

الله الرحمن الرحيم



دانشکده: عمران و معماری
گروه: عمران

عنوان رساله دکتری:

بهینه یابی سازه های خربایبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک
تعمیم یافته تحت قید قابلیت اعتماد اعضا و کل سازه

دانشجو: پوریا منصوریان

استاد راهنما:
دکتر وحیدرضا کلات جاری

رساله دکتری جهت اخذ درجه دکتری

ماه و سال انتشار:
مهرماه-۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنانکه وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر.
توانشان همه رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند.
آنانکه فروغ نگاهشان گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانی من است.
آنانکه راستی قامتم در شکستگی قامتشان تجلی یافت.
در برابر وجودشان زانوی ادب بر زمین می نهام و با دلی مملو از عشق و محبت و خضوع بر دستانشان بوسه
می زنم.
سر و جوشان همیشه سرسبز و استوار باد.

تشکر و قدردانی

با سپاس از زحمات و الطاف استاد بزرگوار جناب آقای دکتر کلات جاری که به رغم کلیه مشکلات موجود در زمان انجام این تحقیق، دلسوزانه و بردبارانه مرا یاری و راهنمایی فرمودند و نیز آقایان پرفسور علی کاوه و دکتر سعید محمدزاده که از مشاوره با ایشان بهره مند بوده ام. همچنین از آقایان مهندس امین قربانی و محمد حسین طالب پور صمیمانه قدردانی مینمایم.

تعهد نامه

اینجانب پوریان منصوریان دانشجوی دوره دکتری رشته عمران - سازه دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله بهینه یابی سازه های خریایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته تحت قید قابلیت اعتماد واعضا و کل سازه تحت راهنمایی دکتر وحیدرضا کلات جاری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این 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 تا کنون 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

در اکثر تحقیقات انجام شده بهینه یابی سازه ها بصورت قطعی و بدون درنظر گرفتن عدم قطعیت های موجود در عوامل دخیل می باشد. در سالهای اخیر مسأله قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای در امر بهینه سازی مورد توجه طراحان قرار گرفته است. لیکن با توجه به زمان بر بودن تحلیل قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای و بهینه سازی بر اساس آن، بسیاری از محققین با استفاده از فرضیات محافظه کارانه و ساده کننده، احتمال خرابی سیستم سازه ای را با توجه به احتمال خرابی اعضا تخمین زده اند که این امر منجر به نتایج نامطلوب اقتصادی شده است.

هدف این رساله بهینه یابی مقاطع خرپاهای فولادی سه بعدی، مستقل از هرگونه آیین نامه طراحی و با درنظر گرفتن عملکرد سیستم سازه ای، اثر همبستگی متغیرهای تصادفی و نوع توزیع واقعی آنها است، بطوریکه وزن سازه تحت تراز ایمنی خاص کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. در این بهینه سازی که نوعی طراحی تراز IV (4th Level) از تئوری قابلیت اعتماد می باشد، قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای جایگزین قیود متداول مانند تنش مجاز اعضا می شود.

در این تحقیق به منظور تسریع در بهینه یابی و تحلیل قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای از روش الگوریتم ژنتیک جزیره ای تعمیم یافته، پردازش موازی، روش تعمیم یافته تحلیل جبری نیروها و سیستم چند عاملی مبتنی بر تکنیک های هوش مصنوعی استفاده شده است. همچنین با استفاده از قوانین احتمال و روابط تئوری قابلیت اعتماد، روش شاخه و کرانه که یکی از روشهای مبتنی بر مسیرهای خرابی است، توسعه داده شده است.

با استفاده از راهکارهای پیشنهادی در این رساله، بهینه یابی سازه های خرپایی تحت قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای که تاکنون بدون نیاز به فرضیات ساده کننده فوق الذکر امری بسیار زمان بر و تقریباً غیر عملی بوده، در زمان قابل قبول صورت پذیرفته است.

کلمات کلیدی: بهینه یابی تحت قید قابلیت اعتماد، الگوریتم ژنتیک موازی جزیره ای، احتمال خرابی سیستم سازه ای، روش جبری بهبود یافته نیروها، روش شاخه و کرانه، هوش مصنوعی.

لیست مقالات مستخرج از رساله

- 1- V. Kalatjari, A. Kaveh, P. Mansoorian "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 (2011), pp. 523-550
- 2- V. Kalatjari, P. Mansoorian "Sizing and Topology Optimization of Trusses by Development of Algebraic Force Method and Parallel Genetic Algorithm " **6th National Congress on Civil Engineering, April 26-27, 2011, Semnan University, Semnan, Iran.**
- 3- V. Kalatjari, P. Mansoorian "Bi-level Reliability-Based Optimization of Trusses via Competitive Distributed Genetic Algorithm " **6th National Congress on Civil Engineering, April 26-27, 2011, Semnan University, Semnan, Iran.**

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه.....	۱
----------------------	---

فصل دوم : تئوری قابلیت اعتماد

۱-۲- مقدمه.....	۱۰
۲-۲- تئوری قابلیت اعتماد.....	۱۰
۳-۲- تحلیل قابلیت اعتماد عضو منفرد سازه ای.....	۱۱
۴-۲- تحلیل قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای.....	۱۲
۱-۴-۲- ارزیابی قابلیت اعتماد خرپاهای معین استاتیکی.....	۱۶
۲-۴-۲- ارزیابی قابلیت اعتماد خرپاهای نامعین استاتیکی.....	۱۷
۱-۲-۴-۲- تولید خودکار توابع حالت حدی.....	۱۸
۲-۲-۴-۲- روش شاخه و کرانه.....	۲۰
۱-۲-۲-۴-۲- عملیات شاخه ای.....	۲۱
۲-۲-۲-۴-۲- تنظیم کران های پایین و بالا.....	۲۲
۳-۲-۲-۴-۲- عملیات کرانه ای.....	۲۳
۵-۲- تعیین شاخص قابلیت اعتماد برای متغیرهای غیرنرمال و همبسته.....	۲۴
۱-۵-۲- روش ماتریسی راکویتز - فیسلر.....	۲۵
۶-۲- تکنیکهای شبیه سازی.....	۲۸
۷-۲- خلاصه روابط تئوری کمانش.....	۳۰

فصل سوم : بهینه یابی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

۱-۳- مقدمه و تاریخچه.....	۳۳
۲-۳- پردازش موازی در الگوریتم ژنتیک.....	۳۴
۳-۳- بهینه یابی غیر قطعی (احتمالاتی) سازه ها.....	۳۸

فصل چهارم : روش جبری نیروها

۱-۴- مقدمه.....	۴۰
۲-۴- فرمول بندی روش جبری نیروها.....	۴۰
۱-۳-۴- روش افراز LU.....	۴۲

فصل پنجم : راهکارهای پیشنهادی

۴۵	۱-۵- مقدمه
۴۵	۲-۵- راهکار اول: بهبود روش های مبتنی بر مسیرهای خرابی
۴۵	۱-۲-۵- راهکار ۱- ۱
۵۰	۲-۲-۵- راهکار ۱- ۲
۵۲	۳-۲-۵- راهکار ۱- ۳
۵۵	۴-۲-۵- راهکار ۱- ۴
۵۶	۳-۵- راهکار دوم: ایجاد رقابت بین جزایر موازی در الگوریتم ژنتیک
۶۳	۴-۵- راهکار سوم: بهبود فرمول بندی روش جبری نیروها
۶۶	۵-۵- راهکار چهارم: استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی
۶۶	۱-۵-۵- عامل هوشمند فاز اول
۷۱	۲-۵-۵- عامل هوشمند فاز دوم
۷۳	۳-۵-۵- عامل هوشمند فاز سوم
۷۷	۶-۵- حل مسأله بهینه یابی با راهکارهای پیشنهادی و ارتباط فصول رساله

فصل ششم : ارزیابی راهکارهای پیشنهادی با ارائه مثال

۸۰	۱-۶- مقدمه
۸۰	۲-۶- مثالها
۸۰	مثال ۱-۶: خرابی ۶ میله ای (راهکار ۳)
۸۲	مثال ۲-۶: خرابی ۱۶ میله ای (راهکارهای ۱-۱، ۲-۱، ۳، ۴-۱)
۸۴	مثال ۳-۶: خرابی ۲۵ میله ای (راهکارهای ۱، ۳، ۴-۱)
۸۷	مثال ۴-۶: خرابی ۷۲ میله ای (راهکارهای ۱، ۳، ۴-۱)
۹۰	مثال ۵-۶: خرابی ۱۲۰ میله ای (راهکارهای ۱، ۳، ۴-۱)
۹۳	مثال ۶-۶: خرابی ۲۵ میله ای (راهکار ۴-۳)
۹۴	مثال ۷-۶: خرابی ۲۵ میله ای (کلیه راهکارها)
۹۸	مثال ۸-۶: خرابی ۱۲۰ میله ای (کلیه راهکارها)
۱۰۱	مثال ۹-۶: خرابی ۲۵ میله ای (اثر کماتش)

فصل هفتم : نتایج و پیشنهادها

۱۰۵	۱-۶- مقدمه
۱۰۵	۲-۶- نتایج
۱۱۱	۳-۶- پیشنهادها

۱۱۴	مراجع
-----	-------------

فهرست جداول

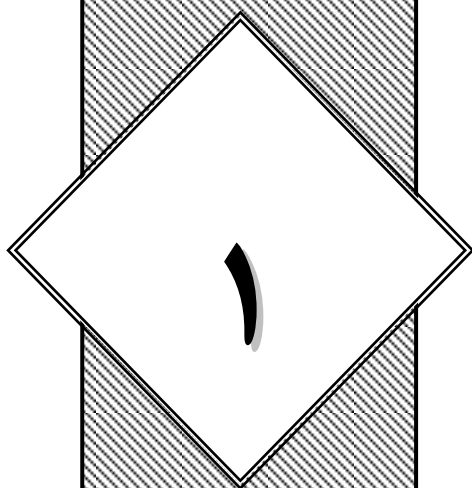
جدول ۱-۳	مشخصات سیستم های کامپیوتری مورد استفاده	۳۷
جدول ۲-۳	مشخصات جزایر در پردازش موازی	۳۷
جدول ۱-۵	سطح مقطع اعضای خربای ۱۶ میله ای	۴۸
جدول ۲-۵	مسیرهای خرابی منشعب از مسیر ناقص 5→7	۴۹
جدول ۳-۵	سطح مقطع اعضای سازه بهینه با روش های DGA, SGا و CDGA	۵۹
جدول ۴-۵	مقایسه کارایی روش های DGA, SGا و CDGA	۶۰
جدول ۵-۵	زمان صرف شده در روش های مختلف (s)	۶۰
جدول ۶-۵	مختصات گره ها در مثال ۳-۵ (سانتیمتر)	۶۱
جدول ۷-۵	بارهای وارد بر سازه ۱۰ گرهی و گره های نظیر	۶۱
جدول ۸-۵	گروه بندی اعضا و تنشهای مجاز کششی و فشاری نظیر	۶۱
جدول ۹-۵	سطح مقطع بهینه بدست آمده با روشهای DGA, SGا و CDGA	۶۲
جدول ۱۰-۵	مقایسه کارایی روش های DGA, SGا و CDGA	۶۲
جدول ۱۱-۵	زمان صرف شده در روش های مختلف (s)	۶۳
جدول ۱-۶	داده های آماری بار در خربای ۶ میله ای	۸۱
جدول ۲-۶	مقایسه دو روش سختی و نرمی پیشنهادی در خربای ۶ میله ای	۸۱
جدول ۳-۶	مقایسه دو روش سختی و نرمی در خربای ۶ میله ای	۸۲
جدول ۴-۶	سطح مقطع اعضای خربای ۱۶ میله ای	۸۳
جدول ۵-۶	تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۲-۶	۸۳
جدول ۶-۶	سطح مقطع اعضای خربای مثال ۳-۶	۸۵
جدول ۷-۶	مختصات گره ها در مثال ۳-۶ (سانتیمتر)	۸۵
جدول ۸-۶	داده های آماری بارهای وارده مثال ۳-۶ (کیلوگرم)	۸۶
جدول ۹-۶	تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۳-۶	۸۶
جدول ۱۰-۶	تاثیر راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱ در مثال ۳-۶	۸۷
جدول ۱۱-۶	سطح مقطع اعضای خربای مثال ۴-۶	۸۸
جدول ۱۲-۶	داده های آماری بارهای وارده مثال ۴-۶ (کیلوگرم)	۸۹
جدول ۱۳-۶	تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۴-۶	۸۹
جدول ۱۴-۶	تاثیر راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱ در مثال ۴-۶	۹۰
جدول ۱۵-۶	سطح مقطع اعضای گروه گنبد مثال ۵-۶	۹۱
جدول ۱۶-۶	تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۵-۶	۹۲
جدول ۱۷-۶	تاثیر راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱ در مثال ۵-۶	۹۲
جدول ۱۸-۶	بررسی تأثیر راهکار ۳-۴	۹۳

جدول ۶-۱۹. نتایج بهینه یابی مثال ۶-۷ و مقایسه با مراجع دیگر	۹۵
جدول ۶-۲۰. تاثیر راهکارهای پیشنهادی در مثال ۶-۷.....	۹۶
جدول ۶-۲۱. اثر ضرایب پراکندگی در خرابای مثال ۶-۷.....	۹۸
جدول ۶-۲۲. اثر ضرایب پراکندگی در خرابای مثال ۶-۸.....	۱۰۰
جدول ۶-۲۳. نتایج بهینه یابی مثال ۶-۹ و مقایسه با مراجع دیگر	۱۰۱
جدول ۶-۲۴. تأثیر لحاظ نمودن قید کمانش	۱۰۲

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. سیستم سازه ای سری و مدل قابلیت اعتماد آن [۴۳]..... ۱۴
- شکل ۲-۲. سیستم سازه ای موازی و مدل قابلیت اعتماد آن [۴۳]..... ۱۵
- شکل ۱-۳. طرح شماتیک از روش Master - Slave..... ۳۴
- شکل ۲-۳. طرح شماتیک از نحوه تقسیم جمعیت و مهاجرت بین جزایر..... ۳۵
- شکل ۱-۵. طرح شماتیک از شاخه های منشعب از $i \rightarrow j$ ۴۶
- شکل ۲-۵. نمایش کوچکترین اشتراک در نمودار ون..... ۴۶
- شکل ۳-۵. خرپای ۱۶ میله ای مثال ۱-۵..... ۴۸
- شکل ۴-۵. قطع شاخه های منشعب از $i \rightarrow j$ براساس راهکار ۲-۱..... ۵۱
- شکل ۵-۵. خرپای نامعین m عضوی که در آن اعضای i, j و k دچار خرابی شده اند..... ۵۳
- شکل ۶-۵. مسیرهای خرابی منشعب از $i \rightarrow j \rightarrow k$ و $i \rightarrow k \rightarrow j$ ۵۴
- شکل ۷-۵. چگونگی انتخاب جزیره مقصد..... ۵۷
- شکل ۸-۵. سازه ی مبنای خرپای ۶ گره ای..... ۵۸
- شکل ۹-۵. سازه بهینه برای خرپای ۶ گره ای..... ۵۹
- شکل ۱۰-۵. سازه مبنای خرپای ۱۰ گره ای مثال ۳-۵..... ۶۰
- شکل ۱۱-۵. سازه بهینه خرپای ۱۰ گرهی مثال ۳-۵..... ۶۲
- شکل ۱۲-۵. گنبد ۱۲۰ میله ای..... ۶۴
- شکل ۱-۶. خرپای ۶ میله ای مثال ۱-۶..... ۸۰
- شکل ۲-۶. خرپای ۱۶ میله ای مثال ۲-۶..... ۸۲
- شکل ۳-۶. خرپای ۲۵ میله ای مثال ۳-۶..... ۸۵
- شکل ۴-۶. خرپای ۷۲ میله ای مثال ۴-۶..... ۸۸
- شکل ۵-۶. خرپای ۷۲ میله ای مثال ۵-۶..... ۹۱
- شکل ۶-۶. نحوه کارکرد جزایر موازی با یکدیگر..... ۹۷

فصل



مقدمه



هدف از بهینه یابی در مهندسی سازه بدست آوردن بیشترین بازده با صرف کمترین مصالح است. عبارت دیگر سازه طرح شده باید از یک سو ایمن و دارای حد بهره برداری خوب باشد بطوریکه در برابر بارهای خارجی هیچیک از قیود را نقض نکند و از سوی دیگر باید از کمترین هزینه و به نوعی از کمترین مصرف مصالح برخوردار باشد.

معمولاً از دو روش در امر بهینه یابی سازه ها استفاده شده است؛ روشهای مبتنی بر مفاهیم ریاضی [۶-۱] و روشهای مبتنی بر جستجوی تصادفی^۱ (روشهای فرا اکتشافی)^۲ [۷-۱۶]. برخی از روشهای ریاضی عبارتند از: برنامه ریزی خطی^۳، برنامه ریزی خطی همگن^۴، برنامه ریزی پویا^۵ و برنامه ریزی غیر خطی^۶. روشهای ریاضی بطور کلی سریع به جواب می رسند و از دقت بالایی برخوردارند لیکن استفاده از آنها معمولاً با مشکلاتی همراه است. اجرای صحیح این روشها مستلزم انجام مشتق گیری و نیز انتخاب نقطه شروع مناسب است. از طرفی نسخه های قدیمی این روشها در برخی مسائل بهینه یابی که در آنها توابع غیرمحدب در نظر گرفته می شوند دچار مشکل می شوند و از طرف دیگر استفاده از نسخه های جدید مانند برنامه ریزی پویا نیز مستلزم انجام محاسبات پیچیده است [۱۶].

روشهای مبتنی بر جستجوی تصادفی امروزه جایگزین مناسبی برای روشهای ریاضی محسوب می شوند که بدون انجام محاسبات پیچیده به سمت بهینه مطلق حرکت می کنند. برخی از معروفترین این روشها عبارتند از: الگوریتم تکاملی^۷ [۷-۹]، الگوریتم ژنتیک^۸ [۱۰-۱۱]، امپراتوری مورچگان^۹ [۱۲]، اجتماع حشرات^{۱۰} [۱۳]، شبیه سازی بازپخت فلزات^{۱۱} [۱۴]، الگوریتم جستجوی جاذبه ای^{۱۲} [۱۵] و الگوریتم جستجوی ذرات باردار^{۱۳} [۱۶-۱۸].

¹ Random search-based methods

¹³ Charged system search

² Meta-heuristic methods

³ Linear programming

⁴ Homogenous linear programming

⁵ Dynamic programming

⁶ Non-linear programming

⁷ Evolutionary algorithm

⁸ Genetic algorithm

⁹ Ant colony optimization

¹⁰ Particle swarm optimizer

¹¹ Simulated annealing

¹² Gravitational

با اینکه تلاشهای زیادی در امر بهینه یابی سازه ها صورت پذیرفته است، لیکن در اکثر این موارد، بهینه یابی بصورت قطعی و بدون در نظر گرفتن هرگونه عدم قطعیت انجام شده است. صرف نظر کردن از عدم قطعیت های موجود در پدیده هایی چون بارهای وارده، جنس مصالح، نوع اتصال واقعی اعضا، کیفیت اجرا و غیره به منزله انتخاب یک مدل غیر واقعی از مسأله مورد طراحی بوده و به جوابهای نادرست منتهی می شود. از طرفی در نظر گرفتن این عوامل عدم قطعیت باعث ایجاد یک فضای احتمالاتی در روند تحلیل، طراحی و بهینه یابی سازه ها می شود. لذا برای اطمینان از عملکرد صحیح یک سازه ابتدا باید چنین عواملی را که باعث ایجاد عدم قطعیت می شوند، با دقت شناسایی کرد. بدین منظور با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد می توان روابط طراحی مناسب را چنان تدوین نمود که احتمال خرابی سازه طراحی شده قابل تعیین باشد.

از اوایل قرن گذشته استفاده از تئوری قابلیت اعتماد در مسائل مهندسی سازه مورد توجه طراحان قرار گرفته است. اولین فرمولبندی ریاضی از مسائل ایمنی سازه ها توسط مایر^{۱۳} در سال ۱۹۲۶، استرلتزکی^{۱۴} در سال ۱۹۴۷ و ویرزبیک^{۱۵} در سال ۱۹۳۶ بیان گردیده است. آنها بار و مقاومت را کمیت های احتمالاتی در نظر گرفته و در نتیجه برای هر سازه احتمال مشخصی از خرابی در نظر گرفته بودند. کار آنها در سال ۱۹۵۶ توسط فردنتال^{۱۶} توسعه یافت. کاربرد عملی تحلیل قابلیت اعتماد امکان پذیر نبود تا اینکه این کار توسط کرنل^{۱۷} و لیند^{۱۸} در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ انجام گردید. کرنل یک روش لنگر دوم در تعیین شاخص قابلیت اعتماد را در سال ۱۹۶۹ پیشنهاد نمود. هاسوفر^{۱۹} 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^{۲۰} و فیسلر^{۲۱} بیان شد.

-
- 1- Mayer
 - 2- Streletzki
 - 3- Wierzbicki
 - 4- Freudenthal
 - 5- Cornell
 - 6- Lind
 - 7- Hasofer
 - 8- Rackwitz
 - 9- Fiessler

در انتهای دهه ۱۹۸۰ روشهای قابلیت اعتماد به مرحله بلوغ رسیدند و روشهایی برای تعیین مسیرهای خرابی حاکم در سیستم های سازه ای و احتمال نظیر آن معرفی شد. همچنین روشهایی برای بهینه یابی سازه ها در چارچوب قابلیت اعتماد ارائه شد.

در سالهای اخیر کتابهای متعددی در این زمینه، توسط افراد مختلف نوشته شده که فهرست آنها در مراجع [۱۹-۲۰] آمده است و این تئوری به صورت قابل توجهی گسترش یافته و هم اکنون از آن در توسعه مقررات طراحی جدید استفاده می گردد. لیکن در حال حاضر اکثر آیین نامه های مبتنی بر نظریه قابلیت اعتماد تنها برای طراحی اعضای سازه کاربرد دارد و سیستم سازه را در طراحی مد نظر قرار نمی دهند. در سالهای نه چندان دور می توان انتظار داشت که روشهای آنالیزی مورد استفاده برای مدلهای رفتاری سیستم سازه توسعه بیشتری پیدا نمایند.

در یک روند تئوریک تحلیل قابلیت اعتماد^{۲۲} احتیاج به تعریف خرابی^{۲۳} است تا بتوان براساس آن شاخص ایمنی^{۲۴} و احتمال خرابی را تعیین نمود. خرابی در سازه ها معمولاً به دو صورت تعریف می شود. در حالت اول، از کار افتادن هر یک از اعضا به منزله خرابی است. تعیین احتمال خرابی اعضا به صرف زمان قابل توجهی احتیاج ندارد. در حالت دوم خرابی بصورت ایجاد مکانیزم در سیستم سازه (فروپاشی سازه) تعریف می شود. در این حالت تأثیر عملکرد اعضا بر روی یکدیگر در نظر گرفته می شود. تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای در سازه های متعارف مستلزم شناسایی و تحلیل تعداد بسیار زیادی از مکانیزم های خرابی و صرف زمان قابل توجه است. روشهای متعددی برای تخمین احتمال خرابی سیستم سازه ای ارائه شده که از بین آنها معمولاً روشهای شبیه سازی و روشهای مبتنی بر مسیرهای خرابی بیشتر مورد توجه بوده است [۲۱].

از روشهای شبیه سازی معمولاً برای تعیین احتمال خرابی و نیز تأیید نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی دیگر استفاده می شود [۲۲-۲۴]. در روش های شبیه سازی بارهای تصادفی و

²² Reliability analysis

²³ failure

²⁴ Reliability index

مقاومت اعضا با توجه به داده های آماری نظیر آنها به دفعات شبیه سازی شده و مقادیر آنها در توابع مرزی از پیش تعیین شده قرار داده می شود. هر بار منفی شدن هر یک از این توابع مرزی به منزله انهدام سازه است. در نهایت نسبت دفعات وقوع خرابی به تعداد کل شبیه سازی ها برابر با احتمال خرابی سیستم سازه ای در نظر گرفته می شود. استفاده از این گونه روش ها بسیار ساده است لیکن در مورد مسائل متعارف که در آنها احتمال خرابی سیستم سازه ای بسیار کوچک است، نیاز به شبیه سازی با تعداد بسیار زیاد بوده و لذا استفاده از روشهای شبیه سازی در این موارد تقریباً غیر عملی است [۲۱].

در روشهای مبتنی بر مسیرهای خرابی مانند روش شاخه و کرانه^{۲۵} [۲۵] و روش مسیرهای کوتاه شده^{۲۶} [۲۶] ابتدا مسیرهای خرابی بصورت خودکار تولید می گردند [۲۵، ۲۷-۲۹] و سپس با توجه به تعداد بسیار زیاد این مسیرها، مسیرهای محتمل خرابی از مسیرهای کم اهمیت جدا شده و کران بالا و پایین احتمال خرابی سیستم سازه ای بر اساس مسیرهای خرابی محتمل برآورد می شود. تحقیقات زیادی به منظور امکان استفاده از مسیرهای خرابی محتمل در تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای صورت پذیرفته است [۳۰-۳۴].

استفاده از روشهای مبتنی بر مسیرهای خرابی با مشکلاتی همراه است که عمده ترین معایب آن، زمان زیاد لازم برای تعیین مسیرهای خرابی و اختلاف زیاد کرانه های بالا و پایین است. تلاشهایی برای رفع این مشکلات انجام شده است [۳۵]، لیکن هنوز امکان استفاده از این روشها با توجه به زمان بودنشان، در مسائل بهینه یابی سازه ها وجود ندارد.

در سالهای گذشته با توجه به مشکلات یاد شده تلاش های فراوانی صورت پذیرفته است تا احتمال خرابی یک سیستم سازه ای با استفاده از فرضیات ساده کننده و محافظه کارانه بطور مستقیم از روی احتمال خرابی اعضا تخمین زده شود. در مرجع [۳۶] برای ارزیابی قابلیت اعتماد سازه به ارزیابی احتمال خرابی اعضا و تاثیر هریک از آنها بر روی احتمال خرابی کل سازه پرداخته شده است. در

²⁵ Branch and bound method

²⁶ Truncated enumeration method

مراجع [۲۵، ۳۷-۴۰] بهینه یابی سازه با قید احتمال خرابی سیستم سازه ای صورت پذیرفته، لیکن مقدار این احتمال بطور بسیار محافظه کارانه برابر با مجموع احتمال خرابی اعضای سازه فرض شده است. استفاده از چنین فرضیات دست بالا به سازه های سنگین تر و گران تر از سازه بهینه واقعی منتج می شود. در مرجع [۲۱] با اعمال فرضیاتی در نوع همبستگی بین متغیرهای تصادفی مسأله و در نظر گرفتن درجات نامعینی سازه یک روش سریع برای تخمین احتمال خرابی سیستم از روی احتمال خرابی اعضای منفرد ارائه شده است. همچنین در مرجع [۴۱] به تحلیل قابلیت اعتماد قابهای دوبعدی مهارشده ضربدری تا سه طبقه در برابر زلزله پرداخته شده است. در این تحقیق برای محاسبه شاخص قابلیت اعتماد از نقش خرابی تیرها و ستونها صرفنظر شده و به این ترتیب احتمال خرابی هر طبقه بصورت موازی از خرابی بادبندهای آن و سپس احتمال خرابی سیستم بصورت سری از احتمال خرابی طبقات بدست آمده است.

تلاشها و ساده سازیهای انجام شده در این تحقیقات نشان دهنده آنست که زمان محاسبات بقدری زیاد است که عملاً بدون فرضیات ساده کننده امکان بهینه یابی سازه های متعارف وجود ندارد. بطور کلی بهینه یابی سازه تحت قید قابلیت اعتماد برای سازه های بزرگ امری بیش از حد زمان بر بوده و به همین دلیل علیرغم تلاشهای بسیار، تعداد تحقیقاتی که در آنها بصورت موفقیت آمیز به حل مثالهای عددی بزرگ پرداخته شود کم بوده و تنها قابها و خرپاهای بسیار کوچک مورد بهینه سازی قرار گرفته است [۴۲]. با توجه به آنچه بیان شد ارائه یک روش سریع برای شناسایی مسیرهای مهم انهدام می تواند کمک مهمی در زمینه تحلیل قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای باشد.

هدف از این تحقیق مستقل از هرگونه آیین نامه طراحی، بهینه یابی مقاطع خرپاهای فولادی سه بعدی با اعضای شکل پذیر است، بطوریکه وزن سازه تحت تراز ایمنی خاص کمترین مقدار ممکن را داشته باشد. در این بهینه سازی که نوعی طراحی تراز IV (4th Level) می باشد، قیود قابلیت اعتماد اعضا و قابلیت اعتماد کل سیستم سازه ای جایگزین قیود متداول مانند تنش مجاز اعضا می شود. در این تحقیق برای بهبود نتایج بهینه یابی از روش الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته با متغیرهای گسسته

استفاده خواهد شد. همچنین بارگذاری و تحلیل سازه بصورت استاتیکی و خرابی سازه بصورت ایجاد ناپایداری موضعی یا کلی در نظر گرفته می شود. متغیرهای تصادفی موجود بصورت همبسته و با توزیع احتمال واقعی در نظر گرفته می شوند.

در فصل دوم این رساله شرحی بر تئوری قابلیت اعتماد سیستم سازه ای و روابط آن ارائه شده است. و نحوه استخراج روابط بهبود یافته برای تخمین سریع احتمال خرابی سیستم سازه ای در بخش اول فصل پنجم بیان می شود.

بهینه یابی با استفاده از الگوریتم ژنتیک همواره با مشکلاتی روبرو بوده است. در این تحقیق برای برطرف کردن معایب اصلی این الگوریتم از تکنیک های خاصی استفاده شده است. بعنوان مثال در این تحقیق از جزایر متفاوت برای بهینه یابی استفاده شده است تا از وابستگی این الگوریتم به پارامترهایش کاسته شود. همچنین برای کاهش بیشتر زمان محاسبات از پردازش موازی که انطباق بسیار مناسبی با الگوریتم مذکور دارد استفاده شده است. در این تحقیق همچنین برای بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک جزیره ای تکنیک های خاصی ابداع شده است. در فصل سوم مطالب یاد شده در مورد الگوریتم ژنتیک تشریح شده و در بخش دوم فصل پنجم تکنیک های ابداعی مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

در این تحقیق همچنین تغییراتی در فرمول بندی روش جبری نیروها²⁷ ایجاد شده است که امکان استفاده از آن را در تحلیل قابلیت اعتماد ایجاد می کند. استفاده از روش جبری نیروها نسبت به روش مرسوم سختی دارای مزایای قابل توجهی بوده، لیکن روابط آن به گونه ای است که برای خرپاهای با توپولوژی متفاوت نمی توان از آن استفاده کرد. در این رساله تغییراتی در فرمول بندی روش نیروها ایجاد شده است که بوسیله آن می توان خرپاهای با توپولوژی متفاوت را تحلیل نمود. مختصری از مطالب مفید روش جبری نیروها در فصل چهارم و شرح نحوه پیدایش روابط توسعه یافته در بخش سوم از فصل پنجم ارائه می شود.

²⁷ Algebraic force method

یکی دیگر از ویژگی های این تحقیق استفاده از تکنیک های هوش مصنوعی^{۲۸} در امر بهینه یابی است. از عوامل هوشمند^{۲۹} در سه فاز متفاوت در این تحقیق استفاده شده است. وظیفه اصلی این عوامل جلوگیری از انجام هرگونه عملیات اضافی یا تکراری است. عامل اول از کنترل های اضافی در مورد مسیرهای خرابی تکراری در طول نسل های مختلف الگوریتم ژنتیک جلوگیری می کند. عامل دوم مسئولیت تعیین شایستگی کروموزوم های برتر که شانس حضور بیشتری دارند را بعهده دارد. عامل سوم کروموزوم های ناشایسته را در حین تحلیل شناسایی کرده و از محاسبات اضافی جلوگیری می کند. نحوه کارکرد این عوامل هوشمند در بخش چهارم از فصل پنجم مورد بررسی قرار می گیرد. پس از معرفی کلیه راهکارهای پیشنهادی، در پایان فصل پنجم به بررسی ارتباط این راهکارها (یا عبارتی فصول مختلف رساله) با یکدیگر پرداخته می شود و نحوه حل مسأله بهینه یابی با قید احتمال خرابی سیستم سازه ای بطور اجمالی شرح داده می شود.

در فصل ششم مثالهای بهینه یابی با استفاده از راهکارهای پیشنهادی در این رساله ارائه شده و با نتایج مراجع گذشته مورد مقایسه و بررسی قرار می گیرد. در نهایت در فصل هفتم نتایج بدست آمده و برخی پیشنهادها ارائه می شود.

²⁸ Artificial intelligence

²⁹ Intelligent agents

فصل

۲

تئوری قابلیت اعتماد

در این فصل برخی مفاهیم در زمینه قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای به اختصار شرح داده می شود. ارائه راهکار پیشنهادی برای توسعه روش های مبتنی بر مسیرهای خرابی به بخش اول فصل پنجم موکول می شود.

۲ ۴ - تئوری قابلیت اعتماد

اولین گام در تئوری قابلیت اعتماد بیان تعریفی در مورد خرابی است. تعریف خرابی در مسائل مهندسی امری است که کاملاً بعهد مهندس طراح است، لیکن عموماً دو تعریف در مسائل مهندسی سازه های خرابی متداول است.

تعریف اول خرابی عبارتست از تجاوز تنش محوری موجود در هر یک از میله های منفرد از مقاومت نظیر آنها. در این دیدگاه از اندرکنش اعضا صرفنظر شده و با ایجاد اولین خرابی در هر یک از این اعضا، سازه خراب فرض می شود. احتمال وقوع خرابی در این حالت با توجه به میانگین و واریانس متغیرهای تصادفی مسأله قابل محاسبه است. هنوز در بسیاری از آیین نامه های طراحی اعضای سازه بصورت منفرد و بدون در نظر گرفتن عملکرد سازه ای صورت می پذیرد. در این صورت مشخص نیست که افزایش ایمنی یک عضو، قطعاً به افزایش ایمنی سیستم سازه ای منجر شود. این امر به درجات نامعینی استاتیکی، شکل پذیری مصالح، خصوصیات موده های خرابی و پیکربندی سیستم سازه ای بستگی دارد [۴۳].

در دیدگاه دوم، خرابی بصورت فروپاشی کلی سازه (ایجاد مکانیزم) در نظر گرفته می شود. در این حالت کل سیستم سازه بصورت یکپارچه مورد تحلیل واقع شده و تأثیر عملکرد اعضا بر روی یکدیگر مد نظر قرار می گیرد. در این حالت مسیرهایی که منجر به ایجاد خرابی شده تشکیل و احتمال آنها تعیین می شود. در نهایت احتمال خرابی سیستم سازه ای با در نظر گرفتن کلیه این مسیرها تعیین

می شود. با توجه به زیاد بودن مسیرهای خرابی، تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای معمولاً زمان زیادی صرف می کند.

نحوه تحلیل قابلیت اعتماد عضو سازه ای در اکثر مراجع معتبر مانند [۱۹، ۲۵، ۴۳] قابل مطالعه بوده و لذا در این رساله فقط برخی روابط آن بصورت مختصر ارائه می شود. پس از آن نحوه تحلیل قابلیت سیستم های سازه ای با استفاده از برخی تعاریف و تکنیک ها مورد بحث قرار می گیرد.

۲-۳- تحلیل قابلیت اعتماد عضو منفرد سازه ای

نخست یک حالت خاص که به مسأله اساسی قابلیت اعتماد معروف است، مورد بررسی قرار می گیرد. یک میله خریا با سطح مقطع A و مقاومت تسلیم σ_y تحت تاثیر بار کششی S مفروض است. بنابراین مقاومت میله از رابطه $R=A.\sigma_y$ بدست می آید. شایان ذکر است که در خصوص میله های خریا با بار فشاری مقاومت آنها با در نظر گرفتن روابط مربوط به تئوری کمانش ارزیابی شده و خدشه ای به کلیت مفاهیمی که در آینده ارائه می شود وارد نمی گردد. روابط مربوط به تعیین مقاومت میله های فشاری در اکثر مراجع طراحی سازه های فولادی قابل دسترسی بوده و در بخش پایانی این فصل بطور خلاصه ارائه می گردد. تابع حاشیه ایمنی برابر با تفاضل مقاومت و بار، مطابق رابطه زیر تعریف می شود:

$$M = R - S \quad (۱-۲)$$

بدون وجود عدم قطعیت (یعنی در یک فضای قطعی)، چنانچه بار بوجود آمده در عضو به مقاومت آن نرسد عضو بدون تردید سالم است. لیکن با در نظر گرفتن عدم قطعیت در بار یا مقاومت، این احتمال وجود دارد که مقدار بار موجود در عضو از مقاومت آن تجاوز نماید که نشاندهنده وقوع خرابی است. رویداد خرابی F با مفهوم تجاوز بار از مقاومت هنگامی رخ می دهد که تابع حاشیه ایمنی M کوچکتر از صفر شود.

$$F \equiv M < 0 \equiv R - S < 0 \quad (2-2)$$

چنانچه R و S متغیرهای تصادفی نرمال و غیر همبسته باشند آنگاه M نیز که ترکیب خطی این دو متغیر است، متغیر تصادفی نرمال خواهد بود. بنابراین میانگین و واریانس M از معادلات ۲-۳ و ۲-۴ قابل محاسبه است.

$$\bar{M} = \bar{R} - \bar{S} \quad (3-2)$$

$$\sigma_M^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (4-2)$$

در روابط فوق $\bar{R}$ و σ_R میانگین و انحراف معیار مقاومت و $\bar{S}$ و σ_S میانگین و انحراف معیار بار است.

کمیت β شاخص ایمنی و احتمال خرابی نظیر آن P_f را می توان با استفاده از روابط زیر تعیین کرد [۴۴]:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} = \frac{\bar{M}}{\sigma_M} \quad (5-2)$$

$$P_f = \Pr[M \leq 0] = \int_{-\infty}^{-\beta} P(u) \, du \quad (6-2)$$

تعیین شاخص قابلیت اعتماد و احتمال خرابی در حالت کلی توابع چگالی احتمال غیر نرمال مستلزم حل انتگرال های پیچیده است. به جای این کار می توان از روش راکویتز - فیسler که در بخش ۲-۵-۱ این فصل ارائه می شود، استفاده نمود [۱۹].

۲-۴- تحلیل قابلیت اعتماد سیستم های سازه ای

برای بررسی وضعیت سیستم یک سازه ابتدا باید ساختار آن مشخص باشد. در ادامه چند ساختار متداول معرفی می شود. برای معرفی ساختار یک سیستم نخست باید آن را با استفاده از توابع ریاضی صورت بندی نمود.

به طور کلی برای هر سیستم دو وضعیت در نظر گرفته میشود: "سیستم فعال"^{۳۰} و "سیستم غیر فعال"^{۳۱} که به کمک متغیر دو حالتی ϕ می توان وضع سیستم را بصورت زیر مشخص نمود :

$$\phi = \begin{cases} 1 & \text{functioning system} \\ 0 & \text{failed system} \end{cases} \quad (۷-۲)$$

وضعیت عضو i ام یک سیستم که دارای n عضو متمایز است را نیز می توان با متغیر دو حالتی x_i نمایش داد :

$$\text{For } i=1,2,\dots,n$$

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{functioning } x_i \\ 0 & \text{failed } x_i \end{cases} \quad (۸-۲)$$

وضعیت سیستم همواره تابعی از وضعیت اعضای آن است و آن را می توان به صورت تابعی از بردار $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ مانند $\phi(x)$ نمایش داد. تابع ϕ را تابع ساختار^{۳۲} سیستم می گویند. تعداد اعضای یک سیستم را مرتبه سیستم می گویند، بنابراین در حالت فوق $\phi(x)$ تابع ساختار یک سیستم از مرتبه n است.

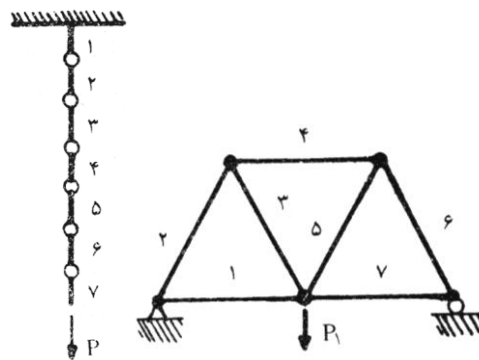
³⁰ -functioning system

³¹ -failed system

³² -structure function

سیستم سری^{۳۳} [۲۵، ۴۳]:

در شکل (۱-۲) یک سیستم سازه ای سری و مدل قابلیت اعتماد آن نشان داده شده است. در این سیستم با خرابی هر عضو، کل سیستم دچار خرابی می گردد. سازه های معین استاتیکی و از جمله خراباهای معین مثالهایی از این نوع سیستم ها هستند.



شکل ۱-۲. سیستم سازه ای سری و مدل قابلیت اعتماد آن [۴۳]

بنابراین تابع ساختار این سیستم را می توان توسط رابطه زیر نمایش داد :

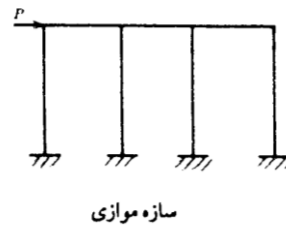
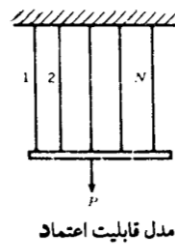
$$\phi(x) = \bigcap_{i=1}^n x_i = \min(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (۹-۲)$$

سیستم موازی^{۳۴} :

در شکل (۲-۲) یک سیستم سازه ای موازی و مدل قابلیت اعتماد آن نشان داده شده است. در این سیستم پس از خرابی عضوی خاص (چنانچه شکل پذیر باشد)، توزیع مجدد نیرو در اعضای باقیمانده انجام می پذیرد و این عمل آنقدر ادامه می یابد تا سیستم دچار انهدام شود [۴۳].

³³ - series system

³⁴ - parallel system



شکل ۲-۲. سیستم سازه ای موازی و مدل قابلیت اعتماد آن [۴۳]

بنابراین تابع ساختار این سیستم را می توان به شکل زیر نوشت :

$$\phi(x) = \bigcup_{i=1}^n x_i = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (10-2)$$

که در آن :

$$\bigcup_{i=1}^n x_i = 1 - \bigcap_{i=1}^n (1 - x_i) \quad (11-2)$$

- ساختار k از n ^{۳۵} [۳۹]:

این سیستم فعال است اگر حداقل k عضو از n عضو سیستم فعال باشد. تابع ساختار این سیستم

عبارت است از :

$$(x) = \begin{cases} 1 & \sum_{i=1}^n x_i \geq k \\ 0 & \sum_{i=1}^n x_i < k \end{cases} \quad (12-2)$$

یک ساختار n از n مترادف با سیستمی است که باید تمام اعضای آن فعال باشد تا فعال شود و

لذا این نوع سیستم قطعاً یک سیستم سری است. همچنین اگر $k=1$ باشد یعنی برای فعال بودن

سیستم کافی است یکی از اعضای آن فعال باشد که این مشخص کننده سیستم موازی است.

اکثر سازه ها ترکیبی از مدل‌های موازی و سری هستند. در یک خرپای نامعین که دارای چندین مسیر محتمل خرابی است، میله های موجود در هر مسیر خرابی موازی هستند زیرا فقط با خرابی تمامی آنها خرپا فرو می پاشد. از طرفی تمامی این مسیرهای خرابی با هم سری هستند زیرا با وقوع هر یک از آنها خرپا ناپایدار می شود. به بیان دیگر رویداد تشکیل یک مسیر خرابی هم ارز با اشتراک رویدادهای خرابی اعضا تشکیل دهنده آن است و رویداد خرابی یک سازه با اجتماع رویدادهای مسیرهای خرابی هم ارز است. با توجه به همبستگی های موجود در مسائل عملی تعیین دقیق احتمال اشتراک و اجتماع این رویدادها مستلزم حل اینتگرال های چندگانه است [۲۵، ۴۳]. به جای حل این اینتگرال های پیچیده می توان بطور ساده از روشهای کرانه ای استفاده کرد. کاربرد این روشهای کرانه ای بسیار ساده بوده و تنها احتیاج به محاسبه اینتگرال یک بعدی تابع چگالی احتمال نرمال دارد. نحوه تعیین برخی از کران های معروف و پرکاربرد در مراجع [۱۹-۲۰، ۲۵، ۴۵] قابل مطالعه است.

۲-۴-۱- ارزیابی قابلیت اعتماد خرپاهای معین استاتیکی

همانگونه که بیان شد خرپاهای معین استاتیکی جزو سیستم های سری محسوب می شوند زیرا با خرابی اولین عضو آنها انهدام کل سازه اتفاق می افتد. بنابراین پیشامد خرابی هر عضو یک مود خرابی محسوب می گردد. حاشیه ایمنی مود (عضو) i ام یک خرپای معین n میله ای را می توان به صورت زیر نوشت :

$$M_i = R_i - S_i; i = 1, 2, \dots, n \quad (2-13)$$

در رابطه فوق S_i نیروی ایجاد شده در میله i ام است. R_i مقاومت میله مورد بحث چنانچه کششی باشد از رابطه (۲-۱۴) تعیین می شود و در غیر اینصورت با استفاده از روابطی که در فصل پایانی ارائه خواهد شد تعیین می شود:

$$R_i = A_i \cdot \sigma_y \quad (۱۴-۲)$$

که در آن A_i و σ_y به ترتیب سطح مقطع و تنش تسلیم میله است. پیشامد خرابی هر مود (عضو) عبارت است از :

$$M_i < 0; i = 1, 2, \dots, n \quad (۱۵-۲)$$

احتمال وقوع این پیشامد خرابی با استفاده از مطالب بیان شده در بخش ۲-۳ قابل تعیین است. اکنون احتمال خرابی کل سازه مطابق رابطه زیر تعیین می گردد :

$$\begin{aligned} P_f &= P[M_1 < 0 \cup M_2 < 0 \cup \dots \cup M_n < 0] \\ &= 1 - P[M_1 > 0 \cap M_2 > 0 \cap \dots \cap M_n > 0] \end{aligned} \quad (۱۶-۲)$$

مقدار P_f چنانچه بارهای وارده و مقاومت اعضاء دارای توزیع نرمال نباشند توسط انتگرال گیری چندگانه به دست می آید، لیکن معمولاً احتمال خرابی سازه همانگونه که بیان شد توسط روشهای کرانه ای ارزیابی می گردد.

۲-۴-۲ - ارزیابی قابلیت اعتماد خرابیهای نامعین استاتیکی

همانطور که پیشتر ذکر شد یکی از تعاریف خرابی برای سازه ها رسیدن به ناپایداری کلی است. یک خرابی نامعین استاتیکی با خرابی اولین عضو لزوماً دچار فروپاشی نمی شود. در این گونه سازه ها با حذف هر عضو شکل پذیر بار آن بین اعضاء دیگر توزیع شده و سازه جدید مورد تحلیل واقع می شود. چنانچه این سازه جدید هنوز پایدار باشد عضوی دیگر حذف می شود. این روند تا جایی ادامه می یابد که شرط خرابی سازه ارضا شود. شرط خرابی در هر سازه جدید صفر شدن دترمینان ماتریس سختی کل است.

$$|K| = 0 \quad (۱۷-۲)$$

در این حالت اعضایی که حذف آنها باعث ایجاد خرابی شده است یک مسیر خرابی را تشکیل می دهند. در حالت کلی یک سازه از مسیرهای گوناگونی به ناپایداری می رسد. همانگونه که بیان شد با وقوع هر یک از این مسیرهای خرابی، سازه دچار انهدام می شود. این بدان معنی است که این مسیرهای خرابی با یکدیگر سری هستند. در نهایت تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای با توجه به تعداد زیاد مسیرهای خرابی در سازه های متعارف، معمولاً با روش کرانه ای کرنل [۱۹، ۲۵، ۴۳] صورت می پذیرد.

روشهای متعددی برای ارزیابی قابلیت اعتماد سازه های نامعین و شناسایی مودهای خرابی حاکم وجود دارد. از جمله می توان روش جداکردن β ^{۳۶} [۲۵]، روش شاخه و کرانه^{۳۷} [۲۵، ۳۲، ۴۶-۴۸]، روش افزایش بار^{۳۸} [۴۹-۵۰] و روش مسیرهای قطع شده^{۳۹} [۲۶] را نام برد.

در این تحقیق از میان روشهای فوق، از روش شاخه و کرانه استفاده شده و بهبود در روابط آن صورت پذیرفته است. پیش از شرح عملکرد روش شاخه و کرانه باید یکی از مهمترین مراحل آن یعنی نحوه تولید توابع حالت حدی مورد بررسی قرار گیرد.

۲-۴-۱- تولید خودکار توابع حالت حدی [۲۵]

یک خرپای نامعین n عضوی با l بار وارد بر آن مفروض است. خرابی خرپا در این حالت لزوماً با خرابی یک عضو آن ایجاد نمی شود و باید تعدادی از اعضای آن خراب شود تا سازه به ناپایداری برسد. رویداد خرابی $F_i^{(1)}$ یعنی منفی شدن تابع حالت حدی عضو i در سازه اولیه^{۴۰} طبق رابطه زیر تعریف می شود.

$$F_i^{(1)} \equiv (M_i^{(1)} < 0) \equiv R_i - S_i < 0 \quad (18-2)$$

¹ - β - unzipping

³⁷ - branch - and - bound method

³⁸ Incremental load method

³⁹ Truncated enumeration method

⁵- intact structure

بالانویس (۱) به معنی سازه اولیه است که هنوز هیچ عضو آن خراب نشده است. معمولاً در اعضای شکل پذیر، خرابی عضو بصورت تسلیم آن تعریف می شود. R_i مقاومت میله i و S_i نیروی موجود در آن است. مقاومت میله i از رابطه ۲-۱۴ بدست می آید.

نیروی ایجاد شده در میله i در اثر بارهای وارده از تحلیل خرپا مطابق رابطه زیر تعیین می شود.

$$S_i = \sum_{j=1}^l a_{ij}^{(1)} \cdot L_j \quad (19-2)$$

در رابطه اخیر $a_{ij}^{(1)}$ نشان دهنده بار ایجاد شده در میله i در اثر اعمال بار واحد در راستای بار L_j در خرپای اولیه است. با تعیین مقادیر بدست آمده برای مقاومت و بار از روابط ۲-۱۴ و ۲-۱۹ و جایگذاری در رابطه ۲-۱۸ تابع حالت حدی هر عضو خرپا و سپس احتمال خرابی هر عضو بدست می آید. اکنون عضوی که بیشترین احتمال خرابی را دارد انتخاب شده و ماتریس سختی نظیر آن برابر صفر قرار داده می شود. چنانچه عضو مذکور شکل پذیر و الاستو پلاستیک کامل باشد نیروی موجود در آن (مقاومت میله) بصورت یک نیرو به خرپای جدید اعمال شده و دوباره تحلیل انجام می شود. در این تحقیق اعضا شکل پذیر و الاستو پلاستیک کامل فرض می شود. عمل حذف اعضا و باز توزیع نیروها تا جایی ادامه می یابد که خرپا ناپایدار شود. در روش سختی مطابق رابطه ۲-۱۷، صفر شدن دترمینان ماتریس سختی کل نشان دهنده وقوع ناپایداری است.

نیروی میله i در مرحله p ام پس از باز توزیع نیروی میله های r_1 تا r_{p-1} چنین تعیین می شود:

$$S_i^{(p)} = \sum_{j=1}^l a_{ij}^{(p)} \cdot L_j - \sum_{k=1}^{p-1} b_{ir_k}^{(p)} R_{r_k} \quad (20-2)$$

در رابطه فوق ضریب $b_{ir_k}^{(p)}$ نیروی بوجود آمده در میله i به ازای اعمال نیروی واحد در راستای میله r_k و در مرحله p ام است. لذا تابع حالت حدی در مرحله p ام از رابطه زیر تعیین می شود.

$$M_i^{(p)} = A_i \sigma_{y_i} + \sum_{k=1}^{p-1} b_{ir_k}^{(p)} R_{r_k} - \sum_{j=1}^l a_{ij}^{(p)} \cdot L_j \quad (21-2)$$

شایان ذکر است که برای تعیین ضرایب a به l بار تحلیل سازه (به تعداد بارهای وارده) و برای تعیین ضرایب b به $p-1$ بار تحلیل سازه (به تعداد میله های حذف شده) احتیاج است و به همین دلیل تعیین تابع حالت حدی امری زمان بر خواهد بود.

ضریب همبستگی بین دو رویداد مرحله j ام (خرپای فاقد میله های r_1 تا r_{j-1}) و مرحله k ام (خرپای فاقد میله های r_1 تا r_{k-1}) از رابطه زیر بدست می آید.

$$\rho(F^{(j)}, F^{(k)}) = \rho_{jk} = \frac{COV(F^{(j)}, F^{(k)})}{\sigma_{F^{(j)}} \cdot \sigma_{F^{(k)}}} \quad (22-2)$$

در رابطه اخیر $F^{(j)}$ و $F^{(k)}$ بیانگر رویداد های مراحل j ام و k ام است. مقدار دقیق احتمال مشترک دو رویداد با فرض نرمال بودن متغیر های تصادفی و داشتن ضریب همبستگی و شاخص ایمنی دو رویداد مذکور از تبدیل انتگرال دوگانه رابطه ۲-۲۳ به انتگرال یک بعدی رابطه ۲-۲۴ مطابق مرجع [۲۰] بدست می آید. در این تحقیق متغیرهای تصادفی نرمال در نظر گرفته می شوند.

$$P_{jk} = \int_{-\infty}^{-\beta_j} \int_{-\infty}^{-\beta_k} \varphi_2(x_1, x_2, t) dx_1 dx_2 \quad (23-2)$$

$$P_{jk} = \Phi(-\beta_j) \Phi(-\beta_k) + \int_0^{\rho_{jk}} \varphi_2(-\beta_j, -\beta_k, t) dt \quad (24-2)$$

در این روابط تعیین مقادیر β_j و β_k در صورتی که متغیرهای تصادفی دارای توزیع نرمال نباشد با استفاده از روابط بخش ۲-۳ امکان پذیر نیست. در این حالت همانگونه که بیان شد از روش راکویتز - فیسler که در پایان این فصل ارائه خواهد شد، استفاده می شود. در روابط فوق φ_2 تابع چگالی احتمال نرمال استاندارد دو متغیره و Φ تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد یک متغیره بوده و با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند.

$$\varphi_2(x_1, x_2, \rho) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{x_1^2 + x_2^2 - 2\rho x_1 x_2}{2(1-\rho^2)}\right) \quad (26-2)$$

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

۲-۲-۴-۲- روش شاخه و کرانه

همانگونه که بیان شد در این تحقیق برای شناسایی مسیرهای خرابی حاکم و تعیین احتمال خرابی سیستم خریهای نامعین از روش شاخه و کرانه استفاده شده است. این روش شامل سه مرحله کلی است که در ادامه شرح داده می شود.

۲-۲-۴-۱- عملیات شاخه ای

در عملیات شاخه ای، عضو r_i در مرحله i ام از یک مسیر چنان انتخاب می شود که خرابی آن نسبت به سایر اعضای باقیمانده، بیشترین احتمال مشترک را با خرابی اولین عضو آن مسیر یعنی r_1 داشته باشد.

$$P(F_{r_1}^{(1)} \cap F_{r_i}^{(i)}) = \max\{P(F_{r_1}^{(1)} \cap F_j^{(i)})\} \quad (27-2)$$

$; j = \{\text{survived members}\}$

بالا نویس i در رابطه فوق نشان دهنده خرابی است که اعضای r_1 تا r_{i-1} خود را از دست داده است. احتمال وقوع یک مسیر در مرحله i ام شامل اعضای حذف شده r_1 تا r_{i-1} از رابطه زیر بدست می آید.

$$P_i = P\left\{\bigcap_{j=1}^i (F_{r_j}^{(j)})\right\} \quad (28-2)$$

روند فوق تا مرحله F که سازه ناپایدار می شود ادامه می یابد. تعیین احتمال مشترک رابطه فوق زمانی که تعداد اعضا از ۳ بیشتر است بسیار دشوار و زمان بر بوده و در این حالت معمولاً از روابط تقریبی استفاده می شود [۳۵]. در مرجع [۲۵] از فرمول تقریبی (۲۹-۲) برای تخمین رابطه فوق استفاده شده است.

$$P\{\bigcap_{j=1}^i (F_{r_j}^{(j)})\} \leq \min [P(F_{r_j}^{(j)} \cap F_{r_i}^{(i)})] \quad (29-2)$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1, \quad j = i, \dots, n-1$$

در مرجع [۴۸] از رابطه زیر برای تخمین احتمال خرابی یک مسیر استفاده شده است.

$$P_{f_F} = \text{Min}\{P_{f_{1,2}}, P_{f_{1,3}}, \dots, P_{f_{1,F}}\} \quad (30-2)$$

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

مزیت استفاده از فرمول تقریبی اخیر این است که نیازی به ذخیره سازی داده های مربوط به کلیه مراحل عملیات شاخه ای نیست و فقط لازم است نتایج مربوط به مرحله اول یعنی سازه اولیه ذخیره شود. به این ترتیب صرفه جویی مناسبی در حجم داده ها و زمان محاسبات پدید می آید و لذا در این رساله از رابطه مذکور برای تخمین احتمال وقوع هر مسیر خرابی استفاده شده است.

۲-۴-۲-۲-۲-۲-۲ تنظیم کران های پایین و بالا

بر اساس روش کرنل احتمال خرابی سازه بزرگتر یا مساوی حداکثر احتمال خرابی کلیه مسیرها و کوچکتر یا مساوی مجموع احتمالات خرابی مسیرها است. لذا در روش شاخه و کرانه طبق روش کرنل کران بالا و پایین احتمال خرابی یعنی $P_{fs,U}$ و $P_{fs,L}$ به شرح زیر تعیین می شود.

- کران پایین : پس از تخمین احتمال خرابی هر مسیر جدید $P_{f, new}$ در حین عملیات شاخه ای (از رابطه ۳۰-۲) شرط زیر کنترل می شود.

یا $P_{f, new} / \text{احتمال محتمل ترین مسیری که تاکنون بدست آمده یعنی } MaxP_f \text{ بزرگتر است یا}$

خیر؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، مقدار $P_{f, new}$ در $MaxP_f$ قرار داده می شود.

$$\text{if } P_{f, new} > MaxP_f \Rightarrow MaxP_f = P_{f, new} \quad (31-2)$$

طبق مطالب بیان شده $P_{fs,L}$ برابر با احتمال محتمل ترین مسیر خرابی است. بنابراین در پایان عملیات شاخه و کرانه مقدار $MaxP_f$ به عنوان کران پایین احتمال خرابی سیستم سازه ای در نظر گرفته می شود.

$$P_{fs,L} = MaxP_f \quad (32-2)$$

- کران بالا: پس از تعیین $P_{f, new}$ مطابق آنچه گفته شد این مقدار با مجموع احتمالات خرابی مسیرهایی که تاکنون بدست آمده یعنی $SumP_f$ جمع می شود.

$$SumP_f = SumP_f + P_{f, new} \quad (33)$$

همانگونه که بیان شد $P_{fs,U}$ برابر با مجموع احتمالات مسیرهای خرابی است. بنابراین در پایان عملیات شاخه و کرانه $SumP_f$ به عنوان کران بالای احتمال خرابی سازه در نظر گرفته می شود.

$$P_{fs,U} = SumP_f \quad (34-2)$$

۲-۴-۲-۳- عملیات کرانه ای

این عملیات مشخص می کند که آیا ادامه عملیات شاخه ای از عضوی که کاندیدای خرابی شده است، یک مسیر خرابی محتمل را تشکیل خواهد داد یا خیر. اعضای که شرط فوق را نداشته باشند توسط عملیات کرانه ای کنار گذاشته شده و عملیات شاخه ای از آنها ادامه نمی یابد.

احتمال وقوع یک مسیر در طول عملیات شاخه ای مرتباً کاهش می یابد. بعبارت دیگر احتمال آنکه اعضای ۱ تا P خراب شود کمتر از احتمال خرابی اعضای ۱ تا $P-1$ است. اکنون زمانی که در عملیات شاخه ای قرار است اعضا در مسیرهای خرابی جدید انتخاب شوند می توان احتمال وقوع آنها را با $MaxP_f \times 10^{-n}$ مقایسه کرد. چنانچه احتمال وقوع مسیر جدید قبل از تشکیل مکانیزم کوچکتر از عدد فوق باشد، با اضافه شدن عضوهای بعدی احتمال آن کوچکتر هم خواهد شد. لذا در همین مرحله می توان نتیجه گرفت که مسیر یاد شده نمی تواند مسیر مناسبی باشد. به عملیات حذف مسیرهای با

احتمال کوچکتر، عملیات کرانه ای می گویند. انتخاب مقدار n بستگی به دقت مسأله و نظر طراح دارد. هرچه مقدار n بزرگتر در نظر گرفته شود تعداد مسیرهای صرف نظر شده کمتر بوده و دقت محاسبات بالاتر است. از طرف دیگر می توان نتیجه گرفت که محتمل ترین مسیری که در عملیات کرانه ای کنار گذاشته شده است، احتمال وقوع کوچکتری نسبت به $10^{-n} \times \text{Max}P_f$ دارد. عملیات شاخه و کرانه تا جایی ادامه می یابد که دیگر هیچ عضوی برای انتخاب وجود نداشته باشد.

برخی از روابطی که تاکنون ارائه شد صرفاً مختص به متغیرهای نرمال و غیرهمبسته است. در بخش ۵-۲ نحوه تعیین شاخص قابلیت اعتماد برای حالت کلی که متغیرهای مسأله همبسته و غیر نرمال است، ارائه می شود.

۵-۲- تعیین شاخص قابلیت اعتماد برای متغیرهای غیرنرمال و همبسته

در مسائل عملی فرض توزیع نرمال برای کلیه متغیرهای تصادفی فرض مناسبی نیست. برای مثال برای مدل کردن مقاومت اعضای خرپا استفاده از توزیع نرمال با توجه به منفی نبودن مقاومت میله ها صحیح نبوده و در این حالت استفاده از توزیع لوگ نرمال مناسب است [۱۹، ۲۵]. بارهای دائمی را نیز معمولاً با توزیع نرمال و بارهای متحرک را با تابع حالت حدی نوع اول در نظر می گیرند [۱۹، ۲۵].

از طرفی اکثر بارهای وارده به سازه تقریباً کاملاً همبسته هستند زیرا منشأ ایجاد آنها مشابه است. با توجه به آنچه بیان شد برای ایجاد یک مدل واقعی باید کلیه همبستگی ها و نوع واقعی توزیع احتمال در نظر گرفته شود. در حالت کلی (با فرض متغیرهای همبسته با توزیع واقعی)، استفاده از روابطی که در بخش های قبل ارائه شد برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد مناسب نبوده و از روش ماتریسی اصلاح شده راکویتز - فیسler [۱۹] استفاده می شود.

۲-۵-۱- روش ماتریسی راکویتز - فیسلر [۱۹]

همانگونه که بیان شد درحالتی که توزیع واقعی متغیرها نرمال نباشد استفاده از روابط گذشته برای تعیین شاخص قابلیت اعتماد صحیح نبوده و در این حالت می توان از روش راکویتز - فیسلر استفاده کرد. شایان ذکر است که روش راکویتز - فیسلر در حقیقت حالت تعمیم یافته روش هاسوفر - لیند است که در آن روابط برای توابع توزیع نرمال استخراج شده است. در روش تعمیم یافته یعنی راکویتز - فیسلر می توان مقدار شاخص قابلیت اعتماد را با استفاده از توابع " نرمال معادل"^{۴۱} در نقطه طراحی^{۴۲} بدست آورد. در این حالت تعیین نقطه طراحی و تعیین توزیع نرمال معادل مستلزم استفاده از روش تکرار است که در ادامه نحوه انجام آن ارائه می شود. همچنین همبستگی بین متغیرهای تصادفی در روش راکویتز - فیسلر لحاظ می شود. روش ماتریسی راکویتز - فیسلر گامهای زیر را شامل می گردد:

۱. معادله حالت حدی $g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$ را برحسب متغیرهای اصلی بیان می شود. نحوه تعیین معادله دقیقاً همان مراحل است که در حین استخراج رابطه ۲-۲۱ شرح داده شد.
۲. یک نقطه طراحی اولیه $\{X_i^*\}$ با فرض مقادیری برای $n-1$ متغیر تصادفی X_i بدست می آید. معمولاً استفاده از مقادیر میانگین برای انتخابهای اولیه مناسب است. برای تعیین مقدار متغیر تصادفی n ام معادله حالت حدی $g = 0$ حل می شود. این عمل اطمینان می بخشد که نقطه طراحی روی حد خرابی است.
۳. این گام در حقیقت همان برتری روش راکویتز - فیسلر نسبت به روش هاسوفر لیند است. در این گام مقادیر میانگین معادل نرمال μ_X^e و انحراف استاندارد معادل نرمال σ_X^e برای هریک از متغیرهای تصادفی که توزیع آنها نرمال نیست، تعیین می شود و بقیه مراحل مشابه روش هاسوفر - لیند است. روش تعیین مقادیر فوق بدین شرح است:

^{۴۱} Equivalent normal

^{۴۲} Design point

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

$$F_X(X^*) = \Phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) \quad (35-2)$$

$$f_X(X^*) = \frac{1}{\sigma_X^e} \phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) \quad (36-2)$$

در دو رابطه اخیر Φ و ϕ به ترتیب CDF و PDF توزیع نرمال استاندارد هستند.

از این دو معادله چنین نتیجه می شود:

$$\mu_X^e = X^* - \sigma_X^e [\Phi^{-1}(F_X(X^*))] \quad (37-2)$$

$$\sigma_X^e = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi\left(\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi[\Phi^{-1}(F_X(X^*))] \quad (38-2)$$

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

$$Z_i^* = \frac{X_i^* - \mu_{X_i}^e}{\sigma_{X_i}^e} \quad (39-2)$$

بدیهی است که در مورد متغیرهای تصادفی نرمال مقادیر μ_X^e و σ_X^e با μ_X و σ_X یکسان است.

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

$$\{Z^*\} = \begin{Bmatrix} Z_1^* \\ Z_2^* \\ \vdots \\ Z_n^* \end{Bmatrix} \quad (40-2)$$

۵. بردار G چنان تعریف می شود که درایه های آن مشتقهای جزئی از تابع حالت حدی در نقطه

طراحی Z^* ضرب در (-1) باشد.

$$\{G\} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \vdots \\ G_n \end{Bmatrix} \quad (41-2)$$

که در آن

$$G_i = - \frac{\partial g}{\partial Z_i} \Big|_{Z^*} \quad (42-2)$$

۶. تخمینی برای β با استفاده از فرمول زیر بدست می آید:

$$\beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{\rho\} \{G\}}} \quad (43-2)$$

۷. یک بردار ستونی شامل ضرایب حساسیت با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\{\alpha\} = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{\rho\} \{G\}}} \quad (44-2)$$

۸. با استفاده از فرمول زیر یک نقطه طراحی جدید بصورت متغیرهای کاهش یافته برای $n-1$

متغیر تصادفی تعیین می شود:

$$Z_i^* = \alpha_i \beta \quad (45-2)$$

۹. مقادیر متناظر نقطه طراحی در مختصات اصلی، برای $n-1$ متغیر تصادفی در گام ۸ با استفاده

از فرمول زیر تعیین می شود:

$$X_i^* = \mu_{X_i} + Z_i^* \sigma_{X_i} \quad (۴۶-۲)$$

۱۰. مقدار متغیر تصادفی باقیمانده (که در گامهای ۸ و ۹ یافته نشد) با حل تابع حالت حدی

$g=0$ تعیین می شود.

۱۱. گامهای ۳ تا ۱۰ تا زمانی که β و نقطه طراحی $\{X_i^*\}$ همگرا شوند تکرار می شوند.

برای آشنایی بیشتر با این روش می توان به مرجع [۱۹] مراجعه نمود.

۲-۶- تکنیکهای شبیه سازی

همانگونه که پیشتر بیان شد چندین تکنیک به منظور حل مسائل قابلیت اعتماد سازه ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد که روشهای شبیه سازی و روشهای مبتنی بر مسیرهای خرابی از متداول ترین آنها می باشد. تا اینجا مفاهیم و برخی روابط مربوط به روشهای مبتنی بر مسیرهای خرابی مورد بحث قرار گرفت. در این بخش روشهای شبیه سازی مورد بررسی قرار می گیرد. ایده اصلی در شبیه سازی همچنانکه که از نام آن پیداست، شبیه سازی از حیث عددی برخی پدیده ها و سپس مشاهده تعداد دفعات وقوع برخی رخدادها دلخواه است.

روش مونت کارلو یکی از معروفترین روشهای شبیه سازی است. از این روش می توان به منظور تولید نتایج عددی، بدون اینکه نیازی به انجام آزمایش باشد، استفاده نمود. در این تکنیک به منظور ایجاد توزیع های احتمالاتی متغیرهای تصادفی مهم و تولید نمونه های عددی از نتایج آزمایشهای گذشته (یا دیگر آزمایشها) استفاده می شود. برای نشان دادن ایده اصلی روش مونت کارلو مثالی مورد بحث قرار می گیرد.

در این مثال فرض می شود که در گذشته آزمایشهای عملی روی استوانه های بتنی برای تعیین مقاومت فشاری آنها (f'_c) صورت گرفته است و یک مجموعه از داده های حاصل در دست است. به این ترتیب هیستوگرام فراوانی نسبی داده ها قابل ترسیم است و همچنین فرض می شود که این هیستوگرام برازش قابل قبولی با توزیع لوگ نرمال داشته باشد.

حال ستون بتنی با ظرفیت تحمل بار فشاری $R = 0.85 f'_c A_c$ در نظر گرفته می شود که در این رابطه A_c سطح مقطع ستون و یک متغیر تصادفی است. همچنین بار وارده بر ستون مذکور (S) نیز یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین μ_s و انحراف معیار σ_s در نظر گرفته می شود. تابع حالت حدی در این حالت برابر است با:

$$M = R - S \quad (47-2)$$

خرابی ستون زمانی اتفاق می افتد که $R < S$ باشد:

$$P_f = P(R - S < 0) = P(M < 0) \quad (48-2)$$

تعیین احتمال خرابی فوق با استفاده از روش مونت کارلو شامل گامهای زیر است:

۱. تولید N عدد تصادفی برای f'_c با استفاده از اطلاعات موجود درباره نوع توزیع آن و

سپس محاسبه مقادیر نظیر $R = 0.85 f'_c A_c$.

۲. تولید N عدد تصادفی برای بار S ، با توجه به توزیع احتمال آن.

۳. محاسبه مقادیر $M = R - S$ و ذخیره مقادیر تولید شده M .

۴. تخمین احتمال خرابی با استفاده از رابطه زیر:

$$P_f \approx \frac{n}{N} \quad (49-2)$$

در رابطه اخیر n تعداد حالاتی است که $M < 0$ است. دقت این رابطه تقریبی با افزایش N بهبود

می یابد. در مرجع [۱۹] تعداد دفعات لازم شبیه سازی با توجه به دقت مورد نظر مورد بحث

قرار گرفته است. همچنین روشهای متنوعی برای تولید اعداد تصادفی با توجه به نوع توزیع آنها وجود دارد. در مرجع [۱۹] جزئیات تولید اعداد تصادفی ارائه شده است. روش مونت کارلو همانگونه که پیشتر بیان شد در مورد مسائل پیچیده که روش خاصی برای حل آن وجود ندارد و نیز برای کنترل نتایج حاصل از روشهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرد.

۷-۲- خلاصه روابط تئوری کمانش

همانگونه که پیشتر بیان شد خرابی در اعضای فشاری فولادی لزوماً در اثر جاری شدن فولاد صورت نمی پذیرد. مقاومت این اعضا با لاغری آنها رابطه معکوس (و غیر خطی) دارد. بطور خلاصه از مراجع طراحی سازه های فولادی می توان گفت که نوع کمانش یک ستون فولاد (عضو فشاری فولادی) بسته به میزان لاغری آن می تواند الاستیک یا غیر الاستیک باشد. روابط اصلی کمانش الاستیک اعضای فشاری توسط رابطه اولر پایه ریزی گردید. تنش بحرانی یک عضو فشاری با لاغری λ طبق رابطه اولر چنین بدست می آید:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (۵۰-۲)$$

در رابطه فوق E مدول الاستیسیته فولاد است. همچنین $\lambda = \frac{Kl}{r}$ است که در آن K ضریب طول مؤثر ستون، l طول ستون و r شعاع ژیراسیون مقطع ستون است.

از طرف دیگر در مورد ستونهای با لاغری متوسط و کم انتظار می رود عضو کمانش نکند و مصالح به حد تسلیم F_y برسند، لیکن وجود عواملی چون تنش پس ماند، برون محوری و ناراستی ستونها و غیره سبب می شود اعضا دچار کمانش غیرالاستیک شوند. در حقیقت تنش بحرانی در این محدوده از لاغری، یک تابع سهمی شکل از لاغری بوده که مطابق رابطه زیر تعیین می شود:

$$F_{cr} = F_y - \frac{F_p}{\pi^2 E} (F_y - F_p) \lambda^2 \quad (۵۱-۲)$$

در رابطه اخیر F_p حد خطی است که از تفاضل تنش تسلیم و تنش پس ماند حاصل می شود:

$$F_p = F_y - F_r \quad (52-2)$$

با فرض $F_r = 0.5F_y$ رابطه (51-2) به شکل زیر بدست می آید:

$$F_{cr} = F_y \left[1 - \frac{F_y}{4\pi^2 E} \lambda^2 \right] \quad (53-2)$$

با فرض اینکه منحنی رابطه (53-2)، موسوم به منحنی انتقال، منحنی رابطه 50-2 (منحنی

اولر) را در $F_{cr} = 0.5F_y$ قطع نماید:

$$0.5F_y = F_y \left[1 - \frac{F_y}{4\pi^2 E} \lambda^2 \right] \quad (54-2)$$

و آنگاه مقدار لاغری λ که در نقطه تلاقی به C_c معروف است چنین حاصل می شود:

$$\lambda = C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (55-2)$$

بطور خلاصه، در این رساله در هنگام تعیین مقاومت یک عضو خربای فشاری، ابتدا لاغری λ

تعیین شده و سپس با مقدار C_c مقایسه می شود. تنش نهایی در صورتیکه $\lambda < C_c$ باشد از رابطه

(53-2) و در صورتیکه $\lambda \geq C_c$ باشد از رابطه (50-2) تعیین می شود. مقاومت میله فشاری پس از

آن از رابطه $R = A.F_{cr}$ تعیین می شود.

در فصل پنجم این رساله با توجه به مفاهیم بیان شده در این فصل و با استفاده از قوانین

احتمالات راهکارهایی برای کاهش خطا و تسریع عملیات شاخه و کرانه معرفی می شود. همچنین

برای کنترل صحت کارکرد این راهکارها از روش مونت کارلو استفاده می شود.

فصل

۳

بهینه یابی با استفاده
از الگوریتم ژنتیک

۳-۱- مقدمه و تاریخچه

نسخه اولیه الگوریتم ژنتیک توسط جان هالند، همکاران و دانشجویانش در دانشگاه میشیگان ایالات متحده در سال ۱۹۶۲ بیان شد [۱۰]. در سالهای بعدی این الگوریتم توسط شاگردان وی پیگیری شد و پیشرفت هایی در آن حاصل گردید [۱۱، ۵۱-۵۳]. این الگوریتم در طول دوره های محاسباتی مختلف با شناسایی واحدهای ساختاری خوب و الحاق آنها به یکدیگر، به سوی نواحی با متوسط شایستگی بیشتر، همگرا می شود [۳۹]. الگوریتم ژنتیک با حذف کروموزوم های ضعیف تر، نسل آینده را مطابق با اصول نظریه تکاملی داروین از طریق انتخاب کروموزوم های شایسته و ادغام آنها ایجاد می کند. بدین ترتیب نسل جدید که معمولاً دارای برزندگی بیشتری نسبت به نسل قبلی خود است، جانشین آن می شود. این چرخه تا برآورده شدن معیارهای توقف ادامه خواهد یافت و در انتها برآورده ترین فرد نسل پایانی جواب مسئله خواهد بود.

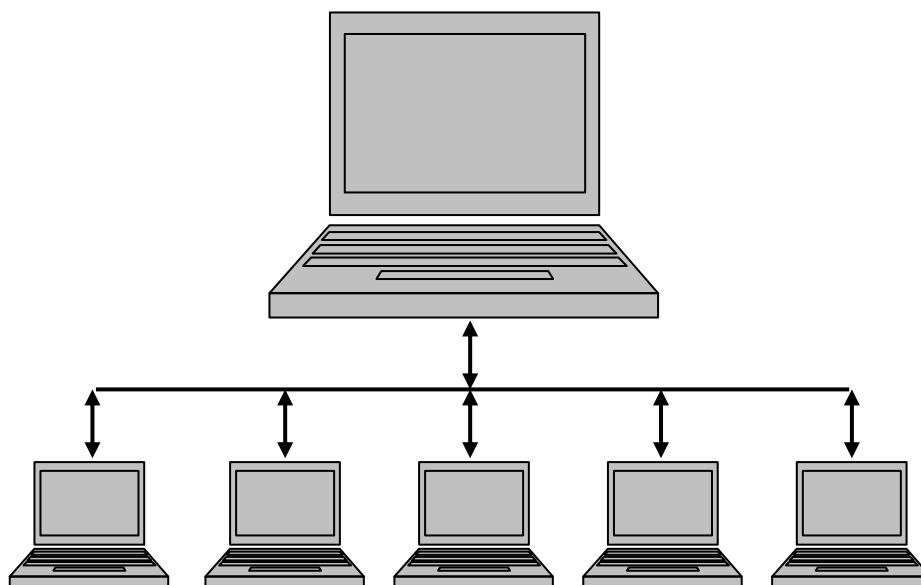
علیرغم تلاشهایی که در سالهای اخیر برای بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک انجام شده است، هنوز دو ایراد اساسی به آن وارد است. ایراد اول این است که در مسائل سازه ای متعارف، زمان اجرای برنامه بسیار زیاد است. در الگوریتم ژنتیک تعداد لازم نسلها برای رسیدن به همگرایی معمولاً زیاد بوده و در هر نسل تعداد زیادی کروموزوم باید تحلیل شود. ایراد دوم الگوریتم ژنتیک این است که نتایج بهینه بدست آمده در این الگوریتم بشدت به مقدار پارامترهای و نوع عملگرهای آن وابسته است بطوریکه عدم انتخاب صحیح آنها اغلب منجر به افتادن بهینه محلی می شود. تحقیقات بسیاری برای کاهش وابستگی این الگوریتم به پارامترها و عملگرها فوق الذکر صورت گرفته است [۵۴-۵۶].

یکی از راهکارهای متداول که می تواند هر دو ایراد مذکور را رفع کند استفاده از پردازش موازی است. خوشبختانه روابط حاکم در الگوریتم ژنتیک به گونه ای است که می توان از پردازش موازی در آن استفاده نمود. در ادامه نحوه استفاده از پردازش موازی در الگوریتم ژنتیک ارائه می شود.

۲-۳- پردازش موازی در الگوریتم ژنتیک

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه موازی کردن پردازش در الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفته است. پردازش موازی در اکثر این تحقیقات به دو صورت عمده انجام شده است [۵۷-۵۸]: موازی سازی مستقیم [۵۹-۶۱] و موازی سازی جزیره ای [۵۵-۵۶].

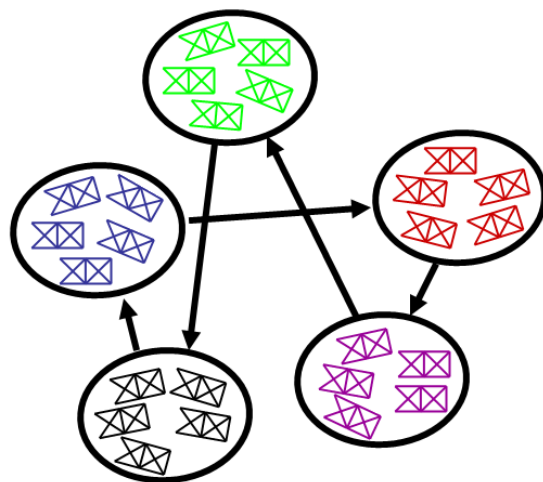
سیستم اول که به Master-Slave موسوم است، شامل یک پردازشگر اصلی و $n-1$ پردازشگر فرعی است. طرح شماتیک از این سیستم در شکل ۳-۱ نمایش داده شده است. در این سیستم پردازشگر اصلی کروموزوم های یک نسل را بین پردازشگرهای فرعی تقسیم می کند. این پردازشگرها بطور موازی و مستقل به محاسبه شایستگی کروموزوم های خود پرداخته و نتایج را به پردازشگر اصلی ارسال می کنند. پس از آن وظیفه تولید نسل جدید بر عهده پردازشگر اصلی است. در اغلب مسائل مهندسی حجم بالایی از محاسبات (بین ۸۵ تا ۹۵ درصد) صرف تعیین شایستگی هر کروموزوم می شود [۶۱] و لذا استفاده از پردازشگرهای موازی تأثیر قابل توجهی در کاهش زمان محاسبات دارد.



شکل ۳-۱. طرح شماتیک از روش Master - Slave

در سیستم جزیره ای که به الگوریتم ژنتیک توزیع شده معروف است، ابتدا جمعیت اولیه به چند زیر جمعیت (جزیره) تقسیم شده و هر یک از جزایر توسط یک پردازشگر بطور مستقل به بهینه سازی

می پردازد. پس از گذشت چند نسل برای جلوگیری از ایجاد بهینه محلی و ایجاد تنوع در جواب، بهترین کروموزوم های هر جزیره به جزایر دیگر مهاجرت می کنند. طرح شماتیک از نحوه تقسیم جمعیت کل به جزایر و مهاجرت بین آنها در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است. در هنگام مهاجرت این کروموزوم ها، یک کپی از آنها در جزیره مبدأ نگذاشته می شود. کروموزوم های مهاجر که شایسته ترین کروموزوم های جزیره مبدأ بوده اند، جایگزین بدترین کروموزوم های جزیره مقصد می شوند. عمل مهاجرت بصورت متناوب تا رسیدن به شرط پایان بهینه یابی انجام می شود. به تعداد نسل های بین دو مهاجرت وقفه مهاجرت و به تعداد کروموزوم های مهاجر نرخ مهاجرت می گویند.



شکل ۲-۳. طرح شماتیک از نحوه تقسیم جمعیت و مهاجرت بین جزایر

عیب عمده سیستم Master-Slave نسبت به پردازش جزیره ای، حجم بالای داده های انتقالی بین پردازشگرهای فرعی و اصلی است [۶۲]. در این سیستم در هر نسل باید تمامی کروموزوم ها به پردازشگرهای فرعی ارسال و پس از تعیین شایستگی پس فرستاده شود، در حالیکه در سیستم پردازش جزیره ای عمل مهاجرت بین جزایر در زمانهای خاص و با تعداد محدودی انجام می شود. بطور کلی پردازش موازی جزیره ای دارای مزایای زیر است :

- حجم داده های انتقالی با توجه به محدود بودن تعداد مهاجرت های بین جزایر، پایین است.

- با توجه به کوچک بودن جمعیت هر جزیره، عملیاتی مانند مرتب سازی کروموزوم ها، انتخاب و غیره سریع تر انجام می شود.
- مهاجرت کروموزوم های شایسته هر جزیره به جزایر دیگر باعث می شود تا جوابهای متنوعی ایجاد شده و از احتمال افتادن در بهینه محلی کاسته شود.
- در این سیستم وابستگی الگوریتم ژنتیک به پارامترها و توابعش کاهش می یابد زیرا امکان استفاده از پارامترها و روشهای گوناگون الگوریتم ژنتیک در هر یک از جزایر بصورت مستقل وجود دارد. انتخاب این پارامترها تأثیر قابل توجهی در امر بهینه یابی دارند. در یک الگوریتم ژنتیک ساده یا یک سیستم Master-Slave لازم است از پیش چندین بار بهینه یابی انجام شود تا مقداری صحیح برای این پارامترها تعیین شود، در حالیکه در روش جزیره ای با توجه به تعدد جزایر، امکان بکارگیری پارامترها و روشهای گوناگون وجود دارد و لذا تعداد مراحل آزمون و خطا و احتمال گیر افتادن در بهینه محلی بطور قابل توجهی کاهش می یابد [۵۴-۵۶].

بطور خلاصه هر دو سیستم پردازش موازی مستقیم و جزیره ای از چند پردازشگر برای تحلیل استفاده می کنند و لذا باعث افزایش سرعت محاسبات می شوند، لیکن در روش جزیره ای وابستگی الگوریتم به انتخاب توابع و پارامترها و نیز احتمال قرار گرفتن در بهینه محلی کاهش می یابد.

در مراجع [۵۵-۵۶] از روش موازی جزیره ای برای بهینه یابی خریاها استفاده شده است. در این مراجع از مقادیر مختلفی برای نرخ ادغام و نرخ جهش در هر یک از جزایر استفاده شده است. مهم ترین نتیجه بدست آمده در تحقیق های مذکور این است که انتخاب پارامترها و عملگرهای صحیح در روش جزیره ای چندان اهمیتی ندارد زیرا ترکیبات متنوع از این پارامترها و توابع در جزایر مورد استفاده قرار می گیرد. در مرجع [۵۴] برای هر یک از جزایر، از پارامترها و قوانین بدست آمده از تحقیقات معروف گذشته استفاده شده است.

در این رساله از روش موازی جزیره ای برای بهینه یابی استفاده می شود. بدین منظور یک شبکه کامپیوتری شامل ۵ کامپیوتر با مشخصات جدول ۳-۱ بکار گرفته می شود. هر کامپیوتر به یک جزیره اختصاص داده می شود. هریک از جزایر با پارامترها و روابط مختص خود به بهینه یابی می پردازد. اطلاعات مربوط به هر جزیره و پارامترهای مربوط در جدول ۳-۲ ارائه شده است.

جدول ۳-۱. مشخصات سیستم های کامپیوتری مورد استفاده

Number of Processor	5
Processor Type	Intell PIV 2.4 Celerone
CPU Cache	128 KB
Momory Per Processor	512 MB
OS	MS-Windows XP
Compiler	MS-Visual Basic 6.0
Communication Type	Realtek 10/100 Mbps Ethenet

جدول ۳-۲. مشخصات جزایر در پردازش موازی

۵	۴	۳	۲	۱	
RW	T	Rnk	RW	T	روش انتخاب
1P	2P	3P	1P	2P	روش ادغام
۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۵	نرخ ادغام
۹۰	۱۰۰	۶۰	۸۵	۷۵	نرخ جهش %

T: مسابقه ای RW: چرخ گردان Rnk: رتبه بندی
 1P: تک نقطه ای 2P: دو نقطه ای 3P: سه نقطه ای

۳-۳- بهینه یابی غیر قطعی (احتمالاتی) سازه ها

در بهینه یابی احتمالاتی سازه ها، با پارامترهایی از قبیل بار و مقاومت بصورت متغیرهای تصادفی رفتار می شود. به این ترتیب می توان احتمال خرابی سازه ها را در محاسبات ایمنی در نظر گرفت و با بررسی رفتار عضو و اندرکنش آن در سیستم های سازه ای، علاوه بر کمترین وزن بیشترین قابلیت اعتماد را برای سازه و اعضای تشکیل دهنده آن بدست آورد. بدین منظور در فرآیند بهینه یابی،

احتمال خرابی بصورت تابع هدف یا بخشی از آن و یا بعنوان محدودیت، مورد استفاده قرار می گیرد [۴۳، ۲۵].

در بهینه یابی احتمالاتی سازه ها مبتنی بر قابلیت اعتماد، یکی از فرمول بندی های زیر را بسته به نظر طراح می توان مورد استفاده قرار داد [۴۳، ۲۵]:

۱ - کمینه سازی وزن تحت محدودیت قابلیت اعتماد اعضای سازه

۲ - کمینه سازی وزن تحت محدودیت قابلیت اعتماد سیستم سازه ای

۳ - کمینه سازی احتمال خرابی (یا بیشینه سازی شاخص قابلیت اعتماد سازه) تحت

محدودیت وزن

در این تحقیق حالت دوم مورد ارزیابی قرار می گیرد. به عبارت دیگر هدف یافتن کمینه کردن وزن یک خرپا است بطوریکه احتمال خرابی سیستم سازه ای آن از مقداری مجاز که قید مسأله طراحی است کوچکتر باشد. متغیرهای طراحی در این تحقیق سطوح مقطع اعضا و متغیرهای تصادفی بارهای وارده به سازه و مقاومت تسلیم اعضا می باشد.

فصل

۴

روش جبری نیروها

۴-۱- مقدمه

در اکثر تحقیقات انجام شده تحلیل سازه ها بر اساس روش سختی صورت می پذیرد، لیکن استفاده از روش نرمی در مسائل بهینه یابی می تواند به کاهش محاسبات کمک نماید. در این رساله روابط روش جبری نیروها به گونه ای بهبود یافته است که امکان استفاده از آن در تحلیل قابلیت اعتماد و بهینه یابی مبتنی بر آن میسر می شود. در ادامه برخی روابط و تاریخچه این روش مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۲- فرمول بندی روش جبری نیروها

روابط اصلی و تاریخچه روش جبری نیروها را می توان در مراجع [۶۳-۶۴] پیدا نمود. در مراجع [۶۵-۶۶] با ارائه فرمول بندی بهتر در روش جبری نیروها، از آن در بهینه یابی خرپاها توسط الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در مرجع [۶۷] از روش مجتمع نیروها و روش های انرژی در بهینه سازی توپولوژی خرپاها توسط الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در روش نیروها معادلات تعادل کل سازه، مستقل از خصوصیات مکانیکی مصالح بصورت رابطه ماتریسی زیر قابل بیان است :

$$P_{n \times 1} = H_{n \times m} \cdot r_{m \times 1} \quad (۴-۱)$$

در رابطه بالا n درجات آزادی فعال گرهی، m تعداد اعضا، $\mathbf{P}$ بردار n بعدی بارهای گرهی، $\mathbf{H}$ ماتریس تعادل $n \times m$ و $\mathbf{r}$ بردار m بعدی نیروهای عضوی است. هر یک از سطرهای ماتریس $\mathbf{H}$ رابطه تعادل نیروهای اعضای متصل به گره مربوطه با بارهای خارجی در جهت درجه آزادی مفروض را بیان می کند. به این ترتیب برای یک گره فعال خرپا در فضای سه بعدی، سه شرط $\sum F_x = 0$ ، $\sum F_y = 0$ و $\sum F_z = 0$ ارتباط نیروهای اعضای متصل به گره مورد نظر با بارهای خارجی را برقرار نموده و سه سطر پیاپی از ماتریس $\mathbf{H}$ را پر می کند.

در یک سازه پایدار صلب به ازای $t = m - n \geq 0$ ماتریس $\mathbf{H}$ دارای مرتبه کامل سطری است، به عبارت دیگر مرتبه $\mathbf{H}$ برابر با n است. t تعداد مجهولات اضافی یا درجات نامعینی استاتیکی سازه می باشد. روش نیروها شامل دو گام کلی است. در گام نخست ماتریسهای B_0 و B_1 به نحوی پیدا می شود که بردار نیروهای عضوی $\mathbf{r}$ بصورت زیر بیان شود:

$$\mathbf{r}_{m \times 1} = \mathbf{B}_{0m \times n} \cdot \mathbf{P}_{n \times 1} + \mathbf{B}_{1m \times t} \cdot \mathbf{q}_{t \times 1} \quad (2-4)$$

در این رابطه B_0 یک ماتریس $n \times m$ است بطوریکه $H.B_0$ معادل ماتریس واحد $n \times n$ می شود. هر ستون B_0 مبین نیروهای ایجاد شده در اعضای سازه صلب معین اولیه در صورت اعمال بار واحد در جهت هر یک از درجات آزادی گرهی است. B_1 ماتریس $m \times t$ از مرتبه کامل ستونی است بنحویکه $H.B_1$ معادل ماتریس صفر می گردد. تعداد ستونهای ماتریس B_1 برابر درجات نامعینی استاتیکی است و هر ستون آن نشانگر سیستم نیروهای عضوی است که با خود (در غیاب بارهای خارجی) در حال تعادل است و به بردار پوچی یا سیستم خود متعادل معروف است. در رابطه ۴-۲ بردار $\mathbf{q}$ از مرتبه t به بردار نیروهای مجهول اضافی و ماتریس B_1 به ماتریس پایه های پوچی یا ماتریس تنش خود متعادل موسوم است. روشهای متنوعی وجود دارد که بتوان ماتریسهای B_0 و B_1 خوب که پرفر، نواری و موزون هستند، بدست آورد [۶۳].

در گام دوم روش نیروها با استفاده از اصل کار مجازی و سازگاری تغییر شکلها، دستگاه معادلات

زیر برای کسب بردار $\mathbf{q}$ حل می شود :

$$(\mathbf{B}_1^t \mathbf{F}_m \mathbf{B}_1) \cdot \mathbf{q} = -(\mathbf{B}_1^t \mathbf{F}_m \mathbf{B}_0) \cdot \mathbf{P} \quad (3-4)$$

در رابطه اخیر $\mathbf{F}_m$ ماتریس قطری $m \times m$ است. درایه قطر i ام این ماتریس، نرمی عضو i ،

$(L/EA)_i$ ، است. همچنین $\mathbf{G} = \mathbf{B}_1^t \mathbf{F}_m \mathbf{B}_1$ ماتریس نرمی کل سازه می باشد. یک ماتریس $\mathbf{B}_1$ نواری

سبب نواری شدن ماتریس $\mathbf{G}$ خواهد شد [۶۳]. تغییر مکانهای گرهی نیز توسط رابطه زیر قابل ارزیابی

است:

$$\mathbf{d}_{n \times 1} = \mathbf{B}_0^t \cdot \mathbf{F}_{m \times m} \cdot \mathbf{r}_{m \times 1} \quad (4-4)$$

در این تحقیق برای تعیین ماتریسهای $\mathbf{B}_0$ و $\mathbf{B}_1$ از روش LU مطابق با مراجع [۶۵-۶۶] استفاده

شده است. در این روش ماتریس نرمی $\mathbf{G} = \mathbf{B}_1^t \mathbf{F}_m \mathbf{B}_1$ متقارن و معین- مثبت بدست می آید و با

استفاده از روش چولسکی می توان بردار $\mathbf{q}$ را به سرعت تعیین نمود و نیازی به کنترل های ممانعت از

تقسیم عدد بر صفر یا جذر عدد منفی وجود ندارد. روش گاوس- جردن و روش بازگشتی LU را نیز

می توان در مرجع [۶۸] مطالعه و استفاده نمود.

۴-۲-۱- روش افراز LU [۶۵-۶۶]

فرمولبندی اولیه این روش در مرجع [۶۹] صورت پذیرفت و در مراجع [۶۵-۶۶] با ارائه روابط

جدید، راندمان و سرعت آن را افزایش داده شد. در این روش ماتریس تعادل بصورت $\mathbf{H} = [\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2]$

بنحوی تجزیه می شود که $\mathbf{H}_1 = \mathbf{LU}$ باشد. $\mathbf{H}_1$ ماتریس مربعی غیر ویژه $n \times n$ و ستونهای آن منتخبی از

ستونهای غیر وابسته (مستقل) ماتریس $\mathbf{H}$ می باشد. $\mathbf{L}$ ماتریس غیر ویژه پایین مثلثی و $\mathbf{U}$ ماتریس غیر

ویژه بالا مثلثی با درایه های واحد بر روی قطر اصلی آن می باشد. با استفاده از روابط ۴-۵ ستونهای

ماتریسهای L و U بطور همزمان و یکی پس از دیگری تولید و در صورتیکه درایه قطر اصلی ماتریس L صفر شود، برای جلوگیری از ویژه شدن ماتریس H_1 ، ستون نظیر از ماتریس H که یک ستون وابسته است و متناظر با شماره عضو مجهول اضافی، نادیده گرفته شده و محاسبات از ستون بعدی دنبال خواهد شد. به این ترتیب ستونهای وابسته از ماتریس H که یکسان با تعداد مجهولات اضافی می باشند، عناصر ماتریس H_2 از مرتبه $n \times t$ را تشکیل می دهند.

به ازای $j = 1, 2, \dots, n$

$$u_{mj} = \frac{h_{mj} - \sum_{i=1}^{m-1} l_{mi} u_{ij}}{l_{mm}} ; m = 1, 2, \dots, j-1 \quad (5-4)$$

$$l_{ij} = h_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik} u_{kj} ; i = j, j+1, \dots, n$$

$$u_{jj} = 1.0$$

در روابط بالا h_{ij} ، l_{ij} و u_{ij} به ترتیب درایه های سطر i و ستون j از ماتریسهای H ، L و U می باشند.

با تشکیل ماتریسهای $H_1 = L.U$ و H_2 در یک سازه پایدار، طبق روابط (4-6) ماتریسهای B_0 و B_1 بدست می آیند.

$$B_0 = \begin{bmatrix} H_1^{-1} \\ O \end{bmatrix}_{m \times n} ; B_1 = \begin{bmatrix} -H_1^{-1} H_2 \\ I \end{bmatrix}_{m \times t} \quad (6-4)$$

H_1^{-1} را می توان به راحتی با استفاده از روشهای محاسبات عددی مانند روش تجزیه LU بدست آورد [70]. زیر ماتریس O در ماتریس B_0 ماتریس صفر از مرتبه $t \times n$ و زیر ماتریس I در ماتریس B_1 ماتریس واحد از مرتبه $t \times t$ است. سطرهای این دو زیر ماتریس پس از انجام عملیات جابجایی سطری مناسب، به ترتیب در سطرهای مربوط به مجهولات اضافی قرار می گیرد. ماتریس B_1 که به این ترتیب حاصل می شود، بصورت پلکانی است که درایه های صفر در گوشه سمت چپ و پایین ماتریس

قرار

می گیرد. با این الگوی ماتریس B_1 ، ماتریس نرمی G بصورت غیر نواری حاصل می شود. مرحله بعدی محاسبات، بکارگیری روابط ۲-۴ و ۳-۴ برای محاسبه بردار مجهولات اضافی و نیروهای داخلی اعضا است.

فصل

۵

راهکارهای پیشنهادی
و ارتباط فصول رساله

۵-۱- مقدمه

در فصول دوم تا چهارم مطالبی در مورد تئوری قابلیت اعتماد، الگوریتم ژنتیک جزیره ای موازی و روش جبری نیروها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در ادامه با توجه به آنچه بیان شد راهکارهایی برای کاهش حجم و زمان محاسبات در پروسه بهینه یابی سازه های خرابایی تحت قید قابلیت اعتماد ارائه

می شود که در چهار قالب کلی ذیل قرار دارند.

- بهبود روش های مبتنی بر مسیرهای خرابی (در تئوری قابلیت اعتماد)
- ایجاد رقابت بین جزایر موازی در الگوریتم ژنتیک
- بهبود فرمول بندی روش جبری نیروها
- استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی

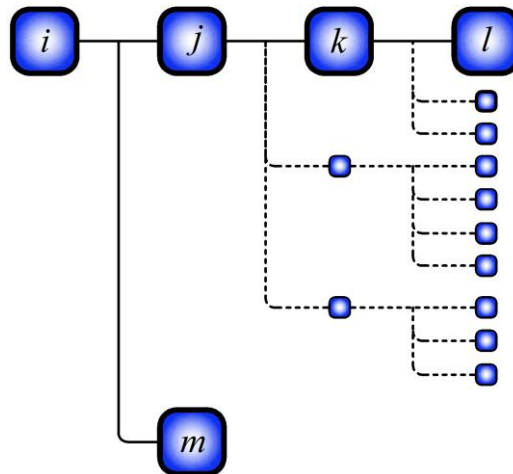
در پایان این فصل بصورت شماتیک نحوه ارتباط راهکارهای پیشنهادی (یا عبارت دیگر فصول مختلف رساله) و نحوه حل مسأله بهینه یابی تحت قید احتمال خرابی سیستم سازه ای تشریح می شود.

۲-۵- راهکار اول: بهبود روش های مبتنی بر مسیرهای خرابی

در این رساله از روش شاخه و کرانه که یکی از روش های مبتنی بر مسیرهای خرابی است برای تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای استفاده می شود. در این قسمت چهار تکنیک ابداعی از راهکار اول معرفی می شود که بوسیله آنها کاهش چشمگیر در محاسبات پدید می آید.

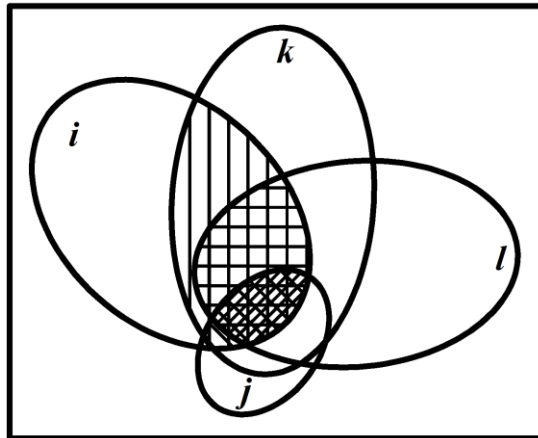
۱-۲-۵- راهکار ۱-۱

همانگونه که در فصل دوم بیان شد در این تحقیق برای تعیین احتمال یک مسیر خرابی مانند $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow l$ از رابطه تقریبی ۲-۳۰ استفاده می شود. بنابراین احتمال این مسیر خرابی با کوچکترین احتمال مشترک اعضا j, k و l با عضو i تقریب زده می شود. این مسیر خرابی در شکل ۱-۵ با خط پر نمایش داده شده است.



شکل ۱-۵. طرح شماتیک از شاخه های منشعب از $i \rightarrow j$

بنابراین اگر کوچکترین احتمال مشترک این اعضا مطابق نمودار ون شکل ۲-۵ مربوط به اعضای i و j باشد، آنگاه احتمال مسیر خرابی $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow l$ یعنی $P(F_i \cap F_j \cap F_k \cap F_l)$ بطور محافظه کارانه با احتمال مشترک اعضای i و j یعنی $P(F_i \cap F_j)$ تقریب زده می شود. زیرا همانگونه که در شکل ۵-۲ نمایش داده شده است، رویداد $F_i \cap F_j$ زیر مجموعه رویداد $F_i \cap F_j \cap F_k \cap F_l$ است.



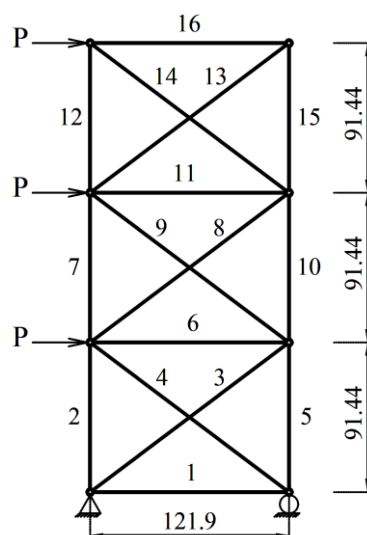
شکل ۵-۲. نمایش کوچکترین اشتراک در نمودار ون

این مسأله را می توان به راحتی به کلیه شاخه های دیگر منشعب از $i \rightarrow j$ تعمیم داد و لذا کلیه این مسیرها زیر مجموعه رویداد $F_i \cap F_j$ هستند. این شاخه ها با نقطه چین در شکل ۵-۱ نمایش داده شده است.

اکنون اگر طبق رابطه ۲-۳۰ رویداد مسیر خرابی $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow l$ با رویداد $F_i \cap F_j$ تقریب زده شود، آنگاه احتمال این رویداد یعنی $P(F_i \cap F_j)$ طبق کران بالای کرنل با مجموع احتمال مسیرهای قبلی جمع زده می شود.

در این حالت باید از تولید مسیرهای خرابی دیگر که از $i \rightarrow j$ منشعب شده جلوگیری کرد. زیرا همانگونه که گفته شد همه آنها زیرمجموعه رویداد $F_i \cap F_j$ هستند و اجتماع چند رویداد که همگی زیر مجموعه یک رویداد هستند نیز زیر مجموعه آن رویداد است. تولید این گونه مسیرها نه تنها چیزی به فضای خرابی کل اضافه نمی کند بلکه باعث می شود احتمال آنها براساس کران بالای کرنل بصورت اشتباه با هم جمع شده و مقدار بسیار محافظه کارانه ای برای کران بالای احتمال خرابی سیستم سازه ای تعیین شود. علاوه بر این تولید این گونه مسیرها حجم محاسبات را بی دلیل افزایش می دهد. برای روشن تر شدن موضوع، نحوه کارکرد این راهکار پیشنهادی در یک مثال عددی مورد بررسی قرار می گیرد.

مثال ۵-۱: خرپای نامعین ۱۶ میله ای مطابق شکل ۵-۳ مفروض است. ابعاد خرپا برحسب سانتیمتر است. تنش تسلیم اعضا و بارهای وارده متغیرهای تصادفی نرمال غیر همبسته فرض می شود. میانگین بار P و تنش تسلیم اعضا به ترتیب برابر با ۴۴۴۵ کیلوگرم و ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. ضریب تغییرات بار و مقاومت بطور یکسان برابر با ۰/۱ فرض می شود. مدول الاستیسیته میله ها $۲/۰۶ \times ۱۰^۶$ کیلوگرم به سانتیمتر مربع است. سطح مقطع میله ها در جدول ۵-۱ ارائه شده است. از کمانش میله ها صرفنظر شده است.



شکل ۵-۳. خرپای ۱۶ میله ای مثال ۵-۱

جدول ۵-۱. سطح مقطع اعضای خرپای ۱۶ میله ای

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)
۱	۳/۳۵
۵، ۲	۸/۶۴
۱۴، ۴، ۳	۵/۷۶
۶	۲/۳۹
۱۰، ۸، ۷	۴/۰۳
۹	۷/۳۵
۱۵، ۱۲، ۱۱	۱/۵۸
۱۶، ۱۳	۲/۳۹

به منظور بررسی دقیق تر به عنوان نمونه تنها ۱۵ مسیر خرابی ابتدایی مد نظر قرار می گیرند.

این ۱۵ مسیر خرابی به همراه کران فوقانی احتمال وقوع نظیرشان (طبق رابطه ۲-۲۹ که از رابطه ۲-۲

۳۰ دقیق تر است و بر اساس $\eta = 4$ در جدول ۵-۲ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود همگی این مسیرها از مسیر ناقص $5 \rightarrow 7$ منشعب شده اند. مجموع احتمالات یاد شده برابر 3^{-} است که طبق روابط کرنل باید بعنوان کران فوقانی احتمال خرابی سیستم در نظر گرفته شود. همانگونه که بیان شد بسیاری از این مسیرها همبسته بوده و لذا جمع کردن آنها منجر به تعیین یک کران فوقانی محافظه کارانه برای احتمال خرابی می شود.

جدول ۵-۲. مسیرهای خرابی منشعب از مسیر ناقص $5 \rightarrow 7$

کران فوقانی احتمال وقوع طبق رابطه ۲-۲۹ [۲۵]	مسیر خرابی
7.2643E-04	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 3^+$
2.20702E-03	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 6^-$
6.794E-05	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 3^+$
6.794E-05	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 6^-$
3.849E-05	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 10^-$
3.106E-07	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 1^-$
6.794E-05	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 2^+$
5.123E-05	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 11^+$
3.582E-06	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 8^+$
1.83E-39	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 12^+ \rightarrow 4^+$
3.849E-05	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 10^-$
1.9616E-04	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 1^-$
1.5339E-04	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 2^+$
3.582E-06	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 8^+$
1.83E-39	$7^+ \rightarrow 5^- \rightarrow 4^+$

مطابق جدول ۵-۲، کران فوقانی احتمال وقوع مسیر خرابی اول (یعنی $3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$) برابر با $7/2643 \times 10^{-4}$ است. برای ارزیابی صحت کارکرد این راهکار مقدار دقیق این احتمال با استفاده از روش مونت کارلو برابر با $7/0.23 \times 10^{-4}$ بدست می آید. در صورت استفاده از رابطه تقریبی (۲-۳۰) این کران

$2/20702 \times 10^{-3}$ تخمین زده می شود. در نگاه اول چنین به نظر می رسد که رابطه مذکور بطور محسوسی محافظه کارانه بوده و استفاده از آن با مشکلاتی همراه باشد. لیکن همانگونه که در ادامه

تشریح می شود استفاده توأم از این رابطه و راهکار پیشنهادی نتایج را بطور چشمگیری بهبود می دهد.

عدد تخمینی بدست آمده از رابطه (۲-۳۰)، یعنی $2/20702 \times 10^{-3}$ بیانگر کوچکترین احتمال رویداد خرابی مشترک عضو اول (۷) و اعضای دیگر بوده که در اینجا آن عضو دیگر، عضو دوم (۵) است. این رویداد با $F_7 \cap F_5$ و احتمال آن با $P(F_7 \cap F_5)$ نمایش داده می شود. مطابق مفاهیم راهکار پیشنهادی ۱-۱، عدد مذکور تنها کران فوقانی برای مسیر خرابی اول نبوده بلکه کران بالایی برای احتمال خرابی سیستم کل این ۱۵ مسیر می باشد. زیرا رویداد وقوع هر یک از این مسیرها زیر مجموعه رویداد $F_7 \cap F_5$ است و لذا اجتماع این رویدادها نیز زیر مجموعه رویداد مذکور است. عبارت دیگر با استفاده از این راهکار پیشنهادی، بجای مجموع احتمال خرابی این ۱۵ مسیر، $P(F_7 \cap F_5)$ بعنوان کران فوقانی در نظر گرفته شده و دیگر نیازی به انشعاب مسیرهای بعدی از مسیر ناقص $5 \rightarrow 7$ نیست. بطور خلاصه می توان گفت در صورت استفاده از راهکار اول دو مزیت بزرگ حاصل می شود.

- با حذف بسیاری از مسیرهای همبسته، کران فوقانی احتمال خرابی از $3/6225 \times 10^{-3}$ به $2/20702 \times 10^{-3}$ تقلیل پیدا می کند. کران فوقانی تخمینی در این رساله با مقدار دقیق اجتماع این پانزده مسیر که با استفاده از روش مونت کارلو (برابر با $2/12020 \times 10^{-3}$) بدست می آید تفاوت چندانی ندارد.

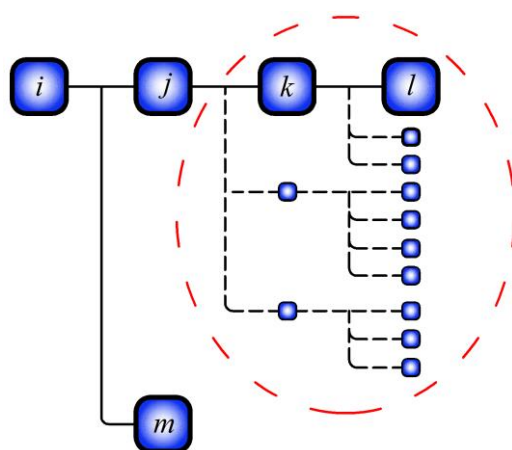
- به جای ۱۵ مسیر خرابی فقط یک مسیر خرابی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته و محاسبات نظیر آن کنار گذاشته می شود.

با حذف مسیرهای همبسته یاد شده دقت محاسبات بالاتر رفته و صرفه جویی قابل توجهی در زمان محاسبات ایجاد می شود، لیکن هنوز امکان حذف تعداد بیشتر مسیرها و در نتیجه افزایش دقت محاسبات و کاهش زمان وجود دارد که در راهکار ۱-۲ شرح داده می شود.

۵-۲-۲- راهکار ۱-۲

اکنون برای معرفی راهکار ۲-۱ حالتی فرض می شود که کوچکترین احتمال مشترک اعضا در مسیر خرابی $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow l$ مربوط به دو عضو i و l باشد. در این حالت طبق راهکار پیشنهادی ۱-۱ دیگر مسیری برای حذف وجود ندارد زیرا کوچکترین احتمال مشترک با آخرین عضو مسیر بوجود آمده است.

اکنون مجدداً عضو j در نظر گرفته می شود. دقت شود که در این حالت عضو j دیگر دارای کمترین اشتراک با عضو i نیست. اکنون این اصل مجدداً یادآوری می شود که تمامی مسیرهای منشعب شده از یک مسیر مانند $i \rightarrow j$ (شکل ۴-۵) زیر مجموعه رویداد $F_i \cap F_j$ است. این بدان معنی است که مجموع احتمال وقوع این مسیرها، $\sum P_{ij}$ ، به هیچ عنوان نباید از احتمال وقوع $F_i \cap F_j$ ، بیشتر باشد. بنابراین در حین عملیات شاخه ای هرگاه مجموع احتمالات این مسیرها (براساس P_{ij} ، کران فوقانی کرنل) بیشتر از احتمال وقوع $F_i \cap F_j$ شد ($\sum P_{ij} \geq P_{ij}$)، عملیات شاخه ای متوقف می شود و باید از P_{ij} بجای کلیه مسیرهای منشعب از آن در تعیین کران فوقانی استفاده شود.



شکل ۴-۵. قطع شاخه های منشعب از $j \rightarrow i$ براساس راهکار ۲-۱

برای روشن تر شدن موضوع یکبار دیگر مثال عددی ۵-۱ مورد بحث قرار می گیرد. احتمال دقیق خرابی دو مسیر اول یعنی $3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$ و $6 \rightarrow 5 \rightarrow 7$ با استفاده از روش مونت کارلو به ترتیب برابر با

$10^{-4} \times 7/0.23$ و $10^{-3} \times 2/0.40$ است. چنانچه از راهکار ۱-۱ استفاده نشود مجموع این احتمالات باید بعنوان کران فوقانی احتمال خرابی سیستم این دو مسیر در نظر گرفته شود. مجموع این دو احتمال مذکور برابر با $10^{-3} \times 2/7423$ است. این عدد از احتمال مشترک خرابی ۷ و ۵ یعنی $10^{-3} \times 2/20702$ تجاوز کرده است و در نتیجه عملیات شاخه ای باید در همین مرحله متوقف شود و از عدد مذکور باید بعنوان کران فوقانی استفاده شود. در نتیجه استفاده از راهکار ۱-۲:

- از جمع زدن ۱۵ مسیر خرابی همبسته جلوگیری شده و کران کوچکتري برای احتمال

خرابی سیستم سازه ای حاصل می شود؛

- زمان محاسبات بواسطه کنار گذاشتن مسیرها بطور چشمگیر کاهش می یابد.

بعبارت دیگر با حذف مسیرهای منشعب باقیمانده نه تنها کران فوقانی کوچکتري برای احتمال

خرابی سیستم سازه ای تعیین می شود، بلکه سرعت محاسبات نیز افزایش می یابد.

با جایگزینی رویداد خرابی یک عضو خرپا با رویداد ایجاد یک مفصل پلاستیک، راهکار پیشنهادی

قابل تعمیم به سازه های قابی است.

۵-۲-۳- راهکار ۱-۳

برای تشریح راهکار ۱-۳ یک خرپای m عضوی مطابق شکل ۵-۵ نشان داده شده است که در آن

اعضای i, j و k دچار خرابی شده اند. اعضای مذکور با خط چین در شکل نمایش داده شده اند. در

این حالت فرض می شود که اولین عضوی که کاندیدای خرابی می شود عضو l باشد. به این ترتیب

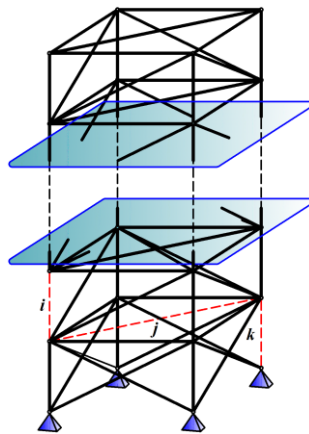
مسیر $l \rightarrow k \rightarrow j \rightarrow i$ تشکیل شده و احتمال آن مطابق رابطه ۲-۳۰ تخمین زده می شود. پس از آن

عملیات شاخه ای ادامه می یابد تا کلیه مسیرهای خرابی منشعب از k تشکیل شود. در این شرایط دو

وضعیت متفاوت ممکن است رخ دهد. حالت **a**: مجموع احتمالات مسیرها از P_{ijk} تجاوز نکند و حالت

b: مجموع احتمالات مسیرها از P_{ijk} تجاوز کند.

در حالت **a** شاخه زنی از k بصورت کامل صورت می پذیرد و ΣP_{ijk} بطور طبیعی با کران فوقانی جمع زده می شود. در حالت **b** شاخه زنی از k بصورت کامل صورت نمی پذیرد زیرا مجموع احتمالات مسیرهای خرابی در میانه راه (σP_{ijk}) از ΣP_{ijk} تجاوز می کند و طبق راهکار ۱-۲ باید عمیات شاخه ای پایان داده شده و P_{ijk} به جای σP_{ijk} با کران فوقانی جمع زده شود.



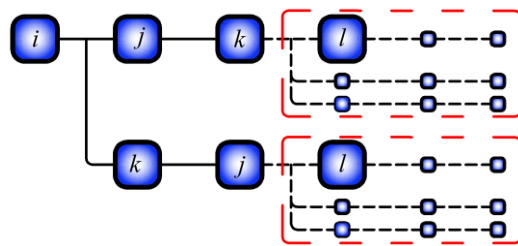
شکل ۵-۵. خرابی نامعین m عضوی که در آن اعضای i ، j و k دچار خرابی شده اند

در ادامه عملیات شاخه ای کارایی راهکار ۱-۳ زمانی مشخص می شود که مسیر $i \rightarrow k \rightarrow j$ تشکیل شود. این مسیر با خرابی j پس از i و k ایجاد شده و به این ترتیب سازه شکل ۵-۵ بار دیگر شکل

می گیرد. روشن است که اگر این سازه مورد تحلیل قرار گیرد دوباره عضو l به عنوان محتمل ترین عضو خرابی انتخاب می شود زیرا عضو اول و تابع حاشیه ایمنی در مورد مسیر جدید یعنی $i \rightarrow k \rightarrow j \rightarrow l$ و مسیر قبلی یعنی $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow l$ کاملاً یکسان است. طبق رابطه ۲-۲۷ برای انتخاب عضو جدید در هر مسیر تنها به رویداد خرابی مشترک عضو اول و عضو جدید احتیاج است.

با توجه به آنچه بیان شد نیازی به تحلیل مجدد سازه نیست و تابع حاشیه ایمنی $i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow l$ میتواند به سادگی برای انتخاب اعضا در مسیر جدید مورد استفاده قرار گیرد. این مطلب را می توان به کلیه اعضای منشعب از k تعمیم داد. بعبارت دیگر کلیه مسیرهای منشعب از $i \rightarrow j \rightarrow k$ دقیقاً تکرار

شده و از توابع حاشیه ایمنی آنها می توان به سادگی در مورد مسیرهای منشعب از $i \rightarrow k \rightarrow j$ استفاده کرد. کلیه این مسیرها بصورت شماتیک در شکل ۵-۶ نمایش داده شده است. با توجه به اینکه با حذف هر عضو جدید در هر مسیر خرابی باید به کرات سازه را تحلیل نمود، عدم تکرار این تحلیل های مجدد می تواند منجر به صرفه جویی قابل توجهی در محاسبات شود، لیکن ذخیره سازی تمامی این توابع حاشیه ایمنی نیاز به حافظه بسیار زیاد داشته که برای سازه های بزرگ متعارف غیر عملی است.



شکل ۵-۶. مسیرهای خرابی منشعب از $i \rightarrow k \rightarrow j$ و $i \rightarrow j \rightarrow k$

برای غلبه بر مشکل محدودیت حافظه کفایت تنها ΣP_{ijk} در حالت **a** و σP_{ijk} و P_{ijk} در حالت **b** ذخیره گردد. از این مقادیر می توان با در نظر گرفتن شرایط ذیل در تعیین مجموع احتمالات خرابی مسیرهای منشعب از $i \rightarrow k \rightarrow j$ (یعنی ΣP_{ikj}) استفاده کرد.

- حالت ۱ $P_{ikj} < \Sigma P_{ijk} \rightarrow \Sigma P_{ikj} = P_{ikj}$
- حالت ۲ $P_{ikj} > \Sigma P_{ijk} \rightarrow \Sigma P_{ikj} = \Sigma P_{ijk}$
- حالت ۳ $P_{ikj} < P_{ijk} \rightarrow \Sigma P_{ikj} = P_{ikj}$
- حالت ۴ $P_{ikj} > P_{ijk} \rightarrow \Sigma P_{ikj} = ?$

حالات ۱ و ۲ نظیر حالت **a** و حالات ۳ و ۴ نظیر حالت **b** هستند. در حالت **b** طبق راهکار ۱-۲،

P_{ijk} به جای σP_{ijk} انتخاب شده و با کران فوقانی جمع زده می شود زیرا $\sigma P_{ijk} < P_{ijk}$ در مورد

حالات ۱ و ۳، (یعنی $P_{ikj} < \Sigma P_{ijk}$ و $P_{ikj} < P_{ijk}$)، براساس راهکار ۱-۲، P_{ikj} به ترتیب به جای

انتخاب

P_{ijk}

و

ΣP_{ijk}

می شود.

در حالت ۲، چنانچه کلیه مسیرهای خرابی منشعب از $i \rightarrow k \rightarrow j$ تشکیل شوند مجموع احتمال خرابی آنها همانگونه که بیان شد برابر با $i \rightarrow j \rightarrow k$ می شود زیرا عضو ابتدایی i در هر دو مسیر دقیقاً یکسان بوده و اعضای j و k در هر دو مشترک هستند. راهکار ۱-۲ در این حالت کاربردی ندارد زیرا

$$\Sigma P_{ikj} = \Sigma P_{ijk} \text{ و } P_{ikj} > \Sigma P_{ijk}$$

در مورد حالت چهارم تصمیم گیری کمی مشکل است زیرا σP_{ijk} از P_{ijk} تجاوز کرده و عملیات شاخه ای در همان مرحله متوقف شده است. برای بررسی بیشتر حالت چهارم را می توان به دو حالت تقسیم کرد. حالت i : $P_{ikj} < \sigma P_{ijk}$ و حالت ii : $P_{ikj} > \sigma P_{ijk}$. حالت i شبیه حالت ۱ است و لذا $\Sigma P_{ikj} = P_{ikj}$. در مورد حالت ii بنظر می رسد راهی برای استفاده از اطلاعات ذخیره شده وجود ندارد، لیکن تنها یک تکنیک می توان در این مورد بکار بست. بدین منظور فرض می شود که در حین عملیات شاخه ای پس از N مرحله شاخه زنی از $i \rightarrow j \rightarrow k$ مقدار σP_{ijk} از P_{ijk} تجاوز کرده و لذا راهکار ۱-۲ بکار رفته است. اکنون σP_{ijk} می تواند به سادگی بعنوان مجموع احتمالات N شاخه اول منشعب از $i \rightarrow j \rightarrow k$ مورد استفاده قرار گیرد زیرا همانگونه که بیان شد تمامی مسیرها عیناً تکراری خواهد بود. این بدان معنی است که کلیه محاسبات مربوط به N مسیر اول می تواند کنار گذاشته شود.

بطور خلاصه چنانچه مجموع احتمالات مسیرهای خرابی منشعب از یک مسیر ناقص مانند $i \rightarrow j \rightarrow k$ معلوم باشد، از آن می توان در مورد مسیر ناقص $i \rightarrow k \rightarrow j$ استفاده کرد و کلیه عملیات شاخه ای و محاسبات نظیر آن را کنار گذاشت. استفاده از این راهکار تأثیر مطلوبی بر زمان محاسبات داشته لیکن مقدار کران فوقانی احتمال خرابی سیستم سازه ای را تغییر نمی دهد.

تقارن سازه می تواند بسادگی باعث کاهش زمان محاسبات شود. بطور مثال چهار عضو قائم طبقه دوم خرابای شکل ۵-۵ (میله i و سه میله دیگر) متقارن هستند. بنابراین چنانچه میله i بعنوان کاندیدای خرابی انتخاب شود یقیناً سه عضو متقارن دیگر نیز انتخاب می شوند. علاوه بر این

مسیرهای	خرابی	که	از
---------	-------	----	----

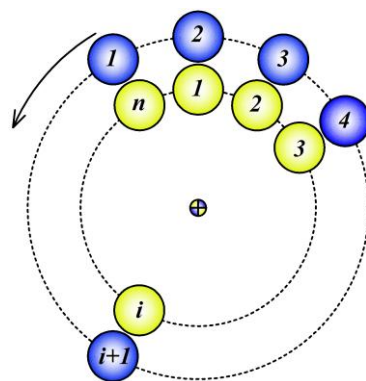
میله های مذکور منشعب می شوند نیز با مسیرهای منشعب از میله i متقارن هستند. در این حالت کلیه محاسبات نظیر سه میله مذکور می تواند کنار گذاشته شود و کفایت مقدار مجموع احتمالات مسیرهای خرابی منشعب از میله i (P_i) تعیین شود و عدد مذکور در چهار ضرب شود. بسیاری از سازه های خرابایی مانند پلها، دکل ها و گنبدها دو یا چند محور تقارن دارند و استفاده از این راهکار در امر بهینه یابی تحت قید قابلیت اعتماد، در عین سادگی می تواند تأثیر چشمگیری در صرفه جویی زمان محاسبات به همراه داشته باشد.

۵-۳- ایجاد رقابت بین جزایر موازی در الگوریتم ژنتیک

همانگونه که در فصل سوم بیان شد در این رساله برای رفع نقیصه کندی و از آن مهم تر کاهش وابستگی الگوریتم ژنتیک به پارامترهای آن از روش الگوریتم ژنتیک جزیره ای استفاده می شود. استفاده از جزایر با پارامترهای متفاوت و نیز انتقال نتایج بین جزایر باعث بهبود عملکرد کلی الگوریتم ژنتیک شده و احتمال افتادن در بهینه محلی را کاهش می دهد. لیکن معمولاً در طول روند بهینه یابی مشخص می شود که جواب های بهینه تنها در تعداد کمی از جزایر تولید شده و سایرین نقش کمتری در این امر داشته اند. دلیل این امر بطور مشخص انتخاب پارامترهای بهتر در این گونه جزایر بوده است.

در این رساله در تقابل دو جزیره در هر یک از مراحل مهاجرت، چنانچه جواب های بهینه جزیره مبدأ از جواب بهینه جزیره مقصد بهتر باشد، انتقال صورت گرفته و جزیره مبدأ امتیاز می گیرد. پس

از گذشت چند مهاجرت و رقابت بین جزایر، چنانچه اختلاف امتیاز دو جزیره ای که قرار است بین آنها اطلاعات منتقل شود به عددی از پیش تعیین شده مانند ۳ برسد، کلیه پارامترها و عملگرهای جزیره برنده به بازنده دیکته شده و از آن مرحله به بعد جزیره بازنده با پارامترهای جدید بکار خود ادامه می دهد. هدف از این کار جلوگیری از بهینه یابی با پارامترهای نامناسب و در نتیجه جلوگیری از اتلاف زمان است. نحوه انتخاب جزایر رقیب (مبدأ و مقصد) در هر مرحله مهاجرت مطابق شکل ۷-۵ است.



شکل ۷-۵. چگونگی انتخاب جزیره مقصد

در این شکل حلقه های درونی و بیرونی به ترتیب نشان دهنده جزایر مبدأ و مقصد در اولین مهاجرت هستند. مطابق این شکل در مهاجرت اول، کروموزوم های شایسته جزیره i ام به جزیره $i+1$ ام مهاجرت کرده و امتیاز دهی صورت می گیرد. در هنگام مهاجرت دوم حلقه بیرونی در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخد و جزیره $i+2$ ام بعنوان جزیره مقصد کروموزوم های شایسته جزیره i ام انتخاب می شود. در n امین مهاجرت جزیره i ام روبروی خود قرار می گیرد. رقابت یا انتقال دو جزیره همسان مفهومی ندارد لذا حلقه بیرونی یک بار دیگر می چرخد و جزیره $i+1$ ام انتخاب می شود. به این ترتیب حلقه بیرونی یک دور کامل چرخیده و همه چیز از ابتدا آغاز می شود.

استفاده از این الگوریتم باعث می شود تا انتقال بین جزایر بصورت مطمئن تر و سریع تری صورت پذیرد. در اکثر تحقیقات انجام

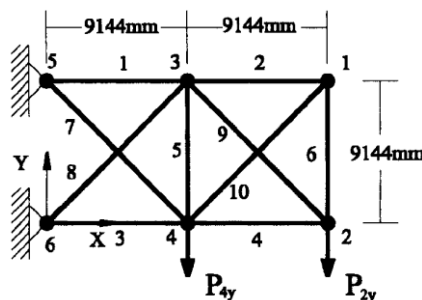
شده جزیره مقصد بصورت رندوم انتخاب می شود و ایراد آن این است که ممکن است برخی از جزایر اصلاً با یکدیگر ارتباط برقرار نکنند [۶۲].

وقفه مهاجرت و نرخ مهاجرت تأثیر مهمی در یافتن بهینه کلی دارد. چنانچه عمل مهاجرت زیاد صورت پذیرد و تعداد کروموزوم های مهاجر زیاد باشد، جزایر فرصت تولید کروموزوم های تکامل یافته تر را از دست می دهند. در این حالت کروموزوم ها مرتباً از بین رفته و کروموزوم های جزایر دیگر جای آنها را می گیرند. چنانچه وقفه مهاجرت و نرخ آن کوچک باشد جزایر نسبت به یکدیگر ایزوله شده و مزایای استفاده از یک جمعیت بزرگ از بین می رود [۵۷].

در اینجا برای ارزیابی راهکار پیشنهادی دو مثال بهینه یابی مقاطع و توپولوژی خرپا تحت قید تنش اعضا و جابجایی گره ها ارائه می شود. هدف از ارائه این مثال ها صرفاً ارزیابی راهکار پیشنهادی بوده و لذا بنظر تسریع امر بهینه یابی از قید احتمال خرابی سیستم سازه ای صرف نظر شده است. در این مثالها $E=68/97GN/m^2$ و $\rho=27126/4 N/m^3$ در نظر گرفته شده است.

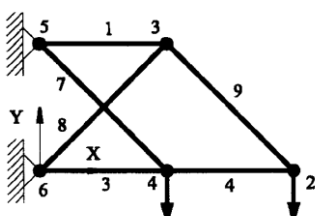
مثال ۵-۲: خرپای ۶ گره ای مطابق شکل ۵-۸ مفروض است. این مثال معمولاً بعنوان یک مثال متداول در مسائل بهینه یابی مطرح است. تنش مجاز اعضا $172/4 MN/m^2$ و جابجایی مجاز گره ها $5/08$ سانتیمتر در نظر گرفته می شود. بارهای قائم نشان داده شده در شکل برابر با $445/4$ کیلو نیوتون در نظر گرفته می شود. مقاطع استفاده شده در بهینه یابی از لیست زیر می باشد:

$$S = \left\{ \begin{matrix} 10.45, 11.61, 15.35, 16.90, 18.58, 19.94, 20.19, 21.81, 23.42, 24.77, 24.97, 26.97, 28.97, 30.97, 32.06, 33.03, 37.03 \\ 46.58, 51.42, 74.19, 87.1, 89.68, 91.61, 100.0, 103.23, 121.29, 128.39, 141.94, 147.74, 170.97, 193.55, 216.13 \end{matrix} \right\} (Cm^2)$$



شکل ۵-۸. سازه ی مبنای خرابی ۶ گره ای

توپولوژی بهینه بدست آمده پس از انجام بهینه یابی در شکل ۵-۹ و اعداد نظیر سطح مقطع در جدول ۵-۳ ارائه شده است.



شکل ۵-۹. سازه بهینه برای خرابی ۶ گره ای

جدول ۵-۳. سطح مقطع اعضای سازه بهینه با روش های SGA، DGA و CDGA

سطح مقطع اعضا (Cm ²)										وزن (N)	روش
A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁		
---	۱۴۱/۹۴	۱۴۱/۹۴	۴۶/۵۸	---	---	۱۰۰/۰	۱۲۸/۳۹	---	۱۹۳/۵۵	۴۶۹۲/۱	SGA
---	۱۴۱/۹۴	۱۴۱/۹۴	۴۶/۵۸	---	---	۱۰۰/۰	۱۲۸/۳۹	---	۱۹۳/۵۵	۴۶۹۲/۱	DGA
---	۱۴۱/۹۴	۱۴۱/۹۴	۴۶/۵۸	---	---	۱۰۰/۰	۱۲۸/۳۹	---	۱۹۳/۵۵	۴۶۹۲/۱	CDGA

جواب بهینه قید شده در جدول ۵-۳ با مرجع [۶۵] یکسان است، لیکن برای بررسی بیشتر در مورد راهکار پیشنهادی بهترین، متوسط و بدترین جوابهای بهینه بدست آمده در طی ۸۰ بار اجرا در ۱۰۰۰ نسل و بین ۱۰۰ کروموزوم، در سه حالت الگوریتم ژنتیک ساده (SGA) الگوریتم ژنتیک توزیع یافته (DGA) و الگوریتم ژنتیک توزیع یافته رقابتی (CDGA) در جدول ۵-۴ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

مزیت عمده استفاده از روش های DGA و CDGA کاهش احتمال افتادن در بهینه محلی است. بر اساس نتایج با استفاده از روش های SGA و DGA و CDGA به ترتیب ۵ و ۱۳ و ۱۵ مرتبه از ۸۰ مرتبه، بهترین جواب بهینه حاصل گردید که نشاندهنده برتری روش های DGA و CDGA

است. همچنین با توجه به اینکه در روش پیشنهادی CDGA از کارکرد جزایر ناشایسته جلوگیری می شود شانس یافتن جواب بهینه بیشتر از روش DGA است.

جدول ۴-۵. مقایسه کارایی روش های SGA، DGA و CDGA

روش	بهترین (N)	متوسط (N)	بدترین (N)	نسل مولد بهینه
SGA	۴۹۶۲/۱	۵۰۸۶/۵۴۲	۵۲۳۷/۸۲۳	۷۳۴
DGA	۴۹۶۲/۱	۴۹۹۷/۰۱۲	۵۲۰۷/۶۹۸	۶۰۲
CDGA	۴۹۶۲/۱	۴۹۸۲/۳۲۲	۵۲۱۷/۷۹۸	۵۴۵

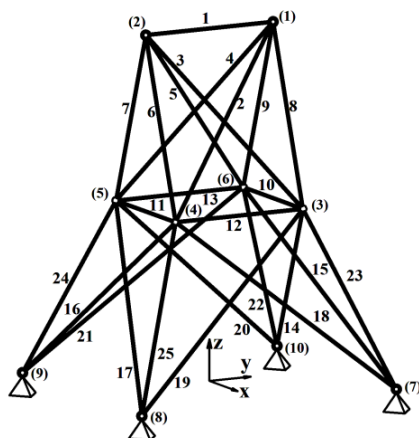
از طرف دیگر مطابق نتایج جدول ۴-۵ با استفاده از روش پیشنهادی جواب بهینه در هر مرتبه بهینه یابی سریعتر از روش های دیگر پیدا می شود که نشاندهنده سرعت همگرایی بهتر روش پیشنهادی است. دلیل این امر بهینه یابی با جزایر شایسته است.

زمان اجرا با استفاده از پنج پردازشگر موازی در روش های یاد شده در جدول ۵-۵ قید شده است. بر اساس نتایج این جدول زمان اجرای برنامه با استفاده از پردازشگرهای موازی حدود ۸۰٪ کاهش یافته است. لذا می توان گفت زمان اجرا با تعداد پردازشگرها رابطه خطی معکوس دارد.

جدول ۵-۵. زمان صرف شده در روش های مختلف (s)

روش	SGA	DGA	CDGA
زمان (ثانیه)	۶۶۲	۱۹۳/۲	۱۹۵

مثال ۳-۵: خریای ۱۰ گره ای و ۲۵ عضوی مطابق شکل ۵-۱۰ مفروض است. مختصات گره های سازه در جدول ۵-۶ ارائه شده است. بارهای وارده بر سازه و گره های نظیر در جدول ۵-۷ ارائه شده است.



شکل ۵-۱۰. سازه مینای خریای ۱۰ گره ای مثال ۵-۳

حداکثر جابجایی مجاز برای گره های ۱ و ۲ در دو جهت x و y برابر با $۰/۸۸۹$ سانتیمتر در نظر

گرفته

می شود. اعضای این خرپا به ۸ گروه مطابق جدول ۵-۸ گروه بندی شده و تنش مجاز فشاری و

کششی برای هریک از گروه های ۸ گانه در این جدول قید شده است.

جدول ۵-۶. مختصات گره ها در مثال ۵-۳ (سانتیمتر)

شماره عضو	x	y	z
۱	۰	۹۵/۲۵	۵۰۸
۲	۰	-۹۵/۲۵	۵۰۸
۳	۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۲۵۴
۴	۹۵/۲۵	-۹۵/۲۵	۲۵۴
۵	-۹۵/۲۵	-۹۵/۲۵	۲۵۴
۶	-۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۲۵۴
۷	۲۵۴	۲۵۴	۰
۸	۲۵۴	-۲۵۴	۰
۹	-۲۵۴	-۲۵۴	۰
۱۰	-۲۵۴	۲۵۴	۰

جدول ۵-۷. بارهای وارد بر سازه ۱۰ گرهی و گره های نظیر

بارگذاری	شماره گره	P_x (KN)	P_y (KN)	P_z (KN)
۱	۱	۴/۴۵	-۲۲/۲۵	۴۴/۵
	۲	۰	-۲۲/۲۵	۴۴/۵
	۳	۲/۲۲۵	۰	۰
	۶	۲/۲۲۵	۰	۰
۲	۱	۰	-۲۲/۲۵	۸۹
	۲	۰	-۲۲/۲۵	-۸۹

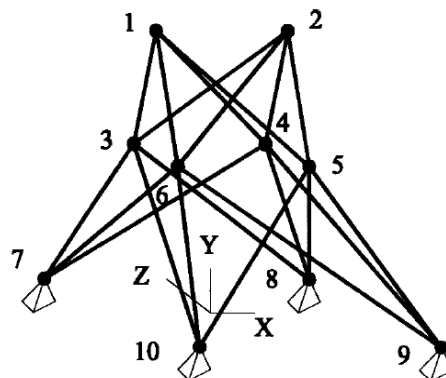
جدول ۵-۸. گروه بندی اعضا و تنشهای مجاز کششی و فشاری نظیر

شمار ه گروه	گره های انتهایی اعضای گروه	تنش مجاز کششی (N/cm ²)	تنش مجاز فشاری (N/cm ²)
1	1-2	27590	24204
2	1-4 , 2-3 , 1-5 , 2-6	27590	7994
3	2-5 , 2-4 , 1-3 , 1-6	27590	11936
4	3-6 , 4-5	27590	24204
5	3-4 , 5-6	27590	24204
6	3-10 , 6-7 , 4-9 , 5-8	27590	4662
7	3-8 , 4-7 , 6-9 , 5-10	27590	4662
8	3-7 , 4-8 , 5-9 , 6-10	27590	7664

توپولوژی بهینه بدست آمده در شکل ۵-۱۱ و اعداد نظیر آن در جدول ۵-۹ ارائه شده است. بانک

مقاطع انتخابی در ذیل ارائه شده است.

$$S = \{0.774, 1.255, 2.142, 3.348, 4.065, 4.632, 6.542, 7.742, 9.032, 10.839, 12.671, 14.581, 21.483, 34.839, 44.516, 52.903, 60.258, 65.226\} (Cm^2)$$



شکل ۵-۱۱. سازه بهینه خریای ۱۰ گرهی مثال ۵-۳

جدول ۵-۹. سطح مقطع بهینه بدست آمده با روشهای SGA, DGA و CDGA

سطح مقطع گروه ها (Cm ²)								Wei ght (N)	Cro ss sect ions
A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁		
۱۴/ ۵۸ ۱	۱۲/۶۷۱	۶/۵۴۲	---	---	۲۱/۴۸۳	۱۰/۸۳۹	---	۲۵۱۷/۲۴	SG A
۱۴/ ۵۸ ۱	۱۲/۶۷۱	۶/۵۴۲	---	---	۲۱/۴۸۳	۱۰/۸۳۹	---	۲۵۱۷/۲۴	DG A
۱۴/ ۵۸ ۱	۱۲/۶۷۱	۶/۵۴۲	---	---	۲۱/۴۸۳	۱۰/۸۳۹	---	۲۵۱۷/۲۴	CD GA

بر اساس نتایج جدول ۵-۹ بهترین جواب بدست آمده در ۸۰ بار عملیات بهینه یابی با استفاده از روش های **SGA**، **DGA** و **CDGA** یکسان با مرجع [۶۵] است، لیکن طبق جدول ۵-۱۰ متوسط و بدترین جواب بهینه در روش های **DGA** و **CDGA** از حالت **SGA** بهتر است. در این جدول زمان (نسل) تولید جواب بهینه نهایی در سه روش مختلف مقایسه شده است. همچنین طبق نتایج این جدول جواب بهینه در روش پیشنهادی **CDGA** سریعتر از دو روش قبل بدست آمده است.

جدول ۵-۱۰. مقایسه کارایی روش های **SGA**، **DGA** و **CDGA**

روش	بهترین	متوسط	بدترین	نسل مولد بهینه
SGA	۲۵۱۷/۲۴	۲۵۴۱/۵۳	۲۵۷۷/۲	۸۰۵
DGA	۲۵۱۷/۲۴	۲۵۳۱/۶۹	۲۵۵۶/۱	۶۹۸
CDG A	۲۵۱۷/۲۴	۲۵۲۲/۱	۲۵۴۱/۲	۵۷۰

زمان اجرای برنامه با استفاده از روش های یاد شده در جدول ۵-۱۱ ارائه شده است. مطابق مثال ۵-۲ با استفاده از پردازشگرهای موازی زمان اجرا به یک پنجم کاهش یافت که نشان دهنده رابطه خطی معکوس بین تعداد پردازشگرها با زمان اجراست.

جدول ۵-۱۱. زمان صرف شده در روش های مختلف (s)

روش	SGA	DGA	CDGA
زمان (ثانیه)	۱۵۱۳	۳۳۰	۳۳۴

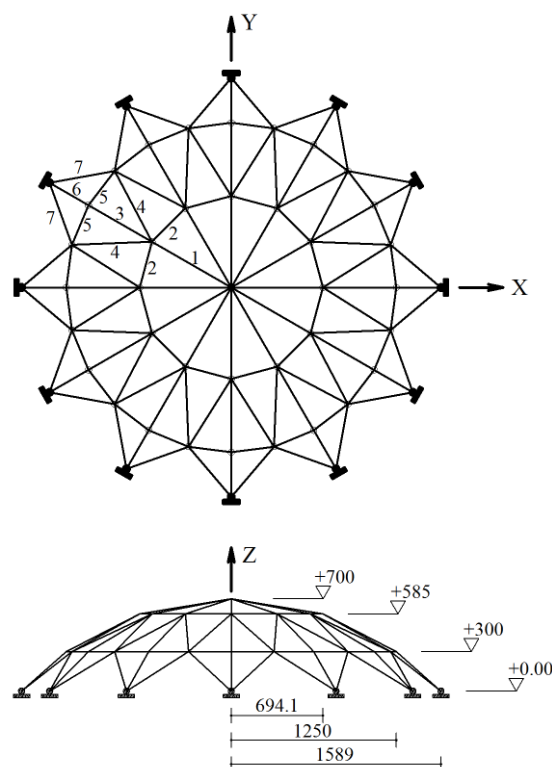
۵-۴- راهکار سوم: بهبود فرمول بندی روش جبری نیروها

قبل از بیان روابط پیشنهادی بهتر است مختصری در مورد کارایی روش تحلیل سختی خرابا و کاربرد آن در تعیین احتمال خرابی سیستم های سازه ای بحث شود.

گنبد ۱۲۰ میله ای مطابق شکل ۵-۱۲ مفروض است. این خرپا دارای ۱۱۱ درجه آزادی فعال گرهی و ۹ درجه نامعینی است. تعیین نیروهای اعضای خرپا در روش سختی منوط به تعیین ماتریس سختی کل سازه و سپس تعیین بردار تغییر مکانهای گرهی a از طریق حل معادله ماتریسی رابطه زیر است.

$$K.a = F \quad (۵-۱)$$

در معادله فوق K ماتریس سختی کل سازه و F بردار نیروهای مؤثر خارجی است. حل معادله فوق به منزله تحلیل یک دستگاه ۱۱۱ معادله و ۱۱۱ مجهول (تعداد درجات آزادی فعال گرهی) است. در عملیات شاخه ای زمانی که عضوی از خرپا حذف می شود علاوه بر توزیع مجدد نیروها باید ماتریس سختی کل خرپا اصلاح شود. این امر با صفر در نظر گرفتن سختی عضو مورد نظر و تصحیح درایه های نظیر آن در ماتریس سختی کل میسر می شود. سپس لازم است خرپای جدید تحلیل قابلیت اعتماد شود تا احتمال خرابی اعضا بدست آید و از بین آنها عضوی که بیشترین احتمال خرابی را دارد انتخاب شود. این عملیات حذف اعضا و تحلیل سازه های جدید باید تا وقوع خرابی یا همان صفر شدن دترمینان ماتریس سختی کل خرپا ادامه یابد. هر بار تحلیل قابلیت اعتماد خرپا مستلزم اصلاح ماتریس سختی کل و حل مکرر دستگاه معادلاتی با تعداد درجات آزادی فعال گرهی (۱۱۱) برای گنبد خرپایی ۱۲۰ میله ای مورد بحث) است.



شکل ۵-۱۲. گنبد ۱۲۰ میله ای

در روش جبری نیروها نیز مانند روش سختی می توان با حذف هر عضو ماتریس H را تصحیح کرد، لیکن این امر مستلزم شروعی مجدد است. یعنی کلیه عملیات افزاز ماتریس H به زیر ماتریس های H_1 و H_2 به روش تجزیه LU ، تعیین ماتریس های B_0 و B_1 و حل معادله ۳-۴ دوباره باید انجام شود. در این حالت تعداد عملیات به قدری زیاد است که بهتر است از همان روش سختی استفاده شود، لیکن می توان با اعمال تغییراتی در روش تحلیل جبری نیروها حل مسأله قابلیت اعتماد سازه را چنان تسریع کرد که زمان بسیار کمتری نسبت به روش سختی صرف کند.

با نگاهی به نحوه تشکیل ماتریس H مشخص می شود که درایه های این ماتریس مستقل از خصوصیات مکانیکی اعضا نظیر سطح مقطع، مدول الاستستیه و غیره بدست می آیند. بدین ترتیب کلیه ماتریس هایی که از این ماتریس نتیجه می شوند (H_1 ، H_2 ، B_0 و B_1) مستقل از سختی اعضای خرپا هستند. این بدان معنی است که لازم نیست مسأله از اول شروع شود و تنها باید سختی عضو مورد نظر را برابر صفر یا به عبارت دیگر نرمی آن را بی نهایت یا برابر با یک عدد بسیار بزرگ در نظر

گرفت. با این کار ماتریس نرمی F_m اصلاح می شود و فقط کافیسست معادله ۳-۴ با اصلاح انجام شده دوباره حل شود. حل معادله مذکور برای گنبد ۱۲۰ میله ای یاد شده زمان زیادی صرف نمی کند زیرا فقط یک دستگاه ۹ معادله و ۹ مجهولی (به جای ۱۱۱ معادله و ۱۱۱ مجهولی) باید حل شود. به عبارت دیگر در روش نرمی حل دستگاه معادلات خطی از تعداد درجات آزادی فعال گرهی به تعداد درجات نامعینی استاتیکی (که معمولاً بسیار کمتر است) تقلیل یافته و لذا زمان تحلیل بطور کاملاً چشمگیری کاهش می یابد.

بطور خلاصه با بهبود بوجود آمده در روش جبری نیروها، روش مذکور سه برتری نسبت به روش مرسوم سختی پیدا می کند.

- تعداد معادلات لازم در روش پیشنهادی برای سازه های متعارف معمولاً بطور چشمگیری از روش مرسوم سختی کمتر بوده و با توجه به این که حل معادلات فوق در تحلیل قابلیت اعتماد سازه ای برای هر کروموزوم با دفعات بسیار زیاد انجام می شود استفاده از روش جدید زمان قابل توجهی را ذخیره می سازد.

- در روش پیشنهادی ماتریس H و کلیه ماتریس های منتج از آن (H_1, H_2, B_0, B_1) تنها یک بار برای سازه اولیه کروموزوم اول نسل اول الگوریتم ژنتیک تولید شده و دیگر هرگز تولید نخواهند شد. این در حالیست که در روش سختی ماتریس سختی هر کروموزوم با کروموزوم دیگر فرق دارد و لذا به تعداد کروموزوم ها باید ماتریس سختی کل نظیر آنها را محاسبه کرد و در ضمن به ازای حذف هر عضو در هر کروموزوم باید آنرا اصلاح نمود.

- در روش پیشنهادی بر خلاف روش سختی، نیروهای اعضا بطور مستقیم و قبل از محاسبه بردار تغییر مکان های گرهی پیدا می شود و لذا زمانی برای تعیین تغییر مکانها صرف نخواهد شد.

شایان ذکر است که در روش پیشنهادی، ایجاد نیرو در هر یک از میله هایی که حذف شده است به منزله ناپایداری خرپا خواهد بود.

۵-۵- راهکار چهارم: استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی

در این تحقیق از عامل های هوشمند در سه فاز متفاوت استفاده می شود.

۵-۵-۱- عامل هوشمند فاز اول

در روند تحلیل قابلیت اعتماد یک خرپا، همواره مقدار قابل توجهی از زمان محاسبات به کنترل پایداری سازه های ایجاد شده در اثر حذف متوالی اعضا اختصاص می یابد. وظیفه عامل هوشمند فاز اول ذخیره سازی مسیرهای خرابی هر کروموزوم و شناسایی مجدد این مسیرها در صورت تکرار است. این شناسایی نه تنها ادامه تحلیل آن کروموزوم، بلکه تحلیل کلیه کروموزوم های نسلهای بعدی را نیز (در صورت تکرار) شامل می شود. بنابراین زمان لازم برای کنترل شرط خرابی در مورد تمامی این مسیرهای تکراری صرفه جویی می شود.

هر مسیر خرابی در یک خرپا نشان دهنده توالی خرابی تعدادی از میله های آن است. در این تحقیق از عامل هوشمند فاز اول بطور خاص برای خرپا استفاده شده است لیکن مطالب ارائه شده با کمی تغییر قابل تعمیم به سازه های قابی نیز است.

در یک خرپای n میله ای چنانچه مسیر $i \rightarrow j \rightarrow k$ یک مسیر خرابی باشد آنگاه مسیر $i \rightarrow k \rightarrow j$ یا هر ترکیب دیگر این سه عضو نیز باعث خرابی سازه می شود. به عبارت دیگر عدم حضور سه عضو مذکور بطور همزمان (مستقل از ترتیب وقوع آنها) منجر به ناپایداری خرپا خواهد شد. حال اگر در این خرپا دو عضو i و k حذف شده باشد، قطعاً حذف عضو سوم (j) باعث خرابی است و نیازی به تحلیل خرپا و کنترل شرط خرابی نیست. همانگونه که بیان شد شرط خرابی خرپا در تحلیل به روش سختی، صفر شدن دترمینان ماتریس سختی کل و در تحلیل با روش نرمی پیشنهادی، ایجاد نیرو در میله های حذف شده است.

به جای این روش می توان از روش سریع جستجوی دودویی^{۴۳} استفاده کرد [۷۱] لیکن باید قبلاً اعضای بانک به صورت صعودی یا نزولی مرتب شده باشد. با توجه به ذخیره سازی رشته ها بصورت بیان شده امکان مقایسه و مرتب سازی آنها وجود دارد.

مقایسه رشته ها مانند مقایسه اعداد در مبنای ۲ است. چنانچه بانک بصورت نزولی مرتب شده باشد برای پیدا کردن یک رشته باید آن را با عضو وسط بانک مقایسه کرد. اکنون اگر رشته مورد نظر از رشته وسطی بزرگتر باشد جواب در نیمه بالایی بانک است و برعکس.

با این روش در گام اول فضای جستجو به نصف آن و در گام دوم به یک چهارم تقلیل می یابد. این کار تا زمانی که رشته مورد نظر پیدا شود ادامه می یابد. حداکثر تعداد عملیات لازم n_{max} در این روش برای بانک با تعداد اعضای N از رابطه ۵-۳ بدست می آید.

$$n_{max} = \text{int}[\log_2 N] + 1 \quad (5-3)$$

در رابطه فوق int تابع جزء صحیح است. n_{max} در مقایسه با N به مراتب کوچک تر است و لذا استفاده از این روش در یک فضای جستجوی بزرگ اجتناب ناپذیر است. مرتب سازی رشته ها در بانک از ابتدا باید به گونه ای باشد که هر رشته در جای خود ذخیره شود تا نیازی به مرتب سازی بانک پس از ورود هر رشته جدید وجود نداشته باشد. در این تحقیق برای پیدا کردن موقعیت صحیح یک رشته جدید از روش مرتب سازی فوری^{۴۴} استفاده شده است [۷۱].

همواره در حین انجام عملیات، مقداری از زمان محاسبات صرف کنترل شرط خرابی می شود. با استفاده از تکنیک های هوش مصنوعی می توان مسیر های تکراری را شناسایی و از انجام عملیات تکراری خودداری نمود. این کار باعث کاهش زمان مورد نیاز برای یافتن احتمال خرابی سازه می شود. در این تحقیق روش کار هوش مصنوعی به این شکل است که عامل هوشمند فاز اول در زمان برخورد با مسیر جدید ابتدا با روش جستجوی دودویی بررسی می کند آیا این ترکیب میله ها در

⁴³ Binary search

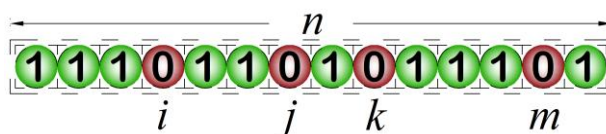
⁴⁴ Quick srot

مسیرهای خرابی قبلی وجود داشته است یا خیر. در صورت یافتن پاسخ مثبت، از کنترل شرط خرابی و تحلیل بی مورد جلوگیری کرده و سریعاً خرابی را اعلام می کند. در غیر اینصورت خرابی را جهت تحلیل و کنترل پایداری به واحد تحلیل ارسال و خود نیز بر آن نظارت می کند. بعد از تحلیل خرابی، این عامل هوشمند نتایج را بررسی کرده و در صورت وقوع خرابی، اعضای مسیر را با استفاده از الگوریتم مرتب سازی فوری در بانک اطلاعاتی خود ذخیره می کند تا در صورت نیاز از آن استفاده کند.

همانگونه که بیان شد در این تحقیق با ایجاد توالی خرابی $i \rightarrow j \rightarrow k$ رشته نظیر آن یعنی رشته معادله ۲-۵ در بانک خرابی ذخیره می شود و از روی آن ۱-۳ توالی خرابی دیگر که شامل اعضای فوق هستند، مورد شناسایی قرار گرفته و کنترل و ذخیره سازی تکراری بر روی آن صورت نمی پذیرد. لیکن هنوز مسیر های خرابی دیگری وجود دارد که می توان آنها را با توجه به رشته معادله ۲-۵ شناسایی کرد. به عنوان مثال چنانچه در خرپای مورد نظر مسیر $j \rightarrow m \rightarrow k$ منجر به خرابی نشود، عملیات شاخه ای ادامه می یابد.

اکنون اگر پس از تحلیل قابلیت اعتماد خرپا عضو i به عنوان عضو بعدی مسیر شناخته شود، مسیر جدید یعنی $i \rightarrow j \rightarrow m \rightarrow k$ (رشته ۴-۵) قطعاً یک مسیر خرابی است چرا که شامل i, j, k است. این بدان معنی است که تعداد مسیرهایی که می توان شناسایی کرد به مراتب بیشتر از ۳! است. بطور کلی

می توان گفت که تمام مسیرهای شامل سه عضو مذکور منجر به خرابی می شوند و لازم نیست شرط خرابی در مورد آنها کنترل شود.



(۴-۵)

نحوه مقایسه رشته ها باید بگونه ای باشد که خرابی رشته جدید (۴-۵) با مقایسه با رشته معادله ۲-۵ که در بانک موجود است، قابل پیش بینی باشد. تمامی کاراکترهای رشته فوق (رشته ۴-۵)، بجز کاراکتر m ام، با رشته مسیر $i \rightarrow j \rightarrow k$ (رشته ۲-۵) یکسان است. اکنون اگر از عملگر "&" در مورد دو رشته فوق استفاده شود (ترکیب عطفی دو رشته)، پاسخ رشته ۴-۵ خواهد بود. زیرا این عملگر بین دو رویداد 0 و 1 (کاراکتر m ام) رویداد 0 را پاسخ می دهد. بطور کلی تنها زمانی پاسخ این عملگر 1 است که هر دو رویداد 1 باشد. مقایسه انجام شده بصورت رابطه ریاضی ۵-۵ نمایش داده می شود.

$$\begin{array}{r} 11101101011111 \\ \&11101101011101 \\ \hline 11101101011101 \end{array} \quad (5-5)$$

از مطالب یاد شده چنین برداشت می شود که هرگاه ترکیب عطفی رشته جدید با یکی از رشته های موجود در بانک برابر با رشته جدید شد، رشته مورد نظر نشاندهنده یک مسیر خرابی است و نیازی به کنترل شرط خرابی و ذخیره سازی آن وجود ندارد.

همانگونه که بیان شد در این تحقیق پس از ذخیره سازی توالی اول مانند رشته ۲-۵، از روش جستجوی دودویی برای شناسایی ۱-۳! (بطور کلی $n_0! - 1$) توالی خرابی بعدی استفاده شده است. معیار مقایسه در این حالت تساوی یا تکرار رشته هایی از قبیل رشته ۲-۵ است و فضای جستجو با توجه به مقایسه بزرگتری یا کوچکتري نصف می شود و عملیات تا جایی ادامه می یابد که رشته مورد نظر پیدا شود. لیکن برای شناسایی توالی های بیشتر مانند رشته ۴-۵ که دارای اعضای حذف شده بیشتری هستند، معیار مقایسه دیگر تساوی نیست. همانگونه که بیان شد معیار مقایسه در اینجا یکسان بودن رشته جدید و ترکیب عطفی آن با یکی از رشته های بانک است. بنابراین مقایسه بزرگتری یا کوچکتري رشته جدید با رشته های موجود که در حالت قبل استفاده شد، در اینجا وجود ندارد و باید الگوریتم دیگری برای مرتب سازی و جستجوی دودویی پیدا نمود.

۵-۵-۲- عامل هوشمند فاز دوم

در بهینه یابی با الگوریتم ژنتیک جمعیت اولیه بصورت کاملاً تصادفی تولید می شود. برای تولید نسلهای بعدی رقابت بین کروموزوم ها صورت می پذیرد و کروموزوم های شایسته تر شانس بیشتری برای ادغام پیدا می کنند. به این ترتیب در ادامه و پس از تولید نسلهای بعدی کروموزوم های بهتری ایجاد

می شود. با دقت در این کروموزوم ها مشاهده می شود که شباهت بسیاری بین آنها وجود دارد و حتی بسیاری از آنها تکراری هستند. این کروموزوم ها یقیناً فرزندان همان هایی هستند که شایستگی بالاتری داشته اند. نکته جالب این است که این کروموزوم های تکراری در نسل های بعدی نیز مجدداً تولید

می شوند. این مسأله در نسل های پایانی بارزتر بوده، بطوریکه تعداد کپی های یک کروموزوم ممکن است حتی از نصف تعداد جمعیت آن نسل بیشتر شود. انجام عملیات تکراری برای یک کروموزوم خاص در یک نسل و نیز در نسل های بعدی هیچ فایده ای ندارد و فقط زمان برنامه را به هدر می دهد.

در این تحقیق از عامل هوشمند فاز دوم برای شناسایی این کروموزوم ها استفاده شده است. این عامل در هر نسل کروموزوم هایی را که شایستگی آنها از متوسط شایستگی نسل قبل بیشتر است، ذخیره

می کند. در صورت تکرار این کروموزوم ها، عامل هوشمند آنها را بسادگی تشخیص می دهد و بجای تحلیل های اضافی و وقت گیر، مقدار شایستگی نظیر آنها را مستقیماً اعلام می کند.

منطق استفاده شده در این عامل هوشمند در عین سادگی، کاربرد بسیاری دارد. تنها نکته مهم

این است که برای ذخیره سازی رشته ها باید از الگوریتم های مناسب مانند آنچه در بخش ۵-۵-۱ معرفی شد، استفاده شود تا کارایی این عامل بالاتر برود.

عامل هوشمند فاز دوم صرفاً برای مسائل بهینه یابی تحت قید قابلیت اعتماد کاربرد ندارد. از این عامل می توان برای کلیه مسائل بهینه یابی که زمان تحلیل کروموزوم های آن، نسبت به زمان پردازش عملگرهای الگوریتم ژنتیک بطور قابل توجه بیشتر است، استفاده کرد. همانگونه که بیان شد در اغلب موارد مهندسی تحلیل کروموزوم ها حدود ۸۵ تا ۹۵ درصد زمان برنامه را به خود اختصاص می دهد. این عدد در مورد مسأله مورد بحث این رساله حتی از ۹۹ درصد بیشتر نیز است. بعبارت دیگر کمتر از یک درصد از زمان محاسبات صرف انجام عملیات الگوریتم ژنتیک می شود.

اگر از یک درصد زمان مختص به الگوریتم ژنتیک صرفنظر شود، نتیجه جالبی حاصل می شود. در یک الگوریتم ژنتیک با تعداد جمعیت P و نسل هریک بار که عامل هوشمند کروموزوم تکراری پیدا می کند به مقدار $1/(PG)$ در زمان محاسبات صرفه جویی می شود.

در ادامه مطالبی که در بخش ۵-۵-۳ (عامل هوشمند فاز سوم) ارائه خواهد شد، مشخص می شود که مقدار صرفه جویی بوجود آمده بیشتر از این مقدار است. براساس نتایج بخش یاد شده زمان تحلیل کروموزوم های با شایستگی بالا نسبت به سایرین به مراتب بالاتر است. به عبارت دیگر تحلیل کروموزوم هایی که شایستگی کمتری دارند خیلی سریع تر انجام می شود.

مجدداً یادآوری می شود که عامل هوشمند فاز دوم تنها شایسته ترین کروموزوم ها را ذخیره و شناسایی می کند، یعنی همان کروموزوم هایی که زمان تحلیل بالاتری دارند. بنابراین صرفه جویی بوجود آمده در اثر شناسایی یک کروموزوم به مراتب بیشتر از مقدار $1/(PG)$ است. عامل هوشمند فاز دوم در نسلهای پایانی الگوریتم ژنتیک کاربرد بیشتری دارد.

۵-۵-۳- عامل هوشمند فاز سوم

در برخی از مسائل بهینه یابی در زمینه مهندسی در حین محاسبه شایستگی هر کروموزوم و قبل از اتمام تحلیل می توان در مورد شایسته بودن آن کروموزوم قضاوت کرد. بطور مثال بسیاری از کروموزوم ها از اوایل تحلیل نشانه هایی از نقض قید از خود نشان می دهند. اگر مقادیر این نقض قید

ها زیاد باشد، لزومی به اتمام تحلیل و محاسبه تابع پنالتی و غیره نیست. به عبارت دیگر در همین مرحله مشخص است که این کروموزوم شایستگی انتخاب برای ادغام را ندارد.

از سوی دیگر برخی کروموزوم ها معرف طرح های دست بالا هستند به نحوی که تابع هدف را بهینه نمی کنند. این گونه کروموزوم ها معمولاً شایستگی پایینی داشته و شناسایی آنها پیش از اتمام تحلیل در برخی مسائل مهندسی امکان پذیر است. اتمام تحلیل این گونه کروموزوم ها عملاً فایده ای نداشته و فقط زمان محاسبات را بالا می برد.

هدف اصلی عامل هوشمند فاز سوم اعمال چنین قضاوت هایی است که نتیجه آن جلوگیری از محاسبات اضافی و صرفه جویی در زمان خواهد بود. خوشبختانه روابط تعیین احتمال خرابی یک سیستم سازه ای به نحوی است که می توان در میانه (یا حتی در همان اوایل) تحلیل در مورد وضعیت سازه اظهار نظر نمود.

نحوه کار عامل هوشمند فاز سوم با یک مثال شرح داده می شود و در آن دو وضعیت خرابی دست بالا طراحی شده و خرابی با نقض قید شدید مورد بررسی قرار می گیرد. یک خرابی n میله ای نامعین مفروض است. هدف یافتن سطح مقطع میله های خراب است بطوریکه کمترین وزن برای خرابی حاصل شود و مقدار احتمال خرابی کل آن از 10^{-5} (احتمال خرابی مجاز) کوچکتر باشد. مقدار n برابر با ۲ فرض می شود.

الف- خرابی دست بالا طراحی شده

اعضای این خرابی چنان دست بالا طراحی شده است که احتمال خرابی محتمل ترین عضو عددی به مراتب کوچکتر از 10^{-5} مثلاً 10^{-13} در نظر گرفته می شود. در این حالت طبق مفاهیم عملیات کرانه ای احتمال وقوع تمامی مسیرهای خرابی قطعاً از عدد مذکور (10^{-13}) کوچکتر بوده و لذا کلیه

این مسیرها در خرپای مورد نظر پیش از تولید باید کنار گذاشته شوند. عدم تولید این مسیرها زمان محاسبات را بطور قابل توجهی کاهش می دهد.

بطور خلاصه معیار حذف مسیرها توسط عامل هوشمند فاز سوم ارضا کردن رابطه ۵-۶ است.

$$P_{f_i} \leq P_{f,all} \cdot 10^{-(\eta+\mu)} \quad (۵-۶)$$

در رابطه فوق $P_{f,all}$ احتمال خرابی مجاز (قید مسأله طراحی) و μ یک ثابت عددی است که انتخاب آن بعهده طراح است. انتخاب عددی مانند ۲ یا ۳ برای μ ، انتخاب مناسبی است زیرا کروموزومی که با این مقدار μ رابطه ۵-۶ را ارضا کند، یقیناً کروموزوم دست بالا بوده و علیرغم جریمه صفر، شایستگی انتخاب ندارد. دقت شود که با استفاده از راهکار پیشنهادی در این حالت هیچگونه عملیات شاخه ای انجام نشده و تحلیل خرپا خیلی سریع و در همان اول تحلیل خاتمه می یابد.

ب- خرپای با نقض قید شدید

اکنون وضعیت دیگری مد نظر قرار گرفته می شود که در آن امکان صرفه جویی در حجم و زمان محاسبات وجود دارد. در مثال یاد شده تمامی کروموزوم هایی (خرپاهایی) که احتمال خرابی آن بزرگتر از 10^{-5} است نقض قید کرده و باید جریمه شوند. لیکن بین دو کروموزوم که احتمال خرابی آنها

$10^{-5} \times 1/0.1$ و 0.99 است تفاوت زیادی وجود دارد. همچنین میزان نقض قید و جریمه این دو کروموزوم کاملاً متفاوت است. در هنگام تحلیل کروموزوم اول تا لحظه پایان نمی توان پیش بینی نمود که آیا نقض قید می کند یا نه. اما در مورد کروموزوم دوم وضعیت متفاوت است. اگر مجموع احتمال مسیرهای خرابی (کران فوقانی کرنل) در اوایل تحلیل به عددی مانند 10^{-2} برسد، نیازی به ادامه تحلیل نیست و در همین مرحله مشخص است که نقض قید صورت پذیرفته و چنین کروموزومی باید جریمه شود.

این امر سبب می شود که در بسیاری از موارد عملیات زودتر از موعد مقرر پایان یابد و بخش عظیمی از مسیرهای خرابی و محاسبات نظیر آنها کنار گذاشته شود. تنها نکته باقیمانده تعریف معیاری دقیق برای اتمام عملیات است. از رابطه ۵-۷ می توان برای کنترل شرط پایان استفاده نمود.

$$\sum_{i=1}^p P_{f_i} \geq P_{f,all} \cdot 10^{\mu} \quad (7-5)$$

عبارت سمت چپ نامعادله نشان دهنده مجموع احتمالات مسیرهای خرابی حاکم از ابتدای تحلیل تا مسیر جاری (مسیر p ام) است. $P_{f,all}$ احتمال خرابی مجاز (قید مسأله طراحی) و μ یک ثابت عددی است که انتخاب آن بعهده طراح است. کروموزومی که در حین تحلیل معیار رابطه ۵-۷ را ارضا کند باید بشدت جریمه شود بطوریکه شانس انتخاب و ادغام پیدا نکند. انتخاب عددی مانند ۲ یا ۳ برای μ ، انتخاب مناسبی است زیرا کروموزومی که با این مقدار μ رابطه ۵-۷ را ارضا کند، یقیناً کروموزوم شایسته ای نیست.

بطور خلاصه با استفاده از عامل هوشمند فاز سوم، هر چه اختلاف احتمال خرابی یک کروموزوم با مقدار احتمال خرابی مجاز (قید مسأله) بیشتر باشد به تحلیل کمتری نیاز دارد. لذا این عامل در نسل های اول الگوریتم ژنتیک کارایی بیشتری دارد.

تاکنون تأثیر عامل هوشمند فاز سوم بر خرابیهای دست بالا طراحی شده و ضعیف بررسی شد. این عامل در مورد خرابیهای معمول نیز می تواند کاربرد داشته باشد. در بخش ۲-۲-۴-۲ روش شاخه و کرانه مورد بحث قرار گرفت. مطابق مطالب بیان شده در آن بخش شرط لازم برای تولید مسیرها (عملیات

شاخه ای) این است که احتمال وقوع مسیر مورد نظر از $10^{-\eta} \times MaxP_f$ کوچکتر نباشد. $MaxP_f$ حداکثر احتمال مسیرهای خرابی گذشته است.

در هر مرحله از عملیات شاخه و کرانه با یافتن مسیری محتمل تر، مقدار احتمال آن در $MaxP_f$ قرار داده می شود. به این ترتیب مقدار $MaxP_f \times 10^{-\eta}$ نیز افزایش می یابد. در اینجا باید دقت شود که برخی از مسیرهایی که در ابتدای عملیات شاخه و کرانه مجاز شناخته شده و تولید شده اند، از مقدار جدید $MaxP_f \times 10^{-\eta}$ به مراتب کوچکتر بوده و طبق عملیات کرانه ای نایستی تولید می شدند.

از این مطالب چنین استنباط می شود که اگر مقدار $MaxP_f$ که در پایان عملیات بدست می آید ($P_{f,s,L}$) از ابتدا معلوم بود، تعداد مسیرهای حذف شده بسیار بیشتر می شد. یعنی بسیاری از مسیرها بدون اینکه تأثیر محسوسی در مقدار احتمال خرابی داشته باشند تولید شده و در نتیجه زمان زیادی به هدر رفته است. بنابراین مطابق رابطه ۵-۸ از همان ابتدا کسری از مقدار احتمال خرابی مجاز (قید مسأله طراحی) را می توان در $MaxP_f$ قرار داد تا از تولید مسیرهایی که احتمال وقوع آنها از عدد مذکور کمتر است جلوگیری شود و زمان محاسبات هدر نرود. ضریب μ در رابطه زیر در روابط ۵-۶ و ۷-۵ شرح داده شده است.

$$MaxP_f = P_{f,all} \cdot 10^{-\mu} \quad (۸-۵)$$

بعبارت دیگر در ابتدای تحلیل یک کروموزوم جدید مقدار $MaxP_f$ برابر با صفر نیست بلکه برابر با مقدار رابطه ۵-۸ در نظر گرفته می شود.

۵-۶- حل مسأله بهینه یابی با راهکارهای پیشنهادی و ارتباط فصول رساله

در این بخش نحوه کلی حل مسأله مورد بحث در این رساله بصورت شماتیک مورد بحث و بررسی قرار گرفته و ارتباط فصول مختلف با یکدیگر مشخص می شود. روند بهینه یابی در کلیه الگوریتم های ژنتیک بدین ترتیب است که ابتدا یک جمعیت اولیه بصورت تصادفی تشکیل می شود. این جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک توزیع شده (جزیره ای) که در فصل سوم معرفی شد، بین جزایر مختلف

تقسیم شده و هر جزیره بطور مستقل به امر بهینه یابی می پردازد. در هریک از وقفه های مهاجرت اطلاعات جزایر به یکدیگر منتقل می شود و جزایر تا پایان بهینه یابی به همین ترتیب به کار خود ادامه می دهند.

معیار بهینه کردن در هر جزیره شایستگی کروموزوم های آن است. تعیین شایستگی هر کروموزوم با ارجاع به بخش مربوط به تحلیل قابلیت اعتماد، انجام می شود. در این بخش برای تحلیل قابلیت اعتماد یک کروموزوم یا عبارت بهتر تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای آن، با توجه به مطالب بیان شده در فصل دوم، نیاز به تحلیل های مکرر خرپاهای با توپولوژی متفاوت وجود دارد. راهکار سوم یعنی استفاده از روش بهبود یافته نیروها در این مرحله کاربرد دارد که بوسیله آن زمان محاسبات کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر برای تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای یک خرپا (کروموزوم) لازم است که مسیرهای خرابی آن تشکیل شود. راهکارهای ۱-۱ تا ۴-۱ در این مرحله کاربرد دارد که با استفاده از آنها بسیاری از مسیرهای همبسته حذف شده و سرعت محاسبات بطور کاملاً چشمگیر افزایش خواهد یافت. در این بخش همچنین از عوامل هوشمند ۴-۱ و ۴-۳ برای جلوگیری از کنترل های اضافی استفاده می شود.

عامل هوشمند ۴-۲ همواره قبل از ارجاع یک کروموزوم به بخش تحلیل قابلیت اعتماد کنترل می کند که آیا این کروموزوم قبلاً مورد بررسی قرار گرفته است یا خیر. این عامل در صورت جواب مثبت از ارجاع کروموزوم به بخش مذکور و انجام محاسبات اضافی جلوگیری می کند.

همانگونه که بیان شد نتایج بدست آمده در هر جزیره در هر یک از وقفه های مهاجرت به جزایر دیگر منتقل می شود. در هر یک از این جابجایی ها با استفاده از مفاهیم راهکار دوم رقابت بین جزایر صورت می پذیرد و در صورتی که یکی از جزایر مسابقه ای را واگذار کند از ادامه فعالیت آن جلوگیری شده و قوانین ناشایسته آن با قوانین جزیره برنده جایگزین می شود.

روند بهینه یابی در جزایر وانتقال اطلاعات بین آنها تا ارضا شرط پایان ادامه می یابد و بهترین کروموزوم انتقال یافته در آخرین انتقال جواب مسأله است. با توجه به آنچه بیان شد در فصل بعد به حل چند مسأله برای ارزیابی راهکارهای پیشنهادی پرداخته می شود.

فصل

۶

ارزیابی راهکارهای
پیشنهادی با ارائه مثال

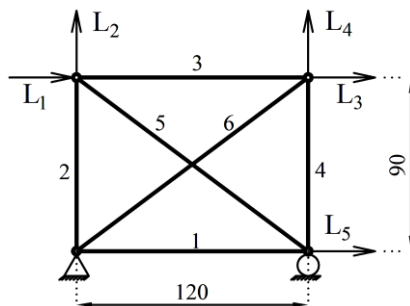
۶-۱- مقدمه

در فصل پنجم بطور خلاصه برای تسریع امر بهینه یابی

- چهار راهکار برای بهبود روش شاخه و کرانه (راهکارهای ۱-۱، ۲-۱، ۳-۱ و ۴-۱)،
 - یک راهکار در الگوریتم ژنتیک موازی (راهکار ۲)،
 - یک راهکار برای بهبود روش جبری نیروها (راهکار ۳) و
 - سه راهکار با استفاده از تکنیک های هوش مصنوعی (عوامل هوشمند ۴-۱، ۴-۲ و ۴-۳)
- پیشنهاد شد. در این فصل مثالهایی ارائه می شود تا تأثیر این راهکارهای پیشنهادی بطور جداگانه و در ترکیب با سایرین مورد ارزیابی قرار گیرد.

۶-۲- مثالها

مثال ۶-۱: یک خریای نامعین شش عضوی مطابق با شکل ۶-۱ مورد نظر است. ابعاد خریا برحسب سانتیمتر است. تنش تسلیم اعضا و بارهای وارده متغیرهای تصادفی نرمال غیر همبسته در نظر گرفته می شوند. میانگین و ضریب پراکندگی مقاومت تسلیم اعضا به ترتیب برابر با ۲۷۶۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ۰/۰۵ است. داده های آماری بار در جدول ۶-۱ ارائه شده است. رفتار مصالح در کشش و فشار یکسان فرض می شود. سطح مقطع کلیه اعضا ۲/۳ سانتیمتر مربع فرض می شود.



شکل ۶-۱. خرابای ۶ میله ای مثال ۶-۱

جدول ۶-۱. داده های آماری بار در خرابای ۶ میله ای

متغیر تصادفی	میانگین (کیلو گرم)	ضریب پراکندگی
L_1	۵۰۰۰	۰/۱
L_2	۳۰۰۰	۰/۱
L_3	۲۰۰۰	۰/۱
L_4	۳۰۰۰	۰/۱
L_5	۲۰۰۰	۰/۱

در جدول ۶-۲ پنج مسیر اول خرابی و شاخص ایمنی نظیر آن ها با نتایج مرجع [۷۲] مقایسه شده است. علامت مثبت نشان دهنده خرابی عضو در کشش و علامت منفی به معنی خرابی عضو تحت فشار است. در این مثال با توجه به کوچک بودن درجات نامعینی سازه (یک درجه نامعینی) تنها تأثیر راهکار ۳ بررسی شده و سایر راهکارها کاربردی ندارد. همچنین علیرغم استفاده از فرمول تقریبی ۲-۳۰ جواب مسأله دقیق است.

جدول ۶-۲. مقایسه دو روش سختی و نرمی پیشنهادی در خرابای ۶ میله ای

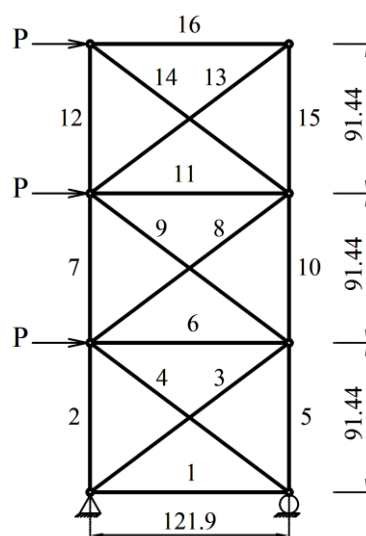
شاخص ایمنی		مود خرابی
روش نرمی پیشنهادی	مرجع [۷۲]	
۳/۰۵۲۷۹	۳/۰۵۲۷۹	$6^+ \rightarrow 2^+$
۳/۴۴۷۹۷۵	۳/۴۴۷۹۸	$6^+ \rightarrow 1^+$
۴/۸۷۷۱۴	۴/۸۷۷۱۴	$6^+ \rightarrow 5^-$
۶/۹۹۷۶۳	۶/۹۹۷۶۳	$2^+ \rightarrow 3^-$
۸/۱۲۴۸۳	۸/۱۲۴۸۴	$1^+ \rightarrow 3^-$

همانگونه که در جدول ۳-۶ مشاهده می شود زمان محاسبات با استفاده از راهکار ۳ نسبت به روش سختی کاهش یافته، لیکن نتایج بدست آمده از دو روش یکسان است.

جدول ۳-۶. مقایسه دو روش سختی و نرمی در خرابای ۶ میله ای

روش نرمی راهکار ۳	روش سختی	
$1/7475 \times 10^{-6}$	$1/7475 \times 10^{-6}$	کران بالای احتمال خرابی سیستم سازه ای
$1/321 \times 10^{-2}$	$1/654 \times 10^{-2}$	زمان محاسبه (ثانیه)

مثال ۲-۶: خرابای نامعین ۱۶ میله ای مطابق شکل ۲-۶ مفروض است. ابعاد خرپا برحسب سانتیمتر است. تنش تسلیم اعضا و بارهای وارده متغیرهای تصادفی نرمال غیر همبسته فرض می شود. میانگین بار P و تنش تسلیم اعضا به ترتیب برابر با ۴۴۴۵ کیلوگرم و ۲۷۶۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. ضریب تغییرات بار و مقاومت بطور یکسان برابر با ۰/۱ فرض می شود. مدول الاستیسیته میله ها $2/06 \times 10^6$ کیلوگرم به سانتیمتر مربع است. سطح مقطع میله ها در جدول ۴-۶ ارائه شده است. از کمانش میله ها صرفنظر شده است.



شکل ۲-۶. خرابای ۱۶ میله ای مثال ۲-۶

جدول ۴-۶. سطح مقطع اعضای خرابی ۱۶ میله ای

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)
۱	۳/۳۵
۵، ۲	۸/۶۴
۱۴، ۴، ۳	۵/۷۶
۶	۲/۳۹
۱۰، ۸، ۷	۴/۰۳
۹	۷/۳۵
۱۵، ۱۲، ۱۱	۱/۵۸
۱۶، ۱۳	۲/۳۹

در جدول ۵-۶ حجم و زمان محاسبات در تعیین احتمال خرابی سازه بدون استفاده از راهکارهای پیشنهادی و با استفاده از راهکارهای ۱-۱، ۲-۱، ۳ و ۴-۱ بصورت مجزا ارائه شده است. اعداد جدول مذکور براساس $\eta = 4$ بدست آمده است.

جدول ۵-۶. تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۲-۶

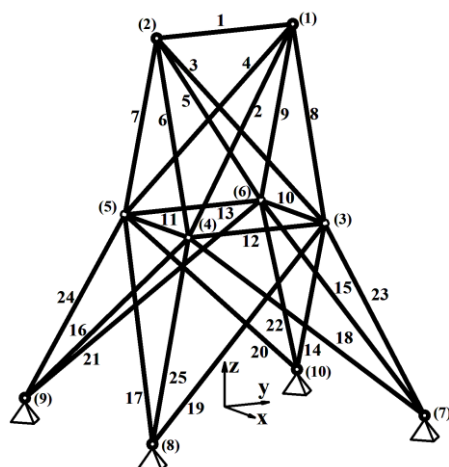
	بدون راهکارهای پیشنهادی	راهکار ۱-۱	راهکار ۲-۱	راهکار ۳	راهکار ۴-۱	کلیه راهکارهای مذکور
زمان محاسبات (ثانیه)	۰/۴۱	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۱۱	
تعداد مسیرهای خرابی محتمل	۳۸۳	۳۲	۳۸۳	۳۸۳	۳۲	
تعداد تحلیل قابلیت اعتماد	۱۶۳	۶۱	۱۶۳	۱۲۱	۵۴	

با توجه به نتایج جدول ۵-۶ استفاده از هریک از راهکارهای پیشنهادی باعث کاهش زمان محاسبات می شود، لیکن سهم راهکار اول به مراتب بزرگتر از راهکارهای دیگر است. در این مثال ۳۸۳ مسیر خرابی محتمل وجود دارد که با استفاده از راهکار اول تعداد ۳۵۱ مسیر آن همبسته شناخته شده و اصلاً تولید نشده و فقط ۳۲ مسیر خرابی تولید شده است. همچنین بدون استفاده از

راهکار اول و سوم ۱۶۳ بار سابروتین تحلیل قابلیت اعتماد فراخوانی شده است. این سابروتین در هر مرحله پس از حذف یکی از اعضا به تحلیل مکرر خرابا به تعداد بارهای موجود بعلاوه تعداد اعضای حذف شده می پردازد و احتمال مشترک تمامی اعضا را با عضو اول مسیر تعیین می کند. فراخوانی این سابروتین با استفاده از راهکار اول به ۶۱ بار کاهش یافته است. عامل هوشمند راهکار ۴-۱ نیز با حذف مسیر های تکراری از ۴۲ بار فراخوانی سابروتین یاد شده جلوگیری کرده است. با استفاده همزمان از راهکار ۱ و ۴-۱ فراخوانی این سابروتین به ۵۴ بار تقلیل یافته است.

کران بالای احتمال خرابی سیستم سازه ای برابر با $10^{-5} \times 6/29$ است که بدون حذف مسیرهای وابسته بطور بسیار محافظه کارانه برابر با $10^{-4} \times 2/65$ بدست می آید. این کران همچنین دست بالای مرجع [۲۱] $10^{-4} \times 5/04$ مناسب تر است. احتمال وقوع محتمل ترین مسیر خرابی در این سازه با استفاده از فرمول تقریبی ۲-۳۰ برابر با $10^{-5} \times 2/02$ است. بنابراین با استفاده از راهکار ۱ کران های نسبتاً باریک تری بدست می آید.

مثال ۶-۳: خرابای ۲۵ میله ای مطابق شکل ۶-۳ مفروض است. بارهای وارده به سازه و مقاومت تسلیم اعضا متغیرهای تصادفی نرمال غیر همبسته در نظر گرفته شده و سایر پارامترهای مسأله بصورت قطعی فرض می شود. رفتار مصالح در کشش و فشار یکسان فرض می شود. سطح مقطع اعضا، مختصات گره ها به ترتیب در جداول ۶-۶ و ۶-۷ ارائه شده است. میانگین و ضریب پراکندگی مقاومت تسلیم اعضا به ترتیب برابر با ۲۷۶۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ۰/۰۳ فرض می شود. ضریب پراکندگی بارهای وارده ۰/۱ بوده و میانگین آنها در جدول ۶-۸ ارائه شده است.



شکل ۳-۶. خرابای ۲۵ میله ای مثال ۳-۶

جدول ۶-۶. سطح مقطع اعضای خرابای مثال ۳-۶

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)
۱	۲/۸۶
۲.۵	۲/۸۳
۳.۴	۶/۰۲
۶.۹	۲/۳۵
۷.۸	۵/۷۶
۱۰.۱۱	۱/۲۱
۱۲.۱۳	۱/۱۰
۱۴.۱۷	۳/۴۳
۱۵.۱۶	۱/۴۵
۱۸.۲۱	۰/۸۴
۱۹.۲۰	۱/۲۸
۲۲.۲۵	۲/۴۲
۲۳.۲۴	۴/۸۴

جدول ۷-۶. مختصات گره ها در مثال ۳-۶ (سانتیمتر)

شماره عضو	x	y	z
۱	۰	۹۵/۲۵	۵۰۸
۲	۰	-۹۵/۲۵	۵۰۸
۳	۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۲۵۴
۴	۹۵/۲۵	-۹۵/۲۵	۲۵۴
۵	-۹۵/۲۵	-۹۵/۲۵	۲۵۴
۶	-۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۲۵۴
۷	۲۵۴	۲۵۴	۰
۸	۲۵۴	-۲۵۴	۰
۹	-۲۵۴	-۲۵۴	۰
۱۰	-۲۵۴	۲۵۴	۰

جدول ۸-۶. داده های آماری بارهای وارده مثال ۳-۶ (کیلوگرم)

شماره گره	جهت x	جهت y	جهت z
۱	۸۸۹۰	۸۸۹۰	-۲۲۶۰

۲	-۸۸۹۰	-۸۸۹۰	-۲۲۶۰
۳	۸۸۹۰	۸۸۹۰	۰
۵	-۸۸۹۰	-۸۸۹۰	۰

تحلیل این سازه بدون استفاده از راهکار های ۱-۱ و ۲-۱ حدود ۳ ساعت طول می کشد و با جمع چندین میلیون مسیر خرابی که اکثر آنها وابسته است، عددی بسیار محافظه کارانه برای کران بالای احتمال خرابی سیستم سازه ای تعیین می شود. در صورت استفاده از این راهکارها زمان محاسبات از ۳ ساعت به ۱۵/۰۵ ثانیه (حدود ۱۰۰ درصد) کاهش می یابد. نتایج تحلیل قابلیت اعتماد براساس $\eta = 2$ با استفاده از این راهکارها و راهکارهای ۳ و ۴-۱ در جدول ۶-۹ ارائه شده است.

جدول ۶-۹. تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۶-۳

کلید راهکارهای مذکور	راهکار	راهکار	راهکار	زمان محاسبات (ثانیه) تعداد مسیرهای خرابی محتمل تعداد تحلیل قابلیت اعتماد
	۱-۱	۱-۱	۱-۱	
	۲-۱	۲-۱	۲-۱	
	۱-۴	۳		
۵/۲۷	۱۴/۰۴	۵/۶۶	۱۵/۰۵	
۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	
۸۴۵	۸۴۵	۱۰۲۲	۱۰۲۲	

با ملاحظه نتایج بدست آمده از جدول ۶-۹ مشاهده می شود که استفاده از راهکارهای ۱-۱، ۲-۱، ۳ و ۴-۱ و ترکیب آنها باعث کاهش چشمگیر زمان محاسبات شده است. خرابی مذکور دارای ۷ درجه نامعینی استاتیکی و ۱۸ درجه آزادی فعال گرهی بوده و لذا در روش نرمی پیشنهادی دستگاه معادلات 7×7 حل می شود در حالیکه در روش سختی احتیاج به حل دستگاه معادلات 18×18 است. بنابراین در صورت استفاده از راهکار ۳ یعنی روش بهبود یافته نیروها، بدون اینکه تغییری در تعداد مسیرهای خرابی ایجاد شود زمان محاسبات کاهش یافته است.

صرفه جویی بوجود آمده در اثر استفاده از راهکار ۴-۱ به دلیل شناسایی مسیرهای تکراری توسط عامل هوشمند و جلوگیری از محاسبات اضافی است. مراجع [۲۵، ۳۷] احتمال خرابی سیستم سازه

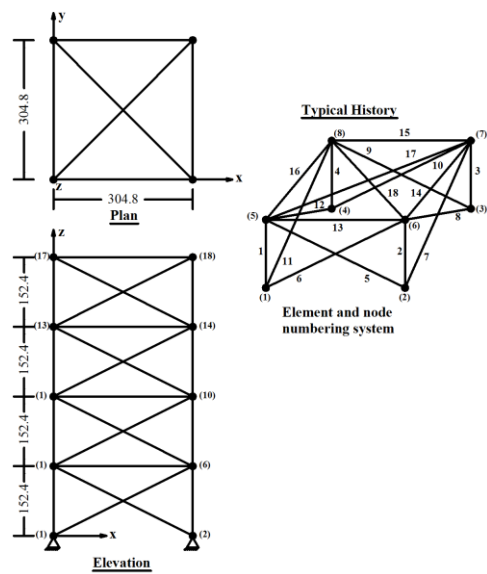
ای این خریا را مجموع احتمال خرابی اعضا در نظر گرفته و برابر با $10^{-5} \times 1/00$ تعیین کرده اند. کران فوقانی احتمال خرابی در این تحقیق برابر با $10^{-7} \times 6/69$ تعیین شد که نسبت به تخمین محافظه کارانه مراجع یاد شده بهبود پیدا یافته است.

همچنین اثرات استفاده از راهکار ۳-۱ و ۴-۱ در جدول ۱۰-۶ بررسی شده است. راهکارهای ۱-۱ و ۲-۱ در تمامی حالات مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده همزمان از راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱ حدود ۶۰ درصد دیگر مسیرهای خرابی کنار گذاشته شده و لذا زمان محاسبات نیز به همین نسبت کاهش یافته است. با توجه به نحوه عملکرد راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱، استفاده از آنها تأثیری بر مقدار کران فوقانی احتمال خرابی سیستم سازه ای نداشته و تنها زمان محاسبات را کاهش می دهد.

جدول ۱۰-۶. تاثیر راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱ در مثال ۳-۶

راهکارهای ۱-۱ تا ۴-۱	راهکار ۱-۱ ۲-۱ ۱-۴	راهکار ۱-۱ ۲-۱ ۳-۱	راهکار ۱-۱ ۲-۱	
۵/۷۷	۷/۳۱	۱۱/۷	۱۵/۰۵	زمان محاسبات (ثانیه)
۱۳۵	۱۷۶	۲۵۶	۳۴۰	تعداد مسیرهای خرابی محتمل

مثال ۴-۶: خریای ۷۲ میله ای مطابق شکل ۴-۶ مفروض است. ابعاد نشان داده شده در شکل مذکور برحسب سانتیمتر است. سطح مقطع اعضا در جدول ۱۱-۶ ارائه شده است. داده های آماری بارهای وارده در جدول ۱۲-۶ ارائه شده است. میانگین و ضریب پراکندگی مقاومت تسلیم اعضا به ترتیب برابر با ۲۷۶۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ۰/۰۵ است. تنش تسلیم اعضا و بارهای وارده متغیرهای تصادفی نرمال غیر همبسته بوده و رفتار مصالح در کشش و فشار یکسان فرض می شود.



شکل ۴-۶. خرپای ۷۲ میله ای مثال ۴-۶

جدول ۴-۱۱. سطح مقطع اعضای خرپای مثال ۴-۶

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)
۴ - ۱	۲/۱
۱۲ - ۵	۰/۷
۱۶ - ۱۳	۰/۷
۱۸ - ۱۷	۰/۷
۲۲ - ۱۹	۱/۴
۳۰ - ۲۳	۰/۷
۳۴ - ۳۱	۰/۷
۳۶ - ۳۵	۰/۷
۴۰ - ۳۷	۱/۴
۴۸ - ۴۱	۰/۷
۵۲ - ۴۹	۰/۷
۵۴ - ۵۳	۰/۷
۵۸ - ۵۵	۲/۱
۶۶ - ۵۹	۰/۷
۷۰ - ۶۷	۰/۷
۷۲ - ۷۱	۰/۷

جدول ۴-۱۲. داده های آماری بارهای وارده مثال ۴-۶ (کیلوگرم)

شماره گره و جهت بار	میانگین	ضریب پراکندگی
Z - ۱۷	-۲۲۲۳	۰/۲
Z - ۱۸	-۲۲۲۳	۰/۲
Z - ۱۹	-۲۲۲۳	۰/۲
Z - ۲۰	-۲۲۲۳	۰/۲

نتایج تحلیل قابلیت اعتماد این خرپا با استفاده از برخی راهکارهای پیشنهادی در جدول ۶-۱۳ ارائه شده است. اعداد این جدول براساس $\eta = 2$ بدست آمده است.

جدول ۶-۱۳. تأثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۶-۴

کلید راهکارهای مذکور	راهکار	راهکار	راهکار	زمان محاسبات (ثانیه) تعداد مسیرهای خرابی محتمل تعداد تحلیل قابلیت اعتماد
	۱-۱	۱-۱	۱-۱	
	۲-۱	۲-۱	۲-۱	
	۱-۴	۳		
۲۰/۲	۳۰/۰۱	۲۱/۴۸	۳۳/۱۸	
۶۹	۶۹	۶۹	۶۹	
۱۱۸۴	۱۱۸۴	۱۴۹۴	۱۴۹۴	

با توجه به نتایج جدول فوق استفاده از راهکارهای پیشنهادی باعث کاهش زمان محاسبات شده است. تعیین مسیرهای خرابی حاکم و کرانه‌های احتمال خرابی سازه در این مثال چندین ساعت بطول می‌انجامد. لذا کاهش این زمان به ۳۳/۱۸ ثانیه با استفاده از راهکارهای ۱-۱ و ۲-۱ (جدول ۶-۱۳) بسیار چشم گیر است. همچنین مانند مثال سوم این فصل تعداد مسیرهای خرابی حاکم در این خرپا از چندین میلیون به ۶۹ کاهش یافته است. از این راهکارها در کلید حالات همراه با راهکارهای دیگر استفاده شده است.

استفاده از روش جبری تعمیم یافته نیروها (راهکار سوم) بدون آنکه تأثیری در تعداد مسیرها یا دفعات تحلیل بگذارد، باعث کاهش قابل توجه حدود ۳۵ درصد در زمان محاسبات شده است. تعداد درجات نامعینی سازه مورد بحث برابر با ۲۴ و درجات آزادی فعال گرهی آن ۴۸ است. بعبارت دیگر تعداد معادلات در روش نرمی پیشنهادی نصف روش سختی است.

کران بالا و پایین احتمال خرابی سازه با استفاده از راهکار پیشنهادی اول در این مثال به ترتیب برابر با $6/69 \times 10^{-7}$ و $3/08 \times 10^{-8}$ تعیین شد. تأثیر راهکارهای ۱-۳ و ۴-۱ بر این سازه در جدول ۶-۱۴

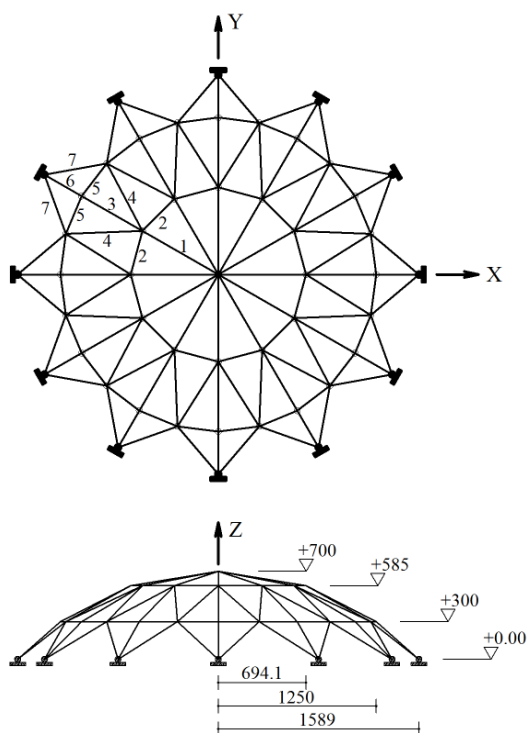
۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۶-۱۴. تاثیر راهکارهای ۳-۱ و ۴-۱ در مثال ۶-۴

راهکارهای	راهکار	راهکار	
۱	۱-۱	۱-۱	
۴-۱	۲-۱	۲-۱	
	۱-۴	۳-۱	
۵/۵	۵/۵	۲۸/۵	زمان محاسبات (ثانیه)
۱۰	۱۰	۵۷	تعداد مسیرهای خرابی محتمل

با توجه به نتایج جدول فوق، با استفاده همزمان از راهکارهای یاد شده حدود ۸۵ درصد مسیرهای خرابی مهم بدون تحلیل کنار گذاشته شده و لذا بیشتر از ۸۰ درصد زمان محاسبات نظیر آنها کاهش می یابد.

مثال ۶-۵: گنبد ۱۲۰ میله ای مطابق شکل ۶-۵ مفروض است. ابعاد نشان داده شده در شکل مذکور برحسب سانتیمتر است. اعضای سازه مطابق شکل مذکور گروه بندی شده و سطح مقطع نظیر آنها در جدول ۶-۱۵ ارائه شده است. تنش تسلیم اعضا و بارهای وارده متغیرهای تصادفی نرمال غیر همبسته بوده و رفتار مصالح در کشش و فشار یکسان فرض می شود. به کلیه نقاط آزاد این گنبد (نقاط غیر تکیه گاهی) بار قائم وارد می شود. میانگین بار قائم وارد بر تاج این گنبد برابر ۶۰ کیلو نیوتن، بارهای وارد به گره های تراز میانی ۳۰ کیلو نیوتن و بارهای وارد به گره های تراز تحتانی ۱۰ کیلو نیوتن فرض می شود. ضریب پراکندگی کلیه بارها ۰/۱ است. میانگین و ضریب پراکندگی مقاومت تسلیم اعضا به ترتیب برابر با ۲۷۶۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و ۰/۰۳ است.



شکل ۵-۶. خریای ۷۲ میله ای مثال ۵-۶

نتایج تحلیل قابلیت اعتماد این خریا با استفاده از راهکارهای پیشنهادی در جدول ۱۶-۶ ارائه شده است. اعداد این جدول براساس $\eta = 2$ بدست آمده است.

جدول ۱۵-۶. سطح مقطع اعضای گروه گنبد مثال ۵-۶

شماره گروه	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)
۱	۲/۲۰
۲	۵/۴۰
۳	۲/۲۰
۴	۴/۸۰
۵	۴/۰۰
۶	۴/۶۰
۷	۳/۰۰

جدول ۱۶-۶. تاثیر برخی راهکارهای پیشنهادی در مثال ۵-۶

کلید راهکارهای مذکور	راهکار ۱-۱	راهکار ۱-۱	راهکار ۱-۱	
	۲-۱	۲-۱	۲-۱	
	۱-۴	۳		
زمان محاسبات (ثانیه)	۱۱۶/۰۳	۲۲۶۶/۰۵	۱۲۵/۳۴	۲۴۴۷/۹۱
تعداد مسیرهای خرابی محتمل	۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰	۴۸۰

تعداد تحلیل قابلیت اعتماد	۲۴۷۳	۲۴۷۳	۲۳۴۷	۲۳۴۷
------------------------------	------	------	------	------

بارزترین نکته ای که از جدول ۶-۱۶ استنباط می شود این است که استفاده از راهکار سوم یعنی روش بهبود یافته نیروها تأثیر بسیاری بر زمان تحلیل داشته است. سازه گنبدی مورد بحث ۱۱۱ درجه آزادی فعال گرهی و تنها ۹ درجه نامعینی استاتیکی دارد. این بدان معناست که در روش سختی دستگاه معادلات 111×111 باید حل شود در حالیکه در روش نرمی پیشنهادی تنها به حل معادلات 9×9 احتیاج است. این تفاوت فاحش با توجه به کثرت دفعات تحلیل تأثیر بسیار مطلوبی داشته و حدود ۹۵ درصد زمان برنامه (بدون هیچ تغییری در تعداد مسیرهای خرابی یا در جواب مسأله) ذخیره شده است.

تعداد تحلیل های قابلیت اعتماد با توجه عملکرد عامل هوشمند فاز اول از ۲۴۷۳ به ۲۳۴۷ کاهش یافته است. کران فوقانی احتمال خرابی با استفاده از تکنیک های پیشنهادی برابر با 6×10^{-4} محاسبه می شود که مراتب کوچکتر و بهتر از مجموع احتمال خرابی اعضا یعنی 4×10^{-4} است.

جدول ۶-۱۷. تأثیر راهکارهای ۱-۳ و ۱-۴ در مثال ۶-۵

راهکارهای ۱-۱ تا ۴-۱	راهکار ۱-۱ ۲-۱ ۴-۱	راهکار ۱-۱ ۲-۱ ۳-۱	راهکار ۱-۱ ۲-۱	
۱۰۹/۶	۱۱۷/۱	۲۰۷۴/۷	۲۴۴۷/۹۱	زمان محاسبات (ثانیه)
۲۰	۲۳	۳۹۶	۴۸۰	تعداد مسیرهای خرابی محتمل

با توجه به نتایج جدول ۶-۱۷ در اثر استفاده از راهکارهای ۱-۳ و ۱-۴ در این مثال تعداد مسیرهای خرابی تحلیل شده از ۴۸۰ به ۲۰ و زمان محاسبات از $2447/91$ به $109/6$ ثانیه کاهش یافته است. همانگونه که بیان شد مقدار کران فوقانی احتمال خرابی سیستم سازه ای در اثر استفاده از این راهکارها تغییر نمی کند.

مثال ۶-۶: هدف از ارائه این مثال بررسی تأثیر استفاده از عامل هوشمند فاز سوم یعنی استفاده از قید احتمال خرابی مجاز در محاسبات تحلیل قابلیت اعتماد است. بدین منظور خرابی ۲۵ میله ای مثال ۳-۶ با سه دسته سطح مقطع متفاوت الف، ب و ج مورد تحلیل قرار می گیرد. سطح مقطع خرابی الف در جدول ۶-۶ قید شده است. خرابی دست بالا طراحی شده ب دارای میله های قوی با سطح مقطع ۱۰ سانتیمتر مربع و خرابی ج دارای میله های ضعیف با سطح مقطع ۳ سانتیمتر مربع است. برای صرفه جویی در زمان از کلیه راهکارهای ۱، ۳ و ۴-۱ در تعیین احتمال خرابی استفاده می شود. احتمال خرابی مجاز 10^{-5} و 11 و 11 بترتیب برابر با ۲ و ۳ در نظر گرفته می شود. نتایج استفاده از راهکار ۳-۴ در جدول ۶-۱۸ ارائه شده است.

جدول ۶-۱۸. بررسی تأثیر راهکار ۳-۴

		بدون راهکار ۳-۴		با راهکار ۳-۴	
خرابی الف	زمان محاسبات	۱۱/۵۴		۱۰/۸۶	
	تعداد مسیرها	۵۲۰		۴۹۵	
خرابی ب	زمان محاسبات	۰/۴۱		$1/62 \times 10^{-2}$	
	تعداد مسیرها	۱۰		۰	
خرابی ج	زمان محاسبات	$7/86 \times 10^{-2}$		$4/77 \times 10^{-2}$	
	تعداد مسیرها	۴		۱	

با مشاهده جدول ۶-۱۸ اولین نتیجه ای که حاصل می شود این است که استفاده از راهکار ۳-۴ زمان محاسبات را کاهش می دهد. نتیجه دوم این است که زمان تحلیل دو خرابی با سطح مقطع متفاوت با یکدیگر فرق دارد زیرا مسیرهای خرابی و تعداد مسیرها در دو خرابی با یکدیگر متفاوت است. با اندکی تغییر در سطح مقطع میله ها تعداد مسیرها و زمان محاسبات بطور چشمگیر تغییر می کند. این امر در بهینه یابی خرابیها تحت قید احتمال خرابی تأثیر قابل توجهی دارد.

نتیجه سوم این که تأثیر عامل هوشمند سوم روی دو خرابی با سطح مقطع متفاوت با یکدیگر فرق دارد. دلیل این امر در بخش ۵-۵-۳ بیان شد. در مورد خرابی ب که دست بالا طراحی شده است،

پس از اولین تحلیل مشخص می شود که احتمال خرابی محتمل ترین عضو $10^{-55} \times 1/39$ است. تمامی مسیرهای خرابی که در ادامه عملیات شاخه ای حاصل می شوند قطعاً احتمال کوچکتري از عدد مذکور داشته و لذا توسط عامل سوم از تولید آنها جلوگیری می شود.

در مورد خرپای ج پس از تشکیل اولین مسیر خرابی، احتمال آن برابر با $0/37$ تعیین می شود. با توجه به مفاهیم بیان شده در بخش ۵-۵-۳ دیگر نیازی به ادامه تحلیل نیست، زیرا در همین مرحله ناشایسته بودن این خرپا معلوم می شود.

در مورد خرپای الف با استفاده از مفاهیم عامل هوشمند سوم، ۲۵ مسیر خرابی احتمال کوچکتري

از

10^{-8} داشته و کنار گذاشته شده است. مطابق نتایج جدول ۶-۱۸ و همانگونه انتظار می رفت زمان تحلیل این خرپا به مراتب بیشتر از خرپاهای ب و ج است (حداقل ۲۵ برابر).

مثال ۶-۷: در این مثال با استفاده از راهکارهای پیشنهادی به بهینه یابی خرپای ۲۵ میله ای مثال ۶-۳ تحت قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای پرداخته می شود. احتمال خرابی مجاز (قید مسأله) برابر

$10^{-5} \times 1$ است. نتایج بدست آمده در جدول ۶-۱۹ با مراجع [۲۵، ۳۷] مقایسه شده است. در مراجع یاد شده احتمال خرابی سیستم سازه ای در جهت اطمینان برابر با مجموع احتمال خرابی اعضا فرض شده است.

جدول ۶-۱۹. نتایج بهینه یابی مثال ۶-۷ و مقایسه با مراجع دیگر

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع) $CV_R = 0.05, CV_L = 0.20$			
	مرجع [۲۵]	مرجع [۳۷]	مرجع [۲۷]	این تحقیق
۱	۴/۳۶	۶/۹۰	۴/۳۸۷	۴/۵۶
۲،۵	۴/۵۶	۵/۱۵	۴/۵۸۸	۶/۰۰
۳،۴	۷/۴۷	۶/۹۰	۷/۴۵۰	۶/۰۰
۶،۹	۲/۳۹	۵/۶۸	۴/۳۷۶	۶/۹۰

۶/۹۰	۷/۴۹۶	۹/۵۴	۷/۵۲	۷.۸
۳/۴۸	۲/۲۰۴	۶/۹۰	۱/۵۱	۱۰.۱۱
۲/۵۸	۱/۷۷۸	۳/۱۸	۱/۷۷	۱۲.۱۳
۳/۳۰	۴/۶۰۰	۳/۱۸	۴/۸۸	۱۴.۱۷
۳/۳۰	۲/۱۷۹	۴/۳۱	۱/۸۹	۱۵.۱۶
۱/۸۶	۱/۸۱۰	۲/۷۹	۱/۷۸	۱۸.۲۱
۱/۸۶	۲/۵۹۵	۲/۰۶	۲/۶۳	۱۹.۲۰
۴/۳۸	۴/۹۳۳	۶/۹۰	۴/۸۹	۲۲.۲۵
۴/۳۸	۷/۴۸۳	۹/۵۴	۷/۶۶	۲۳.۲۴
۹۱/۹۵	۹۵/۸۱	۱۱۸/۷	۹۷/۸	وزن (kg)

a: متغیرهای طراحی گسسته

b: متغیرهای طراحی پیوسته

با توجه به نتایج جدول ۶-۱۹ مشاهده می شود که در این تحقیق طرح بهینه مطلوب تری نسبت به مراجع [۲۵، ۳۷] بدست آمده است. دلیل این امر تخمین بهتر نسبت به این مراجع برای احتمال خرابی سیستم سازه ای و استفاده از الگوریتم ژنتیک جزیره ای است. شایان ذکر است که متغیرهای طراحی بکار رفته در مراجع [۲۵، ۳۷] از نوع گسسته و پیوسته و در این رساله از نوع گسسته بوده است، لیکن با این وجود جوابهای بدست آمده در این تحقیق از هر دو حالت مراجع یاد شده بهتر است.

اکنون برای ارزیابی راهکارهای پیشنهادی و سهم آنها در تسریع عملیات بهینه یابی، زمان محاسبات ۵۰۰ نسل الگوریتم ژنتیک با استفاده از هریک در جدول ۶-۲۰ ارائه می شود. ذکر دو نکته در مورد اعداد این جدول ضروری است. نکته اول اینکه زمانهای درج شده در این جدول مربوط به کندترین پردازشگر (جزیره) است. علیرغم استفاده از پردازشگرهای یکسان (مطابق جدول ۳-۱)، با توجه به تفاوت

کروموزوم های این جزایر، زمان بهینه یابی در این جزایر متفاوت است.

نکته دوم اینکه در دو بار بهینه یابی تحت قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای با شرایط کاملاً یکسان، ممکن است زمان محاسبات متفاوت باشد. دلیل این امر مجدداً تفاوت کروموزوم ها است. بنابراین زمانهای قید شده در جدول ۶-۲۰ قطعی نبوده، بلکه تنها معیاری برای مقایسه است.

جدول ۶-۲۰. تاثیر راهکارهای پیشنهادی در مثال ۶-۷

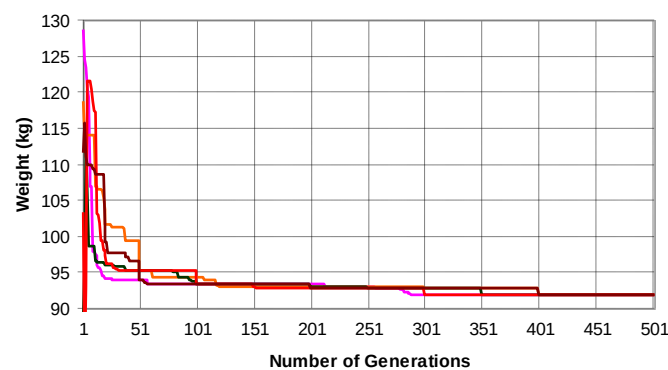
راهکار	زمان محاسبات (ثانیه)
۳-۴، ۱	۵۹۶۵۵
۳-۴، ۳، ۱	۳۳۷۰۸
۳-۴، ۱-۴، ۱	۴۸۸۸۲
۳-۴، ۱-۴، ۳، ۱	۲۵۰۰۷
۳-۴، ۲-۴، ۱-۴، ۳، ۱	۷۸۷۸

با توجه به نتایج جدول فوق استفاده از راهکارهای پیشنهادی باعث کاهش زمان محاسبات شده است، هرچند که سهم آنها متفاوت است.

در هر جزیره تعداد کل کروموزوم ها در هر نسل برابر با ۲۰ در نظر گرفته شده لذا تعداد تحلیل ها به ازای ۵۰۰ نسل برابر با ۱۰۰۰۰ می شود. این در حالیست که تعداد کروموزوم هایی که شایستگی آنها توسط عامل هوشمند فاز دوم مورد ارزیابی قرار می گیرد، بطور متوسط برابر با ۵۰۰۰ است. یعنی شایستگی بیش نیمی از کروموزوم ها توسط عامل هوشمند فاز دوم تعیین شده و زمان محاسبات باید به نصف تقلیل یابد. از طرفی میزان کاهش زمان معمولاً بیشتر از این مقدار است، چرا که کروموزوم هایی توسط عامل هوشمند شناسایی می شوند، کروموزوم های شایسته هستند. با توجه به مطالب بیان شده در بخش ۵-۵-۲ و نتیجه مثال ۶-۶، این کروموزوم ها زمان بسیار زیادتری نسبت به سایرین صرف می کنند. لذا عدم تحلیل این گونه کروموزوم ها زمان محاسبات را به حدود یک سوم کاهش می دهد.

در این مثال برای تعیین زمان صرفه جویی شده در اثر استفاده از پردازش موازی، در مواردی از پردازش موازی استفاده نشد و هر ۱۰۰ کروموزوم در یک جزیره بهینه شدند (حالت ساده الگوریتم ژنتیک). متوسط زمان محاسبات در این حالت به کمی بیشتر از ۵ برابر حالت موازی افزایش یافت. این امر چنین توجیه می شود که عملیاتی چون رتبه بندی کروموزومها، ادغام و ... برای ۲۰ کروموزوم سریعتر از ۱۰۰ کروموزوم انجام می شود و با اندکی چشم پوشی می توان گفت که زمان محاسبات در پردازش موازی جزیره ای رابطه ای معکوس و خطی با تعداد پردازشگرها دارد.

در شکل ۶-۶ نحوه همکاری جزایر در یافتن جواب بهینه مربوط به جدول ۶-۲۰ نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می شود در مراحمی که انتقال بین جزایر صورت می پذیرد، جهش هایی در نمودارها بوجود آمده است. جواب بهینه در نسل ۲۸۸ در یکی از جزایر بدست آمده و در نسلهای ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ به جزایر دیگر انتقال داده شده است.



شکل ۶-۶. نحوه کارکرد جزایر موازی با یکدیگر

برای بررسی و مقایسه بیشتر، نتایج بهینه یابی خربای ۲۵ میله ای به ازای ضرایب پراکندگی مختلف بار و مقاومت در جدول ۶-۲۱ ارائه شده است.

جدول ۶-۲۱. اثر ضرایب پراکندگی در خربای مثال ۶-۷

شماره عضو	CV _R : 0.10 CV _L : 0.40		CV _R : 0.03 CV _L : 0.40	
	این تحقیق	مرجع [۳۷]	این تحقیق	مرجع [۳۷]
۱	۸/۲	۷/۹۸۳	۷/۵	۶/۴۱۸
۲.۵	۸/۸	۸/۸۳۴	۷/۵	۷/۴۷۹
۳.۴	۸/۸	۱/۲۰۱	۷/۵	۹/۸۳۹
۶.۹	۱۰/۹	۹/۱۷۴	۱۰/۵	۷/۷۳۴
۷.۸	۱۰/۹	۱۲/۶۵۴	۱۰/۵	۱/۰۳۵
۱۰.۱۱	۴/۰	۴/۳۷۹	۴/۵	۳/۷۹۷
۱۲.۱۳	۴/۰	۲/۳۹۹	۳/۹	۲/۶۷۹
۱۴.۱۷	۴/۶	۷/۸۷۲	۵/۷	۶/۶۲۵
۱۵.۱۶	۴/۶	۴/۴۲۹	۵/۷	۳/۳۴۸
۱۸.۲۱	۳/۷	۵/۱۳۶	۳/۶	۳/۵۰۱
۱۹.۲۰	۳/۷	۵/۴۳۵	۳/۶	۵/۱۹۸
۲۲.۲۵	۱۱/۲	۱۰/۶۳۸	۷/۵	۹/۴۴۰
۲۳.۲۴	۱۱/۲	۱۳/۹۷۷	۷/۵	۱۲/۰۱۹

وزن (kg)	۱۵۳/۱۳	۱۴۳/۷۸	۱۸۳/۸۹	۱۵۸/۱۳
-------------	--------	--------	--------	--------

با توجه به جدول ۶-۲۱ ملاحظه می شود که وزن خرپای بهینه در این تحقیق در تمامی حالات کاهش یافته است. همچنین با نگاه کلی به نتایج این جدول و جدول ۶-۱۹ و همانگونه انتظار می رود هر چه ضرایب پراکندگی بار و مقاومت بیشتر شوند، وزن خرپای بهینه افزایش می یابد و نتیجه استفاده از راهکارهای پیشنهادی مطلوب تر است.

مثال ۶-۸: در این مثال با استفاده از کلیه راهکارهای پیشنهادی به بهینه یابی گنبد ۱۲۰ میله ای مثال ۶-۵ تحت قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای پرداخته می شود. احتمال خرابی مجاز (قید مسأله) برابر با $10^{-5} \times 1$ است. ابعاد سازه و میانگین و ضریب پراکندگی بارها و مقاومت اعضا با سازه مثال ۶-۵ یکسان است. لیکن در این مثال مقاومت میله متغیرهای تصادفی با توزیع لوگ نرمال و ضریب همبستگی برابر با ۰/۵ فرض می شود. همچنین بارهای وارده به سازه همگی متغیرهای تصادفی کاملاً همبسته و با توزیع نرمال در نظر گرفته می شوند.

همانگونه که بیان شد تعداد تحقیقات انجام شده (در زمینه بهینه یابی تحت قید احتمال خرابی سیستم سازه ای) که در آنها بصورت موفقیت آمیز به حل مثالهای عددی بزرگ پرداخته شود کم بوده و تنها قابها و خرپاهای بسیار کوچک مورد بهینه سازی قرار گرفته است [۴۲] و حتی در بسیاری از این موارد از متغیرهای نرمال غیر همبسته استفاده شده است. از طرف دیگر تأثیر استفاده از راهکارهای پیشنهادی بطور مفصل در مثالهای قبل مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از ارائه این مثال اثبات عملی بودن امر بهینه یابی خرپاهای بزرگ تحت قید قابلیت اعتماد سازه ای است که تنها با استفاده از راهکارهای پیشنهادی قابل انجام است. در این مثال همچنین سعی شده است از فرضیاتی واقعی تر در مورد نوع توزیع و همبستگی متغیرهای تصادفی استفاده شود.

در این مثال از پنج پردازشگر موازی در امر بهینه یابی استفاده شد. در هر جزیره تعداد کل کروموزوم ها در هر نسل برابر با ۲۰ در نظر گرفته شده لذا تعداد کل کروموزوم ها به ازای ۵۰۰ نسل برابر با ۱۰۰۰۰ می شود. تنها تحلیل یک کروموزوم بدون استفاده از راهکار اول چندین ساعت بطول می انجامد و همین یک دلیل کافیت که در تحقیقات گذشته کمتر به بهینه سازی چنین سازه هایی اقدام شود.

از لیست مقاطع زیر در امر بهینه یابی استفاده می شود:

$$S = \left\{ \begin{matrix} 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2 \\ 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 6.2, 6.4, 6.6, 6.8, 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0, 8.2, 8.4 \end{matrix} \right\} (Cm^2)$$

تعداد کروموزوم هایی که شایستگی آنها توسط عامل هوشمند فاز دوم مورد ارزیابی قرار می گیرد، بطور متوسط برابر با ۵۵۰۰ است. بنابراین مشابه آنچه در مثال قبل ذکر شد شایستگی بیش از نیمی از کروموزوم ها توسط عامل هوشمند فاز دوم تعیین شده و زمان محاسبات به مراتب بیش از نصف تقلیل یابد. عدم تحلیل تکراری این کروموزوم ها زمان محاسبات را به حدود یک سوم کاهش می دهد.

با توجه به نتایج بدست آمده در مثال ۶-۵ تأثیر استفاده از روش جبری نیروها حدود ۹۵ درصد است و لذا در امر بهینه یابی از این روش بجای روش سختی استفاده شده است. همچنین از کلیه عوامل هوشمند مصنوعی در این مثال استفاده شده است.

مشخصات سازه بهینه بدست آمده در نسل ۴۴۴ مطابق با جدول ۶-۲۲ است. کران فوقانی و تحتانی احتمال خرابی سیستم سازه ای سازه بهینه بترتیب برابر $9/807 \times 10^{-6}$ و $6/749 \times 10^{-6}$ بدست می آید.

جدول ۶-۲۲. اثر ضرایب پراکندگی در خرابی مثال ۶-۸

شماره گروه	CV _R : 0.03 CV _L : 0.10
	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)
۱	۲/۲

۴/۴	۲
۲/۸	۳
۲/۲	۴
۲/۲	۵
۳/۸	۶
۲/۲	۷
۴۳۰/۲۳۳	وزن (kg)

در این مثال برای تعیین زمان صرفه جویی شده در اثر استفاده از پردازش موازی، از حالت ساده الگوریتم یعنی از یک پردازشگر استفاده شد و هر ۱۰۰ کروموزوم در یک جزیره بهینه شدند. زمان محاسبات در این حالت به کمی بیشتر از ۵ برابر حالت موازی افزایش یافت. دلیل این امر مشابه مثال قبل، انجام سریعتر عملیاتی چون رتبه بندی کروموزومها، ادغام و ... برای ۲۰ کروموزوم نسبت به ۱۰۰ کروموزوم است و نتیجه بدست آمده مجدداً این است که زمان محاسبات در پردازش موازی جزیره ای رابطه ای معکوس و خطی با تعداد پردازشگرها دارد.

مثال ۶-۹: نحوه تحلیل قابلیت اعتماد و بهینه یابی احتمالاتی خرابی ۲۵ میله ای (شکل ۶-۳) در مثالهای ۶-۳ و ۶-۷ تشریح شد. رفتار مصالح مصرفی در آن مثالها در کشش و فشار یکسان فرض شد. استفاده از چنین فرضی مناسب نبوده و صرفاً بمنظور ساده سازی و درک ساده تر مسأله صورت پذیرفته است. هدف از ارائه این مثال در نظر گرفتن قید کمانش اعضای فشاری و بررسی نتایج مربوطه است.

احتمال خرابی مجاز (قید مسأله) برابر با 1×10^{-3} است. نتایج بدست آمده در جدول ۶-۲۳ با مراجع [۲۵، ۳۷] مقایسه شده است. همانگونه که پیشتر بیان شد احتمال خرابی سیستم سازه ای در مراجع یاد شده بطور محافظه کارانه برابر با مجموع احتمال خرابی اعضا فرض شده است.

جدول ۶-۲۳. نتایج بهینه یابی مثال ۶-۹ و مقایسه با مراجع دیگر

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)		
	$CV_R = 0.05, CV_L = 0.20$		
	مرجع [۲۵]	مرجع [۳۷]	این تحقیق
۱	۳/۷۳۸	۴/۹۳۵	۵/۰
۲، ۵*	۲۸/۷۱۸	۲۴/۱۲۷	۲۲/۰
۳، ۴	۷/۰۲۱	۵/۴۵۵	۵/۰

۵/۰	۴/۰۳۴	۲/۶۳	۶.۹
۱۹/۵	۲۰/۸۴۵	۲۵/۸۹۸	۷.۸*
۳/۰	۶/۲۸۲	۵/۸۶۱	۱۰.۱۱
۳/۰	۳/۷۵	۱/۱۹۵	۱۲.۱۳
۳/۵	۵/۳۱۸	۹/۲۵۸	۱۴.۱۷
۱۷/۰	۲۵/۰۱۴	۳۹/۸۲۶	۱۵.۱۶*
۲/۰	۳/۲۵۹	۱/۱۷۸	۱۸.۲۱
۱/۵	۱/۳۷۱	۲/۲۲۶	۱۹.۲۰
۵/۰	۴/۳۶۳	۵/۵۸۵	۲۲.۲۵
۳۵/۰	۲۶/۷۷۲	۲۹/۴۴۷	۲۳.۲۴*
۲۰۷/۵۱	۲۴۱/۶۱	۲۸۷/۱۲	وزن (kg)

*: اعضای فشاری

در این مثال در امر بهینه یابی از مقاطع لوله ای شکل^{۴۵} با سطح مقطع ذکر شده در لیست S استفاده شده است. نسبت ضخامت مقطع به شعاع خارجی آن برابر با ۰/۱ فرض شده و لذا شعاع ژیراسیون مقطع حدود ۰/۶۷ شعاع خارجی آن در نظر گرفته شده است.

$$S = \{1.0 \text{ to } 32.5 \text{ step } 0.5\} \text{ (Cm}^2\text{)}$$

همانگونه که در جدول ۶-۲۳ مشاهده می شود در صورت لحاظ نمودن قید فشاری نیز، استفاده از راهکار اول پیشنهادی این رساله باعث یافتن سازه ای بمراتب سبک تر و بهینه تر نسبت به مراجع گذشته شده است.

همچنین مطابق جدول مذکور سطح مقطع لازم برای اعضای فشاری بطور محسوسی بیشتر از اعضای کششی است. دلیل این امر آنست که خرابی در اعضای فشاری بواسطه کمانش و پیش از تسلیم عضو (رسیدن به تنش تسلیم) صورت می پذیرد. برای بررسی بیشتر سطح مقطع اعضای خرابی ۲۵ میله ای مطابق با جدول ۶-۶ در مثال ۶-۳ در نظر گرفته می شود. در مثال مذکور قید کمانش اعضای فشاری صرفنظر شد و خرابی اعضای فشاری همراه با تسلیم فرض گردید. در صورت لحاظ نمودن قید کمانش، مقاطع استفاده شده برای اعضای فشاری بطور محسوسی کوچک بوده و در نتیجه احتمال خرابی این اعضا بطور چشم گیری افزایش می یابد. بدین منظور برای مقایسه و بررسی دقیق تر، احتمال خرابی اعضا در جدول ۶-۲۴ ارائه شده است.

جدول ۶-۲۴. تأثیر لحاظ نمودن قید کمانش

شماره عضو	سطح مقطع (سانتیمتر مربع)	احتمال خرابی عضو بدون قید کمانش	احتمال خرابی عضو با قید کمانش
۱	۲/۸۶	$4/4 \times 10^{-7}$	$4/4 \times 10^{-7}$
۲،۵*	۲/۸۳	$3/8 \times 10^{-7}$	≈ 1
۳،۴	۶/۰۲	$3/4 \times 10^{-7}$	$3/4 \times 10^{-7}$
۶،۹	۲/۳۵	$3/4 \times 10^{-7}$	$3/4 \times 10^{-7}$
۷،۸*	۵/۷۶	$3/8 \times 10^{-7}$	≈ 1
۱۰،۱۱	۱/۲۱	$3/0 \times 10^{-7}$	$3/0 \times 10^{-7}$
۱۲،۱۳	۱/۱۰	$3/4 \times 10^{-7}$	$3/4 \times 10^{-7}$
۱۴،۱۷	۳/۴۳	$3/4 \times 10^{-7}$	$3/4 \times 10^{-7}$
۱۵،۱۶*	۱/۴۵	$4/2 \times 10^{-7}$	≈ 1
۱۸،۲۱	۰/۸۴	$3/8 \times 10^{-7}$	$3/8 \times 10^{-7}$
۱۹،۲۰*	۱/۳۸	$4/2 \times 10^{-7}$	۰/۵۴۸
۲۲،۲۵	۲/۴۲	$3/8 \times 10^{-7}$	$3/8 \times 10^{-7}$
۲۳،۲۴*	۴/۸۴	$4/1 \times 10^{-7}$	≈ 1

*: اعضای فشاری

همانگونه که در جدول ۶-۲۴ مشاهده می شود احتمال خرابی اعضای فشاری حساسیت زیادی نسبت به قید کمانش دارد، بطوریکه اعضای که بدون در نظر گرفتن قید کمانش طراحی می شوند در صورت لحاظ نمودن قید کمانش احتمال خرابی نزدیک به یک داشته و در واقع غلط طراحی شده اند. در این رساله با توجه به پیچیدگی مطالب از قید کمانش در مثالهای ابتدایی صرف نظر شد، لیکن لازم است در مسائل عملی این امر مورد توجه قرار گیرد.

در این فصل مثالهایی ارائه شد و در آنها تأثیر استفاده از راهکارهای پیشنهادی بررسی شد. در فصل بعد نتایج بدست آمده بصورت کامل دسته بندی و تحلیل شده و پیشنهادهایی ارائه می شود.

فصل

نتایج و پیشنهادها

۷-۱- مقدمه

هدف از انجام این تحقیق بهینه یابی سازه های خرابایی سه بعدی با اعضای شکل پذیر تحت قید قابلیت اعتماد سیستم سازه ای مستقل از هر آیین نامه طراحی است که این نوع طراحی در تراز چهارم از تئوری قابلیت اعتماد است. اکثر آیین نامه های طراحی اندرکنش اعضا را لحاظ نکرده و تنها به بررسی عضو منفرد سازه ای بسنده کرده اند. احتمال خرابی سیستم سازه ای کمیتی است که تعیین آن همواره امری زمان بر بوده و در اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه بهینه یابی، بطور محافظه کارانه از روی احتمال خرابی اعضا تخمین زده شده است. در این تحقیق برای تسریع در روند تعیین

مسیرهای خرابی محتمل، تقریب مناسب برای احتمال خرابی سیستم سازه ای و بهینه یابی مبتنی بر آن، راهکارهایی در چهار قالب کلی ارائه شده است. راهکار اول خود به چهار قسمت و راهکار چهارم به سه قسمت تقسیم می شود. خلاصه ای از نتایج بدست آمده از تحلیل مثال ها در اثر استفاده راهکارهای پیشنهادی و برخی پیشنهادها در ادامه ارائه می شود.

۲-۷- شرح مختصر بر راهکارهای پیشنهادی و نتایج استفاده از آنها

- پیش از بیان نتیجه راهکار ۱-۱، ابتدا باید یادآوری شود که طبق رابطه ۲-۳۰ احتمال وقوع یک مسیر خرابی با کوچکترین احتمال مشترک رویداد خرابی هر یک از اعضای آن مسیر با رویداد خرابی عضو اول تخمین زده می شود. مطابق راهکار ۱-۱، پس از تشکیل یک مسیر خرابی، عملیات شاخه ای از عضوی که مطابق رابطه ۲-۳۰ دارای کوچکترین احتمال مشترک با عضو اول مسیر است، دیگر ادامه نمی یابد. دلیل این امر این است که کلیه مسیرهایی که از تولید آنها جلوگیری شده، خود زیر مجموعه مسیر تشکیل شده بوده و اجتماع چندین رویداد که خود زیرمجموعه یک رویداد هستند، نیز زیر مجموعه آن رویداد است. جلوگیری از تولید این گونه مسیرهای وابسته دو مزیت مهم دارد. اول اینکه تعداد زیادی از مسیرهای وابسته دیگر در جمع احتمال مسیرهای خرابی شرکت نمی کند و کران بالای کوچکتري برای احتمال خرابی سیستم سازه ای بدست می آید. مزیت دوم بطور بدیهی کاهش چشم گیر حجم و زمان محاسبات است. استفاده از این راهکار علاوه بر باریک کردن کرانه های احتمال خرابی، زمان محاسبات را بطور قابل توجه کاهش می دهد.

- طبق مفاهیم راهکار ۱-۲، مجموع احتمالات مسیر های خرابی منشعب از یک مسیر ناقص نباید از مقدار احتمال وقوع آن مسیر بیشتر باشد زیرا تمامی رویدادهای مسیرهای خرابی بوجود آمده خود زیر مجموعه رویداد آن مسیر ناقص هستند و تولید آنها چیزی به اجتماع رویدادهای خرابی سازه اضافه نمی کند. بنابراین در حین عملیات شاخه ای هرگاه مجموع احتمالات

مسیرهای خرابی منشعب از یک مسیر ناقص از احتمال وقوع آن بیشتر شود، عملیات شاخه ای از عضو انتهایی مسیر ناقص متوقف شده و احتمال وقوع مسیر ناقص (به جای مجموع احتمالات مسیرهای مذکور) با کران فوقانی جمع زده می شود. در برخی مثالهای مطرح شده در این رساله (سازه های متعارف مثالهای ۳ تا ۵) با استفاده از راهکارهای ۱-۱ و ۲-۱ از تولید چندین میلیون مسیر خرابی وابسته جلوگیری شد و لذا باعث کاهش نزدیک به ۱۰۰ درصد زمان محاسبات شد.

- مفهوم استفاده شده در راهکار ۱-۳ این است که از مجموع احتمالات مسیرهای منشعب از یک مسیر ناقص می توان در مورد مسیرهای منشعب از مسیرهای ناقص جدید نیز استفاده نمود به شرط آنکه عضو اول آن مسیر ناقص با مسیرهای ناقص جدید یکسان باشد و سایر اعضا نیز صرفنظر از ترتیب وقوعشان، تکراری باشند. به این ترتیب دیگر احتیاجی به ادامه عملیات شاخه ای از این مسیرهای ناقص جدید نبوده و از قبل معلوم است که مجموع احتمالات وقوع این مسیرهای خرابی (بدون تشکیل) با مجموع احتمالات وقوع مسیرهای خرابی منشعب از مسیر ناقص اول برابر خواهد بود. با استفاده از این راهکار تعداد زیادی از مسیرهای خرابی اصلاً تشکیل نشده و در زمان محاسبات صرفه جویی می شود.

- راهکار ۱-۴ استفاده از تقارن سازه مورد بررسی در امر تحلیل قابلیت اعتماد آن است. بسیاری از سازه های خرابی مانند پلها، دکل ها و گنبدها دارای دو یا چند محور تقارن هستند و استفاده از این راهکار در عین سادگی تأثیر قابل توجهی در صرفه جویی زمان محاسبات دارد. این تأثیر بسته به هندسه، از یک سازه به سازه دیگر تفاوت دارد. در مورد مثالهای ذکر شده با استفاده از راهکارهای ۱-۳ و ۱-۴، بین ۶۰ تا ۹۵ درصد مسیرهای خرابی تشکیل نشده و به همین نسبت از زمان محاسبات کاسته شده است.

- همانگونه که بیان شد نسخه اولیه ژنتیک الگوریتم دارای معایب عمده ای چون سرعت بسیار پایین و وابستگی آن به پارامترهای خود است، بطوریکه بدون انتخاب صحیح این پارامترها

احتمال افتادن در بهینه محلی بسیار زیاد است. از این رو تلاشهای بسیاری در جهت رفع این معایب انجام شده و نتایج مطلوبی کسب شده است. در یکی از مناسب ترین الگوریتم هایی که تاکنون حاصل شده است، جمعیت اولیه به زیر جمعیت های (جزایر) متعدد تقسیم می شود و هر یک از جزایر با استفاده از مقادیر متفاوت از پارامترها (نسبت به سایرین)، و با استعانت از یک پردازشگر جداگانه به بهینه یابی می پردازد. با یک نگاه کلی مشاهده می شود که عملکرد همین جزایر با یکدیگر تفاوت محسوسی دارد. در این تحقیق از تاکتیک جدیدی در پردازش موازی الگوریتم ژنتیک استفاده شد. با استفاده از این تاکتیک با ایجاد رقابت بین جزایر در چند مهاجرت اول، جزایر کارآمد تر شناخته شده و قوانین حاکم بر آنها به جزایر با عملکرد ضعیف دیکته می شود. به این ترتیب از ادامه فعالیت جزایر ضعیف و اتلاف زمان جلوگیری شده و احتمال گریز از بهینه محلی افزایش می یابد.

- در اثر تقسیم جمعیت الگوریتم ژنتیک به پنج جزیره که هریک بطور مستقل با یک پردازشگر جداگانه به بهینه یابی می پردازند، کمی بیشتر از ۸۰ درصد در زمان محاسبات صرفه جویی شد. بعبارت دیگر زمان محاسبات حتی به کمتر از یک پنجم کاهش یافت. دلیل این امر آنست که عملیاتی چون انتخاب، ادغام، رتبه بندی و جهش در جزایر با توجه به تعداد کمتر جمعیت آنها سریع تر از حالت ساده الگوریتم ژنتیک انجام می شود. بعنوان نتیجه کلی با کمی اغماض می توان گفت که زمان محاسبات با تعداد پردازشگرهای موازی رابطه خطی معکوس دارد.
- راهکار سوم پیشنهادی در این رساله ارائه روشی سریع برای تحلیل خرپا با توپولوژی متغیر و استفاده از آن در تحلیل قابلیت اعتماد است. این امر با ایجاد بهبود در روابط روش جبری نیروها حاصل شد. تحلیل خرپا با روش مرسوم سختی نیازمند حل دستگاه معادلات با اندازه تعداد درجات آزادی فعال گرهی است، در حالیکه در روش نرمی اندازه دستگاه معادلات به درجات نامعینی خرپا کاهش می یابد. در اکثر سازه های متعارف بزرگ، تعداد درجات نامعینی به مراتب کوچکتر از تعداد درجات آزادی فعال گرهی است. مزیت دیگر روش جبری نیروها

نسبت به روش مرسوم سختی، این است که نیروها بطور مستقیم و بدون واسطه تعیین می شود. با توجه به دفعات بسیار زیاد تحلیل خرپا در تعیین مسیرهای خرابی، استفاده از روش نرمی پیشنهادی در مثالهای ارائه شده، باعث صرفه جویی قابل توجه ۳۰ تا ۹۵ درصدی در زمان محاسبات شد.

- در این تحقیق به عنوان راهکار چهارم از سیستم چند عاملی هوشمند در امر تحلیل قابلیت اعتماد و بهینه سازی استفاده شد. از عامل هوشمند فاز اول (راهکار ۴-۱) در ذخیره سازی، شناسایی و کنترل مسیرهای خرابی استفاده شد. این عامل از اطلاعات بدست آمده در تحلیل کروموزوم های نسل اول می تواند در صورت لزوم در مورد نسلهای بعدی نیز استفاده کند. نتیجه عملکرد عامل هوشمند اول جلوگیری از انجام عملیات تکراری جهت کنترل خرابی سازه و کاهش زمان محاسبات به میزان ۵ تا ۱۰ درصد بوده است.

- از عامل هوشمند فاز دوم (راهکار ۴-۲) برای شناسایی کروموزوم های شایسته تکراری و تعیین شایستگی آنها استفاده شد. با توجه به اینکه براساس نظریه تکاملی داروین کروموزوم های شایسته شانس ادغام بیشتری دارند، بخش عمده ای از جمعیت نسلهای میانی و پایانی الگوریتم ژنتیک را اکثراً همین کروموزوم های شایسته و تکراری تشکیل می دهند. عامل هوشمند سوم در مثالهای بهینه یابی مطرح شده حدود ۵۰۰۰ کروموزوم از مجموع ۱۰۰۰۰ کروموزوم، یعنی تقریباً ۵۰ درصد را تکراری تشخیص داده و از تحلیل و محاسبه شایستگی آنها جلوگیری کرده است. لیکن زمان صرفه جویی شده بیشتر از ۵۰ درصد است، زیرا همانگونه که بیان شد تحلیل این کروموزوم های شایسته زمان بسیار بیشتری نسبت به سایر کروموزوم ها صرف می کند. در مثال های مذکور استفاده از عامل هوشمند فاز دوم، باعث کاهش چشمگیر ۷۰ درصدی در زمان محاسبات شد.

- عامل هوشمند فاز سوم (راهکار ۴-۳) این تحقیق کروموزوم هایی که شایستگی کمی دارند را در حین تحلیل و حتی در همان اوایل تحلیل شناسایی می کند. کروموزوم هایی که احتمال

خرابی آنها به مقدار قابل توجهی با مقدار مجاز احتمال خرابی (قید طراحی) فاصله دارد در همان اوایل تحلیل شناخته شده و تحلیل آنها زودتر از موعد مقرر پایان می یابد. استفاده از این راهکار در مورد کروموزوم های مناسب نیز دارای نتایج مطلوب است. بطوریکه با استفاده از آن از تولید مسیرهایی که احتمال وقوع آنها به مراتب از احتمال خرابی مجاز کوچکتر است جلوگیری می شود. استفاده از این راهکار باعث کاهش مناسب زمان تحلیل می شود.

- با توجه به نتایج مثالهای ارائه شده تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای یک خرپا بدون استفاده از راهکارهای پیشنهادی ممکن است مستلزم تشکیل میلیون ها مسیر خرابی بوده و چندین ساعت بطول بیانجامد. بنابراین مشخص است که بهینه یابی یک سازه متعارف نسبتاً بزرگ در چنین شرایطی بدون استفاده از فرضیات ساده کننده و محافظه کارانه کاملاً غیر ممکن است. در این تحقیق با ارائه چندین راهکار امکان بهینه یابی سازه های بزرگ با قید قابلیت اعتماد سیستم

سازه ای بوجود آمد.

- فرضیات ساده کننده و محافظه کارانه ای که در مراجع معرفی شده در این پایان نامه برای تعیین احتمال خرابی سیستم سازه ای استفاده شده است، منجر به نتایج دست بالا و غیر اقتصادی

می شود. در این پایان نامه با استفاده از راهکارهای پیشنهادی و در نظر گرفتن شرایط واقعی تر، تخمین مناسب تری برای احتمال خرابی سیستم سازه ای انجام شد و نتایج بهینه یابی بدست آمده براین اساس به مراتب بهتر از مراجع یاد شده بود، هرچند که زمان محاسبات بیشتر بوده است. در این رساله با استفاده از راهکارهای پیشنهادی جواب های بهینه مطلوب تر در زمان قابل قبول به دست آمد.

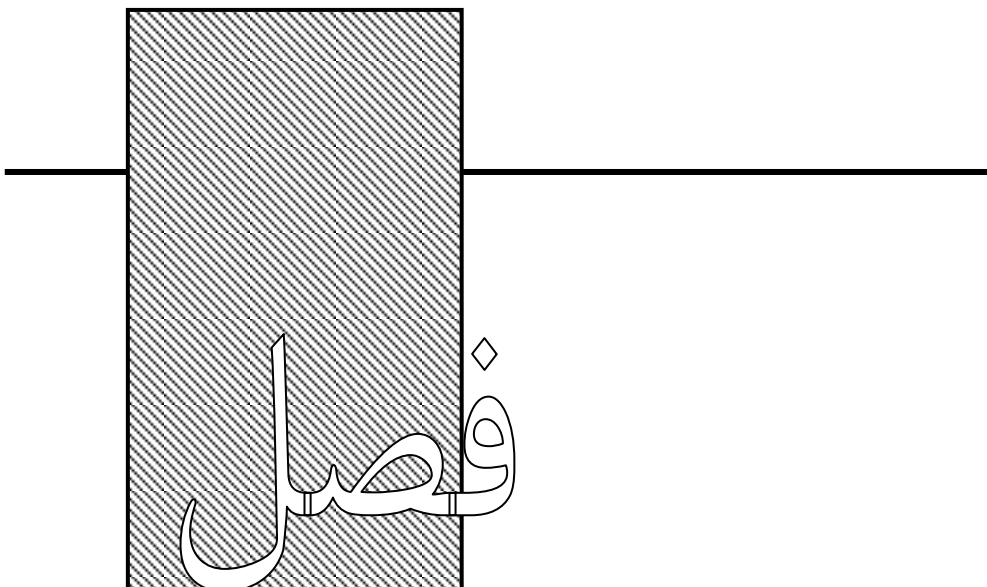
- طبق نتایج بدست آمده هر چه واریانس بارهای وارده و مقاومت اعضا بیشتر باشد، استفاده از فرضیات ساده کننده یاد شده منجر به نتایج نامطلوب تر شده و تأثیر راهکارهای پیشنهادی در این موارد بیشتر خواهد بود.
- با توجه به نتایج بدست آمده در مثال پایانی از فصل ششم، لحاظ نمودن قید کمانش در اعضای فشاری اثر قابل توجهی در احتمال خرابی اعضا و لذا احتمال خرابی سیستم سازه ای داشته و درحقیقت روند تشکیل مسیرهای خرابی محتمل در روش شاخه و کرانه را تحت تأثیر قرار می دهد.

۷-۳- پیشنهادها

- تمامی راهکارهای پیشنهادی بجز راهکار سوم به سادگی قابل تعمیم به سازه های قابی بوده و نیازی به انجام محاسبات جدید نیست. به عبارت بهتر تنها کافیسیت به جای رویداد تسلیم اعضا، ایجاد مفصل پلاستیک در گره ها را مد نظر قرار داده و کلیه راهکارهای پیشنهادی را به قابها تعمیم داد، لیکن تنها در مورد راهکار سوم یعنی استفاده از روش بهبود یافته نیروها شرایط تعمیم وجود ندارد. پیشنهاد می شود در زمینه تحلیل قابها به روش نیروها، در اثر ایجاد مفاصل پلاستیک در گره ها (مشابه آنچه در این تحقیق در مورد خرپا انجام شد) تحقیقات لازم صورت پذیرد.
- برخی از راهکارهای پیشنهادی مانند ۲، ۴-۲ مختص به بحث قابلیت اعتماد نیست و لذا استفاده از آنها در موارد بهینه یابی دیگر نیز پیشنهاد می شود.
- در این تحقیق با توجه به حجم کار و زمان بالای محاسبات، از فرضیاتی متداول استفاده شد. بعنوان مثال مقدار و چگونگی اعمال بارها مستقل از زمان فرض شد؛ کمیت های مسأله بجز بار و مقاومت اعضا قطعی در نظر گرفته شدند؛ رفتار مصالح الاستو پلاستیک کامل فرض شد.

پیشنهاد می شود در تحقیقات جدید فرضیات مطابق با الگوی واقعی مد نظر قرار گیرد تا جواب های بهتر حاصل شود.

- در حین مراحل مهاجرت در بسیاری از موارد با توجه به تفاوت کروموزوم ها کار بعضی از پردازشگرها سریع تمام شده و منتظر دریافت اطلاعات از پردازشگرهای دیگر هستند که هنوز کار محاسبات آنها به پایان نرسیده است. این امر باعث ایجاد وقفه در محاسبات و تلف شدن زمان محاسبات می شود. می توان برنامه کامپیوتری تنظیم کرد که در این شرایط پردازشگرهای منتظر، بعنوان slave به کمک پردازشگرهای مشغول به تحلیل بپردازند.
- با توجه به اینکه سازه های فضاکار دارای ماهیت خرابایی هستند و در اکثر موارد عدم قطعیت در مورد این سازه ها لحاظ نمی شود، از راهکارهای پیشنهادی در تحلیل قابلیت اعتماد آنها می توان استفاده نمود.
- در این رساله از متغیرهای طراحی گسسته استفاده شد. استفاده از متغیرهای پیوسته قطعاً به نتایج بهینه تر منجر می شود. همچنین با استفاده از الگوریتم های بهینه یابی دیگر ممکن است بتوان نتایج مطلوب تری کسب نمود.
- همانطور که در فصل چهارم بیان شد تحقیقاتی در زمینه تولید ماتریسهای پر صفر و نواری در روش جبری نیروها انجام شده است. استفاده از این گونه راهکارها و همچنین استفاده از روش بازگشتی LU در روش بهبود یافته پیشنهادی می تواند زمان محاسبات را بیش از این کاهش دهد.
- مطابق توضیحات بخش ۵-۵-۱ عامل هوشمند فاز اول نقابصی در مورد یافتن رشته هایی مانند رشته ۵-۴ بوسیله جستجوی دودویی دارد. یافتن یک روش جستجوی پیشرفته تر و جامع تر می تواند عملکرد این عامل را بهبود ببخشد.



[1] Dorn W.S., Gomory R.E. and Greenberg H.J. (1964) “Automatic design of optimal structures”, **Journal of Mechanic**. 3 (6) 25-52.

[2]. Haug E.J, Arora J.S. (1989) “**Introduction to Optimal Design**”, McGrawHill, NewYork.

- [3] Krish U. (1989) "Optimal topologies of truss structures", **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, 72, 1, 15-28
- [4] Ringertz U.T. (1985) "On topology optimization of trusses", **Engineering Optimization**. 9, 3, 209-218.
- [5] Topping B.H.V. (1983) "Shape optimization of skeletal structures": a review, **Journal of Structural Engineering**, 109, 8, 1933-1951.
- [6] Vanderplaat G.N. and Moses, (1972) "Automated design of trusses for optimal geometry", **Journal of the Structural Division**, 98, 3, 671-690.
- [7] Fogel, L.J. (1999) "**Intelligence Through Simulated Evolution: forty years of evolutionary programming**" Wiley, sons inc. New York, NY, USA.
- [8] De Jong, K. (1975) "Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems" Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- [9] Koza, J.R. (1990) "Genetic programming: a paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems" Stanford University Computer Science Department Technical Report STAN-CS-90-1314.
- [10] Holland J.H. (1992) "**Adaptation in Natural and Artificial Systems**", The University of Michigan (1975) and MIT Press, Cambridge, MA
- [11] Goldberg D.E. (1989) "**Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**", Addison-Wesley, Reading, MA,
- [12] Dorigo M., Maniezzo V. and Colnari A. (1996) "The ant system: optimization by a colony of cooperating agents" IEEE Transaction on Systems, Man, Cybernetics. Part: B 26, 1, 29-41.

- [13] Eberhart R.C. and Kennedy J. (1995) "A new optimizer using particle swarm theory", sixth international symposium on micro machine and human science, Nagoya, Japan
- [14] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. and Vecchi, M. (1983) "Optimization by simulated annealing". **Science** 220, 4598, 671–680.
- [15] Rashedi E., Nezamabadi-pour H. and Saryazdi, S. (2009): GSA: a gravitational search algorithm. *Inf. Sci.* 179, 2232–2248.
- [16] Kaveh A. and Talatahari S. (2009) "A novel heuristic optimization method: charged system Search", **Acta Mech** 213(3–4), 267–289
- [17] Kaveh A. and Talatahari S. (2011) "Optimization of large-scale truss structures using modified charged system search" **International Journal of Optimization in Civil Engineering**, 1, 15-28.
- [18] Kaveh A, Talatahari S (2011) "An enhanced charged system search for configuration optimization using the concept of fields of forces", **Struct Multidiscip Opt** 2011; **43**, 3, 339-51.
- [19] Nowak, A.S., Collins, K.R., (2000). "**Reliability of Structures**", McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, University of Michigan.
- [20] Lemaire M. with the collaboration of Alla Chateauneuf and Jean-Claude Mitteau (2009) "**Structural Reliability**", ISTE Ltd and John Wiley & Sons.
- [21] Park S., Choi S., Sikorski C. and Stubbs N. (2004) "Efficient method for calculation of system reliability of a complex structure" **International Journal of Solids and Structures**, 41, pp 5035-50.
- [22] Ang AH-S and Tang W.H. (1984) "**Probability concepts in engineering planning and design**", Volume II – decision, risk and reliability, John Wiley & Sons,.

- [23] Grimmelt M.J. and Schuëller G.I. (1982) “Benchmark study on methods to determine collapse failure probabilities of redundant structures”, **Structural Safety**, 1, 2, 93-106
- [24] Schuëller G.I. and Stix R. (1987) “A critical appraisal of methods to determine failure probabilities”, **Structural Safety**, 4, 293-309
- [25] Thoft-ChriStensen P. and Murotsu Y. (1986) "**Application of Structural Systems Reliability Theory**", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.
- [26] Melchers R.E. and Tang L.K. (1984) “Dominant Failure Modes in Stochastic Structural Systems” **Structural Safety**, (2), pp 127-143.
- [27] Dey A and Mahadevan S. (1988) “Ductile Structural System Reliability Analysis Using Adaptive Importance Sampling”. **Structural Safety**, 20, 137-54.
- [28] Watwood VB. (1979) “Mechanism generation for limit analysis of frames” **Journal of Structural Division, ASCE**, 109, 1–15.
- [29] Gorman MR. (1981) “Automatic generation of collapse mode equation”, **Journal of Structural Division ASCE**, 107, 1350-4.
- [30] Moses F and Stahl B. (1978) “Reliability analysis format for offshore structures”, Paper OTC 3046, Offshore Technology Conference, Houston.
- [31] Ang AH-S and Ma HF. (1981) “On the reliability of structural systems”. 3rd International Conference on Structural Safety and Reliability, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 295-314 .

[32] Murotso Y., Taguchi K., Grimmelt M. and Yonezawa Y., (1984). "Automatic Generation of Stochastically Dominant Failure Modes of Frame Structures" **Structural Safety**, 2(1), pp 17-25.

[33] Ranganathan R and Deshpande AG. (1987) "Generation of dominant modes and reliability analysis of frames". **Structural Safety**, 4, 217–28 .

[34] Tung ATY. and Kiremidjian AS. (1992) "Application of system reliability theory in the seismic analysis of structures", *Earthquake Spectra* ,8, 3, 471-94.

[35] Xiao Q. and Mahadevan S. (1994) "Fast Failure Mode Identification for Ductile Structural System Reliability" **Structural Safety**, 13, pp 207-26.

[36] Gharaibeh E.S., McCartney J.S. and Frangopol D.M. (2002) "Reliability-based importance assessment of structural members with applications to complex structures" **Computers and Structures**, 80, pp 1113–31.

[37] Toğan V. and Daloğlu A. (2005) "Optimum Design of a Truss System under the Constraint of Failure Probability" **ARI, the Bulletin of the Istanbul Technical University** 54, 5, pp 8-19.

[38] Toğan V. and Daloğlu A. (2006) "Reliability and Reliability-Based Design Optimization" **Turkish J. Eng. Env. Sci.** , pp.237-249.

[۳۹] قاسمی م. ر. قلعه نوی م. و یوسفی م. (۱۳۸۷) "نقش احتمال خرابی گره ها در بهینه سازی سازه های قابی صفحه ای و فضایی براساس نظریه قابلیت اعتماد"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۴۰] قاسمی م. ر. و مستخدمین حسینی م. ر.، (۱۳۸۷) "بهینه سازی سازه های فضاکار با در نظر گرفتن احتمال خرابی اعضا و گره ها به کمک الگوریتم وراثتی اصلاح شده" نشریه فنی دانشگاه تهران، ۴۲، ۴.

[۴۱] حصیرچی ر. (۱۳۸۲). "تحلیل قابلیت اعتماد سازه های فولادی مهاربندی شده در برابر زلزله" پایان نامه کارشناسی ارشد، اساتید راهنما: ، محسنعلی شایانفر و ابراهیم ثنائی، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران.

[42] Tsompanakis Y. and Papadrakakis M. (2004) "Large-scale reliability-based structural optimization" Research paper, **Structural Multidisciplinary Optimization**, 26, 429–440.

[۴۳] کاوه، ع. و کلات جاری، و.ر. (۱۳۷۳). "نظریه قابلیت اعتماد و کاربرد آن در مهندسی سازه"، دانشگاه علم و صنعت ایران. چاپ اول.

[44] Hart G. C. (1982) "Uncertainty analysis loads and safety in structural engineering", Prentice – Hall Inc, Englewood Cliffs, N.J 07632, ISBN 0-13-935619-3.

[45] Ditlevsen O. (1979) "Narrow reliability bounds for structural systems", **J. Struct. Mech.** 7, pp. 453-472.

[46] Murotso Y. (1986). "Development in structural systems reliability theory", **Nuclear Engineering and Design**, (94): 101-114.

[47] Murotso Y., Okado H., Yonezawa M. and Kishi M. (1983) "Identification of stochastically dominant failure modes in frame structures". 4th Int. Conference Appl. Stat. Prob. in Soil and Struc. Eng., pp. 1325-1338, Florence, Pitagora Editrice, Bologna

[48] Murotsu Y., Okada H., (1981). "Reliability Assessment of Redundant Structures" Third International Conference on Structural Safety and Reliability, T. moan and M. Shinouo, eds., Elsevier Scientific Publishing Co., New York, pp.315-329. Trondheim, Norway.

[49] Rashedi M.R. and Moses F. (1988) "Identification of failure modes in system reliability" **Journal of Structural Engineering**, 114,2, pp 292-313.

[50] Moses F. and Rashedi M.R., (1983). The application of system reliability to structural safety. 4th International Conference in Application Stat. Prob. in Soil and Structures Engineering, pp. 573-584, Florence, Pitagora Editrice, Bologna.

[51] Rajeev S. and Krishnamoorthy C.S. (1992) "Discrete optimization of structures using Genetic algorithms, Journal of Structural Engineering" **ASCE**, **118**, pp. 1233-1250.

[52] Jenkins W.M. (2002) "A decimal-coded evolutionary algorithm for constrained optimization". **Computers and Structures**, **80**, pp. 471-480.

[53] Toğan V. and Daloğlu A. (2008) "An improved genetic algorithm with initial population strategy and self-adaptive member grouping". **Computers and Structures**, **86**, pp. 1204-1218.

[۵۴] کلات جاری و. ر. ، طالب پور م. ح. (۱۳۸۸) "آموزش کاهش تأثیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک در بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خرابایی توسط روش جستجوی چند منظوره" نشریه علمی پژوهشی فن آوری آموزش، سال چهارم، جلد چهارم، شماره ۱.

[55] Tanimura Y., Hiroyasu T. and Miki M. (2001) "Discussion on Distributed Genetic Algorithms for Designing Truss Structures". The 5th International Conference and

Exhibition on High Performance Computing in the Asia-Pacific Region, Queensland Australia.

[56] Miki M., Hiroyasu T., Kaneko M. and Hatanaka K. (1999) "A parallel genetic algorithm with distributed environment scheme", in: Proc. of the IEEE Conf. of Systems, Man and Cybernetics, IEEE Press, pp. 695–700.

[57] Thierauf G. and Cai J. (1998) "Parallelization of the Evolution Strategy for Discrete Structural Optimization Problems". **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 13, pp. 23-30.

[58] S.D. Rajan and D.T. Nguyen, (2004) "Design optimization of discrete structural systems using MPI-enabled genetic algorithm" Research Paper, **Struct Multidisc. Optim** 28, 340–348.

[59] Adeli H. and Kumar S. (1995) "Distributed Genetic Algorithm for Structural Optimization" **Journal of Aerospace Engineering**, 8, 3, pp. 156-163.

[60] Adeli H. and Cheng N. T. (1994) "Concurrent genetic algorithm for optimization of large structures" **Journal of Aerospace Engineering**, 7, pp. 276-296.

[61] Ghazi A. , Banan M.R. and Ashrafizadeh M. (2003) "Optimum Design of Space Truss Structures Using Parallel Genetic Algorithm" 6th International Conference on Civil Engineering , pp. 367-374 ,Isfahahn – Iran.

[62] K. Kojima, M. Ishigame, G. Chakraborty, H. Hatsuo, and S. Makino (2008) "Asynchronous Parallel Distributed Genetic Algorithm with Elite Migration" **International Journal of Computational Intelligence** 4;2.

[63] Kaveh A. (1995) "**Structural Mechanics: Graph and Matrix Methods**", (2nd edn). Research Studies Press (John Wiley), UK.

[64] Kaveh A. (1997) "**Optimal Structural Analysis**". Research Studies Press (John Wiley), UK.

[65] Kaveh A. and Kalatjari V. (2002) "Genetic Algorithm for Discrete-Sizing Optimal Design of Trusses Using the Force Method" **International Journal of Numerical Methods in Engineering**, 55, pp 55-72.

[66] Kaveh A. and Kalatjari V. (2004) "Size/Geometry Optimization of Trusses by the Force Method and Genetic Algorithm", **Z. Angew. Math. Mech.** 84, pp. 347-357.

[67] Rahami H., Kaveh A. and Gholipour Y. (2008) "Sizing, geometry and topology optimization of trusses via force method and genetic algorithm" **Engineering Structures**, 30, 9, pp.2360-2369.

[۶۸] کاوه ع. ، نوید احسانی . ف. و کلات جاری و. ر. (۱۳۸۳) "صلبیت توپولوژیکی سازه های مستوی و فضایی با استفاده از روش های گراف تئوریک و جبری". انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

[69] Kaneko I., Lawo M. and Thierauf G. (1982) "On computational procedures for the force methods" **Int. J. Numer. Meths Engng.**, 18, pp.1469-1495.

[70] Chapra S.C. and P.C. Raymond (1988) "**Numerical Methods in Engineering**", New York, McGraw Hill.

[71] Neapolitan R. and Naimipour K. (2004) "**Foundations of Algorithms Using C++ Pseudocode**", Third Edition, ISBN:0763723878, Jones and Bartlett Publishers.

[72] Shao S. and Murotsu Y. (1999) "Approach to failure mode analysis of large structures. **Prob. Eng. Mech.** 1999, 14, pp. 169-77.

Abstract

In most of the structural optimization problems, all variables have been considered as deterministic and their uncertainties have been neglected. Recently, the reliability theory has been employed in the structural optimization by designers. However, reliability analysis of the structural systems is a very time consuming process and hence the structural system failure probability in many studies has been estimated in a conservative manner directly from the failure probability of the members to reduce the computation time, resulting in inefficient and uneconomical solutions.

The aim of this thesis is to optimize the 3D steel trusses, independent of any design codes, taking into account the structural system, correlation between random variables and their real statistical distribution, such that the truss weight becomes minimum under a given level of safety. This type of design is known as the 4th level of the reliability theory in which the common optimization constraints such as allowable stress of members are replaced by the structural reliability.

In this study, in order to increase the speed of the optimization and the reliability analysis, an improved distributed genetic algorithm, a parallel processing system, a developed algebraic force method and a multi-agent system based on the artificial intelligence techniques have been utilized. Also, by using the probability concepts and the reliability theory, the Branch and Bound method based on the failure paths has been developed.

The optimization of truss structures under constraint of structural system reliability, without simplifying assumptions is a time consuming process and therefore impractical. In this study, using the proposed strategies, such an optimization has been carried out in a reasonable calculation time.

Keywords: Reliability based optimization, distributed parallel genetic algorithm; structural system failure probability; improved algebraic force method; branch and bound method; artificial intelligence



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil and Architectural Engineering

**Element and Structural system reliability-based optimization
of steel trusses using developed genetic algorithm**

Pooria Mansoorian

**Supervisor:
Dr. Vahid Reza Kalatjari**

September 2011