود. معادله (۱۵-۲) را با تغییر متغیر

$$u \equiv \frac{F - \bar{F}}{\sigma_F} \quad \text{می توان به صورت PDF نرمال استاندارد بیان نمود:}$$

$$P(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{u^2}{2} \right\} \quad (۱۸-۲)$$

با تغییر متغیر فوق، احتمال خرابی هنگامی به دست می آید که $F \leq 0$ باشد (به عبارت دیگر

$$u = -(\bar{F} / \sigma_F) = -\beta$$

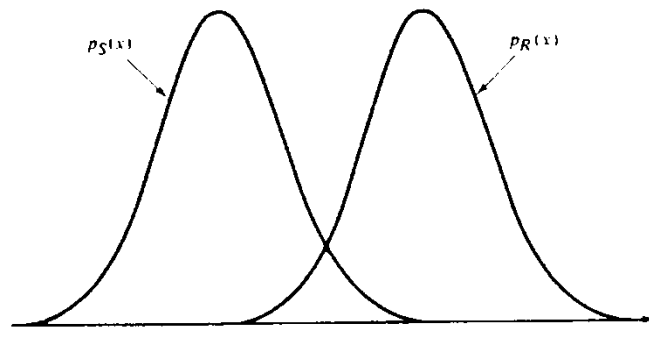
در نتیجه خواهیم داشت:

$$P_f = \Pr[F \leq 0] = \int_{-\infty}^{-\beta} P(u) du \quad (۱۹-۲)$$

^۱ . Reliability index

۲-۴-۳ محاسبه احتمال خرابی در حالت کلی

در بخش قبل، نحوه محاسبه احتمال خرابی برای حالت خاص تابع چگالی احتمال نرمال بحث گردید. در حالت کلی نبایستی چنین محدودیتی بر روی فرم ریاضی PDF وجود داشته باشد. فرض کنید پاسخ سازه در اثر بار (مثلاً تنش) با نماد S مشخص گردد. S مبین یک متغیر احتمال اندیشانه با PDF مشخص است و با $P_S(x)$ نشان داده می شود. برای نشان دادن مقاومت سازه (مثلاً تنش تسلیم) از نماد R استفاده می گردد. R نیز متغیر احتمال اندیشانه با PDF مشخص است و با $P_R(x)$ نشان داده می شود. شکل (۲-۹) این دو PDF را نشان می دهد.



شکل ۲-۹. توابع چگالی احتمال پاسخ و مقاومت

خرابی هنگامی رخ می دهد که $S > R$ شود. احتمال آنکه S بزرگتر یا مساوی با مقدار مشخص x شود برابر است با یک منهای مقدار تابع توزیع احتمال S در x ، به عبارت دیگر:

$$\Pr[S \geq x] = 1 - P_S(x) \quad (2-20)$$

برای جزء کوچک dx ، احتمال آن که R مابین x و $x + dx$ قرار گیرد، برابر است با $P_R(x)dx$. بنابراین به ازای جمیع مقادیر ممکن x ، خرابی هنگامی رخ می دهد که R مابین x و $x + dx$ ، و S بزرگتر یا مساوی با x قرار گیرد. لذا احتمال خرابی P_f برابر است با:

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} [1 - P_S(x)] P_R(x) dx \quad (2-21)$$

احتمال رفتار ایمن (مشخص شده با P_s) برابر است با یک منهای احتمال خرابی و به صورت زیر تعریف می شود:

$$P_s = 1 - P_f \quad (2-22)$$

به احتمال رفتار ایمن^۱، قابلیت اعتماد نیز گفته می شود.

اگر معادله (۲-۲۱) قابل انتگرال گیری نباشد، می توان آن را به طور عددی ارزیابی نمود تا احتمال خرابی به دست آید. معادله (۲-۲۱) برای وضعیت بنیادی یک عضو صادق است و برای هر نوع PDF قابل استفاده می باشد.

۴-۴-۲ تعیین احتمال خرابی سیستم های سازه ای

۴-۴-۱ قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای

دستورالعملهای طراحی و ضوابط آیین نامه ای مبتنی بر قابلیت اعتماد، معمولاً متوجه طرح عضوهای خاص از قبیل تیرها و ستونها می باشند. ضرایب اطمینان طراحی این تضمین را می دهند که احتمال خرابی عضو در برش، خمش، و نیروی محوری کوچک باشد. اگر چه، این اجزاء عموماً قسمتی از یک سیستم سازه ای را تشکیل می دهند و اندرکنش بین عضو و سیستم، تحلیل قابلیت اعتماد سیستم سازه ای را طلب می کند. [7-9]

برای مثال، دانستن این موضوع مفید است که آیا پس از طراحی عضوی براساس تئوری قابلیت اعتماد، ایمنی سیستم سازه ای بیشتر می شود یا کمتر. این عامل به درجات نامعینی استاتیکی، شکل پذیری، خصوصیات مدهای خرابی و پیکربندی سیستم سازه ای بستگی دارد.

در بخش ۲-۲ انواع ساختارهای یک سیستم شرح داده شد و گفتیم که سیستم های سازه ای می توانند سیستم سری، موازی و یا ترکیبی از هر دو باشند.

¹. Probability of safe behavior

در سیستم های موازی، استقلال مقاومتها، ایمنی را به واسطه کاهش عدم قطعیت مقاومت کلی افزایش می دهد. خلاف این موضوع برای سیستم های سری صادق است. در سیستم های سری، استقلال مقاومتها ایمنی را به واسطه افزایش احتمال آنکه با خرابی یک عضو خاص کل سیستم خراب شود، کاهش می دهد.

همانطور که در بخش ۲-۳ عنوان گردید مدل های موازی و سری، تنها الگوهای ایده آل هستند و اکثر سازه ها، ترکیبی از این مدلها هستند. برای مثال در یک ساختمان چند طبقه، هر ستون واقع در یک طبقه در برابر بار جانبی مانند قسمتی از یک سیستم موازی عمل می کند در حالی که هر طبقه قسمتی از یک سیستم سری را تشکیل می دهد. هنگامی که عدم قطعیت در بارگذاری مطرح باشد، مقایسه مدلها تا حدی مخدوش می شود. یعنی چنانکه عدم قطعیت در بار خارجی (مثلاً بیان شده برحسب ضریب پراکندگی بار، V_L) خیلی بیشتر از عدم قطعیت در مقاومت (V_R) باشد، احتمال خرابی توسط V_L کنترل می شود و رفتار سیستم خواه سری باشد یا موازی و خواه همبسته باشد یا مستقل، تأثیر کمی بر روی احتمال خرابی خواهد داشت. به عنوان مثال اگر گردبادی که احتمال وقوع آن خیلی کم است بر ساختمانی که برای بارهای معمولی باد طرح شده است اثر کند، سازه صرفنظر از نوع پیکربندی اش خراب خواهد شد. در حالت معمول تر بارگذاری که در آن طراح بطور اخص استراتژی حفاظتی در برابر بارهای نهایی از قبیل طوفان یا زلزله را در پیش گرفته باشد، پیکربندی سازه و نوع سیستم در ارزیابی قابلیت اعتماد مؤثر خواهد بود. رفتار عضو پس از رسیدن به ظرفیت اسمی خود، از دیگر نکاتی است که روی اندرکنش بین عضو و سیستم سازه اثر می گذارد. یک عضو شکل پذیر^۱، تراز نیروی خود را در صورت ادامه تغییر مکان حفظ می کند، در حالی که یک عضو ترد یا نیمه ترد^۲ با ادامه تغییر مکان، تراز نیرویش کاهش می یابد در نتیجه در اکثر سازه هایی که رفتار ترد دارند، رفتار سازه، صرف نظر از هندسه پیکربندی همانند سیستم های سری می باشد. به عبارت دیگر خرابی هر عضو باعث خرابی سیستم خواهد شد. تنها در سازه های با درجه نامعینی استاتیکی

^۱. Ductile

^۲. Semi-brittle

بالا که دارای ضریب اطمینان اسمی بزرگی نیز می باشند، به اندازه کافی، ظرفیت مقاومتی ذخیره خواهند داشت تا پس از خرابی مولفه ای ترد، بتوانند توزیع مجدد نیرو نموده و به انتقال بار ادامه دهند.

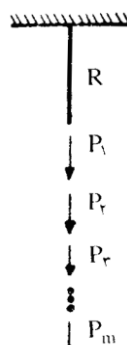
در ادامه بخش، روابط احتمال خرابی برای مدل‌های قابلیت اعتماد ضعیف‌ترین اتصال و ایمن-زوال شرح داده می شود.

۲-۴-۱-۱-۴-۱ تعیین احتمال خرابی سیستم های سری (مدل ضعیف‌ترین اتصال)

یک عامل مهم در کنترل خیز سازه و قابلیت بهره برداری از آن، پیشگویی آغاز تسلیم اعضای آن است که از تحلیل الاستیک سازه ها تعیین میگردد. به عبارت دیگر از دیدگاه تحلیل الاستیک سازه ها وقتی عضوی به حد تسلیم خود برسد، آغاز خرابی تلقی می گردد.

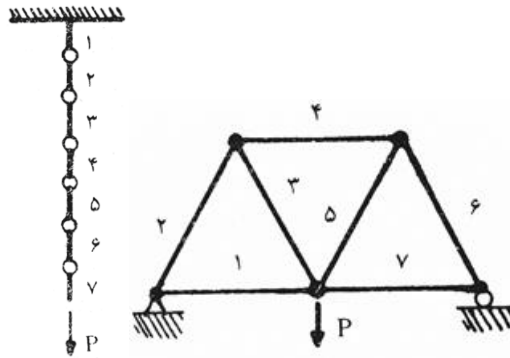
در وضعیت بنیادی مدل قابلیت اعتماد، یعنی درحالتی که یک عضو به مقاومت R وجود داشته باشد و همانند شکل (۲-۱۰) بارهای $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$ بر آن اثر کرده باشد، احتمال خرابی طبق رابطه زیر به دست می آید. [1-3]

$$P_f = 1 - \int_0^\infty \left[\prod_{j=1}^m F_{P_j}(t) \right] f_R(t) dt \quad (2-23)$$



شکل ۲-۱۰. یک عضو، m بار

در رابطه فوق F_R توزیع تجمعی بار P_j و f_R تابع چگالی احتمال مقاومت R می باشد.



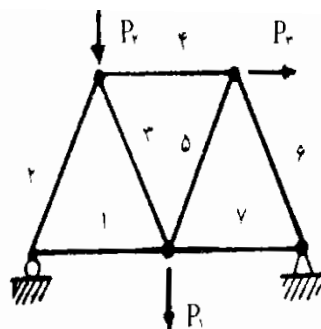
شکل ۱۱-۲. عضو، یک بار

حال چنانچه مطابق شکل (۱۱-۲) به n عضو سری، تنها نیروی P اثر کند، احتمال خرابی آن طبق رابطه زیر به دست می آید.

$$P_f = 1 - \int_0^\infty \left[\prod_{i=1}^n [1 - F_{R_i}(a_i t)] \right] f_P(t) dt \quad (24-2)$$

در رابطه فوق، a_i به تراز نیرو یا تنش در عضو i ، تحت اثر بار $P = t$ بستگی دارد.

در حالتی که مطابق شکل (۱۲-۲) به یک سیستم سری حاوی n عضو، m بار اثر کند، تعیین احتمال خرابی آن مستلزم محاسبه انتگرال چندگانه است.



شکل ۱۲-۲. عضو، m بار

به عنوان یک تقریب می توان به ازای هر وضعیت بار، با استفاده از رابطه (۲۴-۲) احتمال خرابی را به دست آورد و سپس با فرض عدم همبستگی آماری میان بارهای وارده، سیستم را معادل مجموع احتمالات خرابی به دست آمده از هر وضعیت بار در نظر گرفت. به عنوان یک روش تقریبی

دیگر می توان با هر عضو i ام همانند وضعیت بنیادی قابلیت اعتماد رفتار کرد و آن را تحت تاثیر کلیه وضعیت های بار قرار داد. با تعیین P_{f_n} یعنی احتمال خرابی عضو i ام تحت تاثیر وضعیت بار j ام، میتوان کرانه فوقانی احتمال خرابی را به صورت زیرنوشت:

$$P_{f_{SYSTEM}} \cong \sum_i^n \sum_j^m P_{f_n} \quad (25-2)$$

خرپاهای معین استاتیکی تحت حالت های متفاوت بارگذاری جزو این دسته از سیستم ها هستند. با بیان بهتر می توان از رابطه زیر جهت تعیین احتمال خرابی سیستم های سری استفاده نمود:

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{f_i}) = 1 - (1 - p_{f_1})(1 - p_{f_2}) \dots (1 - p_{f_n}) \quad (26-2)$$

۲-۴-۱-۲ تعیین احتمال خرابی سیستم های موازی (مدل ایمن - زوال)

در بسیاری از سیستم های نامعین شکل پذیر و نیمه شکل پذیر^۱ پس از آنکه چندین عضو بطور همزمان به ظرفیت بیشینه خود رسیدند، خرابی نهایی سیستم اتفاق می افتد. مکانیزم های اصلی در انهدام قاب ها، ناپایداری چندین ستون در قاب های ساختمانی و انهدام سازه ها در اثر ارتعاشات دینامیکی، مثالهایی از این نوع می باشند. در این موارد عبارت عمومی زیر را می توان برای بیان حاشیه ایمنی هر مد خرابی نوشت.

$$Z_j = \sum_{i=1}^R a_{ji} M_i - \sum_{k=1}^L b_{jk} P_k \quad j = 1, \dots, N \quad (27-2)$$

در رابطه مذکور Z_j حاشیه ایمنی یا مقاومت ذخیره مد خرابی j ام، M_i عبارت مقاومت i ام در مد خرابی j ام و p_k عبارت است از k امین مسبب مد خرابی j ام. همچنین N نشان دهنده تعداد مدهای خرابی و a_{ji} و b_{jk} ضرایبی ثابت می باشند. M_i ، p_k متغیرهای احتمال اندیشه هستند که

^۱ . Semi-ductile

ممکن است خودشان توابعی از دیگر متغیرهای احتمال اندیشه باشند. برای تحلیل قابلیت اعتماد مد زام بایستی احتمال خرابی P_{f_j} طبق رابطه زیر محاسبه گردد:

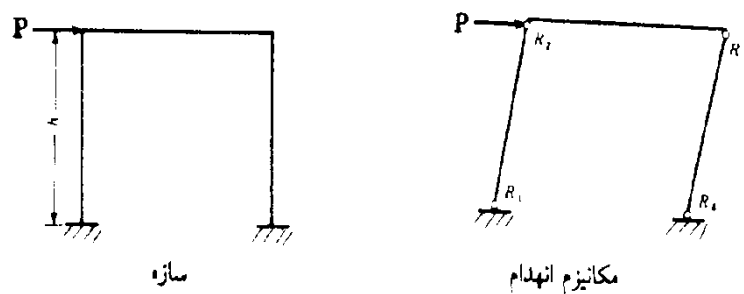
$$p_{f_j} = \Pr(Z_j < 0) \quad (28-2)$$

به استثنای حالتی که در آن کلیه متغیرهای احتمال اندیشه دارای توزیع نرمال باشند، محاسبه دقیق P_{f_j} مستلزم انتگرال گیری چندگانه است. پس از تعیین احتمال خرابی هر مد، با استفاده از روشهای کرانه ای می توان کرانه فوقانی و تحتانی احتمال خرابی کل سیستم سازه ای را تعیین کرد. میانگین و واریانس حاشیه ایمنی Z_j را به صورت زیر محاسبه می نماییم، روابط زیر با فرض استقلال آماری بین متغیرهای احتمال اندیشه بار و مقاومت نتیجه می شود:

$$\bar{Z}_j = \sum_{i=1}^R a_{ji} \bar{M}_i - \sum_{k=1}^L b_{jk} \bar{P}_k \quad (29-2)$$

$$\sigma_z^2 = \sum a_{ji}^2 \sigma_{M_i}^2 + \sum b_{jk}^2 \sigma_{P_k}^2 \quad (30-2)$$

برای نشان دادن چگونگی استفاده از روابط (29-2) و (30-2) مثال ساده ای مطرح می شود. در شکل (2-13) یک قاب پرتال و مکانیزم انهدام آن نشان داده شده است.



شکل 2-13. مثال تحلیل قابلیت اعتماد سیستم موازی (ایمن-زوال)

حاشیه ایمنی نظیر مد انهدام عبارت است از:

$$Z = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 - Ph$$

چنانچه فرض کنیم لنگرهای پلاستیک $R_1, \dots, R_n$ با یکدیگر همانند و دارای میانگین $\bar{R}$ ، انحراف معیار σ_R و ضریب پراکندگی V_R باشند، میانگین و واریانس حاشیه ایمنی برابر می شود با:

$$\sigma_Z^2 = 4\sigma_R^2 + h^2 \sigma_P^2 = (4\bar{R})^2 \left(\frac{V_R}{2} \right)^2 + h^2 \bar{P}^2 V_P^2 \quad \bar{Z} = \bar{\epsilon} \bar{R} - \bar{P} h$$

نتایج مطالعات سیستم موازی نشان می دهد که تابع چگالی احتمال بار و مقاومت از قبیل توزیع نرمال، لگ نرمال، یا مقدار نهایی، تاثیرچندان مهمی بر روی نتایج تحلیل قابلیت اعتماد این سیستم ها نمی گذارند. مؤثرترین عامل، ضرایب پراکندگی بار و مقاومت تشخیص داده شده اند. این نتیجه گیری به کمک قضیه حد مرکزی^۱ توجیه می شود. طبق این قضیه مجموع متغیرهای احتمال اندیشانه مستقل به سمت توزیع نرمال میل می کنند.

جهت محاسبه احتمال خرابی سیستمهای موازی از رابطه زیر نیز می توان استفاده نمود:

$$P_f = \prod_{i=1}^n P_{f_i} = P_{f_1} P_{f_2} P_{f_3} \dots P_{f_n} \quad (31-2)$$

که در رابطه (31-2)، $P_{f_i}, i=1,2,\dots,n$ احتمال خرابی اعضاء سیستم موازی می باشد.

۳-۱-۴-۴-۲ تعیین احتمال خرابی سیستم های ترکیبی:

در حالتی که سیستم مورد نظر، همانند خراباهای نامعین یا قاب ها، ترکیبی از سیستمهای موازی و سری باشد، بعد از خرابی m عضو احتمال خرابی سیستم از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P_f = 1 - (1 - p_{f_m})(1 - p_{f_{m+1}}) \dots (1 - p_{f_n}) [1 - p_{f_1} \cdot p_{f_2} \dots p_{f_{m-1}}] \quad (32-2)$$

¹. Center limit theorem

۲-۵ فرمول بندی ماتریسی قابلیت اعتماد

۲-۵-۱ مقدمه

این بخش به فرمول بندی ماتریسی آنالیز قابلیت اعتماد سازه ها اختصاص دارد که برای بدست آوردن قابلیت اعتماد اعضاء مورد استفاده قرار می گیرد و شرح راه حل بدست آوردن قابلیت اعتماد سیستم سازه ای در فصل پنجم شرح داده خواهد شد که در راستای آن برنامه ای به زبان متلب تهیه شده و توضیحات کامل آن در فصل پنجم آورده می شود. [7-12]

۲-۵-۲ فرمول بندی ماتریسی آنالیز قابلیت اعتماد سازه ها

سیستمهای سازه ای ممکن است طی مدت عملکرد خود تحت شرایط گوناگون بارگذاری، به درجات متفاوتی متحمل خسارت شوند. در طراحی سازه ها، بارهای پیچیده محیطی که غیرقطعی و وابسته به زمان می باشند، معمولاً به صورت ایده ال در می آیند و به صورت وضعیت بار^۱ بر سازه اثر داده می شوند. به همین وضعیت، طیف وسیعی از عدم قطعیت در مقاومت اعضاء و هندسه سازه و سطوح متفاوت عدم قابلیت بهره برداری (از قبیل ترک و خیز اعضاء) توسط محدودی از شرایط کاملاً تعریف شده سازه ای جایگزین می شوند. معمول ترین ضوابط عملکرد سازه ای عبارتند از: (1) تسلیم اولیه یا آغاز شکست ترد که با فرض رفتار الاستیک خطی تحلیل می شوند و (۲) انهدام کلی که با تحلیل حدی پلاستیک قابل تحلیل هستند. [1]

همان گونه که می دانیم، در تحلیل ایمنی سازه ها، می توان به طرق گوناگونی که باعث شود سازه از حد کاملاً قابل بهره برداری خود خارج شود، یک مد خرابی نسبت داد. معمولاً خرابی در یک مد بدین گونه تعریف می شود که بار احتمال اندیشانه مودال^۲ از مقاومت احتمال اندیشانه مودال^۳ بیشتر شود. در خرابایی با چندین عضو و در محدوده الاستیک، بار مودال عبارت است از: نیرو در یکی از

¹ . Load condition

² . Random modal load

³ . Random modal resistance

اعضا و تحت یکی از وضعیتهای بارگذاری و مقاومت مودال عبارتست از : نیروی تسلیم عضو مورد نظر. به همین ترتیب در قابی با طرح حدی پلاستیک که مود خرابی آن، وقوع مکانیزمی پلاستیک است، مقاومت مودال عبارتست از : ترکیب خطی ظرفیتهای لنگر پلاستیک اعضاء در محل تشکیل مفصلهای پلاستیک و بار مودال عبارتست از : ترکیب خطی مجموعه ای از بارهای احتمال اندیشانه خارجی که در تشکیل مکانیزم پلاستیک دخالت دارند.

در تحلیل الاستیک خطی یا تحلیل حدی پلاستیک سازه ها می توان درایه های بردار بارهای مودال $\{S\}$ را به صورت ترکیب خطی از درایه های بردار بارهای احتمال اندیشانه خارجی $\{L\}$ بیان کرد. فرم ماتریسی این ترکیب به صورت زیر است : [6 , 1-3]

$$\{S\} = [A]\{L\} \quad (2-33)$$

در رابطه فوق درایه S_i به معنی بار احتمال اندیشانه مودال در مود i ام، درایه L_i به معنی بار احتمال اندیشانه خارجی i ام و درایه a_{ij} به معنی نیروی ایجاد شده در مولفه i ام در اثر وضعیت بار j ام است. برای مثال a_{ij} در سازه های خرپایی به مفهوم نیروی ایجاد شده در میله i ام در اثر وضعیت بار j ام و در قابها به مفهوم نیروی ایجاد شده در مقاطع بحرانی مکانیزم پلاستیک i ام در اثر وضعیت بار j ام است، ماتریس $[A]$ در تحلیل الاستیک سازه ها با استفاده از روشهای نرمی یا سختی و در تحلیل پلاستیک سازه ها با استفاده از روشهای برنامه ریزی خطی به دست می آید.

یک سازه توسط برداری متشکل بر m متغیر طراحی $\{X\} = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ مشخص می گردد. در اینجا فرض می شود متغیرهای طراحی، ظرفیت اسمی^۱ اعضاء باشند که مستقیماً در ارتباط با خصوصیات مقطع عرضی اعضاء هستند. ظرفیت واقعی^۲ اعضاء، متغیرهای احتمال اندیشانه هستند (به دلیل عدم قطعیت در مقاومت مصالح ، ابعاد و غیره) که بردار $\{X\}$ را تشکیل می دهند.

¹ . Nominal

² . Actual

می توان بردار مقاومت مودال $\{R\}$ را توسط رابطه ماتریسی زیر به بردار ظرفیت واقعی اعضاء $\{X\}$ مرتبط نمود.

$$\{R\} = [B]\{X\} \quad (2-34)$$

در رابطه فوق، درایه بردارهای $\{R\}$ و $\{X\}$ متغیرهای احتمال اندیشانه و درایه های ماتریس $[B]$ ضرایب ثابت هستند. در تحلیل پلاستیک سازه ها، درایه های بردار $\{X\}$ ظرفیت پلاستیک اعضاء و در تحلیل الاستیک سازه ها، درایه های بردار مزبور نیروی مقاوم اعضاء را تشکیل می دهند. درایه های ماتریس $[B]$ ظرفیت مقاوم اعضاء را به مقاومت مودال ارتباط می دهند. مثلاً در تحلیل الاستیک خرپاها، درایه های ماتریس $[B]$ صفر یا یک هستند (اگر تحت یکی از وضعیت های بارگذاری میله j ام در مد i ام خراب شود، $b_{ij} = 1$ است). در تحلیل پلاستیک سازه ها درایه های ماتریس مذکور توسط روشهای برنامه ریزی خطی تعیین می گردند.

در آنالیز قابلیت اعتماد سازه ها، فرض می شود ضرایب همبستگی، واریانس و میانگین بارهای خارجی و ظرفیت اعضاء از پیش معلوم باشند. همچنین فرض می شود که میانگین ظرفیت اعضاء معادل متغیرهای طراحی $\{X\}$ باشند، یعنی $\{\bar{X}\} = \{X\}$. میانگین بردار $\{L\}$ توسط $\{\bar{L}\}$ نشان داده می شود. بردارهای میانگین بار مودال، مقاومت مودال و حاشیه ایمنی مودال به ترتیب با $\{\bar{S}\}$ ، $\{\bar{R}\}$ ، $\{\bar{M}\}$ نشان داده می شوند.

با فرض عدم همبستگی آماری بین بارهای خارجی و مقاومت اعضای یک سازه و با توجه به روابط مربوط به ترکیب خطی دو بردار حاوی متغیرهای احتمال اندیشانه و مفهوم حاشیه ایمنی خواهیم داشت: [1-3]

$$\{\bar{M}\} = \{\bar{R}\} - \{\bar{S}\} = [B]\{\bar{X}\} - [A]\{\bar{L}\} \quad (2-35)$$

۲-۵-۳ ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های معین استاتیکی

در این بخش راجع به خرابیهای معین استاتیکی به عنوان نمونه ای رایج از سازه های معین بحث می شود. همان گونه که می دانیم، خرابیهای معین استاتیکی جزو سیستم های سری محسوب می شوند. در این سیستمها با خرابی اولین عضو، انهدام کل سازه اتفاق می افتد. بنابراین پیشامد خرابی هر عضو، یک مد خرابی محسوب می گردد. حاشیه ایمنی هر مد را می توان به صورت زیر نوشت:

$$M_i = R_i - S_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (۳۶-۲)$$

در نتیجه پیشامد خرابی هر مد عبارت است از :

$$M_i < 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (۳۷-۲)$$

در روابط فوق n تعداد میله های خرپای معین است. اکنون احتمال خرابی کل سازه مطابق رابطه زیر تعیین می گردد :

$$\begin{aligned} P_f &= P[M_1 < 0 \cup M_2 < 0 \cup \dots \cup M_n < 0] \\ &= 1 - P[M_1 > 0 \cap M_2 > 0 \cap \dots \cap M_n > 0] \end{aligned} \quad (۳۸-۲)$$

مقدار دقیق P_f توسط انتگرال گیری چندگانه به دست می آید. اگر چه این کار دشوار است و معمولاً احتمال خرابی سازه توسط یکی از روشهای کرانه ای ارزیابی می گردد. اگر بارهای وارده و مقاومت اعضاء دارای توزیع نرمال باشند، این معادله به صورت زیر در می آید :

$$P_i = P(M_i < 0) = P(U_i < -\beta_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\beta_i} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \Phi(-\beta_i) \quad (۳۹-۲)$$

در رابطه فوق β_i شاخص قابلیت اعتماد هر مد است. برای تعیین β_i بایستی میانگین و انحراف معیار حاشیه ایمنی M_i محاسبه شوند.

۲-۵-۴ ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های نامعین استاتیکی

خرپاهای نامعین استاتیکی و قابها جزو سیستم های سازه ای نامعین محسوب می شوند. در این سازه ها با خرابی اولین عضو یا ایجاد مفصلی پلاستیک، انهدام سازه حادث نمی شود. لذا همان گونه که قبلاً اشاره شد، این دسته از سازه ها جزو سیستم های موازی (ایمن - زوال) در نظر گرفته می شود .

روشهای متعددی برای ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های نامعین پیشنهاد شده است. از جمله می توان روش جداکردن β^1 ، روش شاخه و کرانه β^2 ، روشهای مبتنی بر برنامه ریزی غیر خطی، روشهای مبتنی بر برنامه ریزی خطی، روشهای نمو بار β^3 و تکنیک های ضابطه ای و بالاخره روش پیکره های پایدار β^4 را نام برد.[3]

در این بخش از میان روشهای فوق، روش ANG و MA که فرمول بندی آن بر اساس رفتار پلاستیک سازه قرار دارد و مدهای حاکم انهدام را توسط تکنیک های برنامه ریزی غیر خطی تعیین می کند شرح داده خواهد شد.

۲-۵-۴-۱ روش ANG و MA در تحلیل قابلیت اعتماد سازه های نامعین

این روش بر مبنای فرض رفتار الاستو-پلاستیک سیستم های سازه ای، بخصوص سازه های خرپایی و قاب استوار است. هنگامی که سیستم از اعضای شکل پذیر با رفتار الاستو-پلاستیک تشکیل شده باشد، مدهای انهدام سیستم به ترتیب خرابی اعضاء بستگی پیدا نمی کنند. انهدام این دسته از سیستم های سازه ای به دلیل تشکیل مکانیزم های پلاستیک موجب می شود. همان گونه که قبلاً اشاره شد، حاشیه ایمنی مکانیزم پلاستیک i ام به این صورت تعریف می شود: [1,3]

¹ . β - unzipping

² . Branch-and-bound method

¹ . Incremental loading

² . Configurations stable

$$z_i = \sum_j a_{ij} M_j - \sum_k b_{ik} S_k \quad (۴۰-۲)$$

در رابطه فوق، M_j کلیه لنگرهای پلاستیک فعال در مفصلهای پلاستیک و S_k کلیه بارهای فعال در مکانیزم i ام هستند. همچنین ضرایب a_{ij} و b_{ik} مقادیری ثابت هستند. بنابراین ضابطه خرابی مد i ام به صورت Z_i تعریف می شود.

حال اگر m مکانیزم خرابی متحمل وجود داشته باشد، احتمال انهدام سیستم طبق رابطه زیر تعیین می گردد:

$$P(C_s) = P(Z_1 < 0 \cup Z_2 < 0 \cup \dots \cup Z_m < 0) \quad (۴۱-۲)$$

چون Z_i ها عموماً متغیرهای احتمال اندیشه همبسته هستند، ارزیابی دقیق $P(C_s)$ مستلزم انتگرال گیری چند گانه از تابع چگالی احتمال مشترک آنها است. اگر چه با استفاده از روشهای کرانه ای، آنالیز مونت کارلو و روش PNET می توان مقدار $P(C_s)$ را تخمین زد. در روش ANG و MA اساساً دو مرحله زیر دنبال می شود :

الف (شناسایی کلیه مدهای مهم انهدام (به عبارت دیگر مکانیزمهای پلاستیک)

ب) ترکیب احتمال مدهای مزبور برای حصول احتمال انهدام سازه

۲-۵-۴-۱-۱ شناسایی مدهای مهم انهدام

همانگونه که قبلاً اشاره شد، شناسایی کلیه مدهای مهم انهدام به منظور تحلیل و ارزیابی قابلیت اعتماد سیستمی شکل پذیر ضروری است. هر مکانیزم پلاستیک محتمل را می توان به صورت ترکیب خطی از مکانیزم های مستقل مشخص بدست آورد. تعداد چنین مکانیزمهای مستقلی برابر با تعداد بالقوه مقاطع بحرانی (مثلاً تعداد مفصلهای پلاستیک) منهای تعداد درجات نامعینی استاتیکی سازه است. اگر چه می توان مکانیزمهای مستقل سیستم های سازه ای ساده را براحتی شناسایی کرد، اما

مکانیزمهای مستقل سیستم های پیچیده (از قبیل قابهای شیبدار)، می بایستی توسط روشهای سیستماتیک شناسایی گردد. [6]

اکنون بایستی مکانیزمهای با بیشترین احتمال انهدام یا کوچکترین شاخص قابلیت اعتماد، یا به عبارت دیگر مکانیزمهای اصلی تعیین گردند. به این منظور تابع عملکرد مکانیزمهای مستقل به فرم ماتریسی زیر نوشته می شود :

$$Z^I = [A] \underline{M} \quad (42-2)$$

در رابطه فوق ، $[A]$ ماتریس تغییر مکانهایی مجازی متناظر با مکانیزمهای مستقل است . هر درایه a_{ij} بیانگر تغییر مکان مجازی مفصل z ام از مکانیزم پلاستیک i ام است . همچنین بردار $\underline{M}$ مشتمل بر ظرفیت پلاستیک اعضا و بارهای وارده است .

با تعریف ماتریس نرمال شده $[B]$ به گونه ای که درایه هایش عبارت باشند از :

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{(\sum a_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (43-2)$$

می توان تابع عملکرد مکانیزمی دلخواه را به صورت زیر بدست آورد :

$$Z = \underline{X}^T [B]^T \underline{M} \quad (44-2)$$

$\underline{X}$ یک بردار «وزنی» است که ترکیب خطی مناسبی بین مکانیزمهای مستقل ایجاد می کند.

با مشخص کردن $\underline{D} = [B] \underline{X}$ ، مقدار میانگین و واریانس Z را می توان به صورت زیر بیان کرد :

$$\mu_Z = \underline{D}^T \mu_M \quad (45-2)$$

$$\sigma_Z^2 = \underline{D}^T [\sigma]^T [C] [\sigma] \underline{D} \quad (46-2)$$

در رابطه فوق، ماتریس قطری $[\sigma]$ حاوی انحراف معیار ظرفیت پلاستیک اعضا و بارهای خارجی و ماتریس $[C]$ حاوی ضرایب همبستگی ظرفیت پلاستیک اعضا و بارهای خارجی است. بنابراین، شاخص قابلیت اعتماد تعمیم یافته مدهای انهدام طبق رابطه (47-2) به دست می آید :

$$\beta(\underline{X}) = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \quad (47-2)$$

بدیهی است مکانیزم های اصلی، آنهایی هستند که کمترین مقدار β را دارا باشند. بنابراین شناسایی مکانیزمهای اصلی به مسئله تعیین کمینه های موضعی $\beta(\underline{X})$ منتهی می شود و هر کمینه موضعی متناظر با یک مکانیزم اصلی است. بدین منظور از الگوریتم های موجود برنامه ریزی غیر خطی نظیر روش کاوش مستقیم Hooke, jeeves (۱۹۶۰) و غیره می توان استفاده کرد.

۲-۵-۴-۱-۲ ترکیب مکانیزم های انهدام

زمانی که مکانیزمهای اصلی یا مدهای مهم انهدام سیستم سازه ای شناسایی شدند، شاخص قابلیت اعتماد و احتمال انهدام متناظر با هر مکانیزم را میتوان بطور منحصر بفرد و طبق معادله (۴۵-۲) محاسبه کرد. با این اطلاعات می توان بی درنگ کرانه های کرنل را تعیین نمود.

اگر چه برای تعیین احتمال انهدام سیستم سازه ای $P(C_s)$ ، اثر همبستگی میان مکانیزم های اصلی انهدام بایستی منظور شود، این همبستگی برای ارزیابی کرانه های دیتلفسن نیز لازم است.

ضریب همبستگی میان هر دو مد Z_i و Z_j به ازای $i \neq j$ بدین صورت تعریف می شود :

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{j,j} (a_i a_j \sigma_{M_{ij}}^2 + b_i b_j \sigma_{S_{ij}}^2)}{\sigma_{Z_i} \sigma_{Z_j}} \quad (۴۸-۲)$$

در رابطه فوق $\sigma_{M_{ij}}^2$ و $\sigma_{S_{ij}}^2$ به ترتیب واریانسهای مقاومت مولفه ای و بار، متناظر با مدهای Z_i و Z_j ضرایب a_i ، b_i ، a_j و b_j مقادیر ثابت هستند.

۲-۵-۴-۱-۳ روش PNET^۱

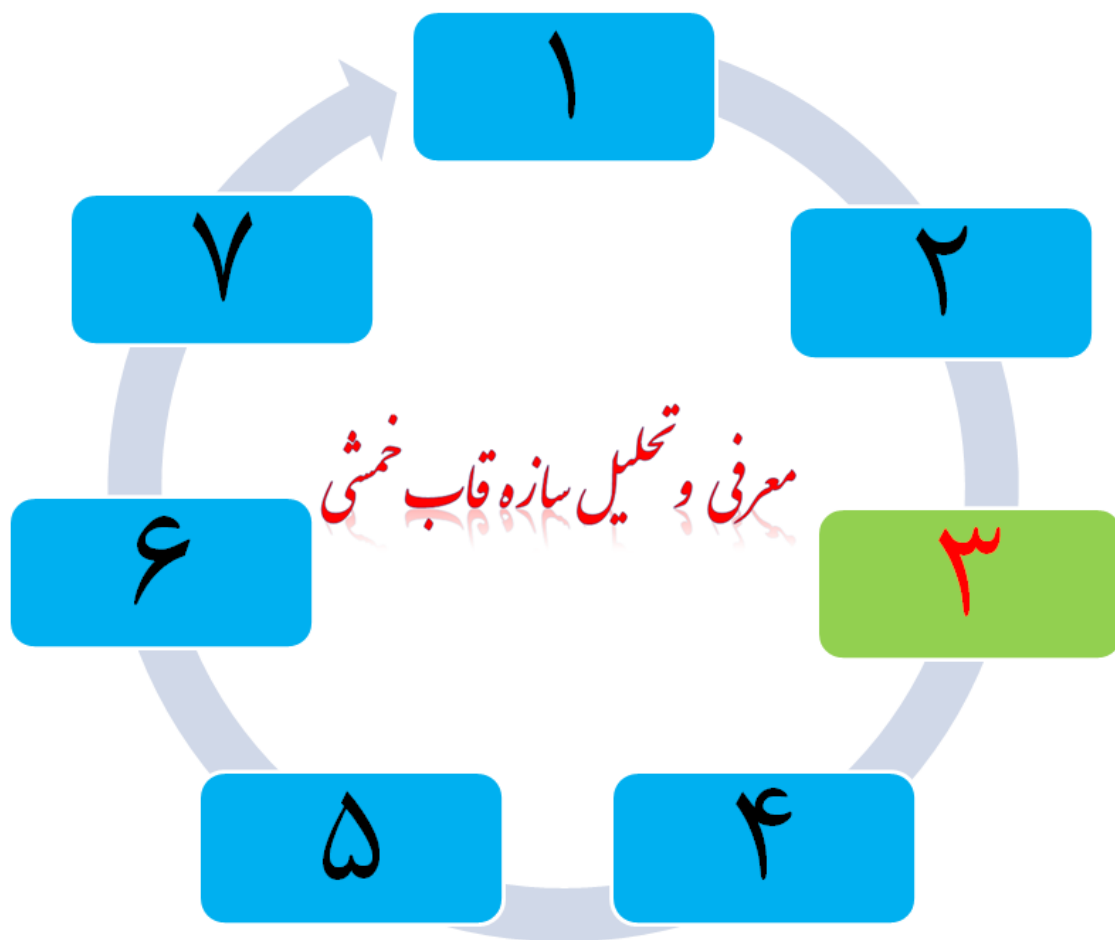
از روش PNET (پیشنهاد شده توسط Ang و همکاران ۱۹۷۵) می توان برای تخمین نقطه ای $P(C_s)$ استفاده کرد. بدین منظور نخست کلیه مدهای اصلی انهدام به ترتیب نزولی احتمالشان مرتب

^۱ . Probabilistic Network Evaluation Technique

می شوند. سپس آن مدهایی که دارای همبستگی بالایی هستند، (به عبارت دیگر $\rho_{ij} \geq \rho_0$) کاملاً همبسته در نظر گرفته می شوند. از میان مدل‌های همبسته، مهم ترین مد به عنوان نماینده انتخاب و سایر مدها از محاسبات احتمال خرابی سیستم کنار گذاشته می شوند. سپس مدهایی با $\rho_{ij} < \rho_0$ به عنوان مدهای مستقل، منظور می شوند و هریک به عنوان نماینده گروه های بعد انتخاب می شوند. سپس مجدداً همبستگی مدهای باقیمانده با مدهای نماینده در هر گروه بررسی و مدهای همبسته کنار گذاشته می شوند. حال احتمال انهدام سیستم، طبق کرانه فوقانی کرنل از مجموع احتمال مدهای نماینده بدست می آید. [1-3]

اگرچه در قاب های نسبتاً کوچک شاید بتوان مدهای خرابی اصلی سیستم را از بین مکانیزم های محتمل شناسایی نموده و با محاسبه شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی مربوط به آنها و تعیین مکانیزمهای همبسته، احتمال خرابی سیستم را بدست آوریم، اما در عمل قابهای دو بعدی و به خصوص قابهای فضایی بسیار بزرگتر بوده و به تبع آن تعداد مکانیزم ها نیز بیشتر خواهند بود. به همین دلیل این روش هم احتیاج به دانستن مکانیزم خرابی آن دارد پس عملاً مناسب نمی باشد.

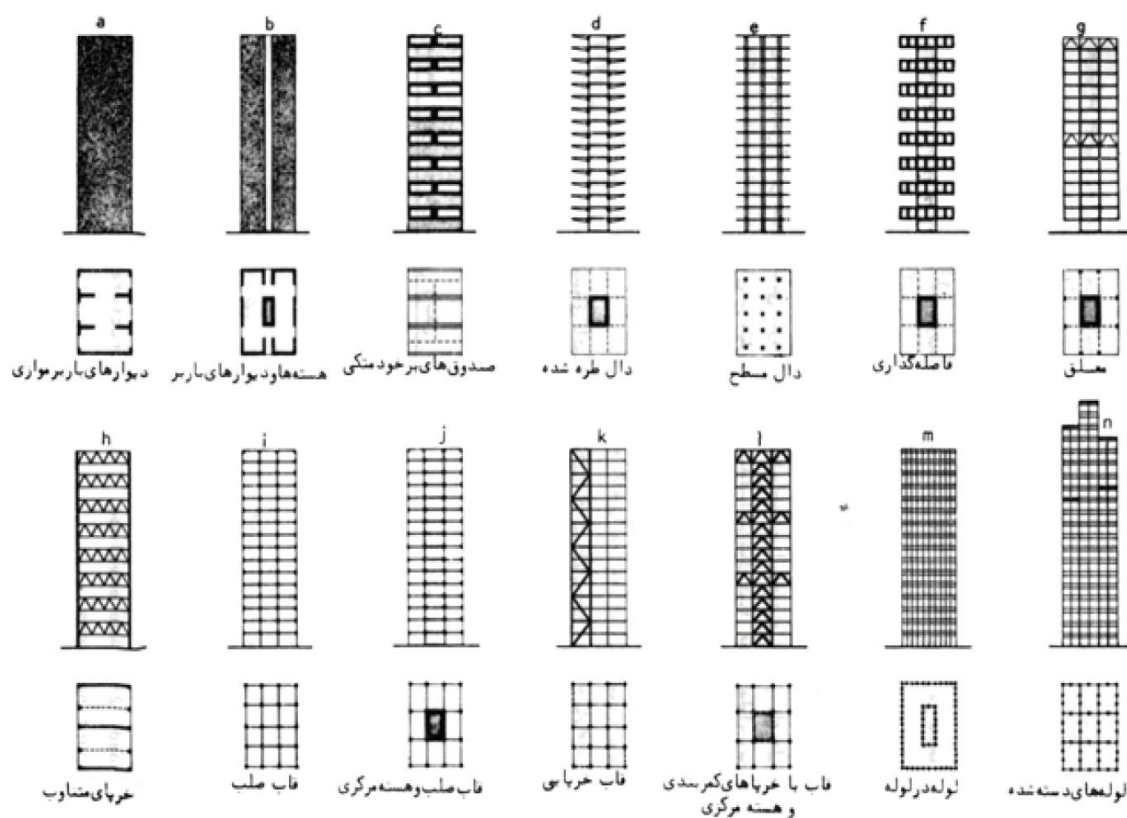
در تحقیق حاضر برای تحلیل و بهینه یابی قاب های خمشی صفحه ای و فضایی، از روش احتمال خرابی اعضا و سیستم سازه ای استفاده شده است. طبق مطالب گفته شده در این فصل احتمال خرابی اعضا را میتوان تا اندازه ای بدست آورد ولی احتمال خرابی سیستم را نمی توان با استفاده از روش های ذکر شده بدرستی بدست آورد و این روش ها از جامعیت و دقت کافی برخوردار نیستند.



۳-۱ مقدمه

عناصر سازه ای اساسی ساختمان عبارتند از : عناصر خطی (ستون و تیر)، عناصر سطحی (دیوار و دال) و عناصر فضایی (پوش نما یا هسته مرکزی).

ترکیبی از این عناصر اساسی سازه، استخوان بندی ساختمان را بوجود می آورد. متداول ترین سازه های ساختمانی در شکل (۳-۱) نشان داده شده اند :



شکل ۳-۱. متداول ترین سازه های ساختمانی

۱. دیوارهای باربر موازی : این سیستم از عناصر صفحه ای قائم تشکیل شده است و اغلب برای ساختمان های آپارتمانی بکار می رود که در آن ها فضاهای آزاد بزرگ لازم نیست و سیستم های مکانیکی سازه هسته ای را ایجاب نمی کند.

۲. هسته ها و دیوارهای باربر نمایی : عناصر صفحه ای قائم و پیرامون سازه، هسته دیوارهای خارجی را تشکیل می دهند. در این روش فضاهای داخلی باز ایجاد می شود که وسعت آن ها بستگی به ظرفیت سازه کف در پوشاندن دهانه ها است.

۳. صندوق های خود متکی : صندوق ها واحدهای سه بعدی پیش ساخته ای هستند که وقتی در محل قرار می گیرند و به یکدیگر متصل می شوند، به سازه با دیوار باربر شبیه می باشند.

۴. دال طره شده : در این سیستم، کف ها به هسته مرکزی متکی می باشند و فضای بدون ستونی ایجاد می کنند.

۵. دال مسطح : در این سیستم، صفحه ای افقی بطور کلی شامل دال های بتنی کف با ضخامت یکنواخت می باشد که روی ستون ها قرار دارند. در این روش، تیرهای با ارتفاع مقطع زیاد وجود ندارند و به حداقل ارتفاع طبقه می توان دست یافت.

۶. سیستم فاصله گذاری : سازه های قاب طره ای با ارتفاع طبقه، برای ایجاد فضای قابل استفاده در داخل و بالای قاب، یک طبقه درمیان بکار برده می شوند.

۷. سیستم معلق : در این سیستم، با بکاربردن عناصر معلق به جای ستون ها برای حمل بارهای کف، استفاده موثر از مصالح نتیجه می گردد. کابل ها بارهای وزن را به خرپاهایی که از یک هسته مرکزی طره شده اند، حمل می کنند.

۸. خرپاهای متناوب : خرپاهایی به ارتفاع طبقه چنان قرار می گیرند که کف هر طبقه بصورت یکی در میان روی قسمت تحتانی و یا فوقانی یک خرپا واقع می باشد.

۹. قاب صلب : عناصر خطی بوسیله اتصالات صلب به یکدیگر متصل می شوند و تشکیل صفحات قائم و افقی می دهند. ارتفاع طبقه و فاصله ستون ها از موارد تعیین کننده طرح در این سیستم می باشند.

۱۰. قاب و هسته مرکزی : قاب صلب بارهای جانبی را اساساً بوسیله خمش تیرها و ستون ها تحمل می کند. چنین سیستم های هسته ای، دستگاه های مکانیکی و حمل و نقل را در خود جای می دهند.

۱۱. قاب خربایی : ترکیب نمودن یک قاب صلب با خرباهای برشی قائم بر مقاومت و سختی سازه می افزاید. طرح این سازه ممکن است براساس استفاده از قاب برای مقاومت در مقابل بارهای وزن و مزایای قائم در برابر باد صورت می گیرد.

۱۲. قاب با خرباهای کمربندی و هسته مرکزی : خرباهای کمربندی ستون های نما را به هسته مرکزی متصل می نمایند و بدین ترتیب عمل انفرادی قاب و هسته مرکزی را حذف می کنند.

۱۳. لوله در لوله : ستون ها و تیرهای خارجی ساختمان چنان مجاور هم قرار داده می شوند که نمای ساختمان ظاهرا شبیه دیواری با سوراخ های متعدد پنجره ای است. در این حالت هسته (لوله) داخلی با لوله نما در حمل بارها سهیم بوده و بر سختی آن می افزاید.

۱۴. لوله های دسته شده : این سیستم را می توان به صورت مجموعه ای از لوله های انفرادی تجسم کرد که تشکیل یک لوله چندواحدی را می دهند. بدین ترتیب آشکار است که بر سختی سازه افزوده می گردد. این سیستم بلندترین ارتفاع و بیشترین سطح کنار را امکان پذیر می سازد.

از رایج ترین سازه های ساختمانی که از گذشته تا به حال مورد استفاده قرار گرفته و بوجود آمدن سازه های مختلف از ارزش و اهمیت آن نکاسته است، سازه های قاب خمشی می باشند. تحمل بارهای جانبی نظیر باد و زلزله در این نوع سازه ها توسط اتصالات صلب انجام می گیرند.

بنابراین با توجه به کاربرد وسیع و روزافزون این نوع سازه ها و با توجه به اینکه در این تحقیق نیز به بهینه سازی این نوع سازه ها پرداخته شده است. بررسی، تحلیل و طراحی چنین سازه هایی لازم و ضروری می باشد. به همین دلیل به چگونگی تحلیل استاتیکی سازه های قاب خمشی در دو نوع دو بعدی (صفحه ای) و سه بعدی (فضایی) که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته، پرداخته می شود که روش تحلیل آن مبتنی بر روش اجزاء محدود می باشد.

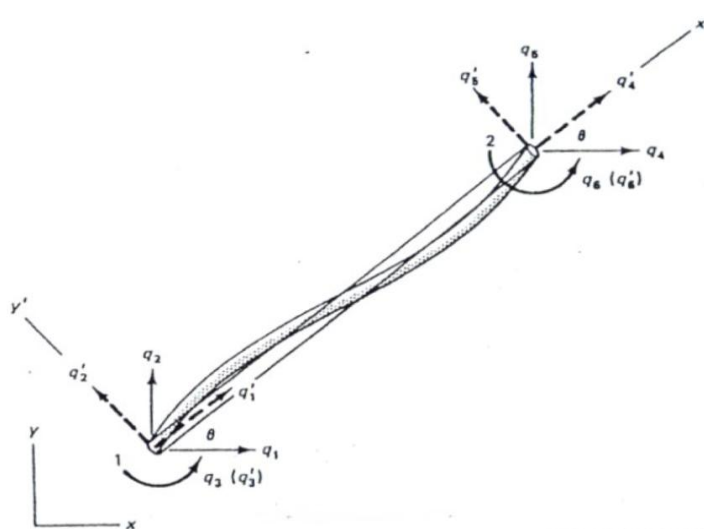
۲-۳ تحلیل سازه های قاب خمشی

یکی از مهمترین شرایط صحت سنجی برنامه نوشته شده در این پایان نامه برای تحلیل قابلیت اعتماد قاب، صحت عملکرد تحلیل اجزاء محدود آن می باشد. لذا در ذیل به توضیحاتی در مورد چگونگی تحلیل قاب های صفحه ای و فضایی با استفاده از روش المان محدود^۱ می پردازیم.

در ادامه ۲ مثال قاب دو بعدی و سه بعدی از دو مرجع انتخاب شده است که تطبیق نتایج حاصل از برنامه اجزاء محدود نوشته شده و نتایج مراجع، صحت این برنامه را نشان می دهد. [13-14]

۱-۲-۳ قاب های دو بعدی (صفحه ای)

در قاب های دو بعدی هر گره دارای ۳ درجه آزادی می باشد. قبل از آنکه بخواهیم سازه های قاب خمشی یا هر سازه دیگری را با استفاده از روش المان محدود مورد تحلیل قرار دهیم، مطابق شکل (۲-۳) ماتریس سختی کلیه المان ها در دستگاه مختصات محلی یعنی k'_e (طبق معادله ۱-۳) لازم است. سپس با استفاده از ماتریس تبدیل L (طبق معادله ۲-۳) آن ها را به ماتریس سختی المان (طبق معادله ۳-۳) در دستگاه مختصات کلی یعنی k_e تبدیل می نمائیم.



شکل ۲-۳. مختصات محلی و کلی المان قاب دو بعدی

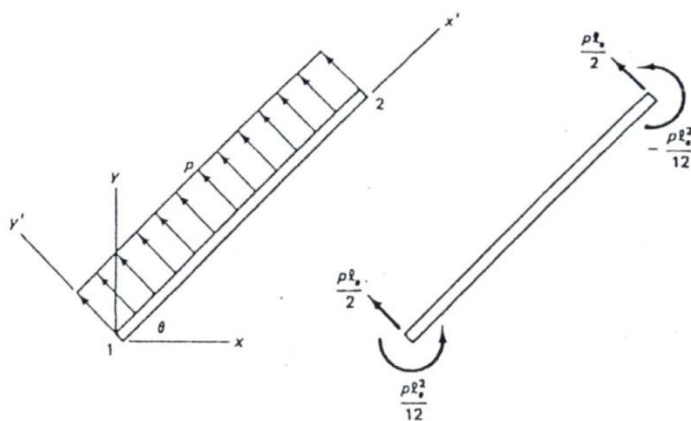
^۱. **F**inite **E**lement **M**ethod

$$\begin{pmatrix} \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{EA}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{\ell^3} & \frac{6EI}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI}{\ell^3} & \frac{6EI}{\ell^2} \\ 0 & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{4EI}{\ell} & 0 & -\frac{6EI}{\ell^2} & \frac{2EI}{\ell} \\ -\frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{\ell^3} & -\frac{6EI}{\ell^2} & 0 & \frac{12EI}{\ell^3} & -\frac{6EI}{\ell^2} \\ 0 & \frac{6EI}{\ell^2} & \frac{2EI}{\ell} & 0 & -\frac{6EI}{\ell^2} & \frac{4EI}{\ell^2} \end{pmatrix} \quad (1-3)$$

$$\begin{pmatrix} \ell & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -m & \ell & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ell & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -m & \ell & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2-3)$$

$$K_e = L^T K'_e L \quad (3-3)$$

مطابق شکل (۳-۳) هر گاه بار گسترده ای بر روی یک عضو باشد، با استفاده از معادله (۵-۳) بار متمرکز ناشی از آن را ابتدا در مختصات محلی بدست آورده و سپس با ضرب آن در ماتریس تبدیل طبق معادله (۶-۳)، به صورت مختصات کلی درآمده و مقادیر به بردار بار کلی اضافه می شود:



شکل ۳-۳. بار گسترده بر روی یک المان قاب دو بعدی

$$q^T f' = q^T L^T f' \quad (۴-۳)$$

$$f' = \left[0 \quad \frac{P \ell_e}{2} \quad \frac{P \ell_e^2}{12} \quad 0 \quad \frac{P \ell_e}{2} \quad -\frac{P \ell_e^2}{12} \right] \quad (۵-۳)$$

$$f = L^T f' \quad (۶-۳)$$

حال با توجه به مبانی روش اجزاء محدود، با سوار کردن ماترسی سختی المان ها و بردار بارهای گرهی، معادله (۷-۳) را برای سیستم قابی مورد نظر تشکیل می دهیم. در این رابطه K ماتریس سختی کل سازه می باشد و Q و F به ترتیب ماتریس های تغییر مکان های گرهی و بردار بارهای خارجی در مختصات کلی می باشند.

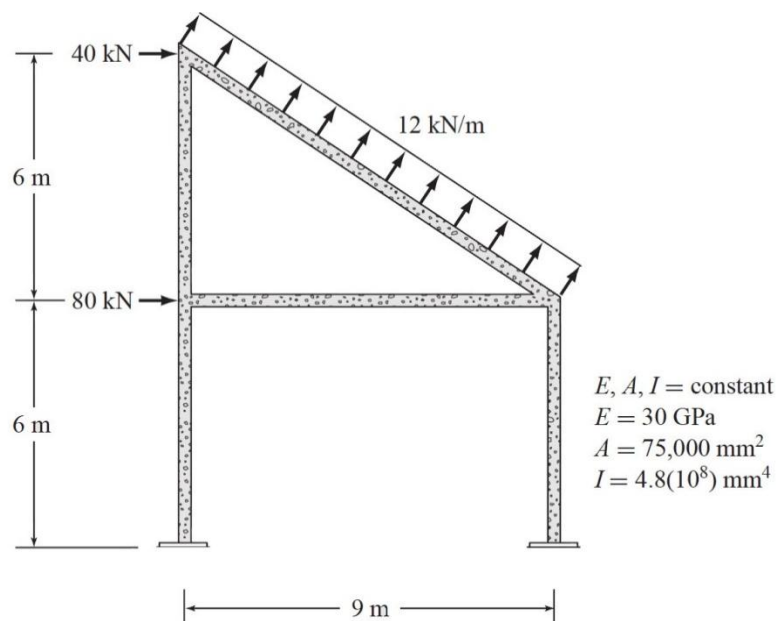
$$KQ = F \quad (۷-۳)$$

در ادامه این فصل دو مثال ۲ بعدی و ۳ بعدی را از مراجع [13] و [14] انتخاب شده است که نتایج حاصل از برنامه متلب نوشته شده و نتایج موجود در مراجع مقایسه شده که این مقایسه نشان دهنده تطابق کامل این نتایج می باشند.

مثال ۳-۱:

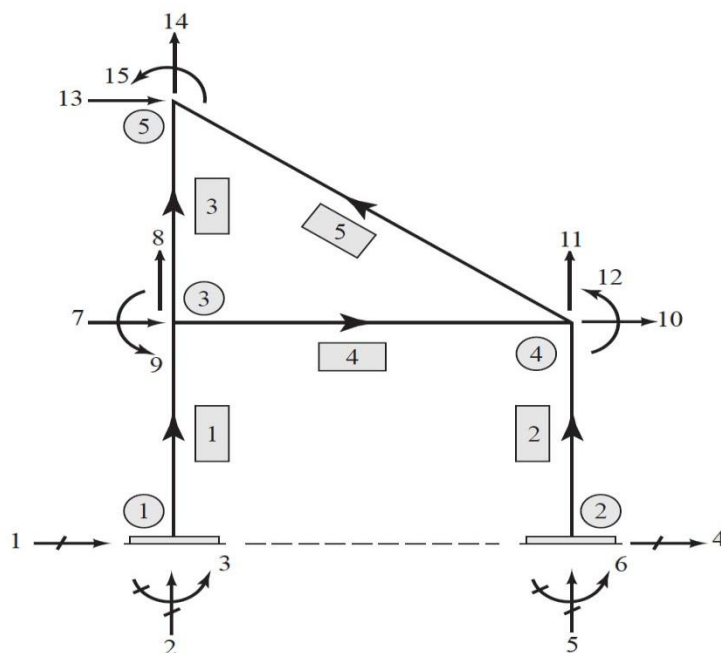
جابجایی و دوران های گره ها و نیز نیروهای داخلی همه المان های قاب شکل (۳-۴) با مشخصات

مذکور را با برنامه متلب نوشته شده برای اجزا محدود قاب ۲ بعدی تعیین کنید. [13]



شکل ۳-۴. شکل مربوط به قاب دو بعدی مثال (۳-۱)

نحوه شماره گذاری المان ها و گره ها در شکل (۳-۵) دیده می شود:



شکل ۳-۵. شماره گذاری المان ها و گره های قاب دو بعدی مثال (۳-۱)

پس از آنالیز اجزاء محدود، تغییر مکان های مجهول گره های قاب (گره های ۳، ۴ و ۵) بصورت جدول (۱-۳) و نیروهای داخلی همه المان های قاب بصورت جدول (۲-۳) می باشد که مقایسه نتایج حاصل از مرجع و برنامه RBOF، دقت مناسب آن را نشان می دهد.

جدول ۱-۳. مقایسه نتایج تغییر مکان های مجهول قاب مثال (۱-۳)

displacements	3 book	3 RBOF	4 book	4 RBOF	5 book	5 RBOF
U_x	0.1854	1.8542e-01	0.1855	1.8552e-01	0.1866	1.8662e-01
U_y	4.1874e-04	4.1874e-04	-1.3074e-04	-1.3074e-04	7.1367e-04	7.1367e-04
θ_z	-0.0176	-1.7620e-02	-0.0260	-2.6029e-02	0.0179	1.7891e-02

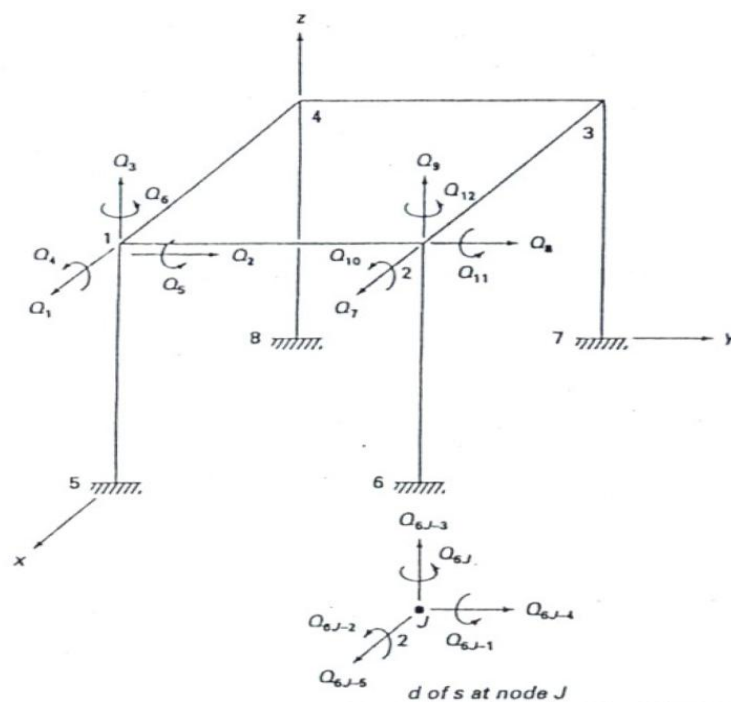
جدول ۲-۳. مقایسه نتایج نیروهای داخلی المان های قاب مثال (۱-۳)

Element Number	f_x (s)	f_y (s)	m_z (s)	f_x (e)	f_y (e)	m_z (e)
1 book	-106.05	-157.03	360.44	106.05	157.03	275.86
1 RBOF	-1.0605e+02	-1.5703e+02	3.6044e+02	1.0605e+02	1.5703e+02	2.7587e+02
2 book	-85.948	49.027	320.31	85.948	-49.027	195.38
2 RBOF	-8.5949e+01	4.9027e+01	3.2031e+02	8.5949e+01	-4.9027e+01	1.9538e+02
3 book	-1.6114	-110.6	-80.392	1.6114	110.6	90.06
3 RBOF	-1.6110e+00	-1.1060e+02	-8.0394e+01	1.6110e+00	1.1060e+02	9.0060e+01
4 book	-24.5	-46.429	-195.47	24.5	46.429	-222.38
4 RBOF	-2.4440e+01	-4.6428e+01	-1.9547e+02	2.4440e+01	4.6428e+01	-2.2238e+02
5 book	-74.39	56.60	-90	74.39	-56.60	26.94
5 RBOF	-7.4389e+01	5.6599e+01	-8.9998e+01	7.4389e+01	-5.6599e+01	2.6940e+01

۳-۲-۲ قاب های سه بعدی (فضایی)

در تحلیل ساختمان های چند طبقه به قاب های سه بعدی که قاب های فضایی نیز نامیده می شوند، به طور متداول برخورد می کنیم. یک قاب سه بعدی نمونه در شکل (۳-۶) نشان داده شده است؛ هر گره دارای ۶ درجه آزادی است.

شماره گذاری درجات آزادی در این شکل نشان داده شده است: برای گره J درجات آزادی 3-J و 6J-4 و 6J-5 نشان گر درجات آزادی انتقالی در امتداد محورهای X، Y و Z بوده و همچنین 6J-2 و 6J-1 بیان گر درجات آزادی دورانی حول محورهای X، Y و Z باشد. بردار جابجایی المان در دستگاه های مختصات محلی و کلی به ترتیب به صورت q' و q نشان داده می شود. مطابق شکل (۳-۷) این بردارها دارای ابعاد (12×1) می باشند. [13-14]

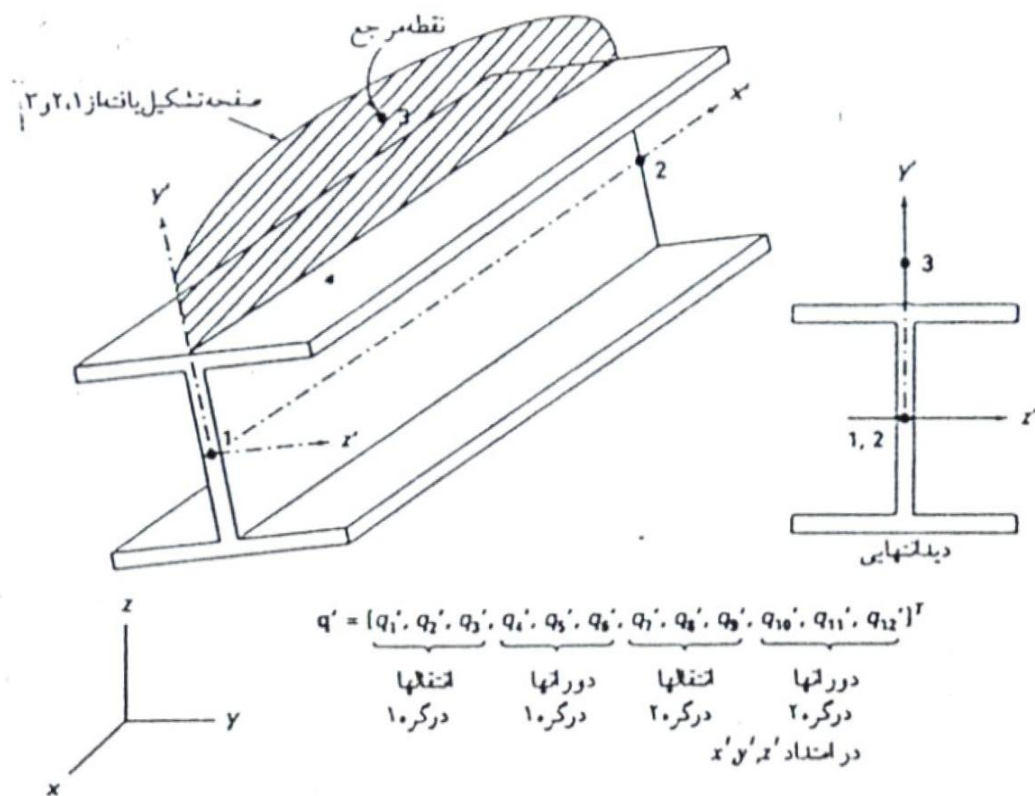


شکل ۳-۶. شماره گذاری درجات آزادی برای یک قاب سه بعدی

جهت یابی دستگاه مختصات محلی $X'-Y'-Z'$ با استفاده از سه نقطه برقرار می گردد. نقطه ۱ و ۲ دو انتهای المان می باشد. محور X' در امتداد خط کشیده شده از نقطه ۱ به نقطه ۲ قرار دارد که این موضوع کاملاً نظیر حالت قاب های دو بعدی می باشد. نقطه ۳ هر نقطه مرجع غیر واقع بر امتداد خط

رابط نقاط ۱ و ۲ می باشد. محور y' در صفحه تعریف شده توسط نقاط ۱، ۲ و ۳ واقع می باشد. این موارد را می توان در شکل (۷-۳) ملاحظه نمود. آنگاه محور z' به طور خودکار از راست گرد بودن دستگاه $x'-y'-z'$ تعریف می گردد. یادآوری می شود که محورها $y'-z'$ اصلی سطح مقطع عرضی و $I_{y'}$ و $I_{z'}$ لنگرماندهای اصلی می باشند.

خواص سطح مقطع های عرضی توسط چهار پارامتر مشخص می شوند؛ مساحت A ، لنگرماندهای $I_{y'}$ و $I_{z'}$ و J ، حاصل ضرب GJ سختی پیچشی می باشد که در آن G مدول برشی است. برای سطح مقطع های عرضی مدور یا لوله ای J لنگر ماند قطبی می باشد.



شکل ۷-۳. المان قاب سه بعدی در دستگاه های مختصات محلی و کلی

ماتریس سختی هر المان در دستگاه مختصات محلی یک ماتریس 12×12 است که با k' نشان داده می شود و از معادله (۱۸-۳) بدست می آید.

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{4EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{\ell} & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{\ell} \\ -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{4EI_y}{\ell} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{\ell} & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{\ell} \end{bmatrix}$$

(۱۸-۳)

ماتریس سختی المان در مختصات کلی عبارت است از :

$$K_e = L^T K'_e L \quad (۳-۳)$$

در حالی که ماتریس تبدیل مختصات کلی- محلی به صورت زیر ارائه می شود که λ ماتریس

کسینوس های هادی می باشد:

$$L = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \quad (۱۹-۳)$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \ell_1 & m_1 & n_1 \\ \ell_2 & m_2 & n_2 \\ \ell_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix} \quad (۲۰-۳)$$

l_1 و m_1 و n_1 به ترتیب کسینوس های زاویه های بین محور X' و محورهای کلی X و Y و Z می باشد

که با استفاده از روابط زیر بدست می آید:

$$\ell_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (۲۱-۳)$$

$$\ell_1 = \frac{x_2 - x_1}{\ell_e} \quad (۲۲-۳)$$

$$m_1 = \frac{y_2 - y_1}{\ell_e} \quad (۲۳-۳)$$

$$n_1 = \frac{z_2 - z_1}{\ell_e} \quad (۲۴-۳)$$

l_2 و m_2 و n_2 به ترتیب کسینوس های زاویه های بین محور Y' و محورهای کلی X و Y و Z می باشد

که با استفاده از روابط زیر بدست می آید:

$$D = \sqrt{(\ell_1)^2 + (m_1)^2} \quad (۲۵-۳)$$

$$\ell_2 = \frac{-m_1}{D} \quad (۲۶-۳)$$

$$m_2 = \frac{\ell_1}{D} \quad (۲۷-۳)$$

$$n_2 = 0 \quad (۲۸-۳)$$

l_3 و m_3 و n_3 به ترتیب کسینوس های زاویه های بین محور Z' و محورهای کلی X و Y و Z می باشد

که با استفاده از روابط زیر بدست می آید:

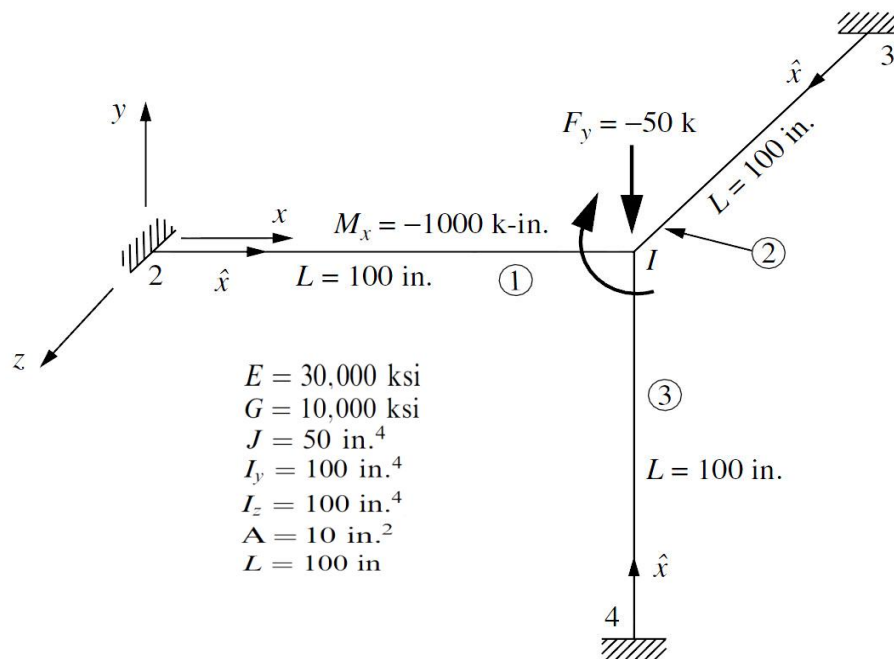
$$\ell_3 = \frac{-\ell_1 n_1}{D} \quad (۲۹-۳)$$

$$m_3 = \frac{-m_1 n_1}{D} \quad (۳۰-۳)$$

$$n_3 = D \quad (۳۱-۳)$$

مثال ۳-۲:

در شکل (۸-۳) قابی سه بعدی با مشخصات و نحوه شماره گذاری المان ها و گره ها نشان داده شده است. جابجایی و دوران های گره ها و نیز نیروهای داخلی همه المان های قاب را با برنامه متلب نوشته شده برای اجزا محدود قاب ۳ بعدی تعیین کنید. [14]



شکل ۸-۳. شکل مربوط به قاب سه بعدی مثال (۲-۳)

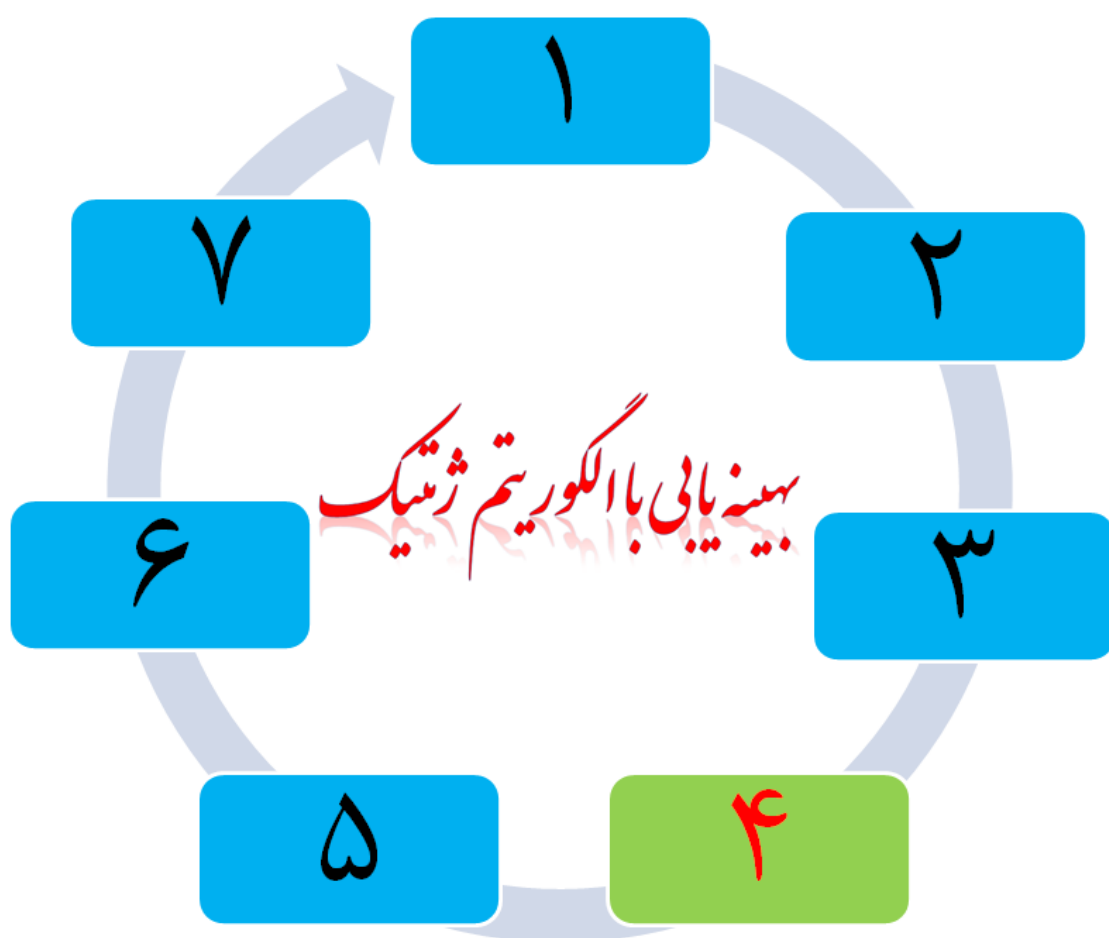
پس از آنالیز اجزاء محدود، تغییر مکان های مجهول گره ۱ قاب بصورت جدول (۳-۳) و نیروهای داخلی همه المان های قاب بصورت جدول (۴-۳) می باشد که مقایسه نتایج حاصل از مرجع و برنامه RBOF، دقت مناسب آن را نشان می دهد.

جدول ۳-۳. مقایسه نتایج تغییر مکان های مجهول قاب مثال (۲-۳)

reference	U_x	U_y	U_z	θ_x	θ_y	θ_z
book	7.098e-05	-0.014	-2.352e-03	-3.996e-03	1.78e-05	-1.033e-04
RBOF	7.0983e-05	-1.3995e-02	-2.3519e-03	-3.9961e-03	1.7801e-05	-1.0334e-04

جدول ۳-۴. مقایسه نتایج نیروهای داخلی المان های قاب مثال (۳-۲)

Element	1 book	1 RBOF	2 book	2 RBOF	3 book	3 RBOF
$f_x(s)$	-0.213	2.1295e-01	-0.029	-2.9486e-02	-0.183	-1.8346e-01
$f_y(s)$	-0.318	-3.1781e-01	-7.697	-7.6968e+00	-41.985	-4.1985e+01
$f_z(s)$	-0.053	-5.2627e-02	-7.056	-7.0557e+00	7.108	7.1083e+00
$m_x(s)$	-19.98	-1.9980e+01	-504.722	-5.0472e+02	-475.297	-4.7530e+02
$m_y(s)$	-2.097	-2.0973e+00	2.008	2.0083e+00	0.089	8.9003e-02
$m_z(s)$	12.8	1.2790e+01	-0.517	-5.1671e-01	-12.273	-1.2273e+01
$f_x(e)$	-0.213	-2.1295e-01	0.029	2.9486e-02	0.183	1.8346e-01
$f_y(e)$	0.318	3.1781e-01	7.697	7.6968e+00	41.985	4.1985e+01
$f_z(e)$	0.053	5.2627e-02	7.056	7.0557e+00	-7.108	-7.1083e+00
$m_x(e)$	19.98	1.9980e+01	-264.957	-2.6496e+02	-235.532	-2.3553e+02
$m_y(e)$	-3.165	-3.1654e+00	0.94	9.4027e-01	-0.089	-8.9003e-02
$m_z(e)$	18.991	1.8991e+01	0.517	5.1671e-01	-6.073	-6.0728e+00



الگوریتم ژنتیک^۱ یکی از زیر مجموعه های الگوریتم های تکاملی^۲ است که رابطه مستقیمی با مبحث هوش مصنوعی دارد. الگوریتم ژنتیک، یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای طراحی بسیار وسیع است که در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد.

الگوریتم های ژنتیک را می توان یک روش جستجوی کلی نامید، که از قوانین تکامل بیولوژیکی طبیعی تقلید می کند. الگوریتم های ژنتیک تفاوت های زیادی با روش های بهینه سازی قدیمی دارند. در این الگوریتم ها باید فضای طراحی به فضای ژنتیک^۳ تبدیل شود؛ لذا می بایست متغیرهای طراحی بصورت کد مطرح گردند، تا بیانگر طرح مورد نظر در فضای طراحی و فضای ژنتیک باشند.

تفاوت اصلی الگوریتم ژنتیک با روش های قدیمی در آن است که GA در یک لحظه خاص با مجموعه ای از نقاط کار می کند، در حالیکه روش های قدیمی بهینه سازی تنها برای یک نقطه خاص عمل می نمایند. به عبارت دیگر، GA در هر تکرار یا نسل سازه ای، مجموعه ای از طرح های ممکن را مورد پردازش قرار می دهد. در نگاه اول ممکن است به نظر برسد که این پردازش، یک جستجوی تصادفی^۴ است. در حالیکه با نگاهی عمیق می توان مشاهده نمود که GA، یک جستجوی تصادفی هدایت شده در راستای طرح بهینه است.

^۱ . Genetic Algorithm (GA)

^۲ . Evolutionary Algorithm

^۳ . Genetic Space

^۴ . Random Search

۲-۴ تاریخچه الگوریتم های ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم های تکاملی در سال ۱۹۶۰ توسط ریچنبرگ^۱ مطرح شد که تحقیق وی در مورد استراتژی های تکاملی^۲ بود. بعدها نظریه وی توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفت تا منجر به طرح الگوریتم ژنتیک شد. الگوریتم های ژنتیک در حقیقت، روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم های بهینه سازی و بر اساس ساختار ژن^۳ ها و کروموزوم^۴ ها است که توسط جان هولند^۵ در سال ۱۹۷۵ در دانشگاه میشیگان مطرح شد. پس از وی توسط جمعی از دانشجویانش مثل گلدبرگ^۶ و آنن آربور^۷ توسعه یافت. در سال ۱۹۹۲ جان کوزا^۸ از الگوریتم ژنتیک برای حل و بهینه سازی مسائل مهندسی پیشرفته استفاده کرد و توانست برای اولین بار روند الگوریتم ژنتیک را به زبان کامپیوتر درآورد و برای آن یک زبان برنامه نویسی ابداع کند که به این روش برنامه نویسی، برنامه نویسی ژنتیک^۹ می گویند. نرم افزاری که توسط وی ابداع گردید به نرم افزار LISP مشهور است که هم اکنون نیز کاربرد فراوانی در حل و بهینه سازی مسائل مهندسی دارد. از آن پس تا به امروز کتاب های متعددی توسط افرادی چون گلدبرگ، دب^{۱۰} و جنکینز^{۱۱} به رشته تحریر در آمده است و پس از آن بسیاری از محققین مقالات متنوعی درباره بسط دامنه کاربرد GA، بهبود نتایج و افزایش سرعت محاسبات، ارائه نموده اند. این الگوریتم امروزه به دلیل کاربرد فراوان، از جایگاه ویژه ای در میان روش های بهینه سازی برخوردار است. [15-18]

همان طور که اشاره شد، منشاء الگوریتم ژنتیک از مباحث مربوط به زیست شناسی و تکامل طبیعی یک موجود زنده است.

^۱ . Rechenberg

^۲ . Evolutionary Strategies

^۳ . Gene

^۴ . Chromosome

^۵ . John Holland

^۶ . Goldberg

^۷ . Ann Arbor

^۸ . John Koza

^۹ . Genetic Programming (GP)

^{۱۰} . Deb

^{۱۱} . Jenkins

در یک نگاه کلی اصطلاحاتی که از مباحث زیست شناسی به مبحث الگوریتم ژنتیک وارد شده است را می توان به شرح زیر دسته بندی نمود:

۱- تولید مثل^۱ که به تولید کروموزوم های جدید با ویژگی های والدین خود، منجر می شود.

۲- جهش^۲ که سبب ایجاد تغییرات ناگهانی در DNA می شود.

۳- مناسب بودن^۳ که برای یک موجود زنده میزان شایستگی آن در ادامه حیات است.

۴-۳ مراحل اساسی الگوریتم های ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با الهام از نظریه داروین^۴ درباره حیات بهترین ها شکل گرفته است که بر اساس آن بهترین ها حق بقا دارند، بنابراین می توان گفت: [15]

« GA بر اساس اصل " ادامه حیات بهترین ها " و " تکثیر نوع برتر " پی ریزی شده است.»

این روش هوشمند بطور موفقیت آمیزی طرح بهینه عمومی^۵ را بدون در نظر گرفتن فرضیات محدود کننده ای از قبیل پیوسته بودن فضای جستجو و یا وجود مشتقات پیدا می کند. فرآیند GA بر روی متغیرهای طراحی رمز شده که رشته ای از کاراکترها با طول محدود هستند، انجام می گیرد. الگوریتم GA در ابتدا با مجموعه ای از جواب های تصادفی (کروموزوم ها) که به آن جمعیت^۶ گفته می شود، آغاز می گردد. از این جواب ها برای ساخت جمعیت بعدی استفاده می شود. روش هایی که برای انتخاب جمعیت جدید استفاده شده با توجه به مناسب بودن آن ها صورت گرفته است. پس بهترین ها شانس بیشتری برای تولید مثل و ادامه حیات خواهند داشت. این فرآیند آنقدر تکرار می شود تا براساس معیار همگرایی طرح نزدیک به بهینه حاصل شود.

1 . Cross Over

2 . Mutation

3 . Fitness

4 . Darwin

5 . Global Optimum

6 . Population

در بهینه یابی از طریق GA چهار مرحله اساسی انجام می پذیرد: [15]

۱. تولید تصادفی مجموعه ای از طرح ها، که بدان جمعیت اولیه گفته می شود. هر عضو این جمعیت یک کروموزوم می باشد که بصورت کد^۱ بوده و رشته^۲ نامیده می شود. هر رشته متناسب با تعداد متغیرهای طراحی، به چندین زیر رشته^۳ تقسیم می شود. زیر رشته مجموعه ای از بیت^۴ ها می باشد. هر بیت هم ارز با یک ژن در الفبای ژنتیک می باشد. تعداد بیت های هر زیررشته به نحوی تعیین می شوند تا بتوان کلیه اطلاعات متغیر طراحی را مابین حدود بالا و پایین در مرحله رمز گشایی بدست آورد.
۲. با رمزگشایی، مقدار متغیرهای طراحی در هر رشته ارزیابی و مقادیر تابع هدف تعیین می گردد.
۳. مسأله بهینه یابی مقید با تعریف تابع پنالتی^۵ و ترکیب آن با تابع هدف و ایجاد تابع هدف اصلاح شده^۶، به یک مسأله بهینه یابی نامقید تبدیل می شود. در ادامه با تعریف تابع شایستگی، به هر کروموزوم، یک مقدار شایستگی اختصاص داده می شود. سپس بهترین کروموزوم ها بر مبنای میزان شایستگی انتخاب می شوند.
۴. در این مرحله، جمعیت جدید بر مبنای عملگرهای GA که در ادامه به شرح تفصیلی آن پرداخته شده است، تشکیل می شود. پس از آن جمعیت فرزندان^۷ برای بوجود آوردن نسل^۸ بعد به کار گرفته می شود. این مراحل تا ارضای شرط خاتمه و یا به تعداد نسل های پیش بینی شده برای کسب بهینه عمومی تکرار می شود.

^۱ . Code

^۲ . String

^۳ . Substring

^۴ . Bite

^۵ . Penalty Function

^۶ . Modified Objective Function

^۷ . Offspring

^۸ . Generation

اساساً برای پیاده سازی مراحل GA به شکلی صحیح می بایست سه مفهوم زیر مشخص شود:

۱. تعریف تابع هدف به شکلی صحیح

۲. تعریف فضای ژنتیک بر اساس قیود مسئله

۳. تعریف و پیاده سازی صحیح عملگرهای GA

۴-۴ مراحل بهینه یابی با الگوریتم های ژنتیک

۱. کد کردن مقادیر

بر اساس تعریف هوند، روش های متعددی برای نمایش ژن های منفرد وجود دارد. مثلاً میتوان آن ها را به صورت رشته^۱، آرایه^۲، درخت^۳ یا لیست^۳ نشان داد. اما در هر صورت، یک سیستم کدگذاری خوب باید دارای این خواص باشد:

- ۱- تبدیل بین عناصر گذشته و گذشته، یک تبدیل یک به یک باشد.
- ۲- کروموزوم هایی که هم ارز با هیچ متغیر طراحی نیستند، قابل ترمیم باشند.
- ۳- هر نقطه در فضای طراحی قابل تبدیل به یک کروموزوم باشد.
- ۴- خواص خوب والدین قابل انتقال به فرزندان باشد.
- ۵- تغییر اندک متغیرهای کد شده باعث ایجاد تغییرات کوچک در متغیرهای کد نشده گردد.

شیوه های مختلفی برای کدگذاری وجود دارد از جمله کد مبنای دو (کد دودویی)، روش کدگذاری جایگشتی، روش کدگذاری مقدار و روش کدگذاری درختی.

^۱ . Array
^۲ . Tree
^۳ . List

۲. شایستگی هر کروموزوم

همان طور که پیشتر بیان شد، GA مسئله بهینه یابی مقید را با تعریف تابع پناستی که وابسته به میزان نقض قیود است و ترکیب آن با تابع هدف و ایجاد تابع هدف اصلاح شده، به یک مسئله بهینه یابی نامقید تبدیل می نماید. در ادامه با کمک مقادیر تابع هدف اصلاح شده تابع شایستگی تعریف می گردد. سپس با توجه به تابع شایستگی، به هر کروموزوم یک مقدار شایستگی اختصاص می یابد.

۲-۱. تابع پناستی

تابع پناستی یا جریمه، مقداری است که به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود. این جریمه به دلیل نقض قیود می باشد. در واقع به واسطه تعریف تصادفی متغیر یا متغیرهای طراحی قیود مسئله نقض می شود. بنابراین کروموزوم ناقض قیود جریمه می شود. طبیعی است که هر کروموزومی که قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع پناستی متناظر با آن بیشتر است و بالطبع جریمه بیشتری به مقدار تابع هدف مربوط به این کروموزوم اعمال می شود.

محققین و دست اندرکاران GA از جمله راجیو و کریشنامورتی^۱، راجان^۲، ارباتور و همکاران^۳ روابط متعددی برای تابع پناستی و چگونگی محاسبه مقدار جریمه ارائه نموده اند.

۲-۲. تابع شایستگی^۴

تابع شایستگی معمولاً براساس تابع هدف اصلاح شده تعریف می شود و بایستی مقدار آن مثبت باشد. تابع هدف اصلاح شده نیز عموماً براساس مقادیر تابع جریمه و تابع هدف تنظیم می شود.

^۱. S.Rajeev & C.S.Krishnamoorthy

^۲. S.D.Rajan

^۳. Erbatur et al

^۴. Fitness Function

محققین GA از جمله گلدبرگ و راجیو و کریشنا مورتی روابط متنوع و گوناگونی را برای تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی ارائه داده اند که در هر صورت مطلب زیر در تمامی روابط و نظریات مربوط به تابع شایستگی حاکم است:

۱- در مسئله کمینه سازی، کروموزومی با کمترین مقدار تابع هدف اصلاح شده، بیشترین مقدار شایستگی را به خود اختصاص می دهد؛ لذا شانس بیشتری برای حضور در جمعیت بعدی دارد.

۲- مقادیر تابع شایستگی، همواره مقداری مثبت است.

در نهایت امر تابع شایستگی به ازای هر کروموزوم محاسبه و میزان شایستگی هر کروموزوم بدست می آید.

۳. انتخاب^۱

در فرآیند انتخاب کروموزوم های شایسته از میان جمعیت به عنوان والد انتخاب و سپس براساس فرآیند پیوند، کروموزوم های جدید به نام فرزندان تولید می شوند.

روش های متنوعی در GA برای انتخاب کروموزوم های شایسته وجود دارد، اما هدف اصلی در همه ی آن ها انتخاب کروموزوم هایی (طرح هایی) با میزان شایستگی بالا از جمعیت جاری و تکثیر آن ها، طی قرارگیری در مکانی به نام استخر تولید مثل^۲ است. کروموزوم های با مقدار شایستگی بالاتر، از شانس بیشتری برای حضور در استخر تولید مثل برخوردار خواهند بود. نحوه انتخاب در روش های مختلف، متفاوت است ؛ اما معیار تمامی روش های انتخاب، میزان شایستگی برای هر کروموزوم می باشد. یعنی هر کروموزومی که شایستگی بیشتری دارد ، بالطبع شانس بیشتری برای حضور در استخر تولید مثل پیدا می کند.

^۱ . Selection(Reproduction)

^۲ . Mating Pool

۳-۱. روش های انتخاب

مهمترین و رایج ترین روش هایی که برای انتخاب کروموزوم ها و قرار دادن آن ها در استخر تولید مثل وجود دارد عبارتند از:

۱. روش چرخ گردان^۱

۲. روش رتبه بندی^۲

۳. روش مسابقه^۳

۴. مفهوم برگزیده^۴ (شایسته سالاری)

۵. روش کلات جاری

در بخش پیشین انواع روش های انتخاب کروموزوم ها مورد بررسی قرار گرفت. به نحوی که کروموزوم های منتخب به عنوان والد برگزیده می شوند و پس از انجام عملیات و تغییراتی در یک والد یا بین دو والد، فرزندان حاصل می شوند. این فرزندان در ادامه فرایند الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار می گیرند. در این قسمت به بررسی روش های مختلف برای تولید فرزندان^۵ پرداخته می شود.

۴-۱. عملگرهای الگوریتم ژنتیک

عملگرهای وراثتی^۶ متعددی برای تولید رشته های بهتر وجود دارد که از مهمترین عملگرهای الگوریتم ژنتیک می توان به عمل جفت گیری یا ادغام، عمل معکوس کردن^۷، عمل حذف و کپی

^۱ . Roulette Wheel

^۲ . Rank

^۳ . Tournament

^۴ . Elitism

^۵ . Offspring

^۶ . Inheritance Operator

^۷ . Inversion

کردن^۱، عمل حذف و تولید مجدد^۲، عمل جداسازی^۳، عمل نقل مکان^۴، عمل بخش بندی^۵، عمل غالب شدن یا تسلط^۶، عمل ادغام و معکوس سازی^۷، عملگرهای بیتی^۸ و عملگر جهش^۹ اشاره کرد که معمولاً در یک الگوریتم ژنتیک ساده^{۱۰} تنها از دو عملگر اصلی ادغام و جهش پس از فرآیند انتخاب استفاده می شود.

۴-۱-۱. عملگر ادغام

در مرحله انتخاب جمعیتی از بهترین کروموزوم ها شکل می گیرد. در فرآیند ادغام، هدف تولید رشته های بهتر و جدید (تولید فرزندان) می باشد. فرآیند ادغام، با هدف تعویض ویژگی طرح ها در میان اعضای جمعیت، به قصد بهبود شایستگی نسل بعد انجام می شود.

عملگر ادغام یک عملگر ترکیبی است که شامل سه مرحله است. در مرحله اول یک جفت رشته به صورت تصادفی انتخاب می شود. در مرحله دوم بخشی از یک یا چند زیررشته از کروموزوم ها به طور تصادفی در طول رشته انتخاب خواهد شد. بایستی توجه داشت که طول زیررشته در هر دو کروموزوم، ثابت باشد. سرانجام در سومین مرحله منتخب در دو رشته والد جابه جا می شود.

روش های مختلف و متنوعی برای عمل ادغام وجود دارد که از جمله آن می توان به روش ادغام تک نقطه ای یا مکانی^{۱۱}، روش ادغام دو نقطه ای^{۱۲}، روش ادغام چند نقطه ای^{۱۳}، روش ادغام یکنواخت^{۱۴} اشاره نمود.

^۱ . Deletion And Duplication

^۲ . Deletion And Regeneration

^۳ . Segregation

^۴ . Migration

^۵ . Sharing

^۶ . Dominance

^۷ . Cross Over And Inversion

^۸ . Bite-Wise Operator

^۹ . Mutation

^{۱۰} . Simple Genetic Algorithm

^{۱۱} . Single-Sight Cross Over

^{۱۲} . Two-Point Cross Over

^{۱۳} . Multi-Point Cross Over

^{۱۴} . Uniform Cross Over

۴-۱-۱-۱. نرخ ادغام^۱

در انجام فرآیند ادغام با تعریف ثابتی به نام نرخ ادغام (پیوند)، شانس حضور کروموزوم در فرآیند ادغام بررسی می شود. نرخ ادغام بیانگر احتمال ادغام است که آن را با P_C نشان می دهند و مقدار آن بین ۰ و ۱ است. با فرض احتمال ادغام P_C می توان گفت که $P_C * 100$ درصد از رشته های موجود در استخر تولیدمثل در عملیات ادغام به کار رفته اند و $(1 - P_C) * 100$ درصد از جمعیت باقی می ماند.

انتخاب نرخ ادغام مناسب نیز، اغلب مشکل ساز است. اگر این مقدار خیلی زیاد باشد، باعث می شود تا فرصت تطابق در کروموزوم از دست برود و همچنین اگر این مقدار خیلی کم باشد، تعداد فرزندان تولید شده کافی نخواهد بود.

۴-۱-۲. جهش

از دیگر مراحل رایج در عملیات GA که تکامل جمعیت برای نسل بعد را به دنبال خواهد داشت، استفاده از اپراتور جهش است. استفاده از اپراتور جهش می تواند تغییر قابل توجهی در یک جمعیت ایجاد کند که از همگرایی زودرس الگوریتم ژنتیک و کسب جواب های بهینه محلی جلوگیری کند.

۴-۱-۲-۱. نرخ جهش^۲

این نرخ بیانگر احتمال جهش و تغییر برای هر بیت است. مقدار مناسب نرخ جهش در کیفیت نتایج تأثیر بسزایی دارد. نرخ جهش پایین سبب همگرایی سریع و عدم تحرک در فضای جستجو

^۱ . Cross Over Rate

^۲ . Mutation Rate

می شود. در حالیکه نرخ جهش بالا سبب می شود که عملیات GA به سمت روند جستجوی تصادفی میل نماید.

نرخ جهش را می توان ثابت در نظر گرفت و یا پیشنهاد می شود آن را متناسب با تعداد نسل های تولید شده قرار داد. در این صورت دو حالت وجود دارد که به شرح زیر است:

۱- در این حالت نرخ جهش بصورت افزایشی می باشد. یعنی در ابتدا جهش با احتمال کمی اعمال شده و در خلال عملیات GA، متناسب با نسبت شماره نسل به تعداد کل نسل ها، افزایش می یابد.

۲- در این حالت نرخ جهش بصورت کاهشی می باشد. یعنی در ابتدا جهش با بیشترین احتمال اعمال می شود و در خلال فرآیند GA، رشد نزولی خود را متناسب با نسبت شماره نسل به تعداد کل نسل ها، درپیش می گیرد.

۴. شرط توقف الگوریتم

برخی از شرط های متداول توقف عملیات GA عبارتند از:

۱. رسیدن به جواب^۱: این ساده ترین فکر برای همگرایی است. به این معنی که اگر تصور

شد الگوریتم به مقدار کروموزوم مناسب رسیده است، الگوریتم متوقف شود.

۲. عدم پیشرفت^۲: یعنی الگوریتم GA پس از n بار تکرار با همان کروموزوم های قبلی

ادامه پیدا کند؛ در این صورت الگوریتم متوقف شود. در این حالت ممکن است الگوریتم

در یک نقطه کمینه نسبی، به دام افتاده باشد.

^۱. Correct Answer

^۲. No Improvement

۳. روش آماری^۱: اگر انحراف از معیار^۲ مقادیر شایستگی جمعیت به یک مقدار مشخصی

رسید، الگوریتم متوقف می شود. این بدان مفهوم است که مقادیر شایستگی جمعیت با یکدیگر تفاوت چندانی نداشته باشند.

۴. تعداد تکرارها^۳: اگر با هیچ کدام از موارد فوق جواب نداد، شرط توقف براساس تعداد تکرار بنا می شود.

۴-۵ معایب الگوریتم ژنتیک ساده

در هر صورت باید اذعان داشت که ممکن است الگوریتم ژنتیک، همانند دیگر روش های بهینه سازی، به جواب بهینه نرسد و یا در نقطه کمینه نسبی گرفتار شود. در هر صورت اگر الگوریتم به یک حل بهینه همگرا نشود، می بایست پارامترهای آن را تغییر داده و مجدداً الگوریتم را اجرا نمود. این پارامترها نقش بسزایی در رسیدن به جواب بهینه دارند.

پارامترهای اساسی در پیاده سازی عملیات GA را می توان بشرح زیر دسته بندی نمود:

◀ نحوه ی نمایش متغیرهای طراحی

◀ نحوه ارزیابی تابع جریمه و شایستگی رشته ها

◀ اندازه جمعیت

◀ نوع روش انتخاب

◀ عملگرهای GA همچون ادغام ، جهش و ...

◀ نرخ عملگرهای GA

◀ شرط خاتمه

¹ . Statistics

² . Standard Deviation

³ . Number Of Iterations

امروزه با پیشرفت رایانه ها در زمینه نرم افزار و سخت افزار ، مشکل سرعت عملیات بهینه یابی تا حدودی حل شده است؛ اما تنظیم پارامترها و شناسایی صحیح روابط حاکم بر GA ، از جمله مشکلات رایج الگوریتم های ژنتیک می باشد. افراد مختلفی با بیان روش های گوناگون سعی در حل این مشکل نموده اند. از جمله راه حل های ارائه شده برای حل این مشکل، الگوریتم روش جستجوی چند منظوره (M.S.M)^۱ ، به عنوان روشی نیرومند جهت بهینه یابی می باشد که ویژگی این الگوریتم در کاهش تأثیر پارامترهای GA و افزایش سرعت عملیات بهینه یابی می باشد.[15]

در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) ، جمعیت GA به بخش های مختلف (جزایر متنوع) تقسیم می شود. هر بخش^۲ دارای محیطی^۳ متفاوت و ساختاری منحصر بفرد است. ویژگی ها و ساختار هر بخش بر اساس آزمودن عملگرهای مختلف GA و انتخاب بهترین، شکل گرفته است. به عبارت دیگر برای تشکیل جزایر^۴ ، کلیه شیوه ها و عملگرهای مشروح در این فصل به کمک زبان برنامه نویسی متلب کد شده و بر اساس نتایج بهترین ها انتخاب و به کار گرفته شده است. این طریقه عمل سبب می شود که جواب ها تنوع خوبی داشته باشند. در پایان تعداد نسل سازی های معین براساس وقفه مهاجرت و طبق نرخ مهاجرت بهترین ها در مجموعه جزایر جابجا می شوند تا درنهایت، الگوریتم به جواب های مناسبی برسد.

۴-۶ روش جستجوی چند منظوره (M.S.M)

در این روش یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت^۵ کوچکتر تقسیم می شود و الگوریتم ژنتیک مرسوم با عملگرها و پارامترها متفاوتی، برای هر کدام از زیر جمعیت ها به طور جداگانه به کار گرفته می شود. هر کدام از این زیرجمعیت ها به عنوان یک جزیره نامیده می شوند. بهترین کروموزوم

^۱ . **M**ulti **S**earch **M**ethod

^۲ . Part

^۳ . Environment

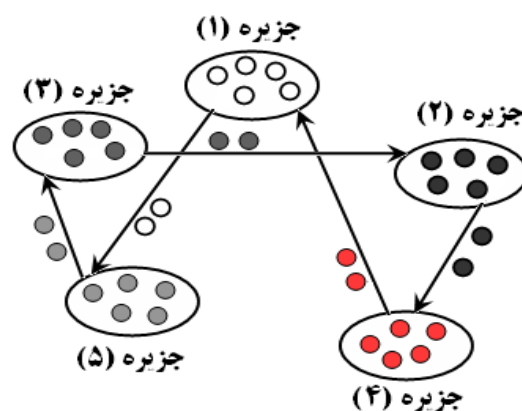
^۴ . Islands

^۵ . Subpopulations

های هر جزیره پس از طی چند نسل مشخص، بطور تناوبی به جزایر دیگر منتقل می شود. این مطلب در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. [15]

در فرآیند انتقال دو پارامتر بشرح زیر تعریف می شود:

۱. وقفه مهاجرت^۱: بیانگر تعداد نسل سازی های بین هر انتقال می باشد.
۲. نرخ مهاجرت^۲: بیانگر درصد اعضای منتخب برای انتقال از هر جزیره در زمان انتقال می باشد.



شکل ۱-۴. روش جستجوی چند منظوره

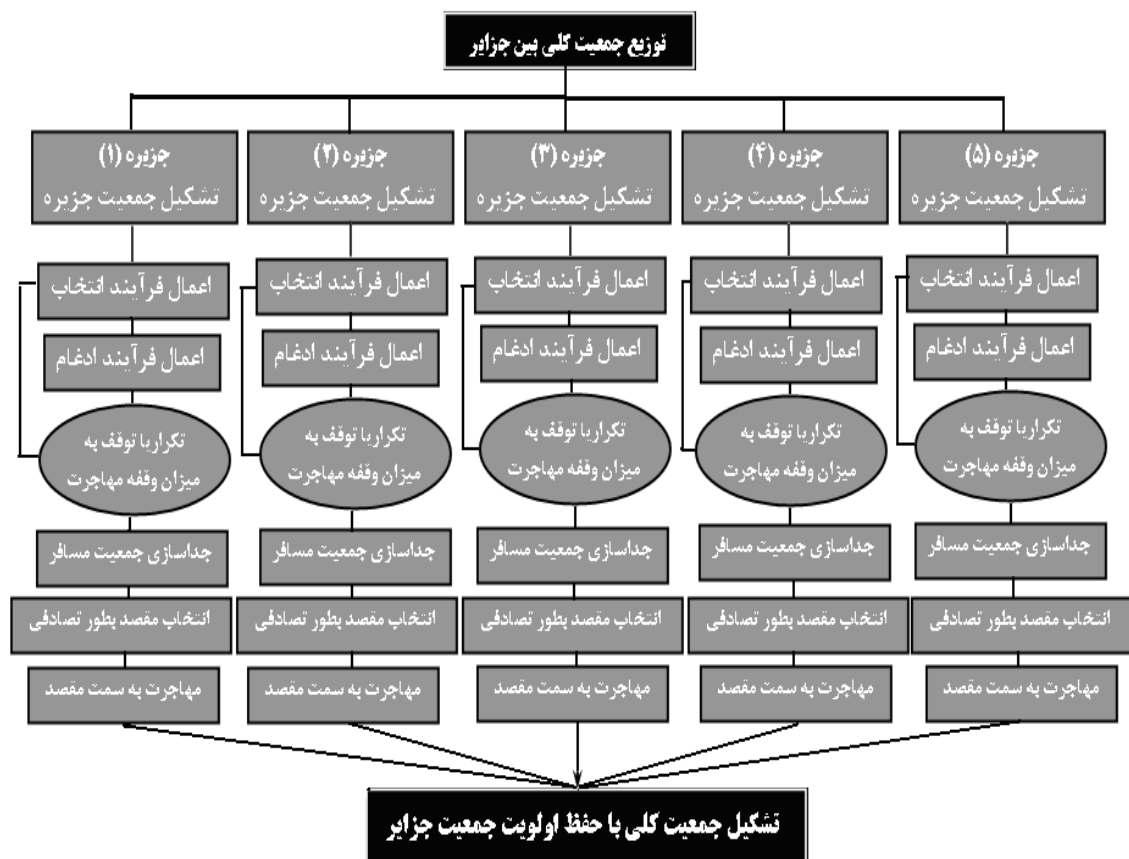
نحوه مهاجرت انتخاب شده به صورت یک حلقه با مقصدهای تصادفی^۳ می باشد که هر کدام از زیرجمعیت ها دارای یک مقصد تصادفی می باشند و این مقصدها به طور تصادفی در هر دوره تناوب مهاجرت^۴ مشخص می شوند.

بهترین های هر جزیره برای مهاجرت انتخاب می شوند. عملگر مهاجرت، بهترین های یک زیرجمعیت را به جزیره دیگری می فرستد، که شامل محیط و اعضای با ساختار بسیار متفاوتی است. پس از فرآیند مهاجرت، الگوریتم ژنتیک جمعیت های مهاجر^۵ را با باقیمانده اعضای جمعیت ترکیب می کند و به سوی حصول جمعیتی با برآزش بالاتر گام برمی دارد.

^۱ . Migration Interval
^۲ . Migration Rate
^۳ . Random Destinations
^۴ . Migration Period
^۵ . Immigrants

در روش جستجوی چند منظوره به دلیل آنکه یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت تبدیل می شود، به سبب وجود مکانیزم مهاجرت، جواب ها در خلال فرآیند کاوش از تنوع خاصی برخوردارند. بنابراین روش جستجوی چند منظوره فضای طراحی را بطور کامل تری مورد کاوش قرار می دهد. از سوی دیگر در این روش هر مسئله بهینه یابی در یک لحظه با چندین روش، فضای طراحی را کاوش می کند و در ادامه بهترین نتایج، بین دیگر جزایر به اشتراک گذاشته و جمعیت های جدیدی در اختیار هر جزیره جهت پرورش قرار می دهد. این خصوصیات بطور دسته جمعی سبب کاهش تأثیر پارامترها و روابط حاکم بر عملیات GA می شود و سرعت همگرایی الگوریتم را بطور شگرفی افزایش می دهد.

در این الگوریتم با استفاده از رایانه های موازی، هر جزیره به یکی از پردازشگرها اختصاص می یابد. هر یک از جزایر بطور جداگانه به پرورش جمعیت خود می پردازد و ارتباط جزایر تنها در زمان مهاجرت رخ می دهد که می توان آن را بصورت شکل (۴-۲) نشان داد. [15]



شکل ۴-۲. روش جستجوی چند منظوره (M.S.M)

۷-۴ کلیات الگوریتم بهینه یابی مقاطع سازه قاب خمشی مورد تحقیق

به طور کلی گام های بهینه یابی سازه قاب خمشی دو بعدی و سه بعدی مورد تحقیق در این پایان نامه طی مراحل زیر صورت می پذیرد.

۷-۴-۱ الگوریتم تولید جمعیت اولیه

در پایان نامه حاضر برای نمایش متغیرهای مشخصات مقاطع، از شیوه کدگذاری دودویی استفاده شده است. بنابراین در زیربرنامه تولید جمعیت اولیه، تولید اعداد تصادفی^۱ به صورت یک عدد دودویی (رمز کردن^۲) به تعداد زیررشته هایی به اندازه تعداد تیپ بندی های اعضای سازه مبنا صورت می پذیرد. سپس با رمزگشایی هر زیررشته عددی در محدوده صفر تا Nos (حداکثر شماره سطر ماتریس مشخصات مقاطع) حاصل می شود. با مشخص بودن شماره سطر، همه مشخصات مورد نیاز همه تیپ بندی ها (و در نتیجه همه اعضا) برای تحلیل اجزاء محدود و قابلیت اعتماد معلوم است.

۷-۴-۲ تحلیل سازه مربوط به هر کروموزوم

در این تحقیق، جهت کسب نیروهای داخلی و محاسبه تغییرمکان گره های فعال سازه از روش اجزاء محدود استفاده شده است. برای این منظور با تشکیل ماتریس سختی پایدار برای هر کروموزوم به آنالیز سازه پرداخته می شود. در طی این روند، حل یک دستگاه n معادله با n مجهول نیاز است. استفاده از مناسب ترین شیوه حل دستگاه، سبب افزایش سرعت عملیات بهینه یابی می شود. با حل دستگاه معادلات، مقادیر تغییرمکان گره های سازه بدست می آید. در ادامه پس از محاسبه تغییرمکان گرهی نوبت به محاسبه مقادیر نیروهای داخلی اعضا می رسد تا با استفاده از آنها و سطح مقطع هر عضو، مقدار تنش در اعضای قاب محاسبه شود.

¹ . Random

² . Encoding

۴-۷-۳ تحلیل قابلیت اعتماد مربوط به هر کروموزوم

تحلیل قابلیت اعتماد در این پایان نامه شامل تحلیل قابلیت اعتماد اعضا و کل سیستم سازه ای می باشد که شرح چگونگی محاسبه آن در فصل بعدی آمده است. قیود بهینه یابی سازه قاب خمشی مورد تحقیق، مقادیر احتمال خرابی اعضا و کل سازه می باشند که پس از تحلیل قابلیت اعتماد محاسبه می گردند.

۴-۷-۴ تابع هدف و تابع جریمه مورد استفاده

پس از تحلیل سازه و قابلیت اعتماد هر کروموزوم (طرح)، نوبت به محاسبه میزان جریمه هر کروموزوم متناسب با میزان تخطی آن می رسد. همان طور که اشاره شد، برای بررسی میزان شایستگی یک کروموزوم، تابعی جهت محاسبه مقدار نقض قیود نیاز است. در راستای نیل به این هدف، در این پایان نامه از تابع جریمه پیشنهادی توسط راجیو و کریشنامورتی استفاده شده است: [16,18]

$$f_i^{Penalty} = f_i(A) * K * C_i \quad (۱-۴)$$

در رابطه فوق، $f_i^{Penalty}$ مقدار تابع جریمه کروموزوم i ام است و C_i ، بیانگر جمع کل نقض صورت گرفته توسط سازه مرتبط با کروموزوم i ام می باشد. $f_i(A)$ بصورت زیر تعریف می شود:

$$\left\{ \begin{array}{ll} f_i(A) = \sum_{j=1}^{Ne} (\rho_j \ell_j a_j) & \text{if } \text{Object Function Based On Weight Structure} \\ f_i(A) = \sum_{j=1}^{Ne} (\ell_j a_j) & \text{if } \text{Object Function Based On Volume Structure} \end{array} \right. \quad (۲-۴)$$

۴-۷-۵ تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی مورد استفاده

با داشتن مقادیر تابع هدف و تابع جریمه متناظر با هر کروموزوم، به راحتی می توان مقدار تابع شایستگی را برای هر رشته حساب نمود. در این تحقیق جهت محاسبه شایستگی هر کروموزوم روابط (۳-۴) و (۴-۴) استفاده شده است.

$$F_i = [\phi_{Max}(A) + \phi_{Min}(A)] - \phi_i(A) \quad ; \quad i = 1, \dots, nc \quad (3-4)$$

$$\phi_i(A) = f_i(A) + f_i^{Penalty} \quad ; \quad i = 1, \dots, nc \quad (4-4)$$

در روابط فوق همان طور که پیشتر بیان شد؛ $f_i(A)$ ، $f_i^{Penalty}$ ، $\phi_i(A)$ و F_i به ترتیب تابع هدف، تابع جریمه، تابع هدف اصلاح شده و شایستگی کروموزوم i ام در جمعیت جاری است. $\phi_{Max}(A)$ و $\phi_{Min}(A)$ نیز به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل تابع هدف اصلاح شده در جمعیت حاضر می باشد. براساس روابط (۳-۴) و (۴-۴) به طرح هایی با نقض قیود بالا یا $\phi_i(A)$ بالا، میزان شایستگی کم و بر عکس به طرح های خوب با مقدار تابع هدف اصلاح شده کم، شایستگی بالا اختصاص یابد. لازم به ذکر است که رابطه (۴-۴) با توجه به رابطه (۱-۴) به صورت زیر نیز، قابل بیان است.

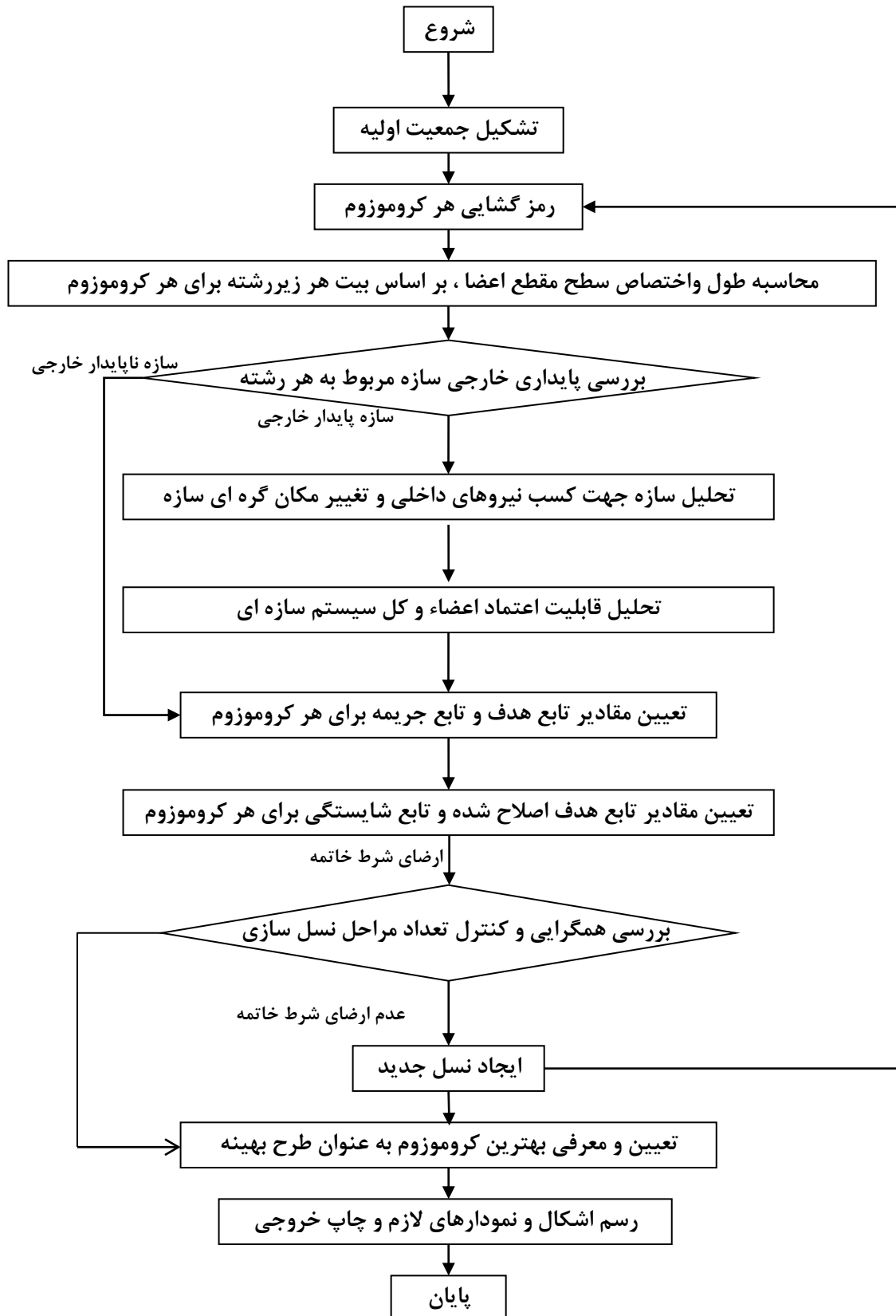
$$\phi_i(A) = f_i(A)(1 + KC_i) \quad ; \quad i = 1, \dots, nc \quad (5-4)$$

که C_i بیانگر جمع کل نقض های صورت گرفته توسط سازه مرتبط با کروموزوم i ام می باشد. قیود مساله مورد تحقیق نیز احتمال خرابی اعضا و سیستم سازه ای می باشد تا قیود قابلیت اعتماد، جایگزین قیود متداول مانند تنش مجاز اعضا شود. بنابراین ضریب نقض محدودیت سازه نیز بستگی به نقض قیود قابلیت اعتماد همه اعضا طبق رابطه (۴-۶) و نیز نقض قیود قابلیت اعتماد سیستم سازه ای طبق رابطه (۷-۴) دارد.

$$C_1 = \sum_{i=1}^{ne} \max\left\{\left(\frac{Pf_{i,element}}{Pf_{a,element}}\right) - 1, 0\right\} \quad (6-4)$$

$$C_2 = \max\left\{\left(\frac{Pf_{system}}{Pf_{a,system}}\right) - 1, 0\right\} \quad (7-4)$$

شمای کلی این مراحل را می توان در شکل (۳-۴) ملاحظه نمود:



شکل ۳-۴. شمای کلی مراحل بهینه یابی سازه قاب خمشی مورد تحقیق



۵-۱ مقدمه

در فصل دوم این پایان نامه، با روش های متداول بدست آوردن قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای آشنا شدیم، ولی این روش ها علاوه بر اینکه جواب بسیار محافظه کارانه و غیردقیق را ارائه می دهند، در بسیاری از سازه های متداول و رایج به دلیل پیچیدگی سیستم سازه ای آن ها، کاربردی ندارند. بنابراین، می بایستی به دنبال روش هایی بود که به عنوان روش هایی جامع، بتوان آن ها را برای تحلیل قابلیت اعتماد هر نوع سیستم سازه ای مورد استفاده قرار داد. یکی از این روش ها روش شاخه و کرانه است که روشی مبتنی بر مسیرهای خرابی است و در این فصل به چگونگی پیاده سازی روش شاخه و کرانه برای سازه های قاب خمشی می پردازیم. تاکنون تحقیقات چندان جامعی برای این روش در حالت سه بعدی آن انجام نشده است و در تحقیقات انجام شده، سیستم های سازه ای دوبعدی ساده مورد تحلیل قرار گرفته اند و یا اینکه فرضیات ساده کننده بسیاری مورد استفاده قرار گرفته اند.

در فصل چهارم این پایان نامه نیز، مبانی و مفاهیم اولیه الگوریتم ژنتیک اشاره شد و به شرح اشکالات مهم الگوریتم ژنتیک ساده پرداخته شد. در ادامه فصل چهارم، برای کاهش تاثیرپذیری نتایج الگوریتم ژنتیک از نحوه انتخاب پارامترها و عملگرهای آن، الگوریتم ژنتیک جزیره ای که روشی بر اساس جستجوی چند منظوره می باشد، شرح داده شد. در این روش، جمعیت به بخش های مختلف (جزایر متنوع) تقسیم می شود. هر بخش دارای محیطی متفاوت و ساختاری منحصر بفرد است که در هر جزیره، نحوه انتخاب، نحوه ترکیب، جهش و غیره دارای تنوعی می باشند که با پردازش موازی هر کدام از جزایر، در پایان تعداد نسل سازی های معین براساس وقفه مهاجرت و طبق نرخ مهاجرت بهترین اعضای جمعیت هر جزیره با انتخاب مقصدی تصادفی، به جزیره ای دیگر انتقال داده می شوند تا در نهایت، الگوریتم به جواب های مناسبی برسد.

نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک جزیره ای با وجود در نظر گرفتن برخی از عملگرها در جزایر مختلف، باز هم شاید نتواند بهترین جواب را پس از اتمام نسل ها به ما بدهد. دلیل آن هم این است که به نوعی فقط چند ترکیب از عملگرها تحت جزایر محدود مورد ارزیابی قرار می گیرند. این در حالی است که ممکن است ترکیب های دیگری از پارامترهای ژنتیک دارای جواب بهینه بهتری باشد. در این فصل چگونگی پیاده سازی این الگوریتم ژنتیک پیشنهادی شرح داده خواهد شد.

بنابراین مطالب این فصل شامل دو بخش کلی است:

۱. مراحل گام به گام تحلیل قابلیت اعتماد المان و سیستم سازه ای قابی به روش شاخه و کرانه
۲. راهکارهای پیشنهادی برای الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیبی عملگرها و چند تغییر پیشنهادی در برخی عملگرها

۲-۵ مراحل گام به گام تحلیل قابلیت اعتماد المان و سیستم سازه قابی سه

بعدی به روش شاخه و کرانه

در این بخش نخست، قابلیت اعتماد المان قاب را مورد تحلیل قرار داده و احتمال خرابی همه المان ها را در یک سیستم سازه ای قاب خمشی دو بعدی و سه بعدی را بدست می آوریم. سپس، احتمال خرابی سیستم سازه ای قاب خمشی دو بعدی و سه بعدی را با استفاده از روش شاخه و کرانه که روشی مبتنی بر مسیرهای خرابی است، بدست می آوریم.

۵-۲-۱ احتمال خرابی المان قابی

اولین گام برای بدست آوردن شاخص قابلیت اعتماد، تعریف ضابطه خرابی است. یک سیستم سازه ای قابی شامل n عضو که l بار بر آن اثر می کند، در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه یکی از نیروهای تعیین کننده در سازه های قابی، لنگر خمشی می باشد، در این تحقیق، وقتی لنگر وارد به یک گره از مقاومت مجاز آن تجاوز نماید می توان آن را به عنوان ضابطه خرابی تعریف نمود. در اینصورت تجاوز نمودن مقدار لنگر وارده در گره از حد مقاومت نهایی و در نتیجه مفصل پلاستیک شدن آن نشان گر خرابی آن گره خواهد بود.

در قاب های دو و سه بعدی نیروهای داخلی، لنگرهای خمشی گره ها می باشند که با استفاده از روش های ماتریسی در سمت چپ و راست هر عضو به صورت زیر تعیین می گردند: [19-22,3]

$$S_i^L = \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij}^L L_j \quad (۱-۵)$$

$$S_i^R = \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij}^R L_j \quad (۲-۵)$$

در این روابط a_{ij} درایه های ماتریس لنگرهای داخلی اعضا در مقاطع بحرانی (پتانسیل های مفاصل پلاستیک) تحت اثر بار واحد (a_{ij} : لنگر داخلی ایجاد شده در آن گره در اثر اعمال بار واحد در راستای بار L_j) و L_j بردار بارهای خارجی می باشد.

طبق رابطه زیر نیز می توان مقاومت خمشی اعضاء را بر حسب لنگر پلاستیک مربوطه شان بیان نمود:

$$R_i = AZ_{pi} C_{yi} \quad (۳-۵)$$

در رابطه فوق، AZ_{pi} مدول مقطع پلاستیک عضو و C_{yi} تنش تسلیم عضو می باشد.

اکنون حاشیه ایمنی در سمت چپ و راست عضو بدین صورت بدست می آید:

$$Z_i^L = R_i - S_i^L = AZ_{pi} C_{yi} - \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij}^L L_j \quad (۴-۵)$$

$$Z_i^R = R_i - S_i^R = AZ_{pi} C_{yi} - \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij}^R L_j \quad (5-5)$$

با توجه به اینکه پارامترهای L_j و C_{yi} متغیرهای تصادفی می باشند (مقادیر میانگین آن ها را به ترتیب با $\bar{L}_j$ و $\bar{C}_{yi}$ و مقادیر واریانس آن ها را با $\sigma_{L_j}^2$ و $\sigma_{C_{yi}}^2$ نشان می دهیم) حاشیه ایمنی نیز متغیر تصادفی بوده و پس از نرمالیزه کردن متغیرهای تصادفی غیر نرمال با استفاده از روش ماتریسی راکویتز- فیسلر^۱، از روابط زیر برای بدست آوردن احتمال خرابی هر کدام از پتانسیل های مفصل پلاستیک استفاده می کنیم :

$$E[Z_i] = \bar{C}_{yi} (AZ_{pi}) - \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij} \bar{L}_j \quad (6-5)$$

$$\sigma_{Z_i}^2 = \sigma_{C_{yi}}^2 (AZ_{pi})^2 + \sum_{j=1}^{\ell} (a_{ij})^2 \sigma_{L_j}^2 \quad (7-5)$$

$$\beta_i = \frac{E[Z_i]}{\sigma_{Z_i}} \quad (8-5)$$

$$P_{fi} = \Phi(-\beta_i) \quad (9-5)$$

در این تحقیق پتانسیل های مفصل پلاستیک، در قسمت ابتدایی و انتهایی اعضا فرض می شود به این ترتیب، در هر المان، احتمال خرابی پتانسیل های مفاصل پلاستیک ابتدایی و انتهایی تعیین و مقدار بزرگتر آن به عنوان احتمال خرابی عضو در نظر گرفته می شود.

¹ . Rackwitz-Fiessler

۵-۲-۲ احتمال خرابی سیستم سازه ای قاب خمشی

در این پایان نامه، برای بدست آوردن احتمال خرابی سیستم سازه ای قاب خمشی، از روش شاخه و کرانه استفاده شده است. این روش مبتنی بر مسیرهای خرابی است. مراحل گام به گام بدست آوردن این احتمال خرابی در ادامه این فصل شرح داده شده است.

در ابتدا با مراحل کلی بدست آوردن احتمال خرابی سیستم سازه ای با استفاده از روش شاخه و کرانه آشنا می شویم :

۵-۲-۲-۱ ایجاد توابع حالت حدی

سازه قاب خمشی با n عضو و l بار وارد بر آن در نظر گرفته می شود. در این تحقیق اعضای قاب شکل پذیر و الاستو پلاستیک کامل فرض می شوند. همانطور که می دانیم خرابی یک سازه قابی لزوماً با ایجاد یک مفصل پلاستیک در آن رخ نمی دهد و می بایستی چندین مفصل پلاستیک در آن تشکیل شود تا دترمینان سختی کل سازه به میزان ناچیزی نزدیک به صفر برسد و نشان از ناپایداری سازه بدهد. [23-25]

خرابی به معنی منفی شدن تابع حالت حدی برای گره i ام در سازه اولیه طبق رابطه زیر نشان داده می شود :

$$F_i^{(1)} \equiv (M_i^{(1)} < 0) \equiv R_i - S_i \quad (5-10)$$

بالانویس (۱) به معنی سازه اولیه است که هنوز هیچ مفصل پلاستیکی در آن تشکیل نشده است. با توجه به اینکه خرابی را ایجاد مفصل پلاستیک در نظر گرفتیم R_i مقاومت خمشی عضوی که گره در آن قرار دارد و S_i لنگر داخلی در آن گره می باشد.

با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت قبل (۵-۲-۱) احتمال خرابی همه گره ها بدست می آیند.

اکنون در گرهی که بیشترین احتمال خرابی دارد دو کار انجام می شود: [1,3,14]

۱. با فرض مفصل پلاستیک شدن آن گره، اصلاح ماتریس سختی عضوی که گره در آن قرار

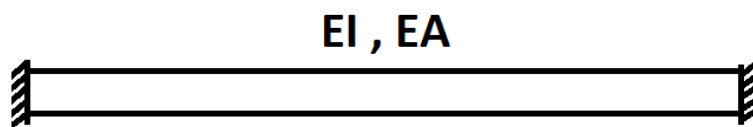
دارد، صورت می پذیرد. (بدیهی است با اصلاح ماتریس سختی یک عضو، ماتریس سختی کل

سازه نیز تغییر می کند)

۲. جایگزین نیروها و لنگرهای مجازی در عضوی که گره در آن قرار دارد.

یک المان قابی مانند شکل (۵-۱) در نظر گرفته می شود. ماتریس سختی اولیه در حالت دو بعدی به

صورت رابطه (۵-۱۱) و در حالت سه بعدی به صورت رابطه (۵-۱۲) می باشد.



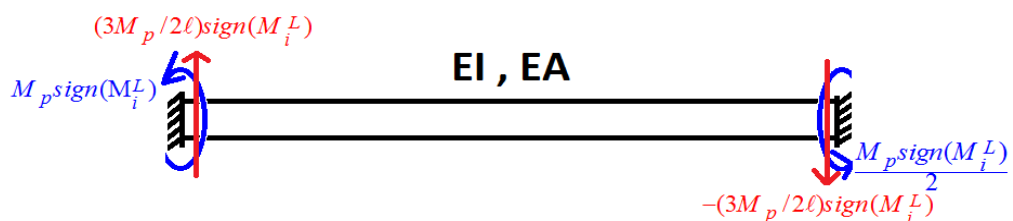
شکل ۵-۱. المان قاب بدون مفصل پلاستیک

$$\begin{pmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l^2} \end{pmatrix} \quad (۵-۱۱)$$

$$\begin{bmatrix}
 \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} \\
 0 & 0 & \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{4EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 \\
 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{\ell} & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{\ell} \\
 -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & \frac{12EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} \\
 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{\ell} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{2EI_y}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{4EI_y}{\ell} & 0 \\
 0 & \frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{\ell} & 0 & -\frac{6EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{\ell}
 \end{bmatrix}$$

(۱۲-۵)

هنگامی که مفصل پلاستیک در سمت چپ تیر تشکیل شود، مقادیر نیروها و لنگرهای مجازی به صورت شکل (۲-۵) می شود (در حالت سه بعدی روابط را برای دو جهت در نظر گرفته می شود) و ماتریس سختی نظیر آن نیز در حالت دوبعدی با رابطه (۱۳-۵) و در حالت سه بعدی با رابطه (۱۴-۵) بدست می آید.

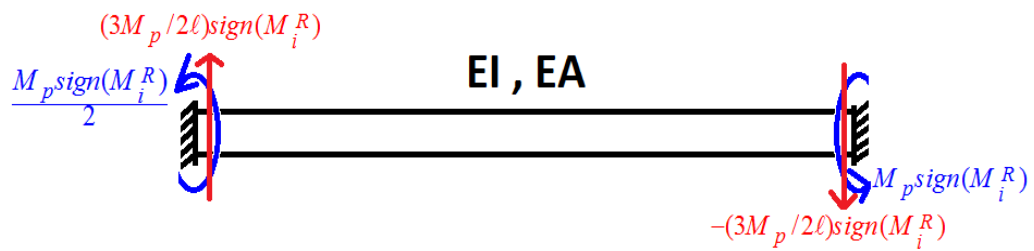


شکل ۲-۵. مقاومت های باقیمانده پس از تشکیل مفصل پلاستیک در سمت چپ عضو

$$\begin{pmatrix} \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{\ell^3} & 0 & 0 & -\frac{3EI}{\ell^3} & \frac{3EI}{\ell^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI}{\ell^3} & 0 & 0 & \frac{3EI}{\ell^3} & -\frac{3EI}{\ell^2} \\ 0 & \frac{3EI}{\ell^2} & 0 & 0 & -\frac{3EI}{\ell^2} & \frac{3EI}{\ell^2} \end{pmatrix} \quad (۱۳-۵)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_z}{\ell^2} \\ 0 & 0 & \frac{3EI_y}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_y}{\ell^3} & 0 & -\frac{3EI_y}{\ell^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_z}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_z}{\ell^2} \\ 0 & 0 & -\frac{3EI_y}{\ell^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_y}{\ell^3} & 0 & \frac{3EI_y}{\ell^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{3EI_y}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_y}{\ell^2} & 0 & \frac{3EI_y}{\ell} & 0 \\ 0 & \frac{3EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_z}{\ell^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_z}{\ell} \end{bmatrix} \quad (۱۴-۵)$$

هنگامی که مفصل پلاستیک در سمت راست تیر تشکیل شود، مقادیر نیروها و لنگرهای مجازی به صورت شکل (۳-۵) می شود (در حالت سه بعدی روابط را برای دو جهت در نظر گرفته می شود) و ماتریس سختی نظیر آن نیز در حالت دوبعدی با رابطه (۱۵-۵) و در حالت سه بعدی با رابطه (۱۶-۵) بدست می آید.



شکل ۵-۳. مقاومت های باقیمانده پس از تشکیل مفصل پلاستیک در سمت راست عضو

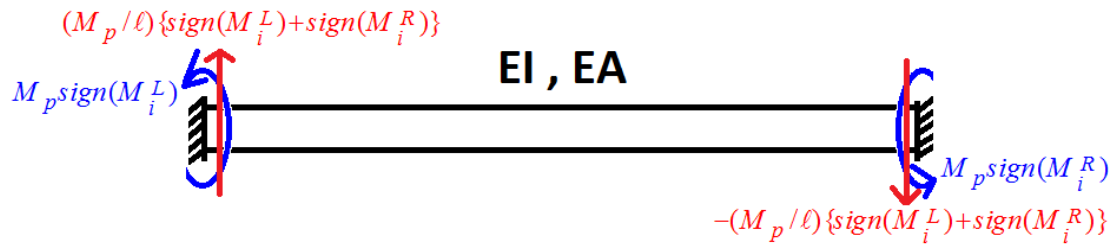
$$\begin{pmatrix} \frac{AE}{l} & 0 & 0 & -\frac{AE}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{l^3} & \frac{3EI}{l^2} & 0 & -\frac{3EI}{l^3} & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{l^2} & 0 & 0 & -\frac{3EI}{l^2} & 0 \\ -\frac{AE}{l} & 0 & 0 & \frac{AE}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI}{l^3} & -\frac{3EI}{l^2} & 0 & \frac{3EI}{l^3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (۱۵-۵)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI_z}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_z}{l^2} & 0 & -\frac{3EI_z}{l^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3EI_y}{l^3} & 0 & -\frac{3EI_y}{l^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_y}{l^3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{3EI_y}{l^2} & 0 & \frac{3EI_y}{l} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_y}{l^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI_z}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_z}{l} & 0 & -\frac{3EI_z}{l^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI_z}{l^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_z}{l^2} & 0 & \frac{3EI_z}{l^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{3EI_y}{l^3} & 0 & \frac{3EI_y}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_y}{l^3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (۱۶-۵)$$

همچنین وقتی مفصل های پلاستیک در هر دو سمت عضو تشکیل شود، مقادیر نیروها و لنگرهای

مجازی به صورت شکل (۵-۴) می شود (در حالت سه بعدی روابط را برای دو جهت در نظر گرفته

می شود) و ماتریس سختی نظیر آن نیز در حالت دوبعدی با رابطه (۱۷-۵) و در حالت سه بعدی با رابطه (۱۸-۵) بدست می آید.



شکل ۵-۴. مقاومت های باقیمانده پس از تشکیل مفصل پلاستیک در هر دو سمت عضو

$$\begin{pmatrix} \frac{AE}{l} & 0 & 0 & -\frac{AE}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{l} & 0 & 0 & \frac{AE}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (17-5)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (18-5)$$

لنگر داخلی ایجاد شده در پتانسیل مفصل پلاستیک i ام، در مرحله p ام چنین محاسبه می شود :

$$S_i^{(p)} = \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij}^{(p)} L_j - \sum_{k=1}^{p-1} b_{ir_k}^{(p)} R_{r_k} \quad (۱۹-۵)$$

که $b_{ir_k}^{(p)}$ لنگر داخلی ایجاد شده در پتانسیل مفصل پلاستیک i ام به ازای اعمال بار واحد در راستای نیروها یا لنگرهای مجازی r_k در مرحله p ام می باشد. لذا تابع حالت حدی در مرحله p ام از رابطه زیر تعیین می شود. [19,20]

$$M_i^{(p)} = AZ_{pi} C_{yi} + \sum_{k=1}^{p-1} b_{ir_k}^{(p)} R_{r_k} - \sum_{j=1}^{\ell} a_{ij}^{(p)} L_j \quad (۲۰-۵)$$

روند فوق یعنی ایجاد مفصل پلاستیک در گرهی که بیشترین احتمال خرابی را دارد، اصلاح ماتریس سختی و اعمال نیروها و لنگرهای مجازی در آن عضو، تا جایی که سازه قابی دچار ناپایداری شود، ادامه می یابد.

۵-۲-۲-۲-۲ عملیات شاخه ای

در عملیات شاخه ای، پتانسیل مفصل پلاستیک i ام در مرحله i ام از یک مسیر، در صورتی انتخاب خواهد شد که خرابی آن نسبت به بقیه پتانسیل مفصل پلاستیک های باقیمانده، دارای بیشترین احتمال مشترک خرابی با اولین مفصل پلاستیک فرض شده در آن مسیر باشد.

$$P(F_{r_1}^{(1)} \cap F_{r_i}^{(i)}) = \max \{P(F_{r_1}^{(1)} \cap F_j^{(i)})\} \quad (۲۱-۵)$$

بالانویس i در رابطه بالا نشان دهنده قاب خمشی است که پتانسیل های مفصل پلاستیک r_1 تا r_{i-1} در آن مفصل پلاستیک فرض شده اند. احتمال وقوع یک مسیر خرابی در مرحله i ام در این شرایط با

استفاده از رابطه (۲۲-۵) بدست می آید: [19,20,3]

$$P_i = P\left\{\bigcap_{j=1}^i (F_{r_j}^{(j)})\right\} \quad (22-5)$$

با توجه به اینکه محاسبه احتمال مشترک وقتی بیش از ۳ مفصل پلاستیک تشکیل شده است بسیار پیچیده است بنابراین از رابطه تقریبی زیر برای تعیین احتمال خرابی مسیر استفاده می شود.

$$P_{f_F} = \text{Min}\{P_{f_{1,2}}, P_{f_{1,3}}, \dots, P_{f_{1,F}}\} \quad (23-5)$$

$$P_{f_{1,j}} = P(F_{r_1}^{(1)} \cap F_{r_j}^{(j)}); j = 2, \dots, F$$

برای تعیین احتمال خرابی مشترک بین دو رویداد مرحله j ام (وقتی در قاب خمشی مفاصل پلاستیک r_{j-1} تا r_1 تشکیل شده است) و مرحله k ام (وقتی در قاب خمشی مفاصل پلاستیک r_{k-1} تا r_1 تشکیل شده است) ابتدا می بایستی ضریب همبستگی بین آن ها را با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود.

$$\rho(F^{(j)}, F^{(k)}) = \rho_{jk} = \frac{\text{COV}(F^{(j)}, F^{(k)})}{\sigma_{F^{(j)}} \cdot \sigma_{F^{(k)}}} \quad (24-5)$$

در این رابطه $F^{(j)}$ و $F^{(k)}$ نشان گر رویدادهای خرابی مراحل j ام و k ام می باشد که می بایستی مقادیر شاخص ایمنی آن ها را معلوم باشد.

حال با داشتن ضریب همبستگی بین دو رویداد و نیز شاخص ایمنی هر دو رویداد، با تعریف φ_2 به عنوان تابع چگالی احتمال نرمال استاندارد دو متغیره در رابطه (25-5)، اگر بخواهیم مقدار دقیق

احتمال مشترک دو رویداد را بدست بیاوریم، از رابطه (26-5) استفاده می شود: [27-35]

$$\varphi_2(x_1, x_2, \rho) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{x_1^2 + x_2^2 - 2\rho x_1 x_2}{2(1-\rho^2)}\right) \quad (25-5)$$

$$P_{jk} = \int_{-\infty}^{-\beta_j - \beta_j} \int_{-\infty}^{-\beta_j - \beta_j} \varphi_2(x_1, x_2, t) dx_1 dx_2 \quad (26-5)$$

البته پس از تعریف Φ به عنوان تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد یک متغیره در رابطه (27-5)، می توان به جای استفاده از انتگرال دو گانه از انتگرال یک بعدی طبق رابطه (28-5) استفاده نمود.

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp(-t^2/2) dt \quad (27-5)$$

$$P_{jk} = \Phi(-\beta_j) \Phi(-\beta_k) + \int_0^{\rho_{jk}} \varphi_2(-\beta_j, -\beta_k, t) \quad (28-5)$$

۵-۲-۳ تعیین کران بالا و پایین احتمال خرابی سازه

طبق روش کرنل، کران بالا برابر مجموع احتمالات خرابی تمامی مسیرهای خرابی و کران

پایینی آن برابر حداکثر احتمال خرابی از بین تمامی مسیرهای خرابی می باشد. [1,3]

بنابراین همزمان با پیشروی مسیرهای خرابی کران های بالایی و پایینی کرنل را اصلاح می کنیم.

تنظیم کران پائین : هر بار که مسیری جدید شکل می گیرد احتمال خرابی آن مسیر، با حداکثر

احتمال خرابی از بین مسیرهای گذشته، مقایسه شده و در صورتی که دارای مقدار بزرگتری باشد به

عنوان کران پائین جدید جایگزین می شود.

تنظیم کران بالا : با هر بار پیشروی در مسیرهای خرابی، احتمال خرابی هر مسیر به مجموع احتمال

خرابی مسیرهای گذشته اضافه می شود و به عنوان کران بالای جدید جایگزین می شود.

۵-۲-۴ عملیات کرانه ای

این عملیات زمانی بکار برده می شود که بدانیم عملیات شاخه ای به چه مقدار ادامه پیدا

کند. عملیات کرانه ای بعد از تشخیص مسیرهای خرابی غیر محتمل که عملیات شاخه ای دیگر در آن

مسیر ادامه نیابد، صورت می پذیرد.

با توجه به اینکه در طول عملیات شاخه ای، احتمال وقوع یک مسیر، هر بار کاهش می یابد. در

عملیات شاخه ای هر گاه بخواهیم پتانسیل مفصل پلاستیک جدیدی را به مسیر خرابی اضافه کنیم

می بایستی احتمال وقوع آن را با $10^{-\eta} MaxP_f$ مقایسه نمود. چنانچه احتمال وقوع مسیر جدید قبل از وقوع مسیر جدید قبل از تشکیل مکانیزم کوچکتر از آن باشد، با اضافه شدن مفصل پلاستیک جدید، احتمال وقوع آن کوچکتر هم خواهد شد. بنابراین در این مرحله می توان محتمل نبودن این مسیر خرابی را نتیجه گرفت و عملیات کرانه ای را مورد استفاده قرار می دهیم. [1-3]

انتخاب مقدار η بستگی به دقت مساله دارد که در نظر گرفتن مقدار بزرگتر برای آن، عملیات کرانه کمتر مورد استفاده قرار گرفته یعنی در واقع مسیرهای کمتری کنار گذاشته می شوند و دقت مساله بالاتر می رود و بالعکس. [36-40]

در ادامه مثالی را مورد بررسی قرار می گیرد تا روند کلی گام های ارائه شده را بیان کند.

۵-۲-۳ روش راکویتز- فیسلر [2]

برای حالتی که توزیع متغیرها نرمال نباشد، می توان با روش راکویتز- فیسلر شاخص قابلیت اعتماد آن را بدست آورد. در این روش از توزیع "معادل نرمال" متغیرهای با توزیع غیر نرمال استفاده می شود و هم بستگی بین متغیرهای تصادفی نیز در نظر گرفته می شود.

گام های روش راکویتز- فیسلر به شرح زیر هستند:

۱. معادله حالت حدی $g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$ بر حسب متغیرهای اصلی بیان شود.

(روابط مربوط به بدست آوردن تابع حاشیه ایمنی در قسمت قبل آمده است)

۲. نقطه طراحی اولیه $\{X_i^*\}$ با فرض مقادیری برای $n-1$ متغیر تصادفی X_i بدست می آید.

معمولا در این مرحله، از مقادیر میانگین برای انتخاب اولیه استفاده می شود. مقدار متغیر

تصادفی n ام نیز با حل معادله حالت حدی $g = 0$ بدست می آید تا اطمینان حاصل شود

که نقطه طراحی روی حد خرابی می باشد.

۳. در این مرحله که برتری این روش نسبت به دیگر روش ها مانند هاسوفر- لیند می باشد، نوع توزیع متغیرها در نظر گرفته می شود و می بایستی برای هر یک از متغیرهای تصادفی غیر نرمال، مقادیر میانگین معادل نرمال μ_X^e و انحراف استاندارد معادل نرمال σ_X^e را بدست آورد که نحوه بدست آوردن آن برای متغیرهای تصادفی بدین ترتیب می باشد. (بدیهی است در مورد متغیرهای تصادفی نرمال، مقادیر μ_X^e و σ_X^e با μ_X و σ_X یکسان است)

متغیر تصادفی غیر نرمال X با میانگین μ_X و انحراف معیار σ_X در نظر گرفته می شود که بوسیله تابع توزیع تجمعی $F_X(x)$ و تابع چگالی احتمال $f_X(x)$ توصیف می شود. برای بدست آوردن میانگین معادل نرمال μ_X^e و انحراف معیار معادل نرمال σ_X^e ، باید CDF و PDF تابع حقیقی با CDF و PDF نرمال در مقدار متغیر X^* واقع بر حد خرابی $g = 0$ مساوی باشد. این مفاهیم را می توان با روابط زیر نشان داد :

$$F_X(X^*) = \Phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right)$$

$$f_X(X^*) = \frac{1}{\sigma_X^e} \phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right)$$

در رابطه (۵-۱۵)، Φ ، CDF توزیع نرمال استاندارد و ϕ ، PDF توزیع نرمال استاندارد می باشد. از این روابط نتیجه می شود:

$$\mu_X^e = X^* - \sigma_X^e [\Phi^{-1}(F_X(X^*))]$$

$$\sigma_X^e = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi[\Phi^{-1}(F_X(X^*))]$$

۴. متغیرهای کاهش یافته نظیر نقطه طراحی تعیین می شود.

$$Z_i^* = \frac{X_i^* - \mu_{X_i}^e}{\sigma_{X_i}^e}$$

بدین ترتیب بردار متغیرهای کاهش یافته $\{Z^*\}$ تشکیل می شود:

$$\{Z^*\} = \begin{Bmatrix} Z_1^* \\ Z_2^* \\ \vdots \\ \vdots \\ Z_n^* \end{Bmatrix}$$

۵. بردار G چنان تعریف می شود که درایه های آن، مشتق های جزئی از تابع حالت حدی در نقطه طراحی Z^* می باشد که در روابط زیر آمده است :

$$\{G\} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ G_n \end{Bmatrix}$$

$$G_i = - \frac{\partial g}{\partial Z_i} \Big|_{Z^*}$$

۶. تقریبی برای β با رابطه زیر حاصل می گردد:

$$\beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{\rho\} \{G\}}}$$

۷. بردار ستونی ضرایب حساسیت نیز از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\alpha = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{\rho\} \{G\}}}$$

۸. حال، نقطه طراحی جدید به صورت متغیرهای کاهش یافته برای $n-1$ متغیر تصادفی با رابطه زیر تعیین می شود:

$$Z_i^* = \alpha_i \beta$$

۹. پس از گام ۸، مقادیر نظیر نقطه طراحی در مختصات اصلی، برای $n-1$ متغیر تصادفی با رابطه زیر بدست می آید:

$$X_i^* = \mu_{X_i} + Z_i^* \sigma_{X_i}$$

۱۰. مقدار نقطه طراحی n امین متغیر تصادفی نیز با حل تابع حالت حدی $g = 0$ تعیین میشود.

۱۱. گام های ۳ تا ۱۰ تا همگرایی β و $\{X_i^*\}$ تکرار می شوند.

۵-۳ روش های پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک ترکیباتی عملگرها و چند

راهکار پیشنهادی برای برخی عملگرها

۵-۳-۱ الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیباتی عملگرها

برای کاهش تاثیرات پارامترها و روابط دخیل در الگوریتم ژنتیک، در فصل چهارم، الگوریتم ژنتیک جزیره ای که روشی بر اساس جستجوی چند منظوره می باشد، به عنوان یک راه حل مطرح شد. اما نتایج حاصل از این الگوریتم نیز علی رغم در نظر گرفتن تنوع در نحوه انتخاب، نحوه ترکیب، جهش و غیره در جزایر مختلف، ممکن است نتواند نتایج مطلوبی را بدهد. دلیل آن این است که به نوعی فقط چند ترکیب از عملگرهای مختلف در جزایر محدود مورد کاوش قرار می گیرد. این در حالی است که ممکن است ترکیب های دیگری از پارامترهای ژنتیک، جواب بهینه بهتری را نتیجه دهد.

در واقع راه حل مطمئن برای حذف تاثیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک بر جواب نهایی، کاوش تمام ترکیب های ممکن از همه عملگرها می باشد.

به طور مثال، در صورتی که عوامل مهم تاثیرگذار بر نتیجه الگوریتم ژنتیک نحوه ارزیابی تابع جریمه، روش های متنوع در GA برای انتخاب کروموزوم های شایسته، انواع عملگرهای GA فرض شوند، انواع مختلف هر کدام از آن ها عبارتند از :

انواع روش های نحوه ارزیابی تابع جریمه :

۱- روش راجیو و کریشنمورتی

۲- روش راجان

۳- روش ارباتور و همکاران

انواع روش های متنوع در GA برای انتخاب کروموزوم های شایسته :

۱- روش چرخ گردان

۲- روش رقابتی (مسابقه ای)

۳- روش رتبه بندی

انواع عملگرهای GA :

۱. روش ادغام تک نقطه ای

۲. روش ادغام دو نقطه ای

۳. روش ادغام چند نقطه ای

۴. روش ادغام یکنواخت

۵. روش معکوس کردن

۶. روش حذف و تولید مجدد

۷. روش ادغام و معکوس سازی

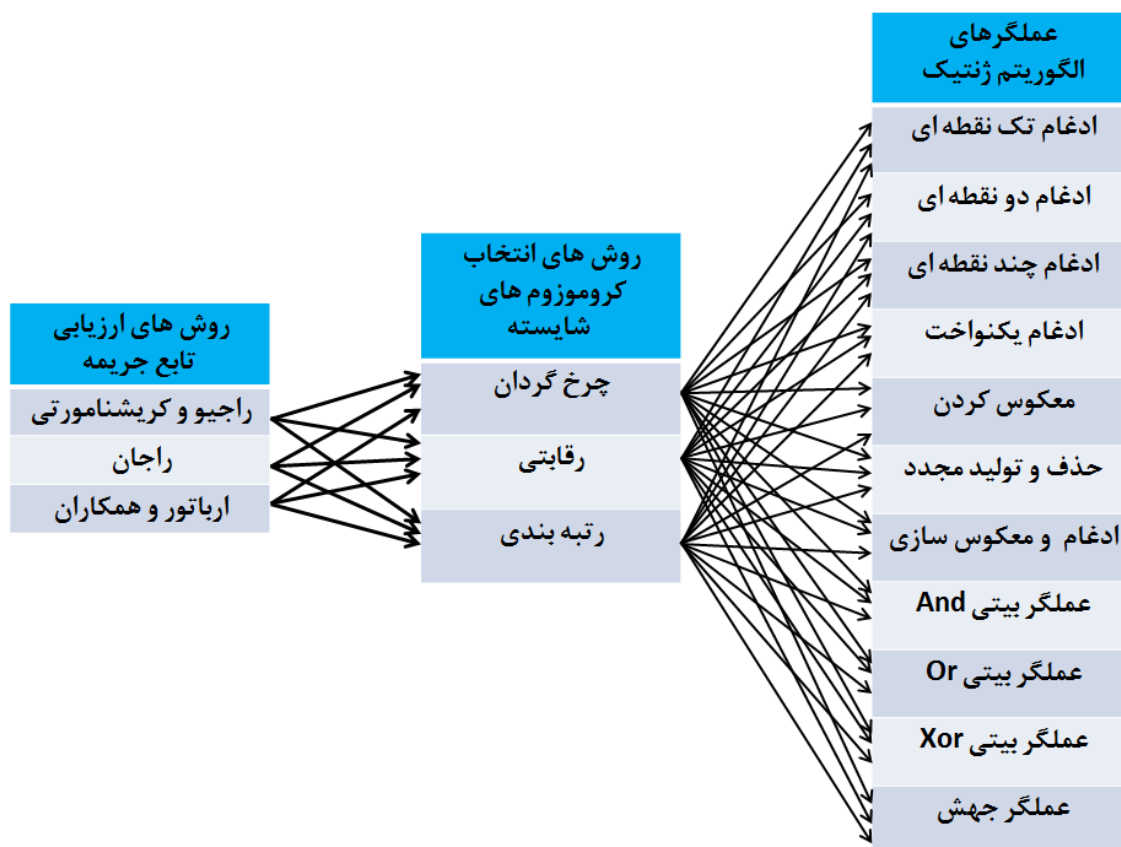
۸. روش عملگر بیتی *And*

۹. روش عملگر بیتی *Or*

۱۰. روش عملگر بیتی *Xor*

۱۱. روش عملگر جهش

شکل (۵-۵) همه این انواع را نشان می دهد.



شکل ۵-۵. ترکیب های ممکن از برخی عوامل موثر بر نتایج الگوریتم ژنتیک

با توجه به شکل می توان نتیجه گرفت که $3 \times 3 \times 11 = 99$ حالت ممکن برای در نظر گرفتن تمامی حالت باید لحاظ نمود که ترکیب مناسب این عوامل می تواند منجر به نتایج بهتری شود. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی همه ترکیب های ممکن از تمامی پارامترها موثر بر نتیجه بهینه، در نظر گرفته می شود تا به اندازه زیادی اطمینان حاصل شود که جواب بهینه بدست آمده، جوابی قابل اعتمادتر است.

در این پایان نامه برای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، از میان عوامل و عملگرهای مختلف الگوریتم ژنتیک، نحوه انتخاب کروموزوم های شایسته، انواع عملگر ادغام و انواع نرخ جهش مورد استفاده قرار گرفته است.

الگوریتم های پیشنهادی در این پایان نامه به دو صورت مورد بررسی قرار گرفته است :

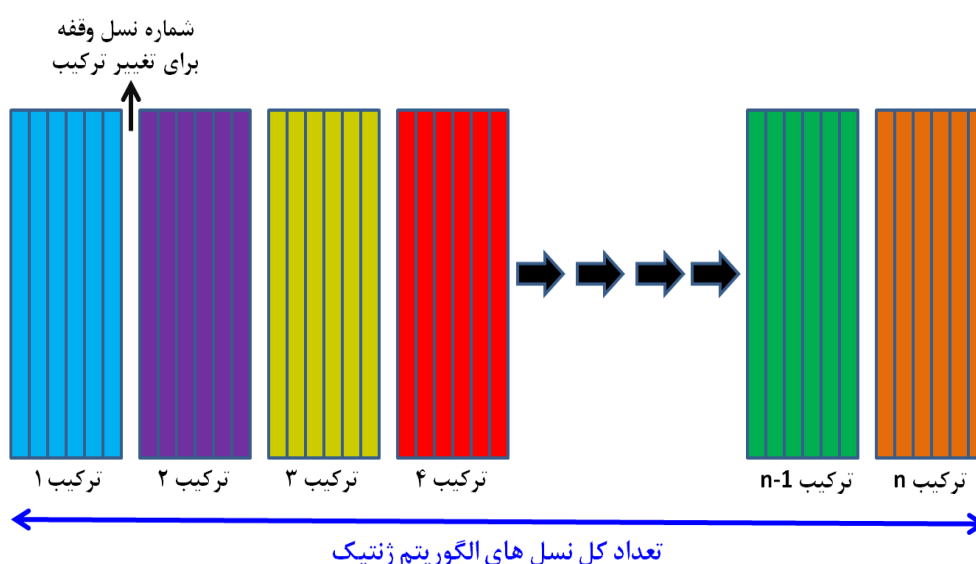
۱. روش پیشنهادی تغییر متناوب ترکیباتی عوامل GA

۲. روش پیشنهادی پردازش موازی ترکیباتی با شایستگی بالا

در ادامه به اختصار در مورد هر کدام از این دو مورد توضیحاتی را بیان می کنیم.

۵-۳-۱ روش پیشنهادی تغییر متناوب ترکیباتی عوامل GA

در این الگوریتم پیشنهادی، همانند شکل (۵-۶) هر بار یک ترکیب عوامل را در نظر می گیریم و به ازای تعداد نسلهای مشخص، با مشخص شدن همه عوامل موثر در آن، گام های الگوریتم ژنتیک انجام می شود و تا رسیدن به تعداد نسل های وقفه برای تغییر ترکیب ادامه می یابد. در این مرحله عوامل ترکیب بعدی انتخاب شده و این روند تا رسیدن به تعداد کل نسل ها ادامه می یابد و سرانجام بهترین جواب آخرین نسل، به عنوان جواب بهینه مساله خواهد بود.

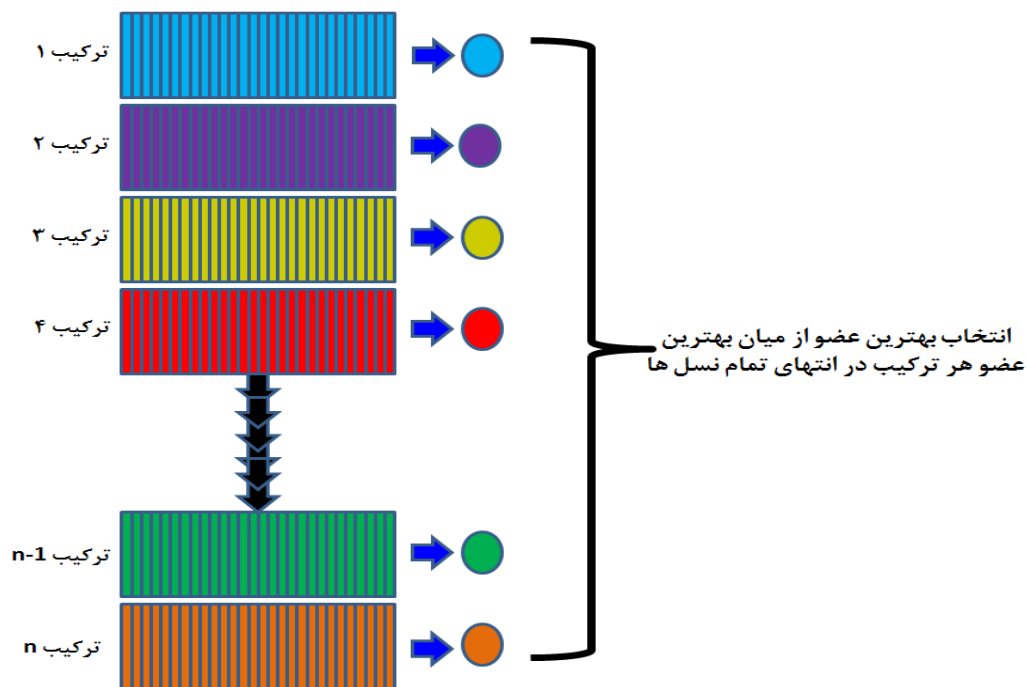


شکل ۵-۶. روش پیشنهادی تغییر متناوب ترکیباتی عوامل الگوریتم ژنتیک

۵-۳-۱ روش پیشنهادی پردازش موازی ترکیباتی با شایستگی بالا

یک راه حل بدیهی برای بدست آوردن بیشترین اطمینان از کاهش تاثیرات عوامل و عملگرها بر نتایج بهینه یابی، پردازش موازی همه ترکیب های ممکن و سپس انتخاب بهترین عضو از بین همه ترکیب ها به عنوان جواب بهینه می باشد.

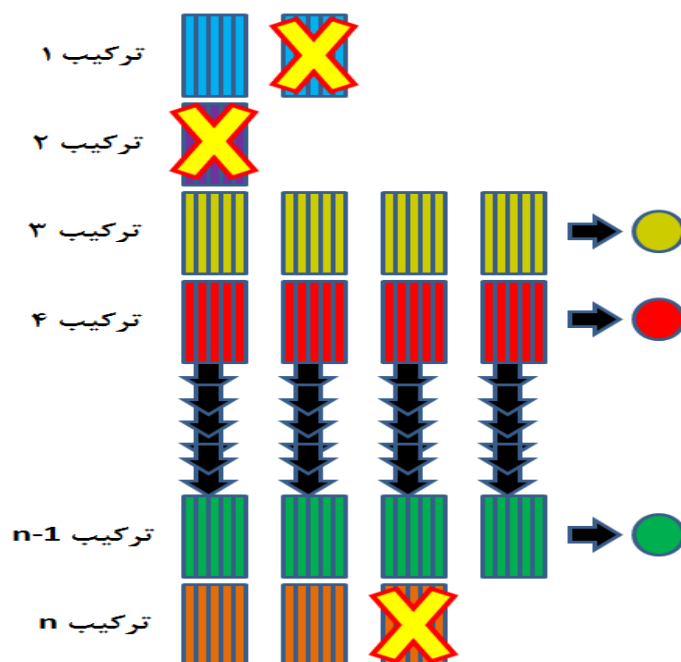
این روش بدیهی طبق شکل (۵-۷) ، همه انواع ترکیب ها را به صورت جداگانه و البته به صورت موازی مورد پردازش قرار می دهد و نهایتا پس از تعداد نسل های مشخص، جواب بهینه مساله را از بین بهترین جواب تمامی عوامل در نسل آخرشان، برگزیده می شود. البته بدیهی است زمان به نتیجه نهایی رسیدن و قابلیت پردازش موازی، به سیستم کامپیوتری مورد استفاده و نیز زبان برنامه نویسی انتخاب شده، بستگی دارد.



شکل ۵-۷. روش پردازش موازی ترکیب های ممکن

ایراد اساسی این روش، تعداد پردازش های زیاد و صرف زمان زیاد برای رسیدن به جواب نهایی می باشد.

همانطور که اشاره شد، می توان با استفاده از روش ارائه شده در بخش قبلی (۵-۳-۱-۲) تا اندازه زیادی از جواب بهینه نهایی آن اطمینان حاصل نمود ولی اشکال آن در زمانبر بودن کنترل تمام حالات ممکن است لذا می بایستی تعدادی از این ترکیب ها را حذف نمود تا بتوان در زمان مناسبتری به جواب نهایی رسید. یک راه حل مفید در این زمینه در نظر گرفتن نوعی فرایند تشخیص برای بدست آوردن شایستگی همه ترکیب ها نسبت به یکدیگر می باشد. مثلاً این فرایند می تواند به اینگونه باشد که پس از طی کردن هر یک پنجم از تعداد کل نسل های پردازش تمام حالت ها، بهترین جواب تمامی آن ها به صورت نزولی مرتب شده و یک چهارم ترکیب های مربوط به بدترین جواب ها، از ادامه روند الگوریتم پیشنهادی خارج شوند. در صورت بکار گرفتن این پیشنهاد، می توان تا اندازه قابل ملاحظه ای از حجم محاسبات روش پردازش موازی همه ترکیب ها کاسته و بدین ترتیب ضمن درنظر گرفتن همه حالات ممکن، در زمان مناسب می توان به جواب بهینه رسید.



شکل ۵-۸. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی پردازش موازی ترکیباتی با شایستگی بالا

۵-۳-۲ چند راهکار پیشنهادی برای برخی عوامل الگوریتم ژنتیک

۵-۳-۲-۱ بهبودی برای عملکرد روش رتبه بندی

با توجه به توضیحات قسمت (۴-۴-۳-۱-۲) مهم ترین اشکال روش رتبه بندی که یکی از روش های انتخاب کروموزوم شایسته می باشد، این است که بهترین کروموزوم ها تفاوت چندانی با هم ندارند و همین امر باعث همگرایی آهسته آن می شود و لذا برای جمعیت های بزرگ توصیه نمی شود. می توان این اشکال را با استفاده از رابطه اصلاحی پیشنهادی زیر تا اندازه زیادی برطرف نمود. این فرمول احتمال انتخاب رشته کروموزوم i ام را نشان می دهد.

$$P_i = \frac{m^\alpha}{\sum_{j=1}^n j^\alpha} \quad (۵-۲۹)$$

مقدار α هر چه به میزان بزرگتری لحاظ شود، احتمال انتخاب رشته های شایسته تر بیشتر خواهد بود. بنابراین باید میزان آن نه چندان بزرگ انتخاب شود که عملاً فقط چند کروموزوم محدود شایسته ترین ها مدام انتخاب شوند و کروموزوم های با شایستگی پائین تر دیگر شانس را برای انتخاب شدن نداشته باشند و نه آنقدر کوچک نزدیک به ۱ که شایستگی کروموزوم ها به میزان چندانی در آن لحاظ نمی شود.

۵-۳-۲-۲ رابطه احتمال انتخاب شده برای روش چرخ گردان

برای روش چرخ گردان، روابط متعددی برای احتمال انتخاب کروموزوم ها برای فرایند ادغام استفاده شده است که می توان به روابط (۵-۳۰) و (۵-۳۱) و (۵-۳۲) اشاره نمود:

$$P_i = \frac{\phi_{\max} - \phi_i}{\sum_{j=1}^{nPop} (\phi_{\max} - \phi_j)} \quad (30-5)$$

$$P_i = \frac{\frac{1}{\phi_i}}{\sum_{j=1}^{nPop} \frac{1}{\phi_j}} \quad (31-5)$$

$$P_i = \frac{e^{-\phi_i}}{\sum_{j=1}^{nPop} e^{-\phi_j}} \quad (32-5)$$

برای آنکه بتوانیم احتمال انتخاب اعضای جمعیت نسبت به یکدیگر را کنترل کنیم، نیاز به پارامتر دیگری مانند β در روابط ذکر شده داریم تا با تنظیم این پارامتر بتوان بر روی احتمال انتخاب اعضای جمعیت تاثیر بگذاریم. این روابط بدین صورت تغییر می کنند.

$$P_i = \frac{(\phi_{\max} - \phi_i)^\beta}{\sum_{j=1}^{nPop} (\phi_{\max} - \phi_j)^\beta} \quad (33-5)$$

$$P_i = \frac{\frac{1}{\phi_i^\beta}}{\sum_{j=1}^{nPop} \frac{1}{\phi_j^\beta}} \quad (34-5)$$

$$P_i = \frac{e^{-\beta\phi_i}}{\sum_{j=1}^{nPop} e^{-\beta\phi_j}} \quad (35-5)$$

در این تحقیق، برای محاسبه احتمال انتخاب هر کروموزوم در روش چرخ گردان، از رابطه (35-5) استفاده می شود.

مقدار $\beta \geq 0$ فرض می شود که مقدار حداقل و حداکثر برای آن، طبق رابطه (36-5) روی احتمال انتخاب موثر است.

$$\begin{cases} \beta = 0 \Rightarrow P_i = \frac{1}{nPop} & \forall i \\ \beta \rightarrow \infty \Rightarrow P_i = \begin{cases} 1 & \text{Best Solution} \\ 0 & \text{Other} \end{cases} \end{cases} \quad (36-5)$$

رابطه توصیه شده ای برای مقدار β بدین صورت است که در رابطه (37-5) صدق کند.

$$\sum_{i \in H} P_i = 0.8 \quad H : 50\% \text{ Best Solution of } nPop \quad (37-5)$$

۳-۲-۳-۵ مقدار پیشنهادی برای ثابت های تابع جریمه

قیود بهینه یابی در مساله مورد تحقیق، قابلیت اعتماد اعضا و کل سازه می باشد. در روابط معمول تعریف تابع جریمه از روش راجیووکریشنامورتی طبق رابطه (38-5) استفاده می شود.

$$f_i^{Penalty} = f_i(A) * K * C_i \quad (38-5)$$

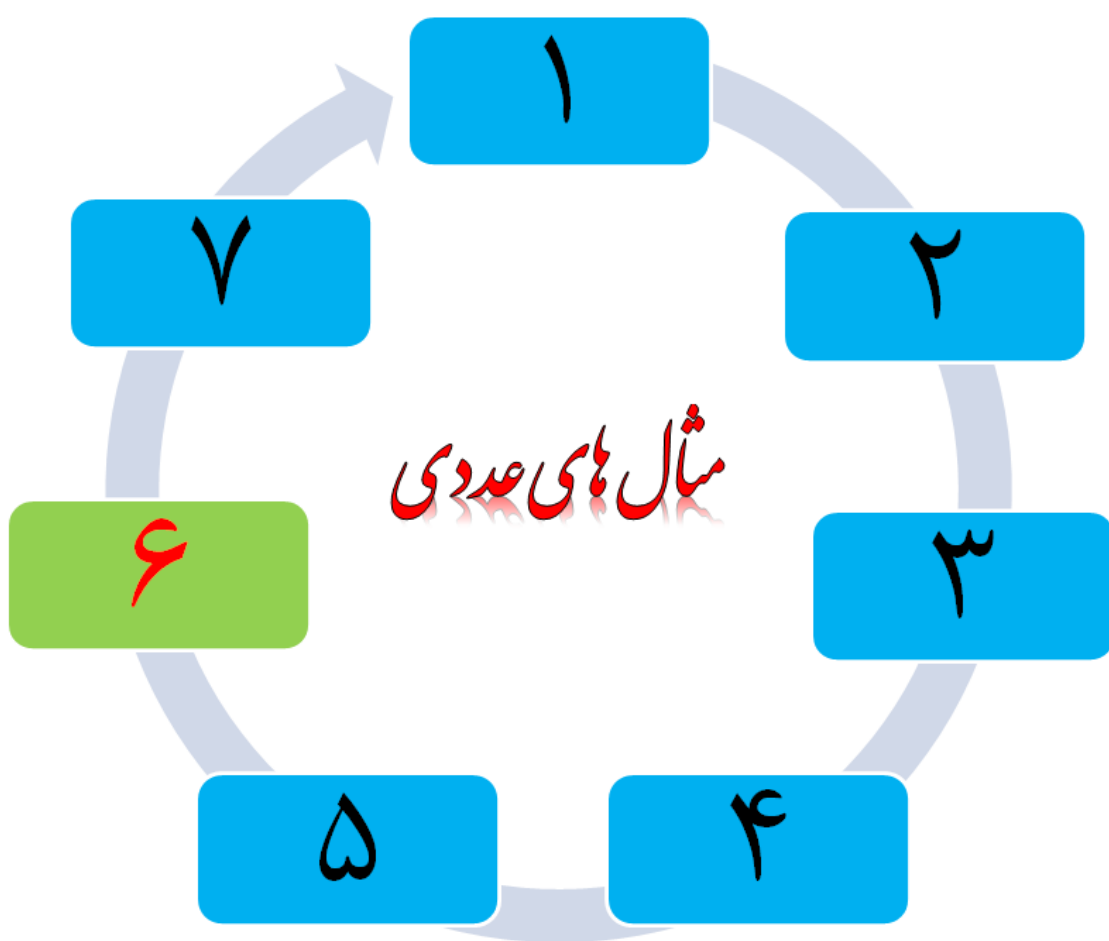
اشکال استفاده از این رابطه برای مساله مورد تحقیق این است که به دلیل استفاده از یک ضریب یکسان K برای همه قیدها، اهمیت احتمال خرابی کل سیستم سازه ای با احتمال خرابی یک عضو سازه یکسان فرض می شود که مناسب نیست. برای حل این مشکل استفاده از دو ضریب K_1 برای قیود احتمال خرابی هر یک از اعضا و ضریب K_2 برای قید احتمال خرابی کل سیستم سازه ای می باشد که طبق روابط (39-5) و (40-5) می باشد.

$$K_1 = K_{element} = a \quad (39-5)$$

$$K_2 = K_{system} = ne \times K_1 = ne \times K_{element} = ne \times a \quad (40-5)$$

بنابراین رابطه (38-5) به شکل رابطه (41-5) پیشنهاد می شود.

$$f_i^{Penalty} = (f_i(A) \times K_{element} \times C_{element}) + (f_i(A) \times K_{system} \times C_{system}) \quad (41-5)$$

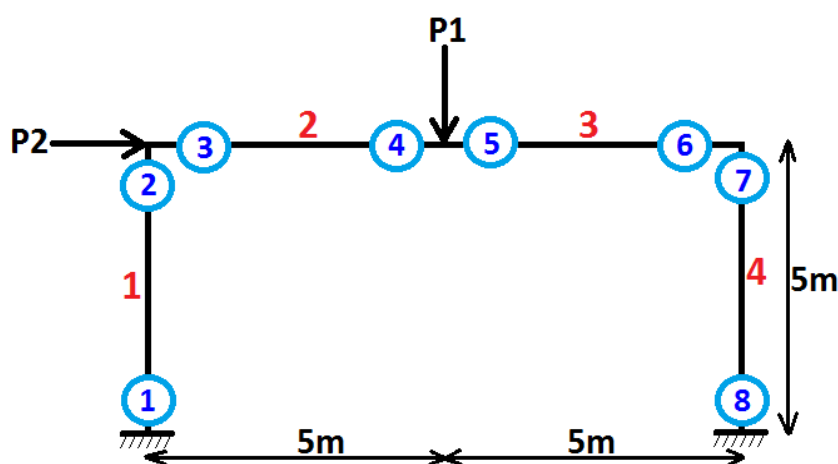


۱-۶ مقدمه

در فصل های گذشته، گام های بدست آوردن احتمال خرابی اعضا و سیستم سازه ای قاب خمشی با استفاده از روش شاخه و کرانه شرح داده شد و روند بهینه یابی با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای یک تابع هدف مشخص بیان شد. در این فصل به ارائه مثال هایی خواهیم پرداخت که تاثیر عملکرد راهکارهای پیشنهادی در فصل پنجم برای بدست آوردن قابلیت اعتماد اعضا و سیستم سازه ای قاب خمشی و بهبود عملکرد و افزایش سرعت بهینه یابی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲-۶ مثال ها

مثال ۱-۶ : برای قاب یک طبقه و یک دهانه شکل (۱-۶) و مشخصات جدول (۱-۶) ، با استفاده از روش شاخه و کرانه، محتمل ترین مسیر های خرابی را شناسایی کرده و نتایج حاصل از مرجع و برنامه نوشته شده مقایسه می شود.



شکل ۱-۶. شکل قاب مثال (۱-۶)

جدول ۱-۶. جدول مشخصات قاب مثال (۱-۶)

Element Number	$A_i(m^2)$	$I_i(m^4)$	$\bar{R}_i(kNm)$
۱	4×10^{-3}	$3 / 58 \times 10^{-5}$	۷۵
۲	4×10^{-3}	$4 / 77 \times 10^{-5}$	۱۰۱
۳	4×10^{-3}	$4 / 77 \times 10^{-5}$	۱۰۱
۴	4×10^{-3}	$3 / 58 \times 10^{-5}$	۷۵
$E = 21 \cdot GPa$		$\bar{\sigma}_y = 276 MPa$	
$\bar{P}_1 = 2 \cdot kN$		$\bar{P}_2 = 4 \cdot kN$	
$CV_R = 0.05$		$CV_P = 0.3$	

این مثال از مرجع [۱] انتخاب شده و برای صحت سنجی عملکرد برنامه نوشته شده مورد بررسی قرار می گیرد که مقایسه نتایج آنها در جداول (۲-۶) و (۳-۶) و (۴-۶) و (۵-۶) دقت مناسب برنامه نوشته شده را نشان می دهد.

در این جداول به ترتیب مسیر خرابی را در مراحل اول و دوم و سوم و چهارم نشان می دهد که عملیات شاخه ای روش شاخه و کرانه را بدرستی نشان می دهد. پس از رسیدن به مرحله چهارم، به دلیل صفر شدن دترمینان ماتریس سختی کل اصلاح شده مکانیزم خرابی تشکیل و روند شاخه ای متوقف می شود.

جدول ۲-۶. جدول مرحله اول مسیر خرابی مثال (۱-۶)

مفاصل پلاستیک مسیر خرابی	شاخص ایمنی مسیر خرابی مرجع	شاخص ایمنی مسیر خرابی برنامه متلب	احتمال خرابی مسیر خرابی مرجع	احتمال خرابی مسیر خرابی برنامه متلب
۱	۵/۶۴۷	۵/۶۰۸۴	0.8178×10^{-8}	1.0210×10^{-8}
۲	۴/۳۳۱	۴/۳۳۷۴	0.7427×10^{-5}	0.7210×10^{-5}
۳	۶/۰۹۳	۶/۱۰۰۸	0.5528×10^{-9}	0.5276×10^{-9}
۴	۱/۹۷۹	۱/۹۸۲۱	0.2389×10^{-1}	0.2370×10^{-1}
۶	۳/۱۷۹	۳/۲۰۸۳	0.7396×10^{-3}	0.6676×10^{-3}
۷	۱/۳۲۲	۱/۳۲۵۱	0.9304×10^{-1}	0.9261×10^{-1}
۸	۲/۳۴۹	۲/۳۳۹۹	0.9417×10^{-2}	0.9623×10^{-2}

جدول ۳-۶. جدول مرحله دوم مسیر خرابی مثال (۱-۶)

مفاصل پلاستیک مسیر خرابی	شاخص ایمنی مسیر خرابی مرجع	شاخص ایمنی مسیر خرابی برنامه متلب	احتمال خرابی مسیر خرابی مرجع	احتمال خرابی مسیر خرابی برنامه متلب
۱(۷)	۵/۳۱۷	۵/۳۱۹۷	0.5258×10^{-7}	0.5198×10^{-7}
۲(۷)	۴/۴۵۸	۴/۴۸۷۸	0.3696×10^{-5}	0.3597×10^{-5}
۳(۷)	۶/۲۵۶	۶/۲۶۴۶	0.1820×10^{-9}	0.1868×10^{-9}
۴(۷)	۱/۸۶۸	۱/۸۶۷۵	0.2834×10^{-1}	0.3090×10^{-1}
۶(۷)	۴/۱۳۳	۴/۱۴۵۲	0.1786×10^{-4}	0.1697×10^{-4}
۸(۷)	۲/۲۱۷	۲/۲۴۳۱	0.1313×10^{-1}	0.1240×10^{-1}

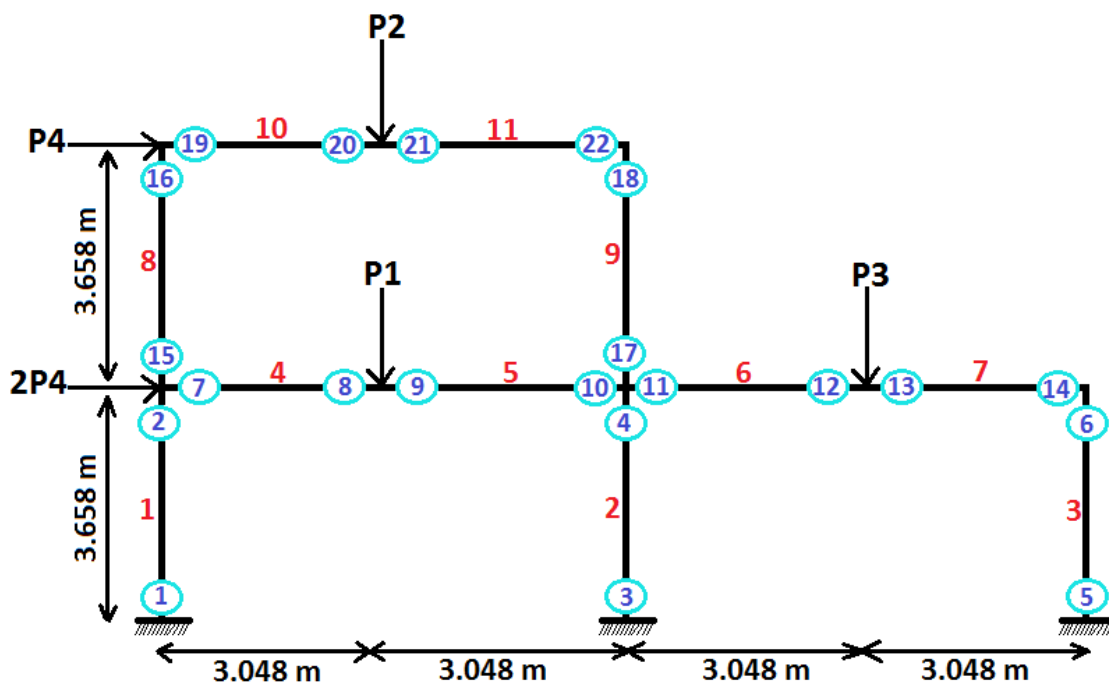
جدول ۴-۶. جدول مرحله سوم مسیر خرابی مثال (۱-۶)

مفاصل پلاستیک مسیر خرابی	شاخص ایمنی مسیر خرابی مرجع	شاخص ایمنی مسیر خرابی برنامه متلب	احتمال خرابی مسیر خرابی مرجع	احتمال خرابی مسیر خرابی برنامه متلب
۱(۷و۴)	۴/۵۵۳	۴/۵۱۹۴	0.2633×10^{-5}	0.3101×10^{-5}
۲(۷و۴)	۲/۴۷۹	۲/۵۱۰۸	0.6314×10^{-2}	0.6079×10^{-2}
۳(۷و۴)	۲/۸۷۱	۲/۹۱۲۴	0.2022×10^{-2}	0.1831×10^{-2}
۶(۷و۴)	۴/۱۳۳	۴/۱۳۲۵	0.1786×10^{-4}	0.1793×10^{-4}
۸(۷و۴)	۲/۰۹۱	۲/۱۰۵۵	0.1820×10^{-1}	0.1768×10^{-1}

جدول ۵-۶. جدول مرحله چهارم مسیر خرابی مثال (۱-۶)

مفاصل پلاستیک مسیر خرابی	شاخص ایمنی مسیر خرابی مرجع	شاخص ایمنی مسیر خرابی برنامه متلب	احتمال خرابی مسیر خرابی مرجع	احتمال خرابی مسیر خرابی برنامه متلب
۱(۷و۴و۸)	۲/۹۰۷	۲/۹۶۳۲	0.1783×10^{-2}	0.1536×10^{-2}
۲(۷و۴و۸)	۲/۴۷۹	۲/۴۹۴۳	0.6682×10^{-2}	0.6315×10^{-2}
۳(۷و۴و۸)	۲/۸۷۱	۲/۹۰۵۶	0.2022×10^{-2}	0.1864×10^{-2}
۶(۷و۴و۸)	۴/۱۳۳	۴/۱۲۰۵	0.1786×10^{-4}	0.1893×10^{-4}

مثال ۲-۶: برای قاب یک طبقه و یک دهانه شکل (۲-۶) و مشخصات جدول (۶-۶)، چند مد خرابی قاب با نتایج شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی مربوط به هر مد حاصل از مرجع و برنامه نوشته شده و مقایسه می شود.



شکل ۲-۶. شکل قاب مثال (۲-۶)

جدول ۶-۶. جدول مشخصات قاب مثال (۲-۶)

پارامترهای متغیر	مقدار میانگین	مقدار ضریب پراکندگی
P_1	۱۶۹ kN	۰/۱۵
P_2	۸۹ kN	۰/۲۵
P_3	۱۱۶ kN	۰/۲۵
P_4	۳۱ kN	۰/۲۵
R_1, R_2, R_3	۹۵ kNm	۰/۱۵
R_4, R_5	۲۰۴ kNm	۰/۱۵
R_6, R_7	۱۶۳ kNm	۰/۱۵
R_8, R_9	۹۵ kNm	۰/۱۵
R_{10}, R_{11}	۱۲۲ kNm	۰/۱۵

جدول ۶-۷. جدول چند مسیر خرابی قاب مثال (۶-۲)

مفاصل پلاستیک فرضی	شاخص قابلیت اعتماد مرجع	شاخص قابلیت اعتماد برنامه	احتمال خرابی مرجع	احتمال خرابی برنامه
۱،۲،۳،۴،۵،۶	۱/۹۱	۱/۸۷۶	۰/۰۲۸۱	۰/۰۳۰۳
۷،۸،۹،۱۰	۲/۰۸	۲/۱۱۶	۰/۰۱۸۸	۰/۰۱۷۲
۱۹،۲۰،۲۱،۲۲	۲/۱۷	۲/۱۹۲	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۴۲
۱۱،۱۲،۱۳،۱۴	۲/۲۶	۲/۲۷۴	۰/۰۱۱۹	۰/۰۱۱۵
۱۵،۱۶،۱۷،۱۸	۴/۱۹	۴/۲۰۷	$۱/۳۹۴۸ \times ۱۰^{-۵}$	$۱/۲۹۳۹ \times ۱۰^{-۵}$
۲،۷،۱۵	۱۰/۷۵	۱۰/۷۷۴	$۲/۹۶۳۱ \times ۱۰^{-۲۷}$	$۲/۲۸۳۶ \times ۱۰^{-۲۷}$
۱۶،۱۹	۹/۳۶	۹/۳۵۴	$۳/۹۸۶۸ \times ۱۰^{-۲۱}$	$۴/۲۱۹۷ \times ۱۰^{-۲۱}$
۱۸،۲۲	۹/۳۶	۹/۳۷۱	$۳/۹۸۶۸ \times ۱۰^{-۲۱}$	$۳/۵۹۲۴ \times ۱۰^{-۲۱}$
۴،۱۰،۱۱،۱۷	۱۲/۶۵	۱۲/۶۴۷	$۵/۵۹۳۷ \times ۱۰^{-۳۷}$	$۵/۸۱۱۴ \times ۱۰^{-۳۷}$
۶،۱۴	۹/۱۲	۹/۱۳۱	$۳/۷۵۶۲ \times ۱۰^{-۲۰}$	$۳/۳۹۳۵ \times ۱۰^{-۲۰}$

در ادامه این فصل، ۴ مثال عددی شامل دو مثال قاب خمشی ۲ بعدی و دو مثال قاب خمشی ۳ بعدی مورد بررسی قرار می گیرد. در این مثال ها، بهینه یابی مقاطع قاب های خمشی ۲ بعدی و ۳ بعدی با هدف کمینه نمودن وزن سازه انجام می گیرد.

قیود مساله بهینه یابی نیز شامل قیود قابلیت اعتماد اعضا و قابلیت اعتماد کل سازه می باشد. برنامه بهینه یابی با ۳ روش الگوریتم ژنتیک ساده^۱، الگوریتم ژنتیک جزیره ای (جستجوی چند منظوره)^۲ و الگوریتم ژنتیک پیشنهادی (ترکیب سری عملگرهای ژنتیک)^۳ به زبان برنامه نویسی متلب نوشته شده است و برای هر مثال هر سه روش مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مقایسه ای بین روش های مختلف بصورت شکل و جدول آورده شده است.

برای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، ترکیب عملگرهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که شامل همه ترکیب های ممکن از بین ترکیب یکی از روش های انتخاب شامل روش چرخ گردان، روش رقابتی و روش رتبه بندی، یکی از روش های ادغام شامل تک نقطه ای، دو نقطه ای و یکنواخت، یکی از روش های نوع نرخ جهش شامل نرخ ثابت، افزایشی و کاهشی می باشد که مجموعاً ۲۷ ترکیب ممکن را طبق شکل (۶-۳) تشکیل می دهند.



شکل ۶-۳. همه ترکیب های ممکن از بین روش ها و عملگرهای مورد استفاده

^۱ Sample Genetic Algorithm (SGA)

^۲ Multi Search Method (MSM)

^۳ Series Combination Genetic Algorithm (SCGA)

در الگوریتم ژنتیک جزیره ای، ۵ جزیره در نظر گرفته شده است و روش ها و عملگرهای هر یک از جزایر به صورت جدول (۸-۶) می باشد.

جدول ۸-۶. روش ها و عملگرهای انتخاب شده برای جزایر الگوریتم ژنتیک جزیره ای

عملگرهای GA / شماره جزیره	روش انتخاب کروموزوم شایسته	روش ادغام	نوع نرخ جهش
جزیره ۱	چرخ گردان	تک نقطه ای	نرخ ثابت
جزیره ۲	رقابتی (مسابقه ای)	دو نقطه ای	نرخ افزایشی
جزیره ۳	چرخ گردان	یکنواخت	نرخ افزایشی
جزیره ۴	رقابتی (مسابقه ای)	دو نقطه ای	نرخ کاهشی
جزیره ۵	رتبه بندی	یکنواخت	نرخ کاهشی

برای هر سه روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده، مقادیر نرخ ادغام، نرخ جهش (نرخ ثابت و مقدار کمینه و بیشینه برای نرخ افزایشی و کاهشی)، سائز رقابت برای روش انتخاب رقابتی (مسابقه ای) یکسان فرض شده اند که مقادیر آن ها طبق جدول (۹-۶) می باشد.

جدول ۹-۶. مقادیر عملگرهای الگوریتم های ژنتیک

توان رتبه بندی پیشنهادی	سائز رقابت	حداکثر نرخ جهش	حداقل نرخ جهش	نرخ جهش ثابت	نرخ ادغام
۱/۶	۳	۰/۲	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۸

برای هر ۴ مثال عددی ذکر شده در این فصل، جواب بهینه را از بین بهترین جواب در بین هر سه روش برمی‌گزینیم و برای جواب بهینه، مقاطع انتخاب شده بهینه، احتمال خرابی اعضای بهینه در جدولی آورده شده است.

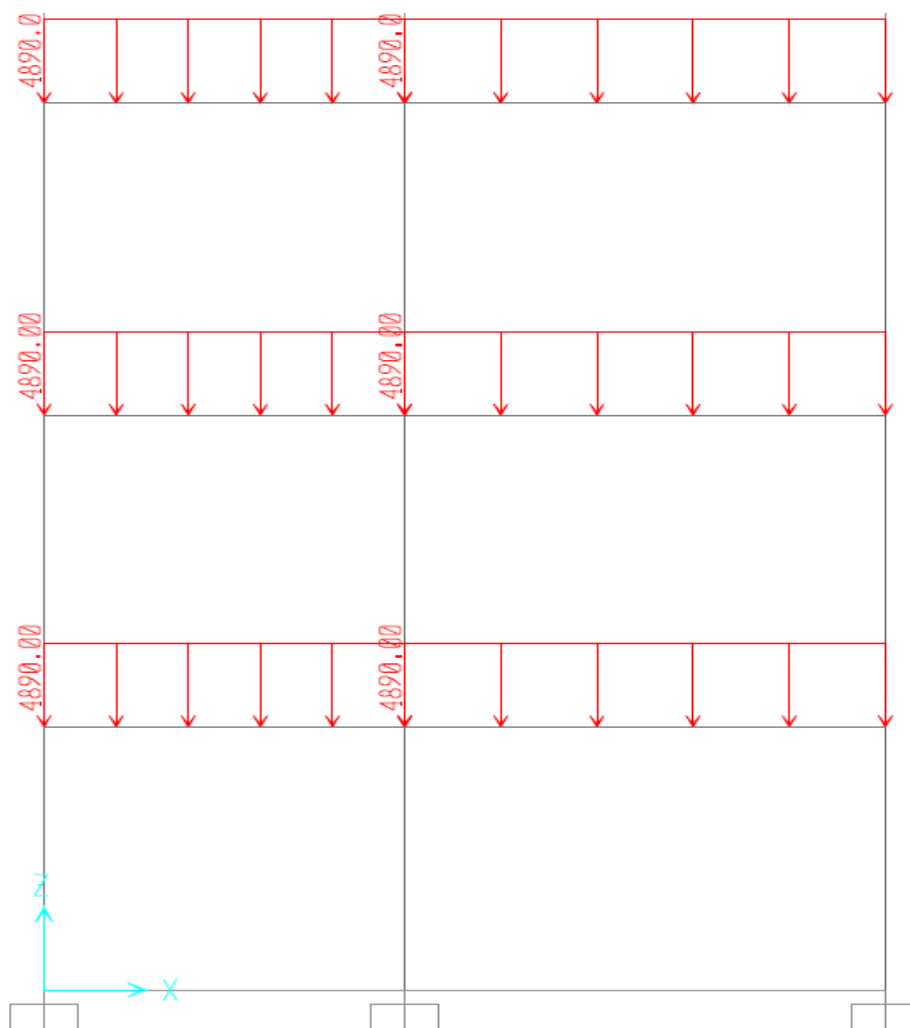
برای قاب بهینه در هر یک از مثال‌ها، محتمل‌ترین مسیرهای خرابی سیستم سازه‌ای نیز آورده شده است. هر یک از این مسیرهای خرابی، بر حسب به ترتیب توالی شماره مفاصل پلاستیک با احتمال خرابی هر مسیر بیان شده است. به طور مثال عضو X دارای شماره $2X$ و $2X-1$ می‌باشد.

با توجه به اینکه برای هر بار آنالیز سازه و آنالیز بار واحد مورد نیاز در تحلیل قابلیت اعتماد اعضا و کل سیستم سازه‌ای به تعداد دفعات بسیار زیادی از روش اجزای محدود استفاده می‌شود، به کار بردن راهکارهایی برای افزایش سرعت انجام فرایندهای مربوط به اجزای محدود، لازم به نظر می‌رسد. از جمله این روش‌ها می‌توان به کاهش عرض نصف پهنای باند در ماتریس سختی کل اشاره نمود. بدست آوردن کمترین عرض نصف پهنای باند به نحوه مناسب شماره گذاری گره‌ها بستگی دارد در واقع شماره گذاری گره‌ها در قاب‌های دو بعدی و سه بعدی می‌بایستی از ردیف‌های با تعداد گره کمتر انجام شود و در راستاهای دیگر ادامه یابد.

به عنوان مثال، در قاب ۲ بعدی با تعداد b دهانه در جهت X و S طبقه در جهت Y ، در صورتی که $b < S$ باشد، شماره گذاری گره‌ها در راستای X انجام می‌شود و در صورتی که $S < b$ باشد، شماره گذاری گره‌ها در راستای Y انجام می‌شود و در قاب ۳ بعدی با تعداد bx دهانه در جهت X ، by دهانه در جهت Y و S طبقه در جهت Z ، در صورتی که $bx < S < by$ باشد، شماره گذاری گره‌ها ابتدا در راستای X ، سپس در جهت Z و سپس در جهت Y انجام می‌شود.

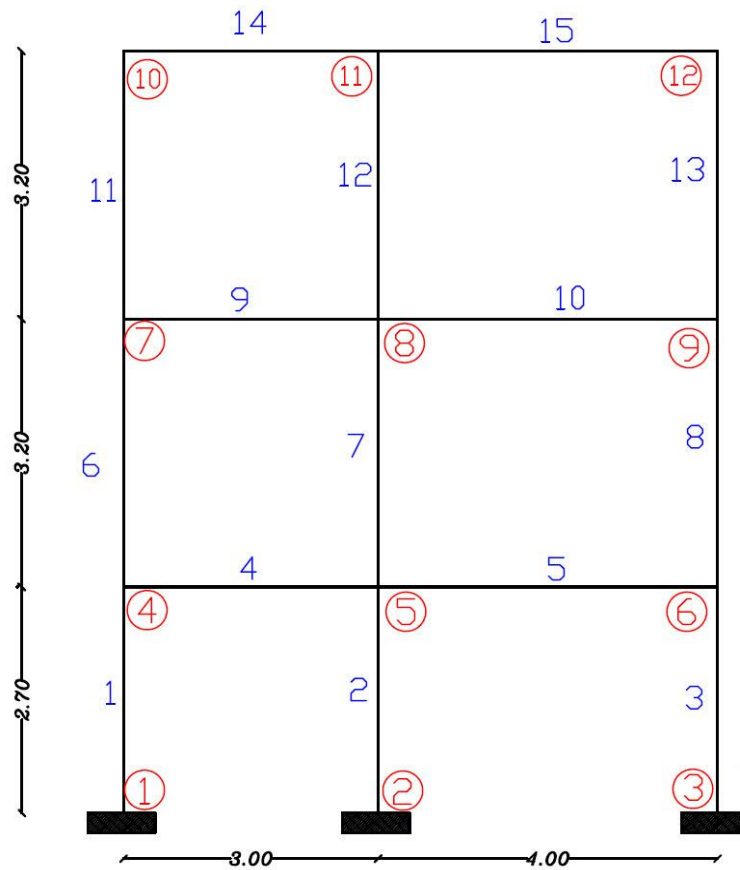
مثال ۶-۳: قاب دو بعدی ۲ دهانه ۳ طبقه مطابق شکل (۶-۴) مفروض است. بارهای وارد بر سازه و مقاومت تسلیم اعضاء متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شده که مقدار میانگین تنش تسلیم اعضا برابر $f_y = 24 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۱۵ و از نوع متغیر نرمال می باشد و نیز مقدار میانگین بار گسترده وارد بر هر طبقه برابر $w = 495 \text{ kg/m}$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۲۰ و از نوع متغیر لگ نرمال می باشد. احتمال خرابی مجاز اعضا ۰/۰۰۱۴ و احتمال خرابی مجاز کل سازه برابر ۰/۰۰۰۱ در نظر گرفته می شود.

با استفاده از برنامه بهینه سازی نوشته شده، می خواهیم بهترین مقاطع را برای بدست آوردن قابی با کمترین وزن ممکن تحت قیود قابلیت اعتماد اعضا و کل سازه را بدست آوریم.



شکل ۶-۴. قاب دو بعدی دو دهانه سه طبقه مثال (۶-۲)

در شکل (۵-۶)، گره ها و المان های شکل (۴-۶) شماره گذاری شده اند (شماره گذاری گره ها برای بدست آوردن کمترین عرض نصف پهنای باند برای کاهش زمان محاسبات ، به ترتیب دهانه ها انجام شده است)



شکل ۵-۶. شماره گذاری المان ها و گره های مثال (۳-۶)

نحوه تیپ بندی اعضای قاب بدین صورت است :

جدول ۱۰-۶. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۳-۶)

شماره تیپ	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شماره اعضا	۳-۱	۲	۵-۴	۸-۶	۷	۱۰-۹	۱۳-۱۱	۱۲	۱۵-۱۴

پس از اجرای برنامه بهینه یابی، مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد اعضا و احتمال خرابی اعضا به

صورت جدول (۱۱-۶) حاصل می گردند :

جدول ۶-۱۱. مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی هریک از اعضای قاب مثال (۳-۶)

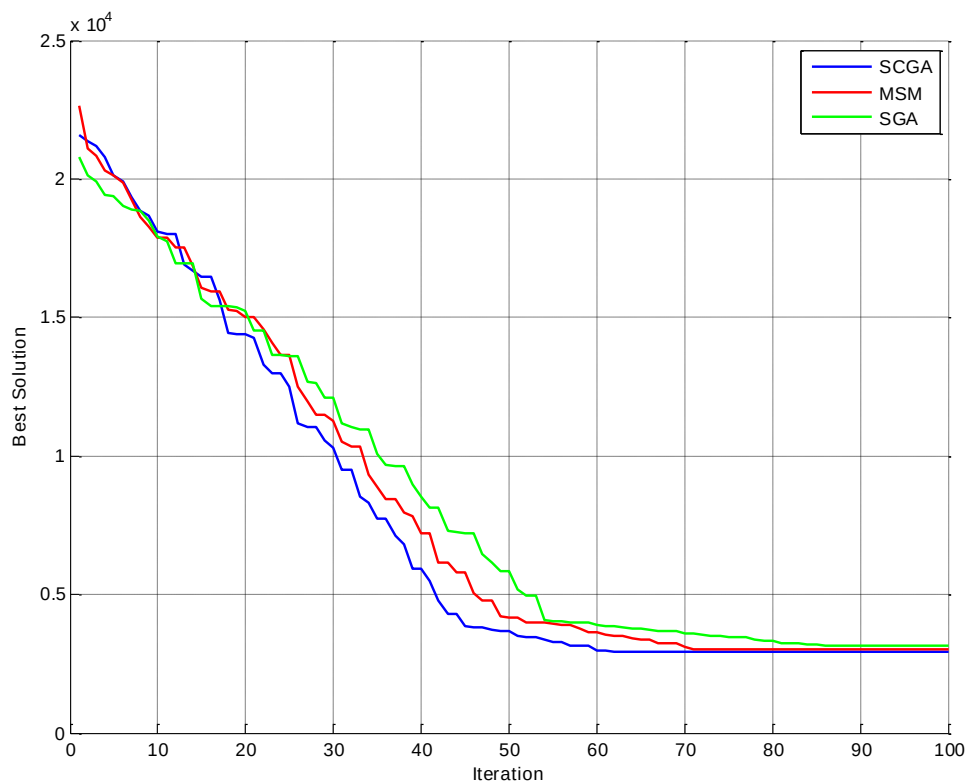
شماره اعضا	مقطع بهینه	شاخص قابلیت اعتماد	احتمال خرابی
۱	IPB 18	۳/۲۴۹۸	$۵/۷۸۰۳ \times ۱۰^{-۴}$
۲	IPB 24	۳/۵۹۰۷	$۱/۶۴۹۷ \times ۱۰^{-۴}$
۳	IPB 18	۳/۰۲۴۰	$۱/۲۴۸۷ \times ۱۰^{-۳}$
۴	IPB 20	۳/۵۱۳۷	$۲/۲۱۱۱ \times ۱۰^{-۴}$
۵	IPB 20	۳/۳۷۵۳	$۳/۶۸۹۳ \times ۱۰^{-۴}$
۶	IPB 22	۳/۲۹۳۲	$۴/۹۵۶۸ \times ۱۰^{-۴}$
۷	IPB 24	۳/۵۱۴۰	$۲/۲۰۸۲ \times ۱۰^{-۴}$
۸	IPB 22	۳/۰۶۱۳	$۱/۱۰۳۰ \times ۱۰^{-۳}$
۹	IPB 14	۳/۲۱۶۸	$۶/۴۸۶۷ \times ۱۰^{-۴}$
۱۰	IPB 14	۳/۰۵۵۵	$۱/۱۲۴۵ \times ۱۰^{-۳}$
۱۱	IPB 24	۳/۱۸۰۶	$۷/۳۵۵۰ \times ۱۰^{-۴}$
۱۲	IPB 24	۳/۳۴۹۸	$۴/۰۴۶۵ \times ۱۰^{-۴}$
۱۳	IPB 24	۳/۰۱۹۳	$۱/۲۶۷۹ \times ۱۰^{-۳}$
۱۴	IPB 18	۳/۴۲۹۵	$۳/۰۲۵۳ \times ۱۰^{-۴}$
۱۵	IPB 18	۳/۱۵۴۸	$۸/۰۳۸۳ \times ۱۰^{-۴}$

مقدار وزن سازه نیز ۳۰۴۸ کیلوگرم می باشد، سپس با استفاده از روش شاخه و کرانه، مسیرهای خرابی قاب بهینه شده مطابق جدول زیر ارائه می شود که با توجه به روش کرنل، حد بالا و پائین احتمال خرابی کل سازه به ترتیب برابر $۹/۹۳۷۱ \times ۱۰^{-۵}$ و $۱۰^{-۵} \times ۱/۹۳۴۴$ می باشند که احتمال خرابی سیستم نیز همان حد بالای کرانه در نظر گرفته شده است که در محدوده مجاز خود قرار دارد.

جدول ۶-۱۲. محتمل ترین مسیرهای خرابی برای قاب بهینه مثال (۳-۶)

مسیر خرابی محتمل	شاخص قابلیت اعتماد مسیر	احتمال خرابی مسیر
۲۰--> ۱۸--> ۱۰--> ۸--> ۵--> ۷	۴/۱۱۵۲	$۱/۹۳۴۱ \times ۱۰^{-۵}$
۵--> ۲--> ۶--> ۱۰--> ۱۵--> ۹	۴/۱۱۸۷	$۱/۹۰۴۷ \times ۱۰^{-۵}$
۱۹--> ۶--> ۲۹--> ۲۲--> ۲۵--> ۱۶--> ۱۵	۴/۱۴۲۸	$۱/۷۱۵۳ \times ۱۰^{-۵}$
۲۰--> ۲۵--> ۱۶--> ۱۹--> ۱۵--> ۲۶	۴/۱۴۷۲	$۱/۶۸۲۵ \times ۱۰^{-۵}$
۱۴--> ۱۸--> ۲۳--> ۱۳--> ۱۹	۴/۱۹۷۲	$۱/۳۵۱۲ \times ۱۰^{-۵}$
۲--> ۷--> ۱۱--> ۱--> ۸--> ۱۲	۴/۱۹۷۵	$۱/۳۴۹۲ \times ۱۰^{-۵}$

در شکل (۶-۶) نمودار عملکردی بین برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی برای مثال (۳-۶) آورده شده است و مقایسه نتایج عددی بین جواب های بهینه هر سه روش با یکدیگر در جدول (۱۳-۶) آورده شده است.



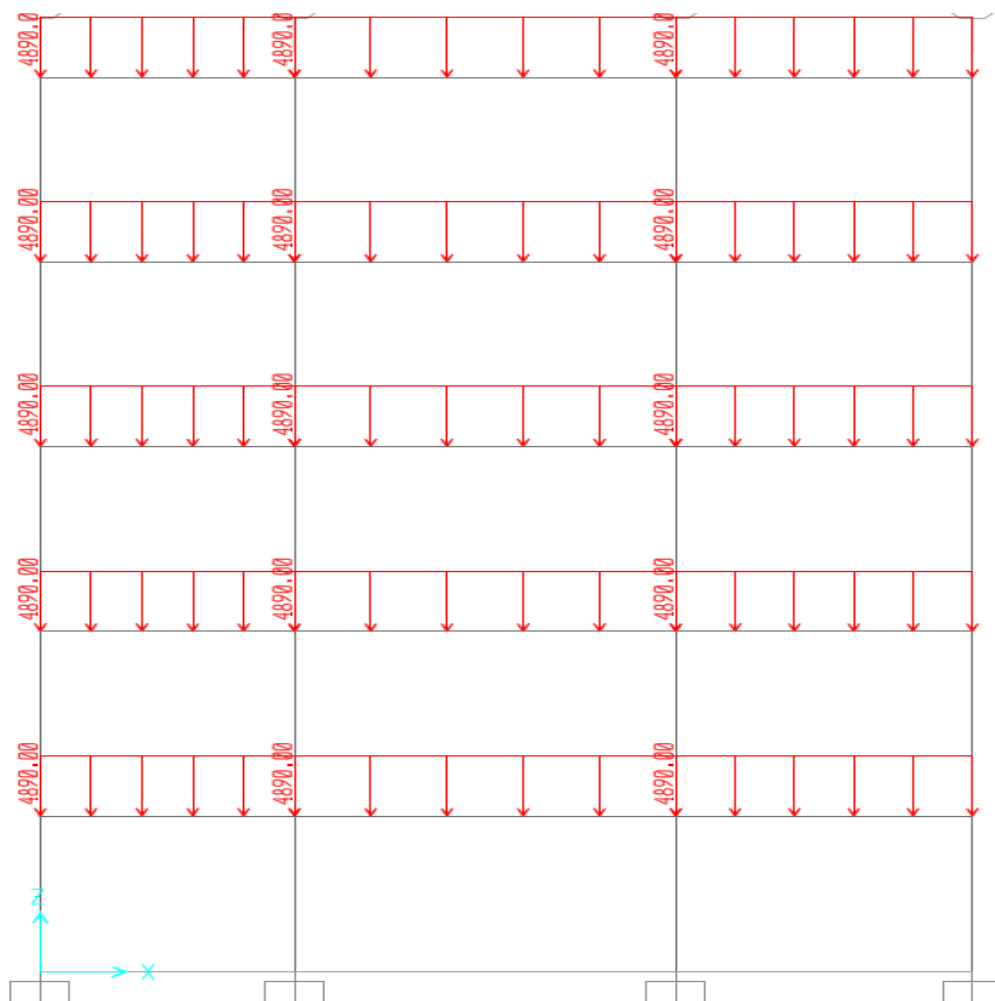
شکل ۶-۶. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی مثال (۳-۶)

جدول ۱۳-۶. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۳-۶)

$\frac{MSM}{SGA}$	$\frac{SCGA}{SGA}$	$\frac{SCGA}{MSM}$
٪ ۴/۸۸۵۵	٪ ۸/۴۳۸۷	٪ ۳/۵۵۳۱

مثال ۴-۶: قاب دو بعدی ۳ دهانه ی ۵ طبقه ای مطابق شکل (۷-۶) مفروض است. بارهای وارد بر سازه و مقاومت تسلیم اعضاء متغیرهای تصادفی درنظر گرفته شده که مقدار میانگین تنش تسلیم اعضا برابر $f_y = 24 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۱۵ و از نوع متغیر نرمال می باشد و نیز مقدار میانگین بار گسترده وارد بر هر طبقه برابر $w = 4950 \text{ kg/m}$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۲۰ و از نوع متغیر لگ نرمال می باشد. احتمال خرابی مجاز اعضا ۰/۰۰۱۴ و احتمال خرابی مجاز کل سازه برابر ۰/۰۰۰۱ درنظر گرفته می شود.

پس از اجرای برنامه بهترین مقاطع را برای بدست آوردن قابی با کمترین وزن ممکن تحت قیود قابلیت اعتماد اعضاء و کل سازه را بدست می آوریم.



شکل ۷-۶. قاب دو بعدی سه دهانه پنج طبقه مثال (۴-۶)

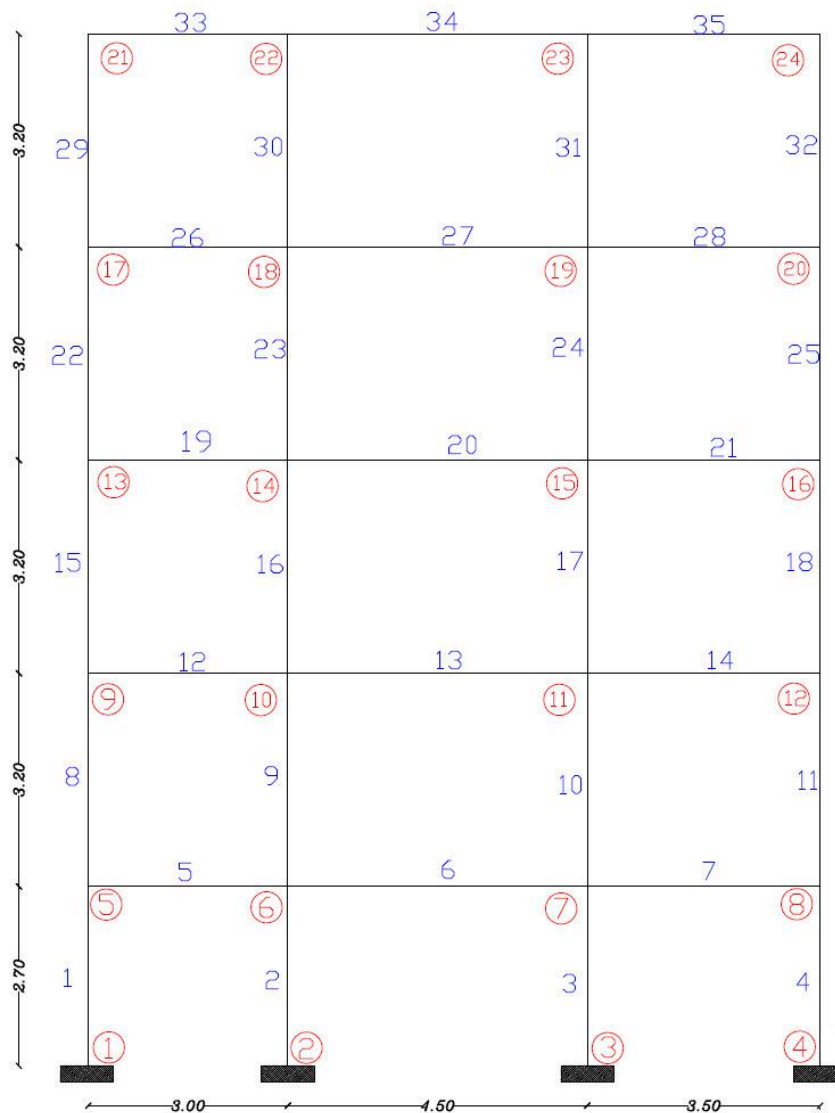
نحوه تیپ بندی اعضای قاب بدین صورت است :

جدول ۶-۱۴. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۴-۶)

شماره تیپ	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
شماره اعضا	۱-۴	۲-۳	۵-۶-۷	۸-۱۱	۹-۱۰	۱۲-۱۳-۱۴	۱۵-۱۸	۱۶-۱۷
شماره تیپ	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
شماره اعضا	۱۹-۲۰-۲۱	۲۲-۲۵	۲۳-۲۴	۲۶-۲۷-۲۸	۲۹-۳۲	۳۰-۳۱	۳۳-۳۴-۳۵	

در شکل (۶-۸) ، گره ها و المان های شکل (۶-۷) شماره گذاری شده اند (شماره گذاری گره ها برای

بدست آوردن کمترین عرض نصف پهنای باند، به ترتیب دهانه ها انجام شده است)



شکل ۶-۸. شماره گذاری المان ها و گره های مثال (۴-۶)

پس از اجرای برنامه بهینه یابی، مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد اعضا و احتمال خرابی اعضا به

صورت جدول (۶-۱۵) حاصل می گردند :

جدول ۶-۱۵. مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی هریک از اعضای قاب مثال (۶-۴)

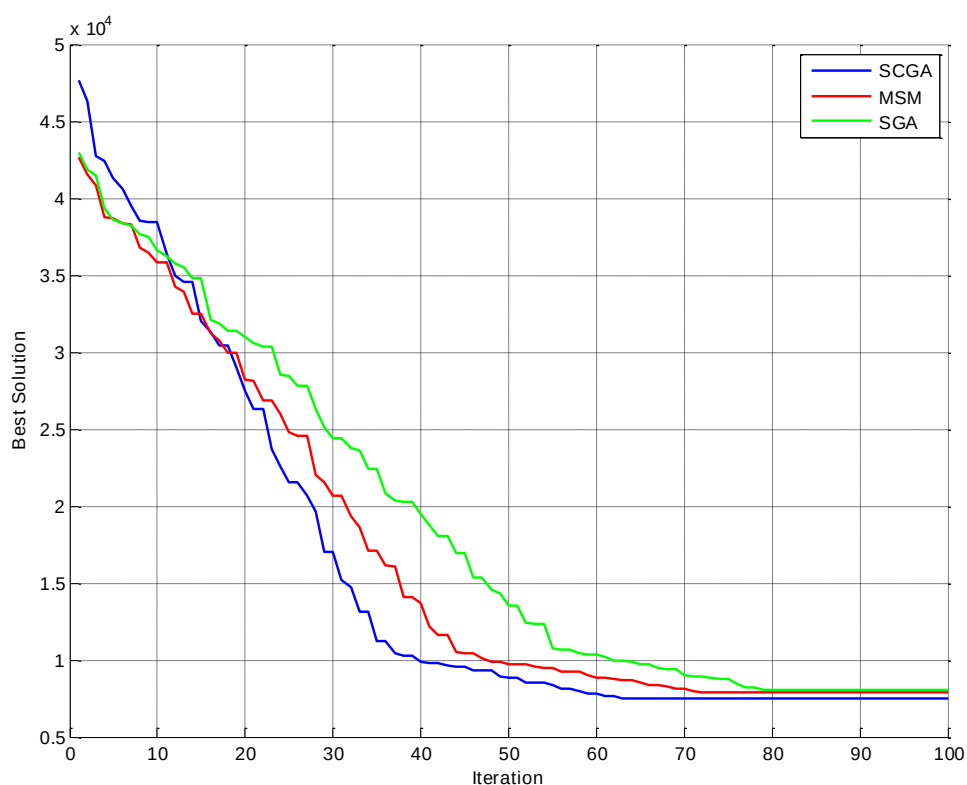
شماره اعضا	مقطع بهینه	شاخص قابلیت اعتماد	احتمال خرابی
۱	IPB 14	۳/۴۴۸۲	$۲/۸۲۳۱ \times ۱۰^{-۴}$
۲	IPB 24	۳/۷۸۴۴	$۷/۷۰۶۴ \times ۱۰^{-۵}$
۳	IPB 24	۳/۵۲۹۶	$۲/۰۸۲۴ \times ۱۰^{-۴}$
۴	IPB 14	۳/۰۹۴۷	$۹/۸۵۸۹ \times ۱۰^{-۴}$
۵	IPB 22	۳/۲۹۰۷	$۵/۰۰۰۴ \times ۱۰^{-۴}$
۶	IPB 22	۳/۵۹۲۸	$۱/۶۳۶۵ \times ۱۰^{-۴}$
۷	IPB 22	۳/۲۲۶۹	$۶/۲۷۷۸ \times ۱۰^{-۴}$
۸	IPB 18	۳/۳۳۸۵	$۴/۲۱۴۵ \times ۱۰^{-۴}$
۹	IPB 24	۳/۵۰۳۲	$۲/۳۰۰۴ \times ۱۰^{-۴}$
۱۰	IPB 24	۳/۴۶۲۵	$۲/۶۷۸۱ \times ۱۰^{-۴}$
۱۱	IPB 18	۳/۱۱۰۲	$۹/۲۵۶۰ \times ۱۰^{-۴}$
۱۲	IPB 18	۳/۷۱۴۲	$۱/۰۱۹۶ \times ۱۰^{-۴}$
۱۳	IPB 18	۳/۴۵۸۶	$۲/۷۱۷۱ \times ۱۰^{-۴}$
۱۴	IPB 18	۳/۴۰۰۵	$۳/۳۶۵۳ \times ۱۰^{-۴}$
۱۵	IPB 24	۳/۳۲۴۵	$۴/۴۳۲۷ \times ۱۰^{-۴}$
۱۶	IPB 24	۳/۳۶۳۷	$۳/۸۴۸۰ \times ۱۰^{-۴}$
۱۷	IPB 24	۳/۳۵۶۹	$۳/۹۴۴۵ \times ۱۰^{-۴}$
۱۸	IPB 24	۳/۲۳۲۲	$۶/۱۴۸۵ \times ۱۰^{-۴}$
۱۹	IPB 22	۳/۳۳۷۸	$۴/۲۲۵۳ \times ۱۰^{-۴}$
۲۰	IPB 22	۳/۵۲۵۰	$۲/۱۱۸۶ \times ۱۰^{-۴}$
۲۱	IPB 22	۳/۲۴۴۳	$۵/۸۹۱۹ \times ۱۰^{-۴}$
۲۲	IPB 20	۳/۱۲۸۰	$۸/۸۰۸۸ \times ۱۰^{-۴}$
۲۳	IPB 24	۳/۲۷۶۷	$۵/۲۵۶۵ \times ۱۰^{-۴}$
۲۴	IPB 24	۳/۲۷۴۶	$۵/۲۹۵۴ \times ۱۰^{-۴}$
۲۵	IPB 20	۳/۰۵۸۷	$۱/۱۱۲۸ \times ۱۰^{-۴}$
۲۶	IPB 20	۳/۱۴۲۵	$۸/۳۸۴۷ \times ۱۰^{-۴}$
۲۷	IPB 20	۳/۵۲۱۸	$۲/۱۴۴۱ \times ۱۰^{-۴}$
۲۸	IPB 20	۳/۱۰۲۵	$۹/۶۰۵۰ \times ۱۰^{-۴}$
۲۹	IPB 24	۳/۱۹۰۹	$۷/۰۹۷۳ \times ۱۰^{-۴}$
۳۰	IPB 24	۳/۲۲۶۰	$۶/۲۸۲۳ \times ۱۰^{-۴}$
۳۱	IPB 24	۳/۱۷۴۰	$۷/۵۲۴۴ \times ۱۰^{-۴}$
۳۲	IPB 24	۳/۱۱۷۳	$۹/۱۳۴۶ \times ۱۰^{-۴}$
۳۳	IPB 16	۳/۲۵۷۷	$۵/۶۲۱۵ \times ۱۰^{-۴}$
۳۴	IPB 16	۳/۲۷۸۵	$۵/۲۲۲۳ \times ۱۰^{-۴}$
۳۵	IPB 16	۳/۱۷۷۷	$۷/۴۲۸۸ \times ۱۰^{-۴}$

مقدار وزن سازه نیز ۷۸۲۶ کیلوگرم می باشد، سپس با استفاده از روش شاخه و کرانه، مسیرهای خرابی قاب بهینه شده مطابق جدول زیر ارائه می شود که با توجه به روش کرنل، حد بالا و پائین احتمال خرابی کل سازه به ترتیب برابر $۱۰^{-۵} \times ۸۵۸۰/۹$ و $۱۰^{-۶} \times ۷۹۶۴/۸$ می باشند که احتمال خرابی سیستم نیز همان حد بالای کرانه در نظر گرفته شده است که در محدوده مجاز خود قرار دارد.

جدول ۶-۱۶. محتمل ترین مسیرهای خرابی برای قاب بهینه مثال (۴-۶)

احتمال خرابی مسیر	شاخص قابلیت اعتماد مسیر	مسیر خرابی محتمل
$۸/۷۹۶۴ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۲۹۳۴	۲۶-->۲۴-->۲۸-->۵-->۱۰-->۱۲-->۷-->۸-->۳-->۲۱-->۱-->۲۳-->۱۳-->۴۲-->۲۷-->۳۸
$۸/۵۳۳۷ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۰۰۱	۳۹-->۲۵-->۳۷-->۳۸-->۴۱-->۲۳-->۲۶-->۲۷-->۲۴-->۴۵-->۴۲-->۴۰-->۴۶-->۲۸-->۲۹
$۷/۷۹۳۴ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۲۰۲	۱۵-->۲۳-->۲۵-->۲۷-->۲۶-->۱۹-->۳۳-->۲۰-->۲۴-->۱۳-->۱۸-->۳۱-->۲۸-->۸-->۲۱
$۷/۵۹۲۷ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۲۵۹	۴۴-->۵۱-->۵۳-->۴۶-->۴۸-->۵۵-->۵۹-->۵۲-->۶۱-->۶۰-->۵۶-->۵۴-->۶۲-->۱۵-->۳۵
$۷/۳۹۵۹ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۳۱۷	۵۰-->۲۳-->۲۷-->۵۶-->۲۶-->۴۱-->۴۲-->۲۸-->۲۵-->۲۲-->۴۹-->۱۹-->۳۳-->۴۵
$۷/۲۲۰۸ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۳۷۰	۱-->۱۵-->۷-->۲-->۱۶-->۸-->۲۱-->۲۶-->۲۲-->۲۷-->۵۵-->۷-->۲۸-->۲۵-->۳۵-->۲۹
$۶/۹۶۳۳ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۴۴۹	۴۴-->۳۶-->۶۶-->۴۷-->۴۳-->۴۶-->۱۴-->۱۰-->۷-->۶۰-->۴۵-->۵۷-->۶۹-->۴۸-->۴۲-->۴۹
$۶/۵۵۳۳ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۵۵۰	۷-->۲-->۱-->۱۵-->۱۶-->۸-->۲۸-->۲۶-->۲۷-->۲۴-->۳۱-->۲۲-->۶۳-->۵۶-->۵۴-->۶۱
$۶/۶۲۸۰ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۵۵۸	۴۸-->۴۶-->۵۳-->۶۱-->۵۹-->۵۴-->۵۲-->۴۷-->۵۵-->۴۵-->۳۹-->۳۶-->۲۶-->۲۴-->۴۰
$۶/۵۴۱۵ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۵۸۶	۴۳-->۸-->۶۰-->۵۵-->۷-->۵۶-->۶۴-->۵۱-->۳۶-->۵۷-->۴۴-->۶۳-->۴۵-->۵۲-->۳۵-->۲۱
$۶/۴۸۳۳ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۶۰۶	۱۶-->۱۴-->۱۱-->۸-->۲۱-->۱۵-->۱۲-->۲۲-->۲۸-->۲۵-->۲۶-->۲۴-->۳۱-->۲-->۱۷
$۶/۰۹۷۱ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۷۴۰	۵۴-->۴۳-->۵۷-->۴۴-->۵۸-->۴۵-->۵۲-->۴۶-->۴۳-->۵۱-->۶۴-->۶۳-->۷۰-->۶۸
$۵/۹۴۸۰ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۷۹۴	۲۴-->۳۸-->۳۹-->۲۷-->۲۳-->۳۷-->۲۵-->۴۷-->۴۵-->۴۸-->۲۶-->۴۰-->۲۸-->۴۲-->۴۶
$۵/۹۳۴۴ \times ۱۰^{-۶}$	۴/۳۷۹۹	۵۶-->۶۶-->۵۲-->۶۸-->۷۰-->۶۷-->۵۳-->۵۱-->۴۵-->۵۵-->۵۴-->۶۱-->۶۲-->۵۹

در شکل (۶-۹) نمودار عملکردی بین برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی برای مثال (۴-۶) آورده شده است و مقایسه نتایج عددی بین جواب های بهینه هر سه روش با یکدیگر در جدول (۶-۱۷) آورده شده است.



شکل ۶-۹. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی مثال (۴-۶)

جدول ۶-۱۷. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۴-۶)

$\frac{MSM}{SGA}$	$\frac{SCGA}{SGA}$	$\frac{SCGA}{MSM}$
٪ ۲/۰۷۳۱	٪ ۶/۵۹۱۴	٪ ۴/۵۱۸۳

مثال ۶-۵: قاب سه بعدی ۲ طبقه با تعداد ۳ دهانه در جهت X و ۲ دهانه در جهت Z مطابق

شکل (۶-۱۰) مفروض است. بارهای وارد بر سازه و مقاومت تسلیم اعضاء متغیرهای تصادفی در نظر

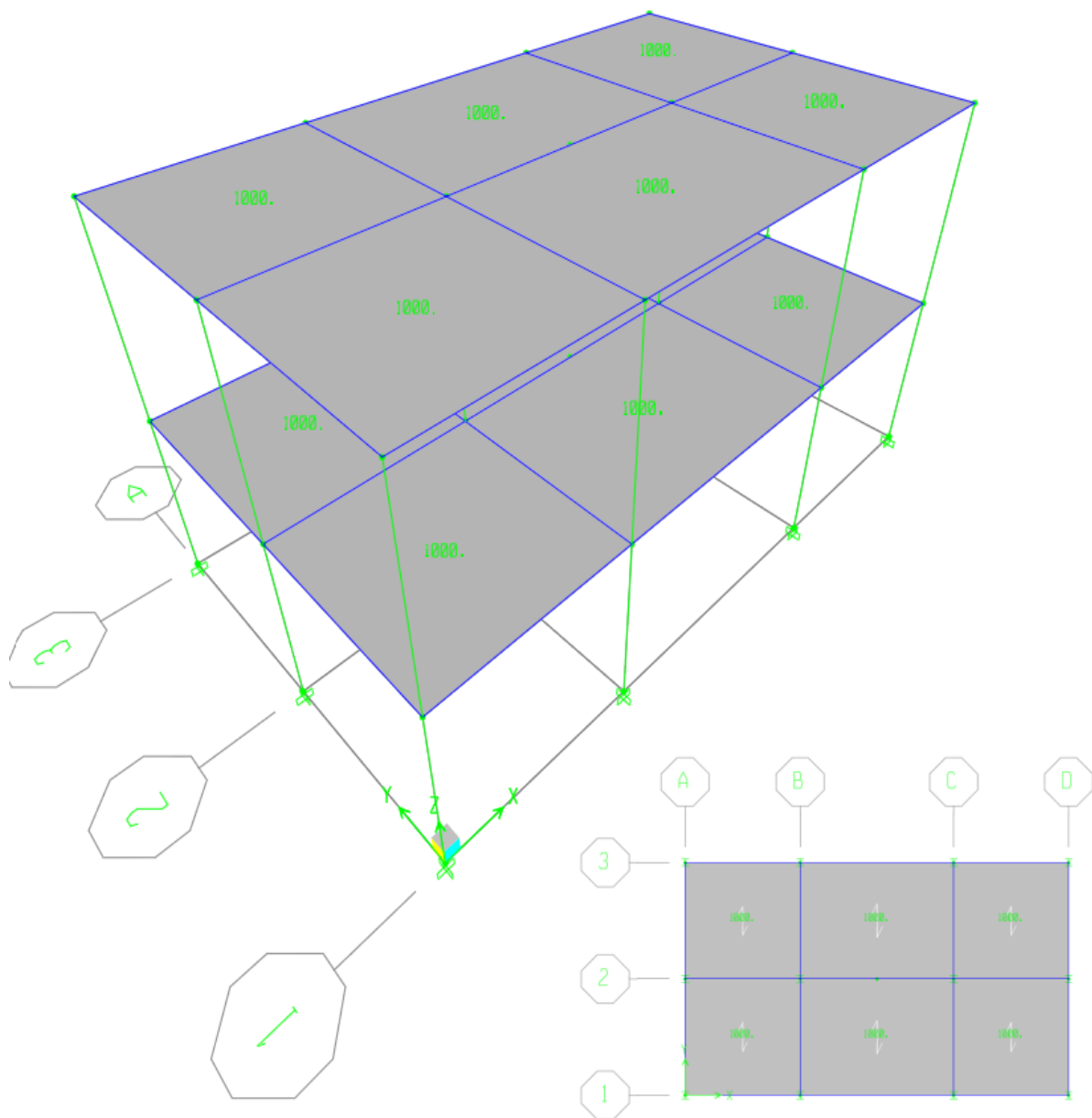
گرفته شده که مقدار میانگین تنش تسلیم اعضا برابر $f_y = 24 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ، ضریب پراکندگی آن

۰/۱۵ و از نوع متغیر نرمال می باشد و نیز مقدار میانگین بار گسترده سطحی وارد بر هر طبقه برابر

$w = 1000 \text{ kg/m}^2$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۲۰ و از نوع متغیر لگ نرمال می باشد. احتمال خرابی

مجاز اعضا ۰/۰۰۱۴ و احتمال خرابی مجاز کل سازه برابر ۰/۰۰۰۱ در نظر گرفته می شود و سایر پارامترهای مساله به صورت قطعی فرض می شوند و مختصات گره های قاب به صورت جدول (۶-۱۸) می باشد.

با استفاده از برنامه بهینه سازی نوشته شده، می خواهیم بهترین مقاطع را برای بدست آوردن قابی با کمترین وزن ممکن تحت قیود قابلیت اعتماد اعضا و کل سازه را بدست آوریم.



شکل ۶-۱۰. قاب سه بعدی ۲ طبقه ، ۳ دهانه در جهت X و ۲ دهانه در جهت Z مثال (۶-۵)

جدول ۶-۱۸. مختصات گره های قاب مثال (۵-۶)

شماره گره	X	Y	Z	شماره گره	X	Y	Z
۱	۰	۰	۶	۱۹	۷	۰	۶
۲	۰	۰	۳	۲۰	۷	۰	۳
۳	۰	۰	۰	۲۱	۷	۰	۰
۴	۰	۲/۷	۶	۲۲	۷	۲/۷	۶
۵	۰	۲/۷	۳	۲۳	۷	۲/۷	۳
۶	۰	۲/۷	۰	۲۴	۷	۲/۷	۰
۷	۰	۵/۹	۶	۲۵	۷	۵/۹	۶
۸	۰	۵/۹	۳	۲۶	۷	۵/۹	۳
۹	۰	۵/۹	۰	۲۷	۷	۵/۹	۰
۱۰	۳	۰	۶	۲۸	۱۰	۰	۶
۱۱	۳	۰	۳	۲۹	۱۰	۰	۳
۱۲	۳	۰	۰	۳۰	۱۰	۰	۰
۱۳	۳	۲/۷	۶	۳۱	۱۰	۲/۷	۶
۱۴	۳	۲/۷	۳	۳۲	۱۰	۲/۷	۳
۱۵	۳	۲/۷	۰	۳۳	۱۰	۲/۷	۰
۱۶	۳	۵/۹	۶	۳۴	۱۰	۵/۹	۶
۱۷	۳	۵/۹	۳	۳۵	۱۰	۵/۹	۳
۱۸	۳	۵/۹	۰	۳۶	۱۰	۵/۹	۰

نحوه تیپ بندی اعضای قاب بدین صورت است :

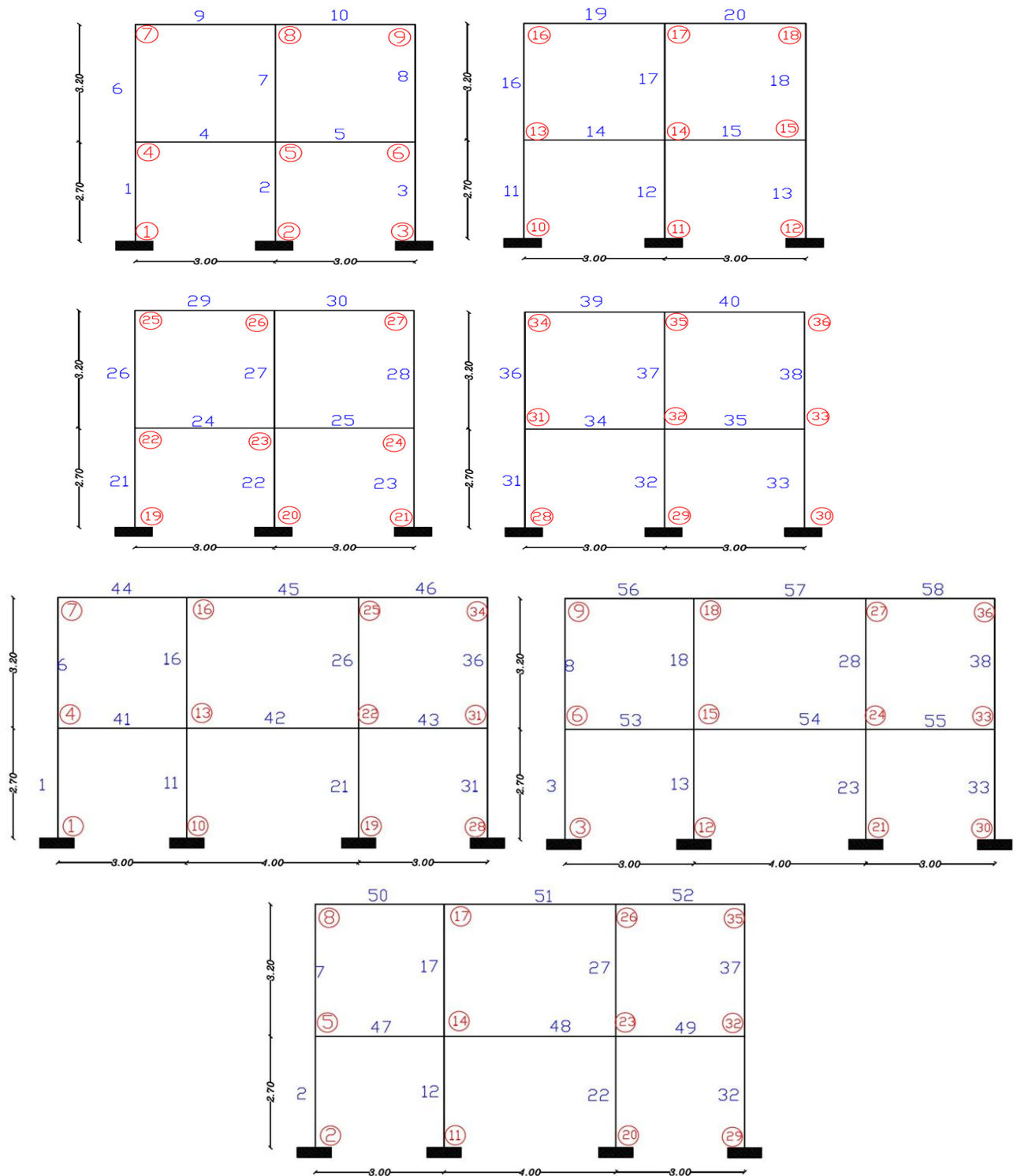
جدول ۶-۱۹. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۵-۶)

شماره تیپ	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
شماره اعضا	۱.۲.۳	۴.۵	۶.۷.۸	۹.۱۰	۱۱.۱۲.۱۳	۱۴.۱۵	۱۶.۱۷.۱۸	۱۹.۲۰
شماره تیپ	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
شماره اعضا	۲۱.۲۲.۲۳	۲۴.۲۵	۲۶.۲۷.۲۸	۲۹.۳۰	۳۱.۳۲.۳۳	۳۴.۳۵	۳۶.۳۷.۳۸	۳۹.۴۰
شماره تیپ	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲		
شماره اعضا	۴۱.۴۲.۴۳	۴۴.۴۵.۴۶	۴۷.۴۸.۴۹	۵۰.۵۱.۵۲	۵۳.۵۴.۵۵	۵۶.۵۷.۵۸		

در شکل (۶-۱۱) گره ها و المان های شکل (۶-۱۰) در جهات مختلف، شماره گذاری شده اند (شماره

گذاری گره ها برای بدست آوردن کمترین عرض نصف پهنای باند برای کاهش زمان محاسبات، به

ترتیب ابتدا در جهت Z سپس در جهت Y و سپس در جهت X انجام شده است انجام شده است)



شکل ۶-۱۱. شماره گذاری المان ها و گره های مثال (۶-۵)

پس از اجرای برنامه بهینه یابی، مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی اعضا به صورت زیر حاصل می گردند :

جدول ۶-۲۰. مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی هریک از اعضای قاب مثال (۵-۶)

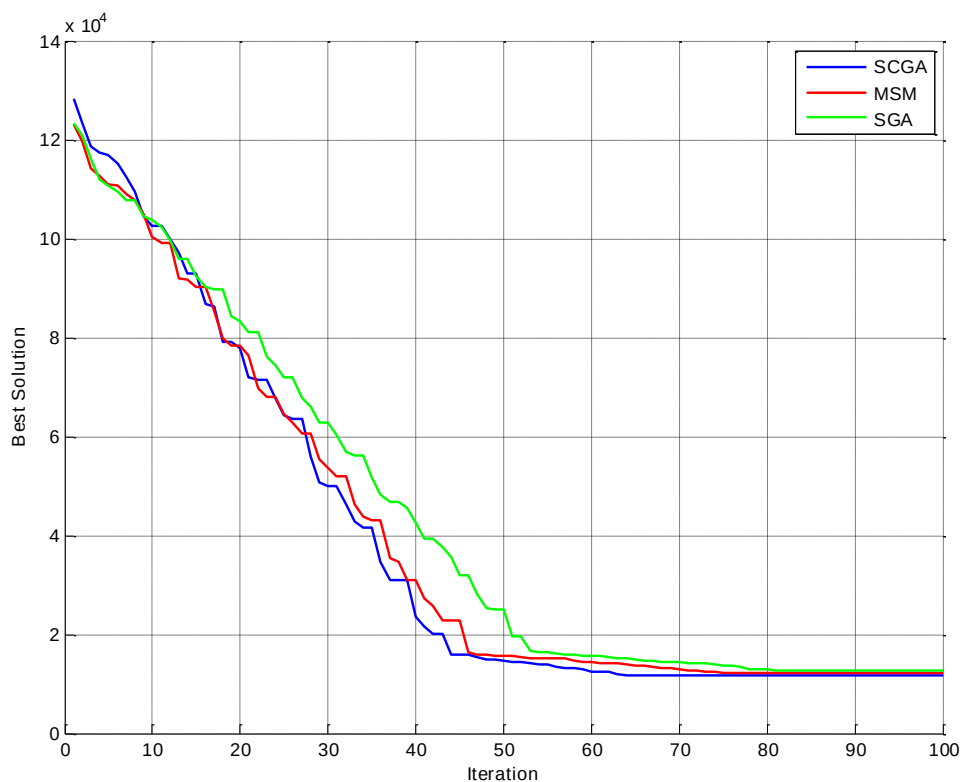
شماره اعضا	مقطع بهینه	شاخص قابلیت اعتماد	احتمال خرابی	شماره اعضا	مقطع بهینه	شاخص قابلیت اعتماد	احتمال خرابی
۱	IPB 24	۳/۲۷۲۳	$5/3375 \times 10^{-4}$	۳۰	IPB 24	۳/۳۰۹۸	$4/6721 \times 10^{-4}$
۲	IPB 24	۳/۲۵۴۴	$5/6869 \times 10^{-4}$	۳۱	IPB 18	۳/۰۲۴۵	$1/2416 \times 10^{-3}$
۳	IPB 24	۳/۲۷۲۵	$5/3340 \times 10^{-4}$	۳۲	IPB 18	۴/۷۶۱۵	$9/6080 \times 10^{-7}$
۴	IPB 20	۳/۰۲۱۴	$1/2580 \times 10^{-3}$	۳۳	IPB 18	۳/۰۲۶۵	$1/2394 \times 10^{-3}$
۵	IPB 20	۳/۰۲۷۴	$1/2333 \times 10^{-3}$	۳۴	IPB 22	۳/۴۱۰۹	$3/2404 \times 10^{-4}$
۶	IPB 24	۳/۷۶۱۵	$8/4449 \times 10^{-5}$	۳۵	IPB 22	۳/۳۸۰۴	$3/6219 \times 10^{-4}$
۷	IPB 24	۳/۳۶۷۵	$3/7927 \times 10^{-4}$	۳۶	IPB 18	۳/۰۸۲۴	$1/0267 \times 10^{-3}$
۸	IPB 24	۳/۷۵۸۷	$8/5399 \times 10^{-5}$	۳۷	IPB 18	۴/۹۷۴۴	$3/2725 \times 10^{-7}$
۹	IPB 24	۴/۲۶۱۵	$1/0153 \times 10^{-5}$	۳۸	IPB 18	۳/۰۹۱۲	$9/9675 \times 10^{-4}$
۱۰	IPB 24	۴/۲۷۳۴	$9/6257 \times 10^{-4}$	۳۹	IPB 22	۳/۶۰۳۳	$1/5720 \times 10^{-4}$
۱۱	IPB 22	۳/۱۶۲۴	$7/8237 \times 10^{-4}$	۴۰	IPB 22	۳/۶۰۶۶	$1/5522 \times 10^{-4}$
۱۲	IPB 22	۴/۱۷۷۲	$1/4756 \times 10^{-5}$	۴۱	IPB 24	۳/۳۷۳۶	$3/7123 \times 10^{-4}$
۱۳	IPB 22	۳/۱۶۷۴	$7/6904 \times 10^{-4}$	۴۲	IPB 24	۳/۲۵۶۱	$5/6532 \times 10^{-4}$
۱۴	IPB 22	۳/۰۱۹۶	$1/2667 \times 10^{-3}$	۴۳	IPB 24	۳/۲۶۴۵	$5/4829 \times 10^{-4}$
۱۵	IPB 22	۳/۰۸۳۳	$1/0246 \times 10^{-3}$	۴۴	IPB 24	۳/۱۵۸۴	$7/9383 \times 10^{-4}$
۱۶	IPB 18	۳/۱۰۷۴	$9/4468 \times 10^{-4}$	۴۵	IPB 24	۳/۳۱۱۹	$4/6376 \times 10^{-4}$
۱۷	IPB 18	۳/۰۱۳۷	$1/2917 \times 10^{-3}$	۴۶	IPB 24	۳/۶۶۳۷	$1/2437 \times 10^{-4}$
۱۸	IPB 18	۳/۱۱۰۲	$9/3480 \times 10^{-4}$	۴۷	IPB 14	۳/۱۷۱۴	$7/5924 \times 10^{-4}$
۱۹	IPB 24	۳/۷۴۵۶	$8/9982 \times 10^{-5}$	۴۸	IPB 14	۳/۰۴۹۴	$1/1477 \times 10^{-3}$
۲۰	IPB 24	۳/۷۵۱۶	$8/7855 \times 10^{-5}$	۴۹	IPB 14	۳/۰۳۸۵	$1/1901 \times 10^{-3}$
۲۱	IPB 24	۳/۱۲۱۵	$8/9966 \times 10^{-4}$	۵۰	IPB 24	۳/۰۲۳۸	$1/2493 \times 10^{-3}$
۲۲	IPB 24	۴/۲۱۷۶	$1/2346 \times 10^{-5}$	۵۱	IPB 24	۳/۲۱۰۱	$6/6394 \times 10^{-4}$
۲۳	IPB 24	۳/۱۱۹۷	$9/0518 \times 10^{-4}$	۵۲	IPB 24	۳/۵۱۳۲	$2/2150 \times 10^{-4}$
۲۴	IPB 18	۳/۰۱۴۱	$1/2887 \times 10^{-3}$	۵۳	IPB 24	۳/۴۴۴۲	$2/8655 \times 10^{-4}$
۲۵	IPB 18	۳/۰۱۵۲	$1/2840 \times 10^{-3}$	۵۴	IPB 24	۳/۲۵۶۳	$5/6481 \times 10^{-4}$
۲۶	IPB 14	۳/۱۳۵۶	$8/5751 \times 10^{-4}$	۵۵	IPB 24	۳/۳۴۰۰	$4/1925 \times 10^{-4}$
۲۷	IPB 14	۳/۱۹۸۵	$6/9128 \times 10^{-4}$	۵۶	IPB 24	۳/۱۶۶۵	$7/7218 \times 10^{-4}$
۲۸	IPB 14	۳/۱۳۶۵	$8/5489 \times 10^{-4}$	۵۷	IPB 24	۳/۳۱۵۰	$4/5852 \times 10^{-4}$
۲۹	IPB 24	۳/۳۰۵۲	$4/7492 \times 10^{-4}$	۵۸	IPB 24	۳/۶۶۶۹	$1/2281 \times 10^{-4}$

مقدار وزن سازه نیز ۱۲۴۰۶ کیلوگرم می باشد، سپس با استفاده از روش شاخه و کرانه، مسیرهای خرابی قاب بهینه شده مطابق جدول زیر ارائه می شود که با توجه به روش کرنل، حد بالا و پائین احتمال خرابی کل سازه به ترتیب برابر $۸/۰۳۲۱ \times ۱۰^{-۵}$ و $۴/۳۸۸۱ \times ۱۰^{-۶}$ می باشند که احتمال خرابی سیستم نیز همان حد بالای کرانه در نظر گرفته شده است که در محدوده مجاز خود قرار دارد.

جدول ۶-۲۱. محتمل ترین مسیرهای خرابی برای قاب بهینه مثال (۵-۶)

مسیر خرابی محتمل	شاخص قابلیت اعتماد مسیر	احتمال خرابی مسیر
۲۳-->۴۳-->۲۴-->۸۱-->۸۲-->۳-->۵-->۶۳-->۴۴-->۴۵-->۵۳-->۶۵-->۲۶-->۴۶-->۲۶-->۳۳-->۳۴-->۵۴-->۲۵-->۳۵-->۵۵	۴/۴۴۵۲	$۴/۳۸۸۱ \times ۱۰^{-۶}$
۳۳-->۱۱۲-->۵۱-->۳۴-->۸۸-->۱۷-->۹۷-->۲۸-->۸-->۹۸-->۱۰۸-->۴۷-->۹۳-->۵-->۵۸-->۹۶-->۱-->۵۷-->۸۴-->۱۰۰	۴/۴۴۵۶	$۴/۳۷۹۴ \times ۱۰^{-۶}$
۲۷-->۱۰۲-->۲۱-->۴۸-->۱۰-->۵۳-->۵۱-->۱۴-->۹۳-->۵۸-->۸۳-->۵-->۳۲-->۵۱-->۵۲-->۱۸-->۹۷-->۹۸-->۹۹	۴/۴۴۹۸	$۴/۲۹۴۷ \times ۱۰^{-۶}$
۹۹-->۲۷-->۸۸-->۲۸-->۱۹-->۱۸-->۱۴-->۱۰۸-->۱۳-->۱۱۱-->۲۱-->۱۰۵-->۱۰۲-->۹۶-->۸-->۳۰-->۴۹-->۳۷-->۳۴-->۱۱۲-->۷	۴/۴۵۲۸	$۴/۲۳۵۵ \times ۱۰^{-۶}$
۹۴-->۳۷-->۱۰۷-->۴۸-->۲۰-->۳۳-->۱۹-->۱۸-->۱۶-->۴۷-->۹۰-->۹۵-->۹۳-->۴۹-->۵۱-->۱۱۲-->۹۶-->۹۸-->۸۸-->۹۷-->۱۰۲	۴/۴۶۳۲	$۴/۰۳۴۸ \times ۱۰^{-۶}$
۹۳-->۱۰۰-->۹۶-->۸۷-->۶۰-->۱۰۲-->۸۳-->۱۴-->۹۴-->۱۸-->۹۰-->۱۰۵-->۲۱-->۳۳-->۵۸-->۵۴-->۹-->۲۸-->۴۹-->۱	۴/۴۶۶۰	$۳/۹۸۳۲ \times ۱۰^{-۶}$
۳۴-->۳۹-->۱۰۷-->۴۹-->۱۰۰-->۹۰-->۵۴-->۷-->۸۳-->۵۷-->۱۴-->۲۸-->۲۲-->۱۰۲-->۵۸-->۲۱-->۳۷-->۱۹-->۹-->۵۲	۴/۴۶۸۴	$۳/۹۳۸۷ \times ۱۰^{-۶}$
۱۰۰-->۱۰۲-->۱۷-->۱۳-->۸۳-->۱۰۵-->۹۴-->۹۹-->۵۴-->۳۰-->۱۶-->۱۹-->۲۰-->۴۰-->۲۲-->۳۲-->۵۲-->۱۴-->۵۷	۴/۴۶۸۵	$۳/۹۳۵۸ \times ۱۰^{-۶}$
۹۵-->۳۳-->۲۸-->۴۸-->۴۹-->۸۳-->۱۴-->۵-->۱۰۲-->۳-->۵۸-->۸۷-->۴۷-->۳۲-->۵۰-->۱۰۷-->۱۱۲-->۷-->۱۱۱-->۸۴-->۱۰	۴/۴۷۱۰	$۳/۸۹۱۲ \times ۱۰^{-۶}$
۹۶-->۱۶-->۸۴-->۵۸-->۲۲-->۱۹-->۲۰-->۳۰-->۵۲-->۹۹-->۲۱-->۴۹-->۹۸-->۵-->۹۷-->۳۹-->۳۷-->۳۴-->۵۱-->۹۰	۴/۴۸۰۹	$۳/۷۱۵۲ \times ۱۰^{-۶}$
۳۷-->۳۲-->۲۰-->۸-->۱۰۸-->۱۰-->۱۰۱-->۱۰۱-->۹۹-->۵۷-->۶۰-->۵۳-->۱۳-->۴۷-->۱۰۷-->۳۹-->۹۵-->۱۷-->۱۸	۴/۴۹۵۱	$۳/۴۷۵۲ \times ۱۰^{-۶}$
۳۰-->۱۰۷-->۱۰۰-->۲۸-->۱۰-->۱۴-->۱۷-->۳۹-->۵۷-->۳۷-->۶۰-->۲۲-->۱۹-->۵۴-->۱۳-->۱۸-->۵۰-->۸۷-->۳۲-->۵۲	۴/۴۹۵۲	$۳/۴۷۳۹ \times ۱۰^{-۶}$
۴۰-->۲۸-->۴۷-->۸۸-->۱۳-->۹-->۵۴-->۳۰-->۶۰-->۳۸-->۸-->۵۸-->۵۲-->۱۹-->۱۸-->۱۰-->۱۷-->۱۰-->۹۷	۴/۴۹۹۷	$۳/۴۰۰۰ \times ۱۰^{-۶}$
۳۲-->۳-->۹۶-->۲۱-->۸-->۱۰۲-->۹۷-->۵۱-->۱۰-->۳۷-->۹۸-->۵۰-->۴۷-->۹۳-->۵۷-->۱۰-->۲۲-->۱۰۷-->۷-->۳۸	۴/۵۱۲۴	$۳/۲۰۲۸ \times ۱۰^{-۶}$
۵۰-->۱۰۲-->۵۲-->۳-->۱۴-->۱۷-->۳۲-->۳۷-->۴۹-->۵۸-->۵۷-->۹۳-->۱۰۸-->۱۱۱-->۴۸-->۳۸-->۳۰-->۸۷-->۱۰-->۱۸	۴/۵۱۵۴	$۳/۱۵۸۹ \times ۱۰^{-۶}$
۴۷-->۹۸-->۱۰۷-->۵۰-->۳-->۳۲-->۱۴-->۲۷-->۱۳-->۱۰۲-->۵۲-->۵-->۴۹-->۳۹-->۸۳-->۵۷-->۹۷-->۲۱-->۸-->۱۰۰	۴/۵۲۵۴	$۳/۰۱۲۷ \times ۱۰^{-۶}$
۲۸-->۹۹-->۱۱۲-->۴۰-->۹۴-->۱۳-->۱۰۱-->۱۰۷-->۱۱۱-->۴۹-->۵۱-->۸۴-->۵۳-->۱۴-->۷-->۸۷-->۲۰-->۱-->۱۰۵	۴/۵۲۵۴	$۳/۰۱۱۸ \times ۱۰^{-۶}$
۳۸-->۵۲-->۱۰۱-->۲۲-->۶۰-->۹۳-->۱۶-->۲۸-->۲۱-->۳-->۸-->۵۷-->۱۷-->۱۴-->۱۰۷-->۹۹-->۵۰-->۱۰۰-->۴۸-->۹۴-->۴۰	۴/۵۲۷۵	$۲/۹۸۲۲ \times ۱۰^{-۶}$
۵۲-->۲۱-->۳۴-->۳۹-->۹۰-->۱۰۸-->۹۷-->۵۱-->۴۷-->۹۸-->۹۴-->۹۵-->۸۷-->۳۸-->۱۶-->۸-->۹۶-->۳۷-->۴۰-->۱۱۴	۴/۵۳۲۸	$۲/۹۰۸۶ \times ۱۰^{-۶}$
۳۹-->۱۴-->۱۰۰-->۴۹-->۹-->۲۸-->۱۱۱-->۹۵-->۱۱۲-->۵-->۱۰۵-->۵۷-->۱۹-->۱۰-->۸-->۹۰-->۶۰-->۱-->۳۴-->۸۳-->۵۸	۴/۵۳۳۶	$۲/۸۹۸۰ \times ۱۰^{-۶}$
۸۷-->۹۸-->۱۳-->۳۰-->۹۴-->۱۱۴-->۶۰-->۵۰-->۵۸-->۱۷-->۲۸-->۵۲-->۸۴-->۹۳-->۹۵-->۲۰-->۱۴-->۳۴-->۳۲-->۸۳	۴/۵۴۹۲	$۲/۶۹۱۴ \times ۱۰^{-۶}$
۱۷-->۱۰۲-->۷-->۴۷-->۹۳-->۳۳-->۳۷-->۵۴-->۳۹-->۴۰-->۱۰۱-->۵۳-->۵۲-->۱۹-->۳۰-->۲۰-->۱۰۷-->۵-->۴۹-->۱۴-->۱۱۱	۴/۵۴۹۲	$۲/۶۹۱۴ \times ۱۰^{-۶}$
۱۱۱-->۵۳-->۵۱-->۸۴-->۴۰-->۵۴-->۲۸-->۶۰-->۳۴-->۱۰۲-->۸-->۴۷-->۹-->۱۷-->۳۳-->۹۳-->۵۷-->۱۰۵-->۱۸-->۱۰۱	۴/۵۵۵۰	$۲/۶۱۸۰ \times ۱۰^{-۶}$

در شکل (۶-۱۲) نمودار عملکردی بین برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی برای مثال (۶-۵) آورده شده است و مقایسه نتایج عددی بین جواب های بهینه هر سه روش با یکدیگر در جدول (۶-۲۲) آورده شده است.

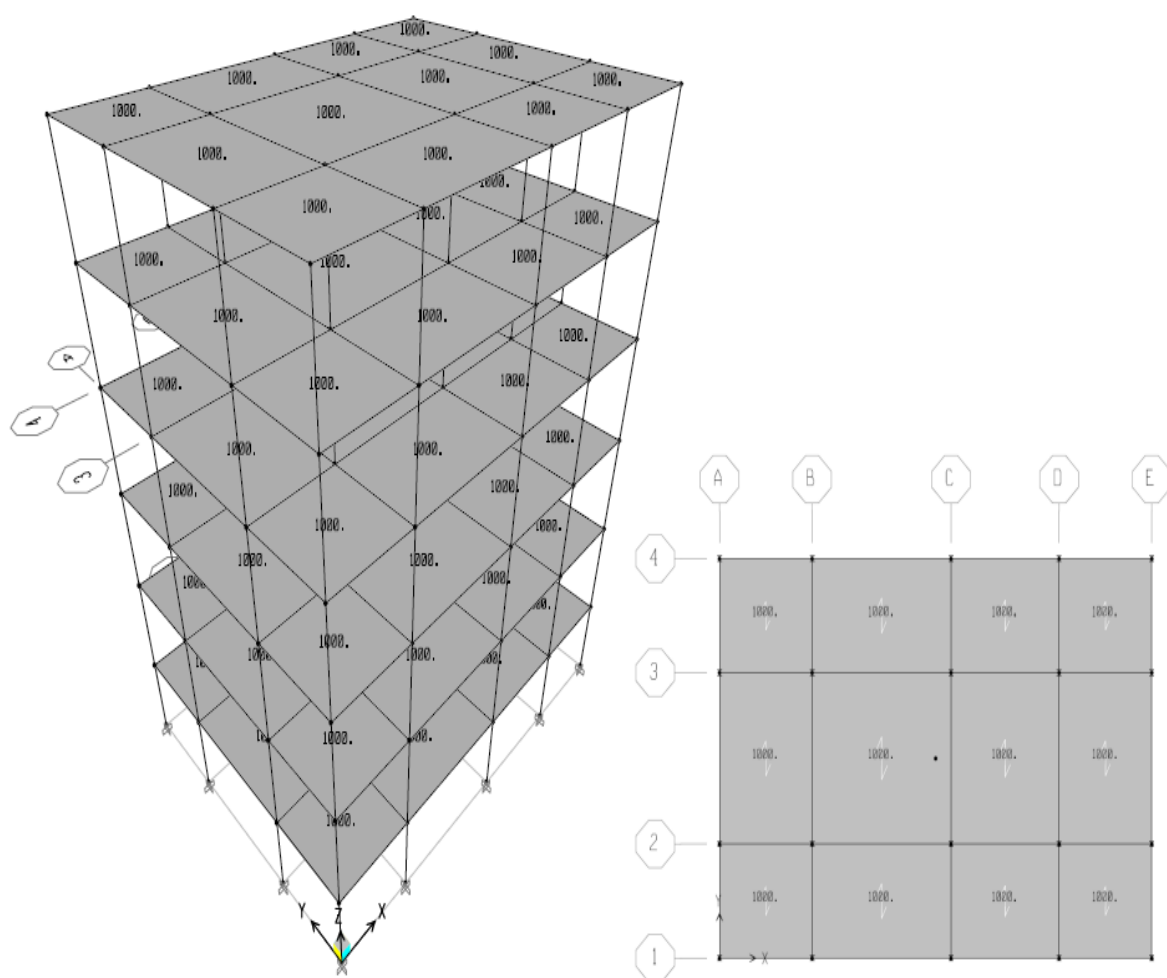


شکل ۶-۱۲. مقایسه عملکرد برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی برای مثال (۶-۵)

جدول ۶-۲۲. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت برای مثال (۶-۵)

$\frac{MSM}{SGA}$	$\frac{SCGA}{SGA}$	$\frac{SCGA}{MSM}$
٪ ۴/۰۳۶۵	٪ ۸/۶۸۷۵	٪ ۴/۶۵۱۰

مثال ۶-۶: قاب سه بعدی ۶ طبقه ای با تعداد ۴ دهانه در جهت X و ۳ دهانه در جهت Z مطابق شکل (۶-۱۳) مفروض است. بارهای وارد بر سازه و مقاومت تسلیم اعضاء متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شده که مقدار میانگین تنش تسلیم اعضا برابر $f_y = 24 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۱۵ و از نوع متغیر نرمال می باشد و نیز مقدار میانگین بار گسترده سطحی وارد بر هر طبقه برابر $w = 1000 \text{ kg/m}^2$ ، ضریب پراکندگی آن ۰/۲۰ و از نوع متغیر لگ نرمال می باشد. احتمال خرابی مجاز اعضا ۰/۰۰۱۴ و احتمال خرابی مجاز کل سازه برابر ۰/۰۰۰۱ در نظر گرفته می شود و سایر پارامترهای مساله به صورت قطعی فرض می شوند و مختصات گره های قاب به صورت جدول (۶-۲۳) می باشد.

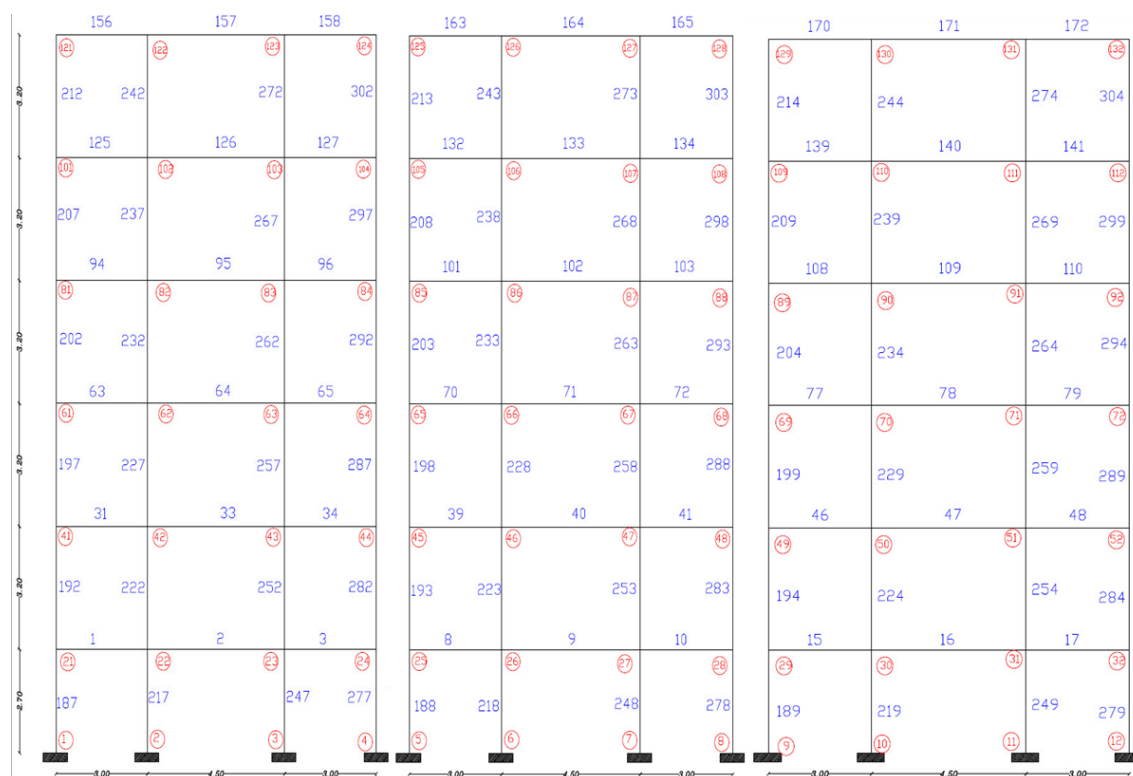


شکل ۶-۱۳. قاب سه بعدی ۶ طبقه، ۴ دهانه در جهت X و ۳ دهانه در جهت Z مثال (۶-۶)

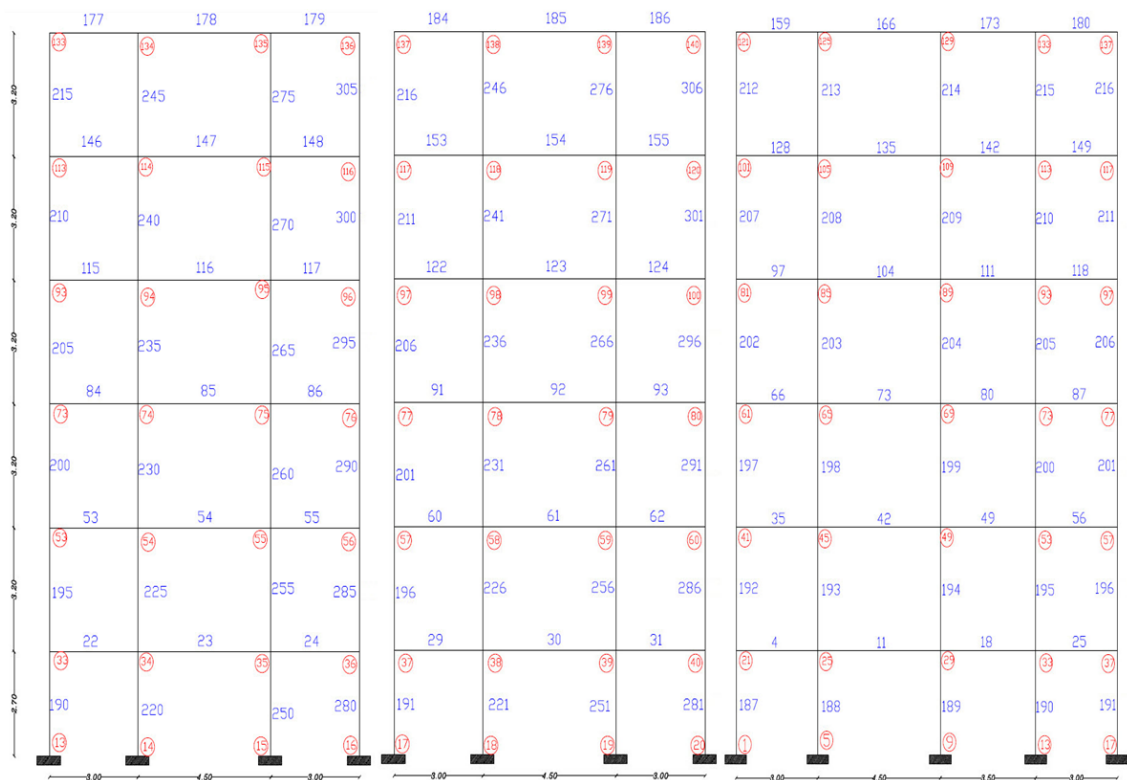
جدول ۶-۲۳. مختصات گره های قاب مثال (۶-۶)

گره	X	Y	Z	گره	X	Y	Z	گره	X	Y	Z	گره	X	Y	Z
۱	۰	۰	۰	۳۷	۱۴	۲/۷	۰	۷۳	۱۱	۹/۱	۰	۱۰۹	۷/۵	۱۵/۵	۰
۲	۰	۰	۳	۳۸	۱۴	۲/۷	۳	۷۴	۱۱	۹/۱	۳	۱۱۰	۷/۵	۱۵/۵	۳
۳	۰	۰	۷/۵	۳۹	۱۴	۲/۷	۷/۵	۷۵	۱۱	۹/۱	۷/۵	۱۱۱	۷/۵	۱۵/۵	۷/۵
۴	۰	۰	۱۰/۵	۴۰	۱۴	۲/۷	۱۰/۵	۷۶	۱۱	۹/۱	۱۰/۵	۱۱۲	۷/۵	۱۵/۵	۱۰/۵
۵	۳	۰	۰	۴۱	۰	۵/۹	۰	۷۷	۱۴	۹/۱	۰	۱۱۳	۱۱	۱۵/۵	۰
۶	۳	۰	۳	۴۲	۰	۵/۹	۳	۷۸	۱۴	۹/۱	۳	۱۱۴	۱۱	۱۵/۵	۳
۷	۳	۰	۷/۵	۴۳	۰	۵/۹	۷/۵	۷۹	۱۴	۹/۱	۷/۵	۱۱۵	۱۱	۱۵/۵	۷/۵
۸	۳	۰	۱۰/۵	۴۴	۰	۵/۹	۱۰/۵	۸۰	۱۴	۹/۱	۱۰/۵	۱۱۶	۱۱	۱۵/۵	۱۰/۵
۹	۷/۵	۰	۰	۴۵	۳	۵/۹	۰	۸۱	۰	۱۲/۳	۰	۱۱۷	۱۴	۱۵/۵	۰
۱۰	۷/۵	۰	۳	۴۶	۳	۵/۹	۳	۸۲	۰	۱۲/۳	۳	۱۱۸	۱۴	۱۵/۵	۳
۱۱	۷/۵	۰	۷/۵	۴۷	۳	۵/۹	۷/۵	۸۳	۰	۱۲/۳	۷/۵	۱۱۹	۱۴	۱۵/۵	۷/۵
۱۲	۷/۵	۰	۱۰/۵	۴۸	۳	۵/۹	۱۰/۵	۸۴	۰	۱۲/۳	۱۰/۵	۱۲۰	۱۴	۱۵/۵	۱۰/۵
۱۳	۱۱	۰	۰	۴۹	۷/۵	۵/۹	۰	۸۵	۳	۱۲/۳	۰	۱۲۱	۰	۱۸/۷	۰
۱۴	۱۱	۰	۳	۵۰	۷/۵	۵/۹	۳	۸۶	۳	۱۲/۳	۳	۱۲۲	۰	۱۸/۷	۳
۱۵	۱۱	۰	۷/۵	۵۱	۷/۵	۵/۹	۷/۵	۸۷	۳	۱۲/۳	۷/۵	۱۲۳	۰	۱۸/۷	۷/۵
۱۶	۱۱	۰	۱۰/۵	۵۲	۷/۵	۵/۹	۱۰/۵	۸۸	۳	۱۲/۳	۱۰/۵	۱۲۴	۰	۱۸/۷	۱۰/۵
۱۷	۱۴	۰	۰	۵۳	۱۱	۵/۹	۰	۸۹	۷/۵	۱۲/۳	۰	۱۲۵	۳	۱۸/۷	۰
۱۸	۱۴	۰	۳	۵۴	۱۱	۵/۹	۳	۹۰	۷/۵	۱۲/۳	۳	۱۲۶	۳	۱۸/۷	۳
۱۹	۱۴	۰	۷/۵	۵۵	۱۱	۵/۹	۷/۵	۹۱	۷/۵	۱۲/۳	۷/۵	۱۲۷	۳	۱۸/۷	۷/۵
۲۰	۱۴	۰	۱۰/۵	۵۶	۱۱	۵/۹	۱۰/۵	۹۲	۷/۵	۱۲/۳	۱۰/۵	۱۲۸	۳	۱۸/۷	۱۰/۵
۲۱	۰	۲/۷	۰	۵۷	۱۴	۵/۹	۰	۹۳	۱۱	۱۲/۳	۰	۱۲۹	۷/۵	۱۸/۷	۰
۲۲	۰	۲/۷	۳	۵۸	۱۴	۵/۹	۳	۹۴	۱۱	۱۲/۳	۳	۱۳۰	۷/۵	۱۸/۷	۳
۲۳	۰	۲/۷	۷/۵	۵۹	۱۴	۵/۹	۷/۵	۹۵	۱۱	۱۲/۳	۷/۵	۱۳۱	۷/۵	۱۸/۷	۷/۵
۲۴	۰	۲/۷	۱۰/۵	۶۰	۱۴	۵/۹	۱۰/۵	۹۶	۱۱	۱۲/۳	۱۰/۵	۱۳۲	۷/۵	۱۸/۷	۱۰/۵
۲۵	۳	۲/۷	۰	۶۱	۰	۹/۱	۰	۹۷	۱۴	۱۲/۳	۰	۱۳۳	۱۱	۱۸/۷	۰
۲۶	۳	۲/۷	۳	۶۲	۰	۹/۱	۳	۹۸	۱۴	۱۲/۳	۳	۱۳۴	۱۱	۱۸/۷	۳
۲۷	۳	۲/۷	۷/۵	۶۳	۰	۹/۱	۷/۵	۹۹	۱۴	۱۲/۳	۷/۵	۱۳۵	۱۱	۱۸/۷	۷/۵
۲۸	۳	۲/۷	۱۰/۵	۶۴	۰	۹/۱	۱۰/۵	۱۰۰	۱۴	۱۲/۳	۱۰/۵	۱۳۶	۱۱	۱۸/۷	۱۰/۵
۲۹	۷/۵	۲/۷	۰	۶۵	۳	۹/۱	۰	۱۰۱	۰	۱۵/۵	۰	۱۳۷	۱۴	۱۸/۷	۰
۳۰	۷/۵	۲/۷	۳	۶۶	۳	۹/۱	۳	۱۰۲	۰	۱۵/۵	۳	۱۳۸	۱۴	۱۸/۷	۳
۳۱	۷/۵	۲/۷	۷/۵	۶۷	۳	۹/۱	۷/۵	۱۰۳	۰	۱۵/۵	۷/۵	۱۳۹	۱۴	۱۸/۷	۷/۵
۳۲	۷/۵	۲/۷	۱۰/۵	۶۸	۳	۹/۱	۱۰/۵	۱۰۴	۰	۱۵/۵	۱۰/۵	۱۴۰	۱۴	۱۸/۷	۱۰/۵
۳۳	۱۱	۲/۷	۰	۶۹	۷/۵	۹/۱	۰	۱۰۵	۳	۱۵/۵	۰				
۳۴	۱۱	۲/۷	۳	۷۰	۷/۵	۹/۱	۳	۱۰۶	۳	۱۵/۵	۳				
۳۵	۱۱	۲/۷	۷/۵	۷۱	۷/۵	۹/۱	۷/۵	۱۰۷	۳	۱۵/۵	۷/۵				
۳۶	۱۱	۲/۷	۱۰/۵	۷۲	۷/۵	۹/۱	۱۰/۵	۱۰۸	۳	۱۵/۵	۱۰/۵				

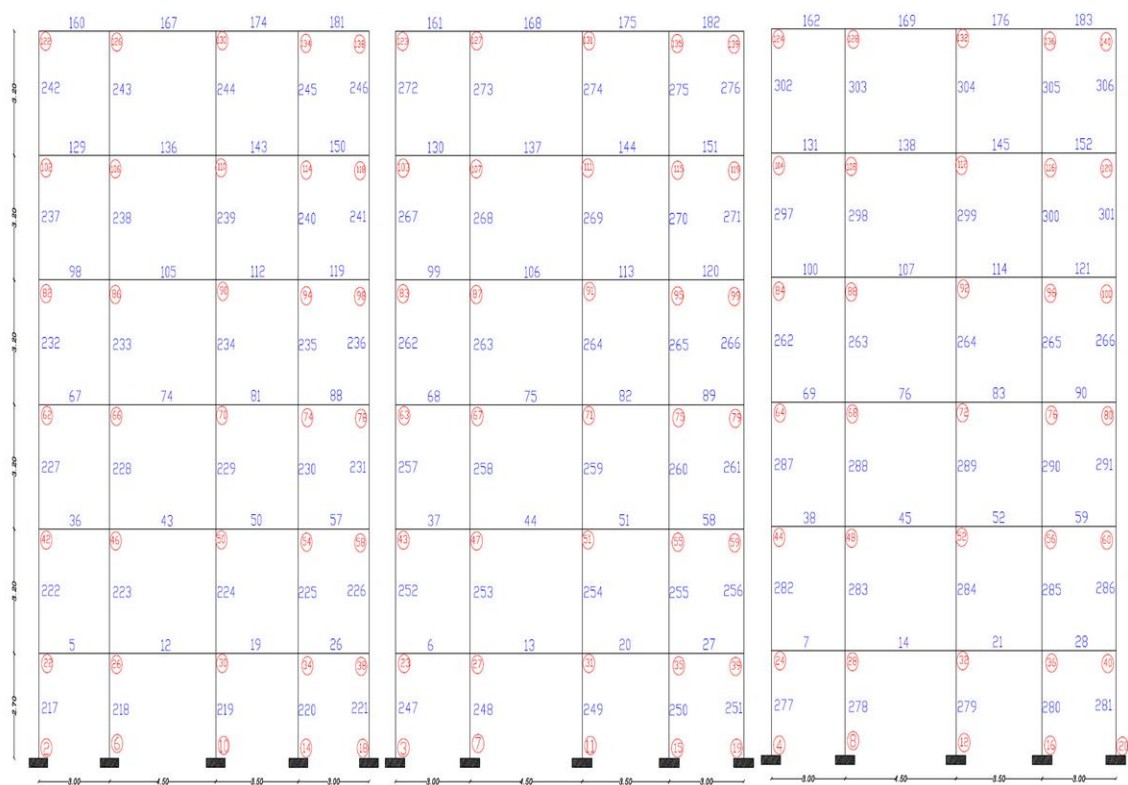
در شکل های (۱۴-۶)، (۱۵-۶)، (۱۶-۶)، (۱۶-۶) گره ها و المان های شکل (۱۳-۶) در جهات مختلف، شماره گذاری شده اند (شماره گذاری گره ها برای بدست آوردن کمترین عرض نصف پهنای باند برای کاهش زمان محاسبات، به ترتیب، ابتدا در جهت Z سپس در جهت X و سپس در جهت Y انجام شده است)



شکل ۱۴-۶. شماره گذاری المان ها و گره های قاب مثال (۶-۶)



شکل ۶-۱۵. شماره گذاری المان ها و گره های قاب مثال (۶-۶)



شکل ۶-۱۶. شماره گذاری المان ها و گره های قاب مثال (۶-۶)

نحوه تیپ بندی اعضای قاب بدین صورت است :

جدول ۶-۲۴. تیپ بندی اعضای قاب مثال (۶-۶)

شماره تیپ	شماره اعضای تیپ
۱	۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۷۷، ۲۷۸ ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱
۲	۴، ۵، ۶، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸
۳	۱، ۲، ۳، ۸، ۹، ۱۰، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۹، ۳۰، ۳۱
۴	۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۸۲، ۲۸۳ ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶
۵	۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹
۶	۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۶۰، ۶۱، ۶۲
۷	۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۸۷، ۲۸۸ ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱
۸	۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰
۹	۶۳، ۶۴، ۶۵، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۹۱، ۹۲، ۹۳
۱۰	۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۹۲، ۲۹۳ ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶
۱۱	۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱
۱۲	۹۴، ۹۵، ۹۶، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴
۱۳	۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۹۷، ۲۹۸ ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱
۱۴	۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲
۱۵	۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵
۱۶	۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۳۰۲، ۳۰۳ ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶
۱۷	۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳
۱۸	۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶

پس از اجرای برنامه بهینه یابی، مقاطع بهینه، شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی اعضای قاب

بدین صورت حاصل می گردند :

جدول ۶-۲۵. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶)

عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه
۱	IPB۲۲	۲۳	IPB۲۲	۴۵	IPB۲۰	۶۷	IPB۲۲
۲	IPB۲۲	۲۴	IPB۲۲	۴۶	IPB۱۸	۶۸	IPB۲۲
۳	IPB۲۲	۲۵	IPB۱۸	۴۷	IPB۱۸	۶۹	IPB۲۲
۴	IPB۱۸	۲۶	IPB۱۸	۴۸	IPB۱۸	۷۰	IPB۲۲
۵	IPB۱۸	۲۷	IPB۱۸	۴۹	IPB۲۰	۷۱	IPB۲۲
۶	IPB۱۸	۲۸	IPB۱۸	۵۰	IPB۲۰	۷۲	IPB۲۲
۷	IPB۱۸	۲۹	IPB۲۲	۵۱	IPB۲۰	۷۳	IPB۲۲
۸	IPB۲۲	۳۰	IPB۲۲	۵۲	IPB۲۰	۷۴	IPB۲۲
۹	IPB۲۲	۳۱	IPB۲۲	۵۳	IPB۱۸	۷۵	IPB۲۲
۱۰	IPB۲۲	۳۲	IPB۱۸	۵۴	IPB۱۸	۷۶	IPB۲۲
۱۱	IPB۱۸	۳۳	IPB۱۸	۵۵	IPB۱۸	۷۷	IPB۲۲
۱۲	IPB۱۸	۳۴	IPB۱۸	۵۶	IPB۲۰	۷۸	IPB۲۲
۱۳	IPB۱۸	۳۵	IPB۲۰	۵۷	IPB۲۰	۷۹	IPB۲۲
۱۴	IPB۱۸	۳۶	IPB۲۰	۵۸	IPB۲۰	۸۰	IPB۲۲
۱۵	IPB۲۲	۳۷	IPB۲۰	۵۹	IPB۲۰	۸۱	IPB۲۲
۱۶	IPB۲۲	۳۸	IPB۲۰	۶۰	IPB۱۸	۸۲	IPB۲۲
۱۷	IPB۲۲	۳۹	IPB۱۸	۶۱	IPB۱۸	۸۳	IPB۲۲
۱۸	IPB۱۸	۴۰	IPB۱۸	۶۲	IPB۱۸	۸۴	IPB۲۲
۱۹	IPB۱۸	۴۱	IPB۱۸	۶۳	IPB۲۲	۸۵	IPB۲۲
۲۰	IPB۱۸	۴۲	IPB۲۰	۶۴	IPB۲۲	۸۶	IPB۲۲
۲۱	IPB۱۸	۴۳	IPB۲۰	۶۵	IPB۲۲	۸۷	IPB۲۲
۲۲	IPB۲۲	۴۴	IPB۲۰	۶۶	IPB۲۲	۸۸	IPB۲۲

جدول ۶-۲۶. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶)

عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه
۸۹	IPB۲۲	۱۱۱	IPB۲۰	۱۳۳	IPB۲۲	۱۵۵	IPB۲۲
۹۰	IPB۲۲	۱۱۲	IPB۲۰	۱۳۴	IPB۲۲	۱۵۶	IPB۱۸
۹۱	IPB۲۲	۱۱۳	IPB۲۰	۱۳۵	IPB۲۰	۱۵۷	IPB۱۸
۹۲	IPB۲۲	۱۱۴	IPB۲۰	۱۳۶	IPB۲۰	۱۵۸	IPB۱۸
۹۳	IPB۲۲	۱۱۵	IPB۲۲	۱۳۷	IPB۲۰	۱۵۹	IPB۲۲
۹۴	IPB۲۲	۱۱۶	IPB۲۲	۱۳۸	IPB۲۰	۱۶۰	IPB۲۲
۹۵	IPB۲۲	۱۱۷	IPB۲۲	۱۳۹	IPB۲۲	۱۶۱	IPB۲۲
۹۶	IPB۲۲	۱۱۸	IPB۲۰	۱۴۰	IPB۲۲	۱۶۲	IPB۲۲
۹۷	IPB۲۰	۱۱۹	IPB۲۰	۱۴۱	IPB۲۲	۱۶۳	IPB۱۸
۹۸	IPB۲۰	۱۲۰	IPB۲۰	۱۴۲	IPB۲۰	۱۶۴	IPB۱۸
۹۹	IPB۲۰	۱۲۱	IPB۲۰	۱۴۳	IPB۲۰	۱۶۵	IPB۱۸
۱۰۰	IPB۲۰	۱۲۲	IPB۲۲	۱۴۴	IPB۲۰	۱۶۶	IPB۲۲
۱۰۱	IPB۲۲	۱۲۳	IPB۲۲	۱۴۵	IPB۲۰	۱۶۷	IPB۲۲
۱۰۲	IPB۲۲	۱۲۴	IPB۲۲	۱۴۶	IPB۲۲	۱۶۸	IPB۲۲
۱۰۳	IPB۲۲	۱۲۵	IPB۲۲	۱۴۷	IPB۲۲	۱۶۹	IPB۲۲
۱۰۴	IPB۲۰	۱۲۶	IPB۲۲	۱۴۸	IPB۲۲	۱۷۰	IPB۱۸
۱۰۵	IPB۲۰	۱۲۷	IPB۲۲	۱۴۹	IPB۲۰	۱۷۱	IPB۱۸
۱۰۶	IPB۲۰	۱۲۸	IPB۲۰	۱۵۰	IPB۲۰	۱۷۲	IPB۱۸
۱۰۷	IPB۲۰	۱۲۹	IPB۲۰	۱۵۱	IPB۲۰	۱۷۳	IPB۲۲
۱۰۸	IPB۲۲	۱۳۰	IPB۲۰	۱۵۲	IPB۲۰	۱۷۴	IPB۲۲
۱۰۹	IPB۲۲	۱۳۱	IPB۲۰	۱۵۳	IPB۲۲	۱۷۵	IPB۲۲
۱۱۰	IPB۲۲	۱۳۲	IPB۲۲	۱۵۴	IPB۲۲	۱۷۶	IPB۲۲

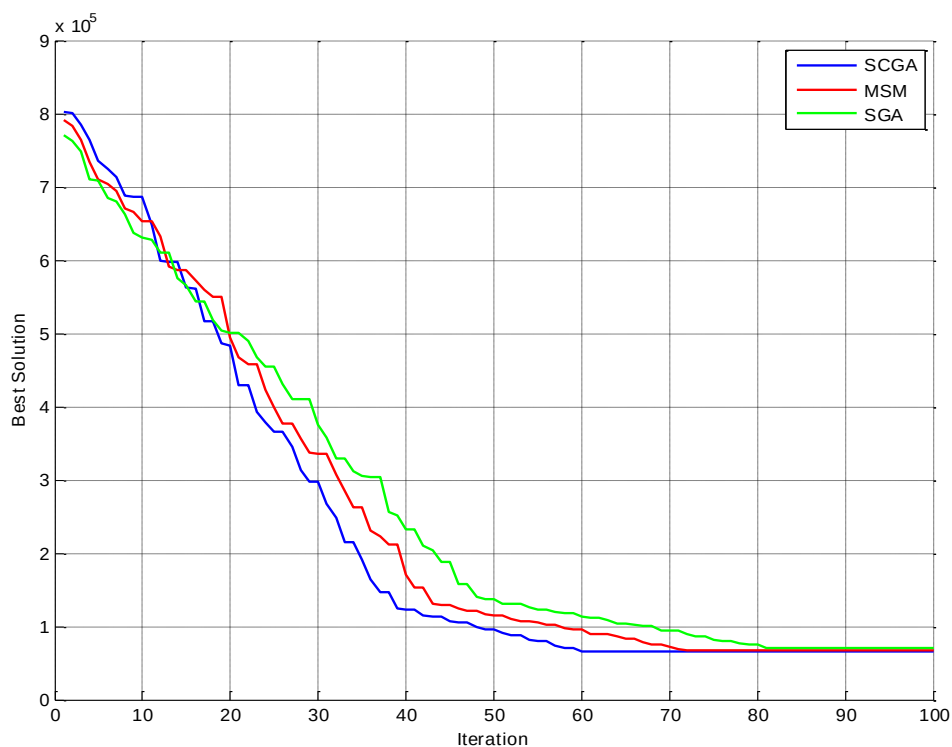
جدول ۶-۲۷. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶)

مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه	عضو
IPB۲۴	۲۴۳	IPB۲۴	۲۲۱	IPB۲۴	۱۹۹	IPB۱۸	۱۷۷
IPB۲۴	۲۴۴	IPB۲۴	۲۲۲	IPB۲۴	۲۰۰	IPB۱۸	۱۷۸
IPB۲۴	۲۴۵	IPB۲۴	۲۲۳	IPB۲۴	۲۰۱	IPB۱۸	۱۷۹
IPB۲۴	۲۴۶	IPB۲۴	۲۲۴	IPB۱۸	۲۰۲	IPB۲۲	۱۸۰
IPB۲۴	۲۴۷	IPB۲۴	۲۲۵	IPB۱۸	۲۰۳	IPB۲۲	۱۸۱
IPB۲۴	۲۴۸	IPB۲۴	۲۲۶	IPB۱۸	۲۰۴	IPB۲۲	۱۸۲
IPB۲۴	۲۴۹	IPB۲۴	۲۲۷	IPB۱۸	۲۰۵	IPB۲۲	۱۸۳
IPB۲۴	۲۵۰	IPB۲۴	۲۲۸	IPB۱۸	۲۰۶	IPB۱۸	۱۸۴
IPB۲۴	۲۵۱	IPB۲۴	۲۲۹	IPB۱۸	۲۰۷	IPB۱۸	۱۸۵
IPB۲۴	۲۵۲	IPB۲۴	۲۳۰	IPB۱۸	۲۰۸	IPB۱۸	۱۸۶
IPB۲۴	۲۵۳	IPB۲۴	۲۳۱	IPB۱۸	۲۰۹	IPB۲۴	۱۸۷
IPB۲۴	۲۵۴	IPB۱۸	۲۳۲	IPB۱۸	۲۱۰	IPB۲۴	۱۸۸
IPB۲۴	۲۵۵	IPB۱۸	۲۳۳	IPB۱۸	۲۱۱	IPB۲۴	۱۸۹
IPB۲۴	۲۵۶	IPB۱۸	۲۳۴	IPB۲۴	۲۱۲	IPB۲۴	۱۹۰
IPB۲۴	۲۵۷	IPB۱۸	۲۳۵	IPB۲۴	۲۱۳	IPB۲۴	۱۹۱
IPB۲۴	۲۵۸	IPB۱۸	۲۳۶	IPB۲۴	۲۱۴	IPB۲۴	۱۹۲
IPB۲۴	۲۵۹	IPB۱۸	۲۳۷	IPB۲۴	۲۱۵	IPB۲۴	۱۹۳
IPB۲۴	۲۶۰	IPB۱۸	۲۳۸	IPB۲۴	۲۱۶	IPB۲۴	۱۹۴
IPB۲۴	۲۶۱	IPB۱۸	۲۳۹	IPB۲۴	۲۱۷	IPB۲۴	۱۹۵
IPB۱۸	۲۶۲	IPB۱۸	۲۴۰	IPB۲۴	۲۱۸	IPB۲۴	۱۹۶
IPB۱۸	۲۶۳	IPB۱۸	۲۴۱	IPB۲۴	۲۱۹	IPB۲۴	۱۹۷
IPB۱۸	۲۶۴	IPB۲۴	۲۴۲	IPB۲۴	۲۲۰	IPB۲۴	۱۹۸

جدول ۶-۲۸. مقاطع بهینه اعضای قاب مثال (۶-۶)

عضو	مقطع بهینه	عضو	مقطع بهینه
۲۶۵	IPB۱۸	۲۸۷	IPB۲۴
۲۶۶	IPB۱۸	۲۸۸	IPB۲۴
۲۶۷	IPB۱۸	۲۸۹	IPB۲۴
۲۶۸	IPB۱۸	۲۹۰	IPB۲۴
۲۶۹	IPB۱۸	۲۹۱	IPB۲۴
۲۷۰	IPB۱۸	۲۹۲	IPB۱۸
۲۷۱	IPB۱۸	۲۹۳	IPB۱۸
۲۷۲	IPB۲۴	۲۹۴	IPB۱۸
۲۷۳	IPB۲۴	۲۹۵	IPB۱۸
۲۷۴	IPB۲۴	۲۹۶	IPB۱۸
۲۷۵	IPB۲۴	۲۹۷	IPB۱۸
۲۷۶	IPB۲۴	۲۹۸	IPB۱۸
۲۷۷	IPB۲۴	۲۹۹	IPB۱۸
۲۷۸	IPB۲۴	۳۰۰	IPB۱۸
۲۷۹	IPB۲۴	۳۰۱	IPB۱۸
۲۸۰	IPB۲۴	۳۰۲	IPB۲۴
۲۸۱	IPB۲۴	۳۰۳	IPB۲۴
۲۸۲	IPB۲۴	۳۰۴	IPB۲۴
۲۸۳	IPB۲۴	۳۰۵	IPB۲۴
۲۸۴	IPB۲۴	۳۰۶	IPB۲۴
۲۸۵	IPB۲۴		
۲۸۶	IPB۲۴		

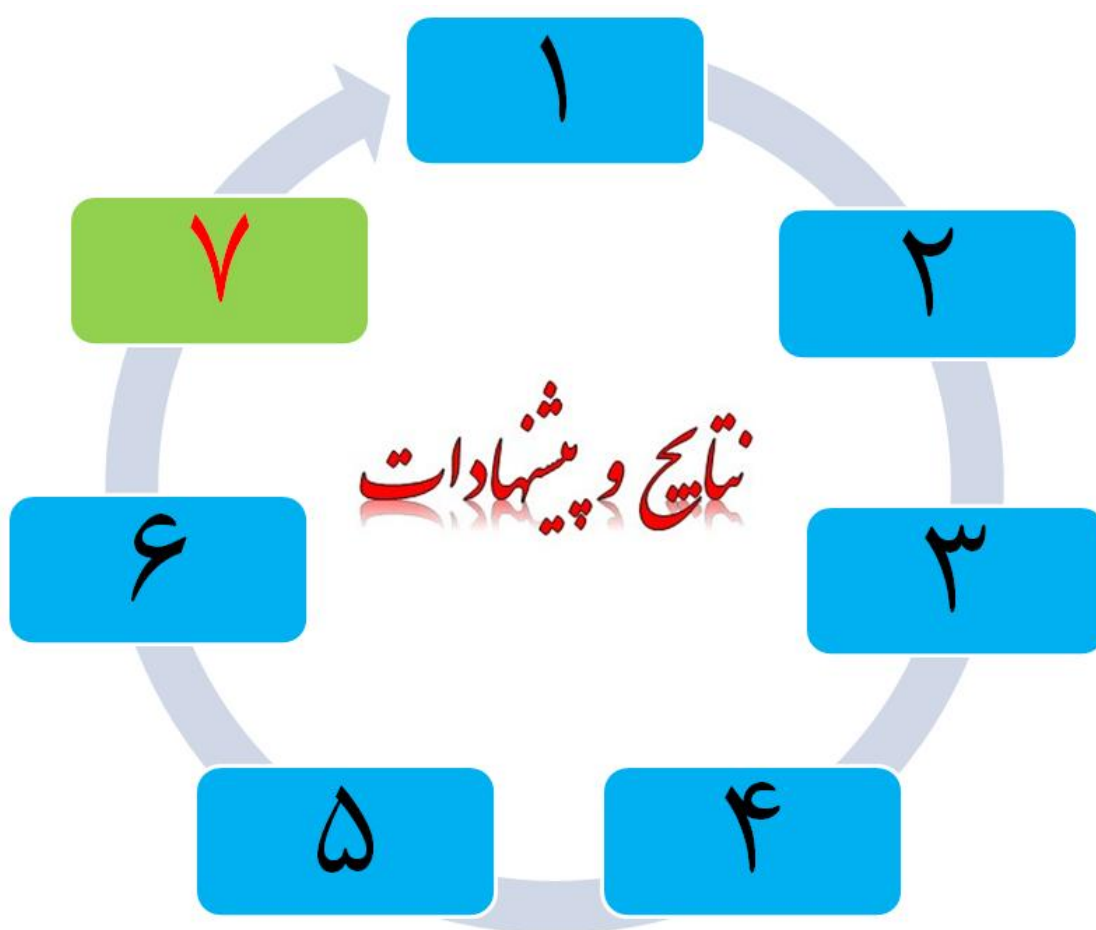
مقدار وزن سازه نیز ۶۸۵۸۶ کیلوگرم می باشد، سپس با استفاده از روش شاخه و کرانه، ۷۳ مسیر خرابی قاب بهینه شده حاصل می شود که با توجه به روش کرنل، حد بالا و پائین احتمال خرابی کل سازه به ترتیب برابر $۹/۸۲۱۹ \times ۱۰^{-۵}$ و $۳/۳۰۹۲ \times ۱۰^{-۶}$ می باشند که احتمال خرابی سیستم نیز همان حد بالای کرانه در نظر گرفته شده است که در محدوده مجاز خود قرار دارد. در شکل (۶-۱۷) نمودار عملکردی بین برنامه های بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی برای مثال (۶-۶) آورده شده است و مقایسه نتایج عددی بین جواب های بهینه هر سه روش با یکدیگر در جدول (۶-۲۹) آورده شده است.



شکل ۶-۱۷. مقایسه عملکرد بهینه یابی ژنتیک ساده، جستجوی چندمنظوره و روش پیشنهادی مثال (۶-۶)

جدول ۶-۲۹. مقایسه جواب بهینه برنامه های بهینه یابی متفاوت مثال (۶-۶)

$\frac{MSM}{SGA}$	$\frac{SCGA}{SGA}$	$\frac{SCGA}{MSM}$
٪ ۳/۹۱۹۰	٪ ۵/۹۲۲۳	٪ ۲/۰۰۳۳



۷-۱ مقدمه

در این فصل به بیان خلاصه ای از نتایج و دستاوردهای حاصل از این پایان نامه پرداخته می شود. همچنین با ارائه پیشنهاداتی، راه های آتی جهت ادامه پژوهش در این زمینه مطرح می گردد. هدف از انجام این پایان نامه، بهینه یابی سازه های قاب خمشی فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته تحت قیود قابلیت اعتماد اعضا و کل سازه بوده است. در این راستا نتایج و پیشنهاداتی به شرح زیر حاصل شده است.

۷-۲ نتایج

۱. ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های قابی در این پایان نامه با استفاده از روش شاخه و کرانه به عنوان روشی براساس مسیرهای خرابی انجام می شود تا از تقریب احتمال خرابی سیستم سازه ای با استفاده از احتمال خرابی اعضا که نتایج غیرقابل قبولی دارد، جلوگیری شود.
۲. در این پایان نامه، روندی گام به گام برای بدست آوردن احتمال خرابی اعضا و سیستم سازه ای مبتنی بر روش شاخه و کرانه برای سازه های قابی ارائه گردید که نتایج قابل قبولی را به دنبال داشته است.
۳. تحلیل قابلیت اعتماد سازه های قابی سه بعدی که تا پیش از این مورد چندان مورد تحقیق قرار گرفته نشده بود، انجام شد و برای آن برنامه ای به زبان برنامه نویسی متلب نوشته شد.
۴. در مورد برخی عملگرها و ثابت های مربوط به الگوریتم ژنتیک مانند بهبود در روش انتخاب رتبه بندی، بهبود در روش انتخاب چرخ گردان، ثابت مربوط به نقض قیود تابع جریمه پیشنهاداتی ارائه گردید که نتایج بهتری را دنبال داشت.

۵. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک جزیره ای با وجود در نظر گرفتن برخی از عملگرها در جزایر مختلف، باز هم شاید نتواند بهترین جواب را پس از اتمام نسل ها به ما بدهد. دلیل آن هم این است که به نوعی فقط چند ترکیب از عملگرها تحت جزایر محدود مورد ارزیابی قرار می گیرند. این در حالی است که ممکن است ترکیب های دیگری از پارامترها ژنتیک دارای جواب بهینه بهتری باشد. بنابراین ۲ روش الگوریتم ژنتیک در فصل پنجم ارائه گردید و در مثال هایی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاصل از آن، جواب بهینه بهتر، نسل همگرایی پائین تر در جواب بهینه (سرعت بهینه یابی بیشتر) و شیب بیشتر نمودار بهینه یابی در مرحله اول بهینه یابی (عملکرد بهینه یابی بهتر) را تامین نمود.

از جمله مزایای این روش ها می توان به تنوع بیشتر ترکیب عملگرها، عدم نیاز به پردازش موازی و سرعت بهینه یابی بیشتر اشاره نمود.

۳-۷ پیشنهادات

۱. در این تحقیق معیار طراحی، مقاومت نهایی پتانسیل های مفصل پلاستیک بوده است یعنی وقتی لنگر وارده به یک گره از مقاومت مجاز آن تجاوز نمود آن را به عنوان ضابطه خرابی تعریف کردیم این در حالی است که برای تحلیل قابلیت اعتماد جامع تر قاب ها، معیارهای خرابی دیگری مثل تجاوز نیروهای محوری المان ها از مقادیر مجاز آن ها، تجاوز تغییر مکانهای گرهی از مقادیر مجاز آن ها، کمانش ستون ها و سایر موارد را در نظر گرفت که پیشنهاد می شود در تحقیقات آینده مدنظر قرار گیرد.
۲. برای تحقیقات پیش رو پیشنهاد می شود که تحلیل قابلیت اعتماد سیستم سازه قاب خمشی با استفاده از روش های دیگر مانند روش جداکردن β ، روش های مبتنی بر برنامه ریزی غیر

خطی، روش های مبتنی بر برنامه ریزی خطی، روشهای نمو بار و تکنیک های ضابطه ای و روش پیکره های پایدار انجام شده و نتایج حاصل از آن با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

۳. یکی از مهم ترین معایب روش شاخه و کرانه برای تحلیل قابلیت اعتماد سازه های قاب خمشی، زمان زیادی است که صرف شناسایی محتمل ترین مسیرهای خرابی می شود بنابراین ارائه راهکارهایی که منجر به یافتن هرچه سریعتر این مسیرها شود، تاثیر بسیاری در افزایش سرعت بهینه یابی می شود.

۴. پیشنهاد می شود که در دو روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک، عوامل موثر بر نتایج آن مانند شیوه های دیگر انتخاب کروموزوم شایسته، ادغام های دیگر و سایر عوامل موثر بر الگوریتم ژنتیک در ترکیب های متفاوت اعمال شود و نتایج آن مورد تحقیق قرار گیرد.

۵. پیشنهاد می شود که دو روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته در فصل پنجم، برای سازه های قابی و خرابایی مختلف مورد استفاده قرار گیرد و نتایج حاصل از آن با نتایج دیگر روش های بهینه یابی مقایسه گردد.

۶. در صورتی که هر یک از ضوابط طراحی سازه ها را بتوان بصورت ضوابط معیار خرابی عنوان کرد، پس از تعریف پارامترهای موثر به جای کمیت های معین به صورت متغیرهای احتمالاتی، با استفاده از تحلیل قابلیت اعتماد می توان احتمال خرابی آن را محاسبه نمود بنابراین پیشنهاد می شود در تحقیقات آینده با ارائه این روابط و تحلیل قابلیت اعتماد آن، گام هایی را برای تهیه آئین نامه های طراحی جامع تری مبتنی بر قابلیت اعتماد برداشت که در آن ها، عدم قطعیت در پارامترها را اصولی تر از ضرایب اطمینان در نظر بگیرد.

مراجع

[1] Thoft-Christensen P. and Murotsu Y. (1986), "**Application of Structural Systems Reliability Theory**", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[2] Nowak A. and Collins K.R. (2000), "**Reliability of Structures**", McGraw-Hill, UK.

[۳] کاوه ع. کلات جاری و.ر. (۱۳۷۲) "نظریه قابلیت اعتماد و کاربرد آن در مهندسی سازه"،

دانشگاه علم و صنعت.

[4] Ditlevsen O., Madsen HO. (2003), "**Structural Reliability Methods, Department of Mechanical Engineering**", Technical, University of Denmark.

[5] Seung-Kyum Choi, Ramana V. Grandhi and Robert A. Canfield. (2006), "**Reliability-based Structural Design**", springer.

[6] Watwood VB (1979), "Mechanism generation for limit analysis of frames", **Journal of Structural Division, ASCE, 109, pp.1–15.**

[7] Wang J. and Ghosn M (2005), "Linkage-shredding genetic algorithm for reliability assessment of structural systems", **Structural Safety, 27, pp.49–72.**

[8] Yang L., Bo Yu. and Woody J. (2012), "System reliability analysis of spatial variance frames based on random field and stochastic elastic modulus reduction method", **Computers and Structures, 223, pp.109–124.**

[9] Abdelal G., Cooper J. and Robotham A. (2003), "Reliability assessment of 3D space frame structures applying stochastic finite element analysis", **Computers and Structures, 87, pp.1-9.**

[10] Jin-Jun Li and Guo-Qiang Li (2004), "Reliability-based integrated design of steel portal frames with tapered members", **Structural Safety, 26, pp.221–239.**

[۱۱] شایانفر م.ع. جهانی ا. (۱۳۸۸) "تئوری قابلیت اعتماد با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.

[۱۲] لطف الهی یقین م.ع. نگین م. (۱۳۸۹) " مطالعه اثر انحنای اولیه تصادفی بر قابلیت اعتماد قاب های فولادی " ، شماره ۴، دوره ۱۰، ص ۵۷.

[13] Logan Daryl L., (2007), "A First Course in the Finite Element Method", Fourth Edition, University of Wisconsin Platteville.

[14] Kassimali A. (2011), "Matrix Analysis of Structures", Second Edition, Southern Illinois University Carbondale.

[۱۵] طالب پور م. ح. ، (۱۳۸۷)، پایان نامه ارشد : " بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی خرپاها با استفاده از روش های نوین الگوریتم ژنتیک " ، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۱۶] قاسمی م.ر. آزادی ا. (۱۳۸۷) " بهینه یابی قابهای فولادی با استفاده از الگوریتم وراثتی هوشمند " ، نشریه دانشکده فنی تهران، شماره ۴، دوره ۴۲، ص ۴۶۵.

[۱۷] شهروزی م. راحمی ا.ع. (۱۳۸۹) " ویژه سازی جستجوی هماهنگی برای بهینه یابی در مهندسی عمران " ، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۱۸] قاسمی م.ع (۱۳۸۷) " بهینه یابی پیکره بندی مهاربندها در قاب های سه بعدی فولادی با استفاده از روش ترکیب ضرائب جریمه و الگوریتم ژنتیک " ، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۱۹] منصوریان پ.، (۱۳۹۰)، پایان نامه دکتری : " بهینه یابی سازه های خرپایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته تحت قید قابلیت اعتماد اعضا و کل سازه " ، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[20] Kalatjari V.R., Kaveh A. and Mansoorian P. (2011), "system reliability assessment of redundant trusses using improved algebraic force method and artificial intelligence", **Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)**, Vol.12, No.4, pp.523-550.

[۲۱] قاسمی م.ر. مستخدمین حسینی م.ر. (۱۳۸۷) " بهینه یابی سازه های فضاکار با در نظر گرفتن احتمال خرابی اعضا و گره ها به کمک الگوریتم وراثتی اصلاح شده " ، نشریه دانشکده فنی تهران، شماره ۴، دوره ۴۲، ص ۴۷۷.

[۲۲] مستخدمین حسینی م.ر. (۱۳۹۰) " بهینه سازی چند هدفی سازه های فضاکار با محدودیت لاغری با در نظر گرفتن احتمال خرابی اعضا و گره ها به کمک الگوریتم وراثتی اصلاح شده " ، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۲۳] قاسمی م.ر. قلعه نوی م. یوسفی م. (۱۳۸۷) " نقش احتمال خرابی گره ها در بهینه سازی سازه های قابی بر اساس نظریه قابلیت اعتماد " ، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۲۴] یوسفی م. قاسمی م.ر. (۱۳۸۹) " بررسی اثر متغیرهای تصادفی و احتمال خرابی مجاز اعضا بر ضریب اطمینان سازه های قابی فلزی بر اساس نظریه قابلیت اعتماد و به کمک الگوریتم وراثتی " ، اولین کنفرانس ملی سازه و فولاد.

[25] Ghasemi M.R and Yousefi M. (2011), "reliability-based optimization of steel frame structures using genetic algorithm", **Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)**, Vol.12, No.4, pp. 449-475.

[26] Ghasemi M.R. (1999), "Hinton E and Wood RD. Optimization of trusses using genetic algorithms for discrete and continuous variables", **Engineering Computations**, No. 3, 16, pp.272-301.

- [27] Cheng J. (2007), "Hybrid genetic algorithms for structural reliability analysis", **Computers and Structures**, 85, pp.1524–1533.
- [28] Prendes M. (2006), "Antonio Bello Garcia A and Coz Diaz J, Design optimization of 3D steel structures: Genetic algorithms vs. classical techniques", **Journal of Constructional Steel Research**, 62, pp.1303–1309.
- [29] Safari D., Maheri M.R. and Maheri A. (2011), "Optimum design of steel frames using a multiple-deme GA with improved reproduction operators", **Journal of Constructional Steel Research**, 67, pp.1232–1243.
- [30] Zhao Y.G. and Ono T. (2001), "Moment methods for structural reliability", **Structural Safety**, 23, pp.47-75.
- [31] Chent K., Zhang S. and Huangt W. (1996), "Artificial intelligence β -unzipping method in structural system reliability analysis", **Computers and Structures**, 60, pp.619-626.
- [32] Z h e n z h o u L u . , J u n S o n g a n d S h u f a n g S o n g . (2010), "Reliability sensitivity by method of moments", **Applied Mathematical Modeling**, 34, pp.2860–2871.
- [33] Gen M. and Cheng R. (1996), "Optimal Design of System Reliability Using Interval Programming and Genetic Algorithms", **Computers and Structures**, 31, pp.237–240.
- [34] Pourgharibshahi A. and Taghikhany T. (2012), "Reliability-based assessment of deteriorating steel moment resisting frames", **Journal of Constructional Steel Research**, 71, pp.219–230.
- [35] Tavakkoli R., Safari J. and Sassani F. (2008), "Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm", **Reliability Engineering and System Safety**, 93, pp.550–556.
- [36] Gasser M. (1997), "Reliability-Based Optimization of Structural Systems", **Mathematical Methods of Operations Research**, 46, pp.287-307.
- [37] Ponslet E., Maglaras G. and Haftka R.T. (1995), "Comparison of probabilistic and deterministic optimizations using genetic algorithms", **Structural Optimization**, 10, pp.247-257.
- [38] Tsompanakis Y. and Papadrakakis M. (2004), "Large-scale reliability-based structural optimization", **Structure Multidisc Optimization**, 26, pp.429–440.

[39] Mogami k., Nishiwaki Sh. and Izui K, (2006), "Reliability-based structural optimization of frame structures for multiple failure criteria using topology optimization techniques" , **Structure Multidisc Optimization**, 32, pp. 299–311.

[40] Coit D.W. and Smith A.E (1996), "Reliability optimization of series-parallel systems using a genetic algorithm", **IEE Transactions on Reliability**, 45, pp.254-266.

Abstract

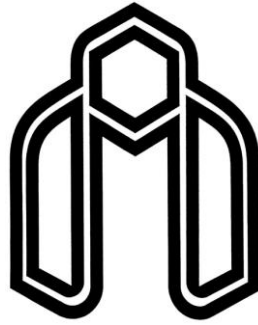
Although most of the design and optimization of structures, Effective parameters in their assumed to be Certain but Indeed the parameters such as load, yield strength, modulus of elasticity, cross-sectional area , length of element and etc. is not conclusive. so in the new methods for optimization of structures for More rational consideration of Parameters of non-deterministic instead of using safety factors some or all of the parameters rather than the absolute quantity are defined the random variables and until used design and optimization methods.

In this thesis assess the reliability of two-dimensional and three-dimensional frame structures, is performed with matrix formulation based on stiffness method and to determine the failure paths used from branch and bound method until prevent estimate the probability of failure of structural systems derived from probability of failure of elements that has unacceptable results.

Area selection optimization of steel moment frame structures is done without using of designed regulations and by considering the performance of structural systems and type of distribution of probability of random variables. Target of this optimization of this structure, is minimize structure weight with element reliability and system reliability constraints.

Optimization is done by using island genetic algorithm with parallel processing and also the proposed developed operators hybrid genetic algorithm methods. For this purpose, writed the programs by matlab programming language.

Keywords: Optimization, steel moment frame structures, island genetic algorithm, operators hybrid genetic algorithm, reliability theory, branch and bound method



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering
Structural Department

Reliability-based optimization of Steel moment frame structures using developed genetic algorithm

Morteza Shabestani

Supervisor

Dr. V. R. Kalatjari

Adviser

Dr. A. Keyhani

January 2014