



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

پایان نامه کارشناسی ارشد

بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از

الگوریتم ژنتیک

امین نوریان

استاد راهنما: دکتر وحید رضا کلاتجاری

استاد مشاور: دکتر سیروس غلامپور

دی ۱۳۸۸

الْحَمْدُ لِلَّهِ  
الَّذِي  
رَبَّنَا  
الْحَمْدُ لِلَّهِ  
الَّذِي  
رَبَّنَا





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

گروه: سازه

عنوان پایان نامه:

بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیرمنشوری فولادی با استفاده از

الگوریتم ژنتیک

دانشجو: امین نوریان

استاد راهنما:

دکتر وحید رضا کلاتجاری

استاد مشاور:

دکتر سیروس غلامپور

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

گروه: سازه

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امین نوریان

تحت عنوان: بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیرمنشوری فولادی با استفاده از

الگوریتم ژنتیک

در تاریخ ۱۳۸۸/۱۰/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما:	امضاء	اساتید مشاور:	امضاء
دکتر وحید رضا کلاتجاری		دکتر سیروس غلامپور	

اساتید داور:	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی:	امضاء
دکتر سید فضل الله ساغروانی		مهندس عباس محمدی	
دکتر علی کیهانی			





تقدیم به تمام آنان که رنج بودند و رابر دوش کشیده اند...



# با کمال اتمنان از اساتید گران سنگ،

جناب آقایان دکتر وحید رضا کلات جاری و دکتر سیروس غلامپور،

که در این راه، بنیان گذار و هدایت گر انجمنم بودند...

باتقدیر از جناب آقای مهندس حسین طالبپور

برای کمک های ارزنده شان...

## و با سپاس بسیار

از خانواده مهربانم، برای حمایت های بی دریغشان...

## تعهد نامه

اینجانب امین نوریان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته سازه دانشکده عمران معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تحت راهنمایی دکتر وحیدرضا کلاتجاری به عنوان استاد راهنمای اول متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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: ۱۳۸۸/۱۰/۳۰

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.

## چکیده:

در این پایان نامه، بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیرمنشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس آیین نامه فولاد آمریکا، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

هدف از انجام این تحقیق ارائه برنامه کامپیوتری مطلوب و سهل الوصول برای کاربران است، تا بتوانند به تحلیل، طراحی و بهینه یابی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی که از جمله پرکاربردترین سازه های مورد استفاده در ساخت سالن های صنعتی و سوله ها است، بپردازند. این برنامه بر اساس فرضیات رایج در ساخت این گونه از سازه ها که همان مسطح بودن، یک طبقه بودن و غیر منشوری بودن قاب می باشد، بنا شده است. بر این اساس هر عضو قاب دارای پنج متغیر طراحی از قبیل، ارتفاع جان در ابتدای عضو، ارتفاع جان در انتهای عضو، ضخامت جان، ضخامت بال و عرض بال می باشد، که در طول فرایند الگوریتم ژنتیک جزیره ای بهینه یابی خواهند گشت، تا در نهایت مدل قاب شیبداری که کمترین وزن را تولید می نماید، به کاربر معرفی گردد.

در خاتمه جهت صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج بدست آمده از برنامه، دو مثال از تحلیل سازه و سه مثال از بهینه سازی سازه ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل سازه نشان از دقت مناسب و قابل قبول برنامه دارد. نتایج بهینه سازی نیز حاکی از توانایی الگوریتم ژنتیک جزیره ای در بهبود نتایج بدست آمده، نسبت به سایر مراجع است.

## کلمات کلیدی:

بهینه سازی، عضو غیر منشوری، قاب شیبدار، الگوریتم ژنتیک، سازه های فولادی، آیین نامه فولاد

آمریکا

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱ پیشگفتار..... ۱
- ۲-۱ بهینه سازی سازه های مهندسی ..... ۲
- ۱-۲-۱ بهینه سازی قاب های شیبدار غیرمنشوری..... ۲
- ۳-۱ تاریخچه تحقیقات بهینه سازی قاب های فولادی با اعضای غیر منشوری..... ۵
- ۴-۱ اهداف تحقیق ..... ۸
- ۵-۱ ساختار پایان نامه..... ۹

### فصل دوم: الگوریتم ژنتیک

- ۱-۲ پیشگفتار..... ۱۱
- ۲-۲ تاریخچه الگوریتم ژنتیک ..... ۱۲
- ۳-۲ علم ژنتیک و مفهومات ..... ۱۴
- ۱-۳-۲ الگوریتم ژنتیک ..... ۱۵
- ۲-۳-۲ افراد یا کروموزوم ..... ۱۷
- ۱-۲-۳-۲ کدگذاری کروموزوم ..... ۱۷
- ۲-۲-۳-۲ کد گذاری دودویی ..... ۱۸
- ۳-۳-۲ تعیین جمعیت اولیه ..... ۲۲

- ۲۲..... ۴-۳-۲ توابع هدف، پینالتی و شایستگی
- ۲۶..... ۵-۳-۲ انتخاب
- ۲۷..... ۱-۵-۳-۲ چرخ گردان
- ۲۹..... ۲-۵-۳-۲ روش رتبه بندی
- ۳۰..... ۳-۵-۳-۲ روش رقابتی
- ۳۱..... ۶-۳-۲ مفهوم برگزیده یا نخبه گرا (شایسته سالاری)
- ۳۱..... ۷-۳-۲ عملگرهای GA
- ۳۲..... ۱-۷-۳-۲ عملگر ادغام (پیوند)
- ۳۴..... ۱-۱-۷-۳-۲ تقاطع چند نقطه ای
- ۳۵..... ۲-۱-۷-۳-۲ روش ادغام یکنواخت
- ۳۵..... ۲-۷-۳-۲ عمل معکوس سازی
- ۳۶..... ۳-۷-۳-۲ عمل حذف و کپی
- ۳۷..... ۴-۷-۳-۲ جهش
- ۳۸..... ۱-۴-۷-۳-۲ عمل جهش در کدگذاری دودویی
- ۴۰..... ۸-۳-۲ دستور خروج از الگوریتم
- ۴۱..... ۹-۳-۲ روش جستجوی چند منظوره یا جزیره ای M.S.M
- ۴۵..... ۱۰-۳-۲ بهینه سازی سازه ها توسط الگوریتم در یک نگاه

## فصل سوم: تحلیل و طراحی قاب های شیبدار غیر منشوری

- ۴۷..... ۱-۳ پیشگفتار

- ۴۸.....انواع سازه های شیبدار ..... ۲-۳
- ۵۲.....انواع سازه های شیبدار با قاب صلب ..... ۱-۲-۳
- ۵۴.....فرضیات تحلیل و طراحی ..... ۳-۳
- ۵۵.....تحلیل قاب های شیبدار غیر منشوری ..... ۴-۳
- ۶۲.....کلیات طراحی اعضا با استفاده از روش تنش های مجاز ..... ۵-۳
- ۶۴.....تنش مجاز فشاری ..... ۱-۵-۳
- ۶۵.....برآورد ضریب طول موثر ( $K\gamma$ ) ..... ۲-۵-۳
- ۷۲.....تنش های مجاز خمشی ..... ۳-۵-۳
- ۷۴.....تنش مجاز برشی ..... ۴-۵-۳
- ۷۵.....اندر کنش نیروی فشاری و خمشی ..... ۵-۵-۳
- ۷۷.....قید های مربوط به ابعاد عضو ..... ۶-۵-۳

## فصل چهارم: فرضیات و راهنمای اجرای برنامه بهینه ساز

- ۷۸.....پیشگفتار ..... ۱-۴
- ۷۹.....فرضیات و ورودی های برنامه ..... ۲-۴
- ۸۰.....مشخصات هندسی گره های سازه ..... ۱-۲-۴
- ۸۱.....خصوصیات مصالح مصرفی ..... ۲-۲-۴
- ۸۱.....گستره، مقاطع مجاز برنامه ..... ۳-۲-۴
- ۸۳.....مقادیر بار گسترده بر روی اعضا و ترکیبات بار ..... ۴-۲-۴
- ۸۴.....پارامتر های بهینه سازی ..... ۵-۲-۴

## فصل پنجم: حل مثال و صحت سنجی نتایج برنامه

- ۱-۵ پیشگفتار ..... ۹۰
- ۲-۵ صحت سنجی نتایج تحلیل سازه ..... ۹۱
- ۱-۲-۵ شرح مثال اول تحلیل سازه ..... ۹۱
- ۲-۲-۵ شرح مثال دوم تحلیل سازه ..... ۹۷
- ۳-۵ ارزش سنجی نتایج بهینه سازی ..... ۱۰۸
- ۱-۳-۵ شرح مثال یک بهینه سازی ..... ۱۰۸
- ۲-۳-۵ شرح مثال دوم بهینه سازی ..... ۱۱۳
- ۱-۱-۲-۳-۵ نتایج بهینه سازی مرجع توسط الگوریتم SQP ..... ۱۱۵
- ۲-۱-۲-۳-۵ نتایج بهینه سازی توسط برنامه الگوریتم ژنتیک جزیره ای ..... ۱۱۶
- ۲-۲-۳-۵ بخش دوم از مثال دوم ..... ۱۱۹
- ۳-۳-۵ شرح مثال سوم بهینه سازی ..... ۱۲۳
- ۱-۳-۳-۵ نتایج بهینه سازی مرجع توسط الگوریتم SQP ..... ۱۲۴
- ۲-۳-۳-۵ نتایج بهینه سازی توسط برنامه الگوریتم ژنتیک جزیره ای ..... ۱۲۵

## فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱-۶ نتیجه گیری ..... ۱۲۸
- ۲-۶ پیشنهادات ..... ۱۳۱
- فهرست مراجع ..... ۱۳۲



## فهرست اشکال

### فصل دوم

- شکل شماره (۱-۲) مدلی از چرخ گردان..... ۲۸
- شکل شماره (۲-۲) مدلی از انتخاب کروموزوم مولد..... ۲۸
- شکل شماره (۳-۲) مدلی از انتخاب کروموزوم مولد در شیوه رقابتی..... ۳۰
- شکل شماره (۴-۲) روش ادغام چند نقطه ای..... ۳۴
- شکل شماره (۵-۲) روش ادغام یکنواخت..... ۳۵
- شکل شماره (۶-۲) عمل معکوس سازی..... ۳۶
- شکل شماره (۷-۲) عمل حذف و کپی بیت های پیشین..... ۳۷
- شکل شماره (۸-۲) عمل حذف و تولید مجدد..... ۳۷
- شکل شماره (۹-۲) هشت رشته کروموزوم را نشان می دهد..... ۳۸
- شکل شماره (۱۰-۲) روش جستجوی چند منظوره..... ۴۳

### فصل سوم

- شکل شماره (۱-۳) نمایی از قاب های صلب (a) و خرابایی (b) را نشان می دهد..... ۴۹
- شکل شماره (۲-۳) مقایسه میزان هزینه فولاد مصرفی در سیستم قاب صلب و خرابایی..... ۵۰
- شکل شماره (۳-۳) مقایسه میزان هزینه پی سازی در سیستم قاب صلب و خرابایی..... ۵۰

- شکل شماره (۳-۴) نمایی از قاب با تیرها و ستون های خرابایی ..... ۵۱
- شکل شماره (۳-۵) قاب شیبدار منشوری ..... ۵۲
- شکل شماره (۳-۶) قاب شیبدار غیر منشوری ..... ۵۲
- شکل شماره (۳-۷) قاب شیبدار غیر منشوری چند دهانه ..... ۵۳
- شکل شماره (۳-۸) قاب شیبدار یک سوبه یا لنتو ..... ۵۳
- شکل شماره (۳-۹) درجات آزادی در یک عضو غیر منشوری ..... ۵۸
- شکل شماره (۳-۱۰) مدلی برای تعیین ضریب طول کمانش ..... ۶۶
- شکل شماره (۳-۱۱) تغییرات سطح مقطع عضو غیر منشوری در طول عضو ..... ۶۸
- شکل شماره (۳-۱۲) نمودار بدون بعد اعضای غیر منشوری خطی بدون حرکت جانبی ..... ۶۹
- شکل شماره (۳-۱۳) نمودار بدون بعد طراحی اعضای غیر منشوری خطی با حرکت جانبی ..... ۷۰

#### فصل چهارم

- شکل شماره (۴-۱) نمایی از ساختار مورد نظر قاب شیبدار غیر منشوری در این تحقیق ..... ۸۰
- شکل شماره (۴-۲) مشخصات ابعادی اعضا را نشان می دهد ..... ۸۲

#### فصل پنجم

- شکل شماره (۵-۱) اطلاعات هندسی مثال یک تحلیل ..... ۹۲
- شکل شماره (۵-۲) نتایج نیروها با استفاده از روش توزیع لنگر ..... ۹۳

- شکل شماره (۳-۵) نتایج نیروها با استفاده از روش تحلیلی استفاده شده در برنامه ..... ۹۳
- شکل شماره (۴-۵) دیاگرام برش و خمش تیر مثال یک با استفاده از نرم افزار sap2000 ..... ۹۴
- شکل شماره (۵-۵) مقادیر نیروهای تیر مثال یک با استفاده از نرم افزار sap2000 ..... ۹۵
- شکل شماره (۶-۵) نمای هندسی مثال دوم تحلیل ..... ۹۷
- شکل شماره (۷-۵) مشخصات ابعادی مثال دوم تحلیل ..... ۹۸
- شکل شماره (۸-۵) مشخصات بارگذاری مثال دوم تحلیل ..... ۹۸
- شکل شماره (۹-۵) دیاگرام لنگر خمشی قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap ..... ۱۰۶
- شکل شماره (۱۰-۵) دیاگرام نیروی محوری قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap ..... ۱۰۶
- شکل شماره (۱۱-۵) دیاگرام برش قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap ..... ۱۰۷
- شکل شماره (۱۲-۵) دیاگرام تغییرشکل قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap ..... ۱۰۷
- شکل شماره (۱۳-۵) شرایط هندسی، مرزی و بارگذاری مثال اول بهینه سازی ..... ۱۰۹
- شکل شماره (۱۴-۵) مشخصات هندسی مثال دوم بهینه سازی ..... ۱۱۴
- شکل شماره (۱۵-۵) مشخصات بارگذاری مثال دوم بهینه سازی ..... ۱۱۴
- شکل شماره (۱۶-۵) نمودار لگاریتمی وزن قاب در فرایند بهینه سازی از نسل ۱ تا ۳۰۰۰۰ ..... ۱۱۸
- شکل شماره (۱۷-۵) نمودار وزن قاب در طی فرایند بهینه سازی در نسل های ۹ تا ۶۶۸۷ ..... ۱۱۸
- شکل شماره (۱۸-۵) مشخصات توپولوژی- هندسی بخش دوم از مثال دوم بهینه سازی ..... ۱۱۹
- شکل شماره (۱۹-۵) نمودار لگاریتمی وزن قاب در فرایند بهینه سازی از نسل ۱ تا ۴۰۰۰۰ ..... ۱۲۲
- شکل شماره (۲۰-۵) نمودار تغییرات وزنی قاب در فرایند بهینه سازی از نسل ۱۱ تا ۲۶۹۸۶ ..... ۱۲۲
- شکل شماره (۲۱-۵) مشخصات هندسی مثال سوم بهینه سازی ..... ۱۲۳
- شکل شماره (۲۲-۵) نمودار لگاریتمی وزن قاب در فرایند بهینه سازی از نسل ۱ تا ۳۰۰۰۰ ..... ۱۲۷
- شکل شماره (۲۳-۵) نمودار تغییرات وزنی قاب در فرایند بهینه سازی از نسل ۱۱ تا ۲۶۳۶۸ ..... ۱۲۷

## فهرست جداول

### فصل دوم

- جدول شماره (۱-۲) کد های معادل پارامتر ..... ۱۹
- جدول شماره (۲-۲) نمونه کدگذاری آزمایش دانه بندی بتن ..... ۲۱

### فصل چهارم

- جدول شماره (۱-۴) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۱) ..... ۸۶
- جدول شماره (۲-۴) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۲) ..... ۸۷
- جدول شماره (۳-۴) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۳) ..... ۸۸
- جدول شماره (۴-۴) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۴) ..... ۸۹

### فصل پنجم

- جدول شماره (۱-۵) اطلاعات ابعادی مثال یک تحلیل ..... ۹۲
- جدول شماره (۲-۵) مقایسه نتایج مثال یک تحلیل ..... ۹۶

- جدول شماره (۳-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۱..... ۹۹
- جدول شماره (۴-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۲..... ۱۰۰
- جدول شماره (۵-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۳..... ۱۰۱
- جدول شماره (۶-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۴..... ۱۰۲
- جدول شماره (۷-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۵..... ۱۰۳
- جدول شماره (۸-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۶..... ۱۰۴
- جدول شماره (۹-۵) مقایسه جابجایی برنامه با مدل SAP تحت بار مرده..... ۱۰۵
- جدول شماره (۱۰-۵) مقایسه جابجایی برنامه با مدل SAP تحت بار زنده..... ۱۰۵
- جدول شماره (۱۱-۵) پارامترهای عمومی بهینه سازی..... ۱۰۹
- جدول شماره (۱۲-۵) پارامترهای بهینه سازی جزیره ۱..... ۱۱۰
- جدول شماره (۱۳-۵) پارامترهای بهینه سازی جزیره ۲..... ۱۱۰
- جدول شماره (۱۴-۵) پارامترهای بهینه سازی جزیره ۳..... ۱۱۰
- جدول شماره (۱۵-۵) پارامترهای بهینه سازی جزیره ۴..... ۱۱۰
- جدول شماره (۱۶-۵) مقایسه نتایج نسبت های تنش و ضوابط آیین نامه، در تیر کنسول با  
مقطع ارائه شده توسط برنامه و مقاطع متناظر تضعیف شده..... ۱۱۱
- جدول شماره (۱۷-۵) نتایج بهینه سازی مثال دوم در مرجع توسط الگوریتم SQP..... ۱۱۵
- جدول شماره (۱۸-۵) مقایسه نتایج مثال دوم در الگوریتم ژنتیک ارائه شده با الگوریتم SQP..... ۱۱۶
- جدول شماره (۱۹-۵) نتایج برنامه الگوریتم ژنتیک در حالت دوم از مثال دوم..... ۱۲۰
- جدول شماره (۲۰-۵) نتایج بهینه سازی مثال سوم در مرجع توسط الگوریتم SQP..... ۱۲۴
- جدول شماره جدول شماره (۲۱-۵) نتایج بهینه سازی مثال سوم توسط برنامه الگوریتم ژنتیک  
جزیره ای..... ۱۲۵

# فصل اول:

مقدمه

## ۱-۱ پیشگفتار

در حالت کلی منظور از واژه بهینه سازی و یا بهینه یابی، دستیابی به بهترین نتایج ممکن برای یک مساله مشخص با توجه به ضوابط و شرایط حاکم در بازه تغییرات مساله می باشد. تمایل انسانی به انجام امور با بیشترین بهره‌وری و کمترین هزینه ممکن و به تبع آن نائل گشتن به حداکثر منفعت سبب گشته است که تمرکز زیادی بر تسهیل امور و یا به بیان درست تر بهینه سازی وجود داشته باشد. فلسفه پیدایش چرخ، اهرم های مکانیکی و قرقره ها در دوران بسیار دور در جوامع بشری، مویدهمین ویژگی انسانی می باشد.

امروزه نیز مهندسان به عنوان اهرم های فکری جوامع موظف اند در طراحی، ساخت، اجرا و نگه داری هر سیستم مهندسی تصمیمات مدیریتی، تکنولوژیک و نوینی را جهت کمینه کردن انرژی، زمان و هزینه در عین حفظ و یا حتی ارتقای کیفیت سیستم های موجود، اتخاذ نمایند؛ اما از آنجا که برای

حل مناسب و همه جانبه مسائل پیشرو در جهان روش های بهینه سازی یکتایی وجود ندارد، روش های متنوعی از بهینه سازی برای حل مسائل مختلف در دست می باشد که باید به فراخور امکانات، محدودیت ها و قابلیت ها، روش متناسب با مساله را انتخاب نمود.

## ۱-۲ بهینه سازی سازه های مهندسی

شاید بتوان چرخ را به عنوان اولین و مهم ترین سازه بهینه سازی شده به دست بشر دانست که به عقیده بسیاری از دانشمندان موجب بزرگترین خدمات و پیشرفت های انسانی شده است. اما بهینه سازی سازه به معنی امروزی، اولین بار در طراحی سازه های هوافضا مورد توجه قرار گرفت، بدینسان که با توجه به اهمیت فوق العاده وزن این گونه سازه ها در کاربری آنها، به جای این که مبنای طراحی هزینه باشد، کمینه نمودن وزن سازه هدف بهینه سازی قرار گرفت. اما امروزه در صنایع ای همچون ساختمان سازی، خودروسازی و... کمینه کردن هزینه در کنار تامین ایمنی کافی در درجه اول اهمیت قرار دارد. افزایش روز افزون کاربرد سازه های مهندسی و محدود بودن مصالح، مواد خام و کمبود منابع انرژی و از همه مهمتر افزایش بهره وری از جمله عواملی است که مهندسان طراح را به سوی طراحی سازه های سبک تر، ارزان تر و در عین حال کارآمد تر، سوق می دهد. با توجه به مطالب ذکر شده ضرورت آگاهی و تحقیق مهندسان پیرامون سیستم های بهینه یابی و بکارگیری آن در هنگام طراحی و اجرای سازه های آینده، مبرهن و امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد.

## ۱-۲-۱ بهینه سازی قاب های شیبدار غیر منشوری

هر سیستمی هنگام طراحی و ساخت نیازمند آن است که کلیه اجزای تشکیل دهنده آن مورد بازبینی قرار گیرد تا موجب بهبود عملکرد اجزا و در نتیجه بهینه سازی مجموعه و به تبع آن افزایش بازده و



صرفه جویی اقتصادی گردد. قاب های شیبدار غیر منشوری نیز بعنوان پرکاربرد ترین و مهم ترین نوع سازه مورد استفاده در صنعت، دارای محدودیت ها، نقاط ضعف و عدم شناخت کامل سازه ای می باشد، که کمتر بدان پرداخته شده است و اغلب مهندسان از نحوه عملکرد و شیوه طراحی آن بی اطلاع اند و به این سبب در اکثر موارد، طراحی ها با ضرائب ایمنی بسیار بزرگ و غیر قابل توجیه انجام می پذیرد.

از قابهای شیبدار فولادی جهت پوشش دهانه های بسیار بزرگ استفاده می گردد که از جمله کاربرد های آن می توان به ساختمان های صنعتی، آشیانه هواپیما ها، ورزشگاه های سرپوشیده، استخر ها، سالن های انبار کالا و... نام برد. در این میان قاب های غیر منشوری صنعتی بدلیل کاربرد روز افزون و از طرفی پیچیدگی های طراحی به علت وجود نیرو های دینامیکی، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است.

بر روی قاب های شیبدار در چند ساله اخیر کار های فراوانی از نظر ساخت و تولید به انجام رسیده است. حال آنکه هنوز نشانه هایی از ضعف تئوریک، عدم پشتوانه علمی، نقاط مجهول در محاسبات و طراحی، و همچنین عدم اجرای درست سیستم سازه ای به چشم می خورد. ترویج استفاده از ضرائب اطمینان دست بالا ( که به حق به گفته استاد احمد حامی، پدر مهندس عمران ایران، ضریب جهل است) برای جلوگیری از شکست های سازه ای در طول بهره برداری از ساختمان، موجب غیر اقتصادی گشتن استفاده از این سیستم های سازه ای در ایران شده است.

اعضای با مقطع متغیر در بسیاری از قاب های فولادی به منظور بهینه سازی توزیع وزن و مقاومت، در صورتی که محدودیت معماری وجود نداشته باشد، مورد استفاده قرار می گیرند. در قاب های شیبدار فولادی نیز از این نوع اعضا به میزان وسیعی استفاده می گردد. متداول ترین نوع این اعضا، مقاطع I شکل هستند که ارتفاع جان آنها در طول عضو به صورت خطی تغییر می نماید. به علت توزیع متناسب فولاد در بسیاری از حالات استفاده از این روش موجب صرفه جویی اقتصادی خواهد شد.

تحلیل اعضای با مقطع غیر منشوری در بسیاری از متون کلاسیک اشاره شده است. تحلیل چنین اعضای مستلزم محاسبات طولانی است و بدین منظور معمولاً در مراجع و مقالات جداول و گراف های متعددی ارائه شده است. حال آنکه این گراف ها در موارد عملی و یا جهت انجام پروژه های برنامه نویسی قابلیت کاربرد چندانی ندارند.

یک روش جانشین برای ساده سازی مسئله تحلیل عضوی با مقطع متغیر، تقسیم آن به چند عضو با مقطع ثابت است. چنین روشی علی رغم اینکه باعث ساده سازی مسئله و کاهش حجم محاسبات خواهد شد، در عین حال باعث بروز خطاهایی اجتناب ناپذیر خواهد شد و دقت مسئله را پایین خواهد آورد. با توجه به اینکه دلیل استفاده از مقاطع متغیر برآورده شدن اهداف بهینه سازی است در نتیجه استفاده از چنین روش محافظه کارانه ای مناسب به نظر نمی رسد. با ظهور کامپیوتر و پیشرفت روش های عددی، نظیر اجزای محدود (FEM) تحلیل اعضای با مقطع متغیر به نحو مناسب تری انجام می شود. در این حالت یا عضو به تعداد زیادی قطعه کوچکتر تقسیم شده و ماتریس سختی آن نیز با سر هم بندی سختی قطعات کوچک بدست می آید، و یا ماتریس سختی عضو غیر منشوری بطور مستقیم تشکیل می شود. تقسیم عضو به المان های کوچکتر باعث افزایش تعداد معادلات تعادل و در نتیجه افزایش حجم محاسبات خواهد شد. در صورتی که هدف بهینه سازی تکاملی باشد این عیب بیشتر هویدا خواهد شد زیرا حجم محاسبات و به تبع آن زمان به شدت افزایش خواهد یافت؛ چنین معایبی باعث شده است که محاسبه دقیق ماتریس سختی یک عضو با مقطع متغیر از اهمیت بسزایی برخوردار باشد.

شایان ذکر است از دیگر نقاط مبهم در طراحی این گونه از سازه ها تعیین ضریب طول کمانش است که با توجه به غیر منشوری بودن اعضا دارای پیچیدگی های خاص می باشد. جهت رفع این مشکل در اکثر مراجع از جمله آیین نامه آمریکا گراف هایی ارائه شده است. با توجه به نوع بهینه سازی انجام پذیرفته در این پایان نامه، استفاده از چنین گراف هایی نمی تواند مناسب باشد.

الگوریتم های بکار رفته در بهینه سازی قاب ها دارای دو گام اصلی مشترک می باشند. در گام اول تحلیل سازه به منظور بدست آوردن پاسخ سازه به بار های خارجی صورت می پذیرد، و در گام دوم مقادیر متغیر های طراحی بر اساس این نتایج سنجش می گردند. با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی معیار های بهینگی کنترل می گردند تا در نهایت بهترین طرح ممکن بدست آید.

عمده روش های طراحی بهینه سازه ها را می توان به سه گروه مجزا تقسیم نمود:

- روش های برنامه ریزی ریاضی
- روش های ملاک بهینه گی
- الگوریتم های تکاملی

در این تحقیق جهت تحلیل قاب های غیر منشوری از روش تحلیل ماتریسی سازه ها و جهت طراحی از روش تنش مجاز آیین نامه فولاد آمریکا و از میان روش های متنوع بهینه سازی ، از روش تکاملی الگوریتم ژنتیک جزیره ای استفاده شده است. با استفاده از روش های فوق برنامه ای نسبتا جامع تدوین شده است که به بهینه سازی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی می پردازد.

### ۱-۳ تاریخچه تحقیقات بهینه سازی قاب های فولادی با اعضای غیر منشوری

در اغلب روش های بهینه سازی قابهای فولادی که توسط محققین مختلف بررسی شده است، قاب های با مقاطع منشوری مد نظر بوده است و طراحی قاب با در نظر گرفتن مساحت مقطع اعضا به عنوان پارامتر طراحی انجام پذیرفته است ولی تحقیق پیرامون اعضای غیر منشوری کمتر صورت پذیرفته است.

کرفورد و جنیکس در سال ۱۹۸۰ طرح اقتصادی ۷ تپ از قاب های شیبدار یک دهنه را بر اساس آیین نامه بریتانیا معرفی نمودند، که در آنها تیر ها و ستون ها، با و یا بدون زبانه، طراحی شده بودند.

نویسندگان در این طرح فقط به بهینه سازی مقاطع سقف پرداخته، و از بهینه سازی ستون ها، صرف نظر نمودند [۱].

خان (۱۹۸۴) تکنیک های معیار بهینه گی در مورد قاب هایی که سطح مقطع اعضای آنها دارای یک رابطه عمومی باشند را بررسی کرد [۲].

هوریدج و موریس در سال ۱۹۸۶ در طی تحقیقی سیستم های سازه ای قاب های شیبدار که در مورد سازه های یک طبقه و یک دهانه طراحی و اجرا شده بودند بررسی کردند. آنها با در نظر گیری فاکتورهای متعدد در نهایت به این نتیجه رسیدند که در ظاهر استفاده از سیستم های با شاه تیرهای مشبک خرابایی اقتصادی تر است اما در حقیقت با در نظر گرفتن هزینه های نگه داری و طول عمر مفید هر نوع از این سیستم ها می توان ابراز نمود که سازه های با شاه تیر های صلب بیشترین صرفه اقتصادی را طول حدود ۵۰ سال از عمر مفید سازه خواهند داشت [۳].

تان و جنینگ (۱۹۸۷) طراحی بهینه قاب های دارای اعضای با سطح مقطع متغیر را با استفاده از طراحی پلاستیک قاب بررسی کردند [۴].

حیالی اوغلو و ساکا (۱۹۹۱) به طراحی بهینه قاب های الاستو پلاستیک غیر خطی هندسی فولادی پرداختند، که در آن اعضای قاب به صورت I و هر عضو دارای دو متغیر طراحی عبارت اند از سطح مقطع در یک انتهای عضو و نسبت سطح مقطع ها می باشند [۵].

ساکا در (۱۹۹۷) به ارائه روشی برای طراحی بهینه قابهای فولادی با اعضای غیر منشوری پرداخت که در آن اعضای قاب I شکل و ارتفاع مقطع به صورت خطی در طول اعضا متغیر بود. قید های آن شامل محدودیت های اعمالی بر تغییر مکان ها و نیز مقاومت در برابر ترکیب نیروهای خمشی و محوری بر اساس روش LRDF آیین نامه آمریکا بود. الگوریتم او مبتنی بر روش OC بوده و از دو مرحله تشکیل می شد. نخست سازه تحت بار های خارجی واحد برای متغیر های جاری آنالیز می شد و سپس پاسخ سازه ای همراه با مقادیر ضرائب لاگرانژ برای مقادیر جدید متغیر های طراحی بکار می رفت [۶].

در سال (۲۰۰۲) رضا حسین زاده طراحی بهینه قاب های شیبدار غیر منشوری را بر اساس آیین نامه آمریکا مورد بررسی قرار داد و جهت تحلیل قاب و بر آورد پاسخ های سازه ای از روش عمومی تحلیل ماتریسی سازه ها استفاده نمود. تحلیل سازه بر اساس روش الاستیک و استاتیکی قرار داشت. ایشان پس از فرمولاسیون ریاضی مسئله از الگوریتم SQP به منظور یافتن طرح بهینه قاب استفاده نمود. وی در طراحی سازه علاوه بر قید های تنش، قید های جابجایی گرهی و قید های ابعادی را نیز در محاسبات وارد نمود [۷].

در سال (۲۰۰۳) ام.پی. ساکا و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی قاب های شیبدار فولادی با ستون های منشوری و تیر های منشوری با ماهیچه پرداختند. طی فرایند بهینه سازی مقاطع بهینه و همچنین طول و عمق بهینه برای ماهیچه های تیر های قاب تعیین می گشت. در این تحقیق ضوابط طراحی جهت اغنای شرایط خدمت پذیری و مقاومتی سازه بر اساس bs5950 قرار داشت.

در سال ۲۰۰۴ مونتر و همکارانش در تحقیقی جامع به مقایسه سازه های خرپایی و سیستم های قاب صلب پرداختند. نتایج آنها بسیار در خور توجه و قابل اعتنا است. آنها با بررسی سازه های با دهانه های متنوع و ارتفاع های مختلف به این نتیجه رسیدند که، در مواقعی که تنها هزینه ساخت سازه تعیین کننده باشد و هزینه های پی سازی را مد نظر قرار ندهیم، برای سازه های تا دهانه ۳۰ متر، قاب های صلب نتایج بهتری را نشان می دهند ولی در مواردی که هزینه پی سازی نیز تعیین کننده باشد شرایط تغییر خواهد کرد و برای دهانه های بیش از ۲۰ متر بدلیل وجود نیرو های برشی و لنگر های خمشی بزرگتر (در صورت استفاده از قاب صلب) نیاز به سیستم پی قوی تر شده، لذا سیستم خرپایی بهینه خواهد بود. همچنین آنها نشان دادند که هزینه پی سازی در ساختمان های با قاب صلب در حدود ۴۳ درصد کل هزینه های ساخت است در حالی که این مقدار در سازه های خرپایی در حدود ۱۷ درصد است [۳].

## ۱-۴ اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق ارائه یک برنامه کامپیوتری مطلوب و قابل استفاده برای کاربران است که بتواند به طراحی بهینه قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی که از جمله پرکاربردترین سازه های مورد استفاده در صنعت است، بپردازد. این برنامه بر اساس فرضیات رایج در ساخت این گونه از سازه ها که همان مسطح بودن، یک طبقه بودن و غیر منشوری بودن قاب است، بنا شده است.

استفاده از اعضا با مقطع متغیر در قاب های فولادی در ذات، خود نوعی بهینه سازی قاب تلقی می گردد، ولی به دلیل نامعین بودن سازه ها، نسبت تغییرات و همچنین میزان تغییرات در اعضا پدیده ای است که کمتر بدان اشاره شده است. لذا در این برنامه سعی شده است این مسائل مرتفع گردد.

فرضیات اساسی که در برنامه لحاظ شده است به شرح ذیل می باشد:

❖ اعضای قاب به صورت یک مقطع I شکل فولادی متقارن می باشد که ارتفاع جان اعضا در

طول هر عضو می تواند به صورت خطی تغییر یابد. بنابر این هر عضو سازه دارای پنج متغیر

بهینه یابی خواهد بود، که عبارت اند از: ارتفاع مقطع در ابتدای المان، ارتفاع مقطع در انتهای

المان، عرض بال مقطع، ضخامت جان و ضخامت بال.

❖ جهت تحلیل قاب شیبدار غیر منشوری از خطوط میان تار تیر ها و ستون ها (به صورت

قائم) جهت مدلسازی قاب استفاده شده است.

❖ در قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی جهت اصلی در جهت عرضی آنها می باشد و در

جهت طولی این سازه ها صرفاً برای تعیین مهاربندی بین قاب ها تحلیل و طراحی انجام

می پذیرد. در نتیجه در این برنامه تحلیل و طراحی با فرض یک قاب خمشی مستوی انجام

پذیرفته است.

- ❖ قید های لحاظ شده در جهت طراحی و کنترل سازه عبارت اند از: قیود تغییر مکان های گرهی سازه، مقاومت و نسبت تنش اعضا و محدودیت های ابعادی اعضا. این قیود برای کلیه اعضای سازه بررسی شده است.
- ❖ تحلیل قاب به صورت الاستیک و استاتیکی می باشد و تحلیل دینامیکی سازه در آن منظور نشده است.
- ❖ طراحی قاب بر اساس موارد و ضوابط مندرج در آیین نامه های فولاد آمریکا و بارگذاری ایران انجام پذیرفته است.
- ❖ در این پروژه جهت بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک جزیره ای استفاده شده است که بر اساس آن با انجام یک فرایند تکاملی، بهترین مدل سازه ای که کمترین وزن و به طبع آن کمترین هزینه را دارا می باشد، و در عین حال هیچگونه از قیود طراحی را نقض نمی نماید، به کاربر معرفی گردد.

## ۱-۵ ساختار پایان نامه

این تحقیق در پنج فصل تنظیم گردیده که به شرح ذیل می باشد:

۱. در فصل اول به مقدمه ای از علم بهینه سازی، تاریخچه بهینه سازی قاب های شیبدار و همچنین خلاصه ای از اهداف و مفروضات تحقیق پرداخته شده است.
۲. در فصل دوم به شرح عملکرد الگوریتم ژنتیک و پارامتر های مرتبط با آن، برای حل مسائل بهینه سازی پرداخته شده است.
۳. در فصل سوم به توضیح روش تحلیل و طراحی قاب های شیبدار و فرمول بندی مسئله پرداخته شده است.

۴. در فصل چهارم فرضیات و راهنمای استفاده از برنامه ای که به این منظور تدوین شده است، تشریح شده است.

۵. در فصل پنجم مثال هایی جهت صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج پایان نامه ارائه شده است.

۶. در فصل ششم جمع بندی نتایج حاصله، پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده و در نهایت فهرست مراجع ذکر شده است.



فصل دوم:

الگوریتم رستیک

## ۱-۲ پیشگفتار

روش های برنامه ریزی خطی و غیر خطی بسیاری جهت بهینه سازی مسائل طی سه دههء اخیر گسترش پیدا کرده است، هرچند روش واحدی که بتواند تمامی انواع مسائل بهینه سازی مهندسی را به صورت دقیق و موثر حل نماید معرفی نگشته است. جهت بهینه سازی سازه های بزرگ، روش های سنتی به علت وجود محاسبات پیچیده گرادیان و تحلیل اجزای محدود سازه ناکارآمد خواهد بود [۱]. برای فرار از این مشکلات، الگوریتم ژنتیک در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک را می توان به طور ساده، یک روش جستجوگر تکاملی مؤثر در فضاهای طراحی بسیار وسیع و بزرگ دانست که بر پایه مشاهدات صفات و قابلیت های فرزندان بر اساس اصل بقای بهترین<sup>۱</sup> پایه ریزی شده است و از قوانین تکامل بیولوژیکی طبیعی تبعیت می کند و در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد. الگوریتم ژنتیک در هر نسل به کمک فرایند انتخابی متناسب با ارزش جواب ها و تولید مثل فرزندان انتخاب شده، تقریب های بهتری از جواب نهایی

---

1. principle of survival of the fittest

بدست می دهد. این فرایند باعث می شود که نسل های جدید با شرایط مساله سازگارتر باشند. هرچند بر اساس اصول تمامی الگوریتم های تکاملی، بهینهء مطلق در زمان بی نهایت بدست می آید، اما می توان انتظار داشت در زمان محدود با تعداد مشخصی از نسل ها به یک بهینهء نسبی مناسب دسترسی پیدا کرد که تقریب مناسبی از یک جواب بهینه مطلق باشد.

الگوریتم های ژنتیک تفاوت های زیادی با روش های بهینه سازی قدیمی دارند. در این الگوریتم ها باید فضای طراحی به فضای ژنتیک<sup>۱</sup> تبدیل شود؛ لذا می بایست متغیرهای طراحی بصورت کد مطرح گردند، تا بیانگر طرح مورد نظر در فضای طراحی و فضای ژنتیک باشند. تفاوت اصلی الگوریتم ژنتیک با روش های قدیمی در آن است که GA در یک لحظه خاص با مجموعه ای از نقاط کار می کند، در حالیکه روش های قدیمی بهینه سازی تنها برای یک نقطه خاص عمل می نمایند. به عبارت دیگر، GA در هر تکرار ( نسل) مجموعه ای از طرح های ممکن را مورد پردازش قرار می دهد [۸].

## ۲-۲ تاریخچه الگوریتم ژنتیک

قرن نوزدهم، تحقیقات دو تن از پیشگامان علم ژنتیک، وجود نوعی دستور یا کد وراثتی را بر همگان اثبات نمود. چارلز داروین<sup>۲</sup> در سال ۱۸۵۹ نظریه تکاملی خود را مطرح و گرگور مندل<sup>۳</sup> در سال ۱۸۶۵ موفق شد قوانین اساسی وراثت را کشف کند. داروین در تحقیقاتش تحت تاثیر تغییرات درون گونه ها قرار گرفته بود. او متوجه شد که تقریباً در تمامی ارگانیسم ها تمایل زیادی برای ایجاد فرزند وجود دارد ولی درصد کمی از آنها توانایی رسیدن به بزرگسالی را دارند. او همچنین دریافت کرد که در داخل یک جمعیت تنوع زیادی وجود دارد. وی نتیجه گرفت تغییراتی که فرد را در تنازع بقا یاری می نماید، شانس بیشتری برای ماندن در یک گونه را سبب می شود. مندل نیز، نتایجی در مورد اثر متقابل خصوصیات به دست آورد. به عنوان مثال وقتی که گیاهان بلند را با کوتاه ترکیب کرد، بدون توجه به

<sup>1</sup>. Genetic Space

<sup>2</sup>. Charles Darwin

<sup>3</sup>. Gregor Mendel

اینکه کدام یک، گرده را اهدا کرده است، متوجه شد تمام فرزندان بلند می شوند؛ مندل نتیجه گرفت که خاصیت گیاه بلند (یا همان ژن که بعد ها شناخته شد) پیروز شده و خاصیت گیاه کوتاه، کنار گذاشته شده است [۹].

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

<sup>۱</sup> . Rechenberg

<sup>۲</sup> . Evolutionary Strategies

<sup>۳</sup> . Gene

<sup>۴</sup> . Chromosome

<sup>۵</sup> . John Holland

<sup>۶</sup> . Goldberg

<sup>۷</sup> . Ann Arbor

<sup>۸</sup> . John Koza

<sup>۹</sup> . Genetic Programming (GP)

<sup>۱۰</sup> . Deb

<sup>۱۱</sup> . Jenkins

## ۲-۳ علم ژنتیک و مفهومات

بررسی چگونگی انتقال صفات از والدین به فرزندان موضوع علم ژنتیک است. اگرچه اکثر مردم ژنتیک را با خواص توارث می شناسند اما امروزه ژنتیک از این محدوده فراتر رفته و تمام فرایندهای زیستی را در بر می گیرد. و تمامی خواص موجودات نظیر تولید مثل، جهش یافتن، تکامل، مهاجرت، پاسخ به محرک و... تحت نفوذ ژنتیک است. در ژنتیک، به ویژگی های یک جاندار صفت گفته می شود که به عنوان مثال، رنگ پوست، رنگ چشم و ... جزء صفات هر موجود محسوب می گردد که می تواند در هر موجود متفاوت باشد.

بدن موجودات زنده از سلول تشکیل شده است. در هر سلول مجموعه ای از کروموزوم ها به شکل رشته ای از DNA وجود دارند. به هر بلوک DNA یک ژن می گویند و هر ژن نیز از یک پروتئین خاص و منحصر به فرد تشکیل شده است. هر ژن یک الگوی خاص را رمز گشایی<sup>۱</sup> می کند. به عبارت دیگر هر ژن یک صفت<sup>۲</sup> را مشخص می نماید. مجموعه ای از این صفت ها آلل<sup>۳</sup> نامیده می شود. از سوی دیگر هر ژن دارای موقعیت مشخص در کروموزوم است که به این موقعیت لوکاس<sup>۴</sup> می گویند. به کل محتوای ژنتیکی یک جاندار و یا ماده ژنتیکی ژنوم<sup>۵</sup> نامیده شده و هر مجموعه خاصی از ژن ها را در ژنوم، ژنوتیپ<sup>۶</sup> می نامند که این ژنوتیپ اساس فنوتیپ<sup>۷</sup> بوده و ویژگی های ظاهری، فیزیکی و فکری مثل رنگ چشم و هوش و ... را بوجود می آورد [۱۲].

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

---

1 . Decode  
2 . Trait  
3 . Alleles  
4 . Locus  
5 . Genome  
6 . Genotype  
7 . Phenotype

۱- تولید مثل<sup>۱</sup> که به تولید کروموزوم های جدید با ویژگی های والدین خود، منجر می شود. وجود الل های مختلف در یک جمعیت تعیین کننده تنوع ژنتیکی آن جمعیت است در نتیجه موجودات دارای فرایند تولید مثل جنسی، زاده هایی را با تنوع های ژنتیکی جدید تولید می نمایند.

۲- جهش<sup>۲</sup> که سبب ایجاد تغییرات ناگهانی در DNA می شود. این فرایند خود به چند زیر شاخه تقسیم می شود که عبارت اند از: جهش بدنی و زایا، جهش های کرموزومی، مضاعف شدن، حذف، جابجایی، و جهش های نقطه ای.

۳- مناسب بودن<sup>۳</sup> که برای یک موجود زنده میزان شایستگی آن در ادامه حیات است، به عبارت دیگر برابر است با صفتی که توسط الل به وجود می آید باعث زنده بودن، سازگاری، توانایی و تولید مثل فرد گردد.

## ۲-۳-۱ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بر روی یک سری از جواب های مسئله به امید بدست آورد جواب های بهتر و دست یابی به تقریب های بهتر از جواب های نهایی و در نتیجه سازگاری بالاتر نتایج با شرایط محیطی، جستجو می نماید. این روش هوشمند بطور موفقیت آمیزی طرح بهینه عمومی<sup>۴</sup> را بدون در نظر گرفتن فرضیات محدود کننده ای از قبیل پیوسته بودن فضای جستجو و یا وجود مشتقات پیدا می کند. فرآیند GA بر روی متغیرهای طراحی رمز شده که رشته ای از کاراکترها با طول محدود هستند، انجام می گیرد. مزیت کار با متغیرهای کد شده در این است که اصولاً کدها قابلیت تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته را دارند [۱۳]. الگوریتم GA در ابتدا با مجموعه ای از جواب های

---

<sup>۱</sup> . Cross Over

<sup>۲</sup> . Mutation

<sup>۳</sup> . Fitness

<sup>۴</sup> . Global Optimum

تصادفی (کروموزوم ها) که به آن جمعیت<sup>۱</sup> گفته می شود، آغاز می گردد. از این جواب ها برای ساخت جمعیت بعدی استفاده می شود، به این امید که جمعیت های جدید بهتر از جمعیت های قدیم باشند؛ زیرا روش هایی که برای انتخاب جمعیت جدید استفاده شده با توجه به مناسب بودن آن ها صورت گرفته است. این رقابت میان ژن ها و پیروز شدن ژن غالب (ژن انتخاب شده توسط الگوریتم برای تولید مثل در نسل بعدی) و کنار رفتن ژن های مغلوب (ژن هایی که برازش نا متناسبی با هدف مساله دارند) روش کار آمدمی را برای حل مسائل پیچیده و چندین متغیره، فراهم می آورد.

به صورت کلی در بهینه یابی از طریق GA چهار مرحله اساسی انجام می پذیرد [۸]:

۱. تولید تصادفی مجموعه ای از طرح ها، که بدان جمعیت اولیه گفته می شود. هر عضو این جمعیت یک کروموزوم می باشد که بصورت کد<sup>۲</sup> بوده و رشته<sup>۳</sup> نامیده می شود. هر رشته متناسب با تعداد متغیرهای طراحی، به چندین زیر رشته<sup>۴</sup> تقسیم می شود. زیر رشته مجموعه ای از بیت<sup>۵</sup> ها می باشد که بصورت زنجیر در کنار هم چیده شده اند. هر بیت هم ارز با یک ژن در الفبای ژنتیک می باشد. تعداد بیت های هر زیر رشته به نحوی تعیین می شوند تا بتوان کلیه اطلاعات متغیر طراحی را مابین حدود بالا و پایین در مرحله رمز گشایی بدست آورد.

۲. با رمزگشایی، مقدار متغیرهای طراحی در هر رشته ارزیابی و مقادیر تابع هدف تعیین می گردد.

۳. مساله بهینه یابی مقید با تعریف مجموعه ای از توابع پنالتی<sup>۶</sup> و ترکیب آنها با تابع هدف و ایجاد تابع هدف اصلاح شده<sup>۷</sup>، به یک مساله بهینه یابی نامقید تبدیل می شود. در ادامه با تعریف تابع شایستگی، به هر کروموزوم، یک مقدار شایستگی و برازندگی اختصاص داده

<sup>1</sup> . Population

<sup>2</sup> . Code

<sup>3</sup> . String

<sup>4</sup> . Substring

<sup>5</sup> . Bite

<sup>6</sup> . Penalty Function

<sup>7</sup> . Modified Objective Function

خواهد شد و سپس با الهام از قوانین تکامل طبیعی و روش هایی که در ادامه بدان

پرداخته خواهد شد، بهترین کروموزوم ها بر مبنای میزان شایستگی انتخاب می شوند.

۴. در این مرحله، جمعیت جدیدی بر مبنای عملگرهای الگوریتم ژنتیک که در ادامه به

شرح تفصیلی آن پرداخته خواهد شد، تشکیل می شود. پس از آن جمعیت فرزندان<sup>۱</sup> برای

نسل<sup>۲</sup> بعد به کار گرفته می شود. این مراحل تا ارضای شرط خاتمه الگوریتم و یا به تعداد

نسل های پیش بینی شده توسط کاربر برای کسب بهینه عمومی تکرار می شود.

## ۲-۳-۲ افراد<sup>۳</sup> یا کروموزوم<sup>۴</sup>

هرکدام از افراد جمعیت، که تقریب هایی از جواب نهایی هستند، باید به صورت رشته ای از اعداد و یا

حروف کدگذاری گردند که در اصطلاح به این رشته های حامل خواص و پارامتر های تصمیم گیری

کروموزوم گویند. به مجموعه ای از این کروموزوم ها که به صورت معمول در حدود ۳۰ الی صد فرد

است جمعیت<sup>۵</sup> گویند.

## ۲-۳-۱ کدگذاری<sup>۶</sup> کروموزوم

در حل مسائل بهینه سازی روش های متنوعی جهت نمایش پارامتر ها و اطلاعات مسئله

(کروموزوم ها) به کار برده شده است که انتخاب هرکدام از این روش ها باید با توجه به نوع مساله و

فضای جستجوی مورد نیاز برای حل مساله و بهینه سازی آن صورت پذیرد. به طور مثال می توان

---

<sup>1</sup>. Offspring

<sup>2</sup>. Generation

<sup>3</sup>. Individual

<sup>4</sup>. Chromosome

<sup>5</sup>. Population

<sup>6</sup>. Encoding



سیستم کدگذاری به صورت رشته ای<sup>۱</sup>، آرایه<sup>۲</sup>، درخت<sup>۳</sup> یا لیست<sup>۴</sup> صورت گیرد که در این میان کدگذاری رشته ای به دلیل قابلیت ایجاد تنوع کروموزوم های بیشتر در فضای کم، از کاربرد بیشتری نسبت به سایر روش ها برخوردار است؛ همچنین می توان اشاره نمود که معمول ترین شیوه نمایش در کدگذاری رشته ای در الگوریتم ژنتیک، شکل رشته های دودویی است [۹]. اما در هر صورت، یک سیستم کدگذاری خوب باید دارای خواص زیر باشد [۱۱]:

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

## ۲-۲-۳-۲ کد گذاری دودویی

از آنجاکه این شیوه از متداول ترین روش های مرسوم در سیستم های بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک می باشد و با توجه به اینکه در این تحقیق نیز از همین روش استفاده گردیده است، به شرح این روش متداول می پردازیم. در این شیوه تمام متغیرهای تصمیم گیری به صورت دودویی (باینری<sup>۴</sup>) در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها، کروموزوم ایجاد می گردد. نخستین گام برای کد کردن پارامترهای تصمیم گیری مساله، تعیین طول زیر رشته آن پارامتر خاص می باشد. این طول به شمار مقدارهای گسسته آن متغیر خاص و سامانه کدگذاری وابستگی دارد و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

---

<sup>۱</sup>. Array  
<sup>۲</sup>. Tree  
<sup>۳</sup>. List  
<sup>۴</sup>. Binary

$$2^n = N \quad (1-2)$$

که در رابطه ۱-۲، پارامتر N مقادیر قابل انتخاب متغیر طراحی و n طول مورد نیاز زیررشته است. به عنوان مثال برای یک متغیر خاص که دارای ۱۶ مقدار گسسته باشد، زیر رشته های تعریف شده بایستی ۴ بیتی باشند. جدول زیر مقادیر اعشاری مرتبط با ۱۶ کد باینری را نشان می دهد.

جدول شماره (۱-۲) کد های معادل پارامتر

کد پارامتر مشخصه	کروموزوم معادل پارامتر	کد پارامتر مشخصه	کروموزوم معادل پارامتر
۰	۰۰۰۰	۸	۱۰۰۰
۱	۰۰۰۱	۹	۱۰۰۱
۲	۰۰۱۰	۱۰	۱۰۱۰
۳	۰۰۱۱	۱۱	۱۰۱۱
۴	۰۱۰۰	۱۲	۱۱۰۰
۵	۰۱۰۱	۱۳	۱۱۰۱
۶	۰۱۱۰	۱۴	۱۱۱۰
۷	۰۱۱۱	۱۵	۱۱۱۱

طبق رابطه (۱-۲) با توجه به اینکه یک رشته n بیتی، تعداد N عدد از 0 تا  $2^n - 1$  را تولید می نماید؛

لذا مقدار عددی هر زیررشته A برابر است با [۸]:

$$A = \sum_{k=0}^{k=n_i-1} 2^k S_k \quad (2-2)$$

که هر بیت  $S$  می تواند اعداد صفر و یک را اختیار نماید و به صورت رشته زیر نمایش داده می شود:

$$S_{n-1} \dots S_3 S_2 S_1 \quad (3-2)$$

به عنوان مثال اگر یک رشته ۵ بیتی به صورت (۱۰۱۰۰) نمایش داده شود، مقدار معادل آن برابر است با:

$$2^4 * 1 + 2^3 * 0 + 2^2 * 1 + 2^1 * 0 + 2^0 * 0 = 20$$

دقت شود در بسیاری از مسائل با مقادیر حقیقی پارامترها سروکار داریم (مانند درصد حجمی اختلاط مصالح در یک طرح اختلاط بتن، به طور مثال سه در صد روان کننده، ۲۰ درصد سیمان، ۱۵ درصد آب، ۴۰ درصد ریزدانه و ...) که در این نوع مسائل بهتر و ساده تر است که یک سری کدهای حقیقی به متغیرهای مساله اختصاص داده شود و در نهایت این کدها در سیستم دودویی شرکت داده شوند. این روش به خصوص زمانی که مقادیر اصلی پارامترهای ورودی به طور همگن و یکنواخت نباشد، بسیار کارا تر خواهد بود.

برای مثال، برای بهینه سازی مقاومت فشاری یک نوع بتن ویژه در آزمایشگاه، از ترکیب وزنی متنوع سنگ دانه های باقی مانده بر روی الک های شماره های ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۳۰، ۸، ۴، ۱، ۳/۴، ۳/۸، ۱/۸ و همچنین از دانه های باقی مانده بروی سینی استفاده شده است. جهت پیدا نمودن ترکیب بهینه سنگ دانه ها برای دستیابی به حداکثر مقاومت فشاری بتن، مقادیر ابعادی سنگ دانه های موجود به صورت ذیل در جدول شماره (۲-۲) کد می گردند.

جدول شماره (۲-۲) نمونه کدگذاری آزمایش دانه بندی بتن

سنگ دانه باقی مانده بر الک	کد پارامتر مربوط به سنگدانه	کروموزوم تخصیص داده شده
۲۰۰	۰	۰۰۰۰
۱۰۰	۱	۰۰۰۱
۵۰	۲	۰۰۱۰
۳۰	۳	۰۰۱۱
۸	۴	۰۱۰۰
۴	۵	۰۱۰۱
۱	۶	۰۱۱۰
۳/۴	۷	۰۱۱۱
۳/۸	۸	۱۰۰۰
۱/۸	۹	۱۰۰۱
pan	۱۰	۱۰۱۰

اگرچه سیستم دودویی گسترده ترین شیوه کد گذاری است اما دارای مشکلاتی نیز می باشد که بدان اشاره می گردد، نخست آنکه تغییرات کوچک در پارامتر ها می تواند تغییرات بزرگ در صورت رشته کد شده بوجود آورد، به عنوان نمونه دو عدد (۱۰۰۰۰۰) و (۰۱۱۱۱۱) در ذات حقیقی خود تنها دارای اختلافی واحد می باشند ولی در حالت کد شده بسیار متفاوت می باشند، این اختلاف در هنگام اعمال عملگرهای ژنتیک معمول مشکل آفرین خواهد بود، به بیان دیگر، یک تغییر کوچک در فضای کد شده، مشابه آن تغییر در فضای کد نشده را ایجاد نمی کند. مشکل دیگر سیستم های دودویی،

هنگامی به وجود خواهد آمد که تعداد پارامتر های مساله دقیقاً با توان های عدد ۲ برابر نباشد؛ به طور مثال در یک مساله خاص (برای مثال عدد ۶)، تعداد این پارامتر ها، عددی بین ۴ و ۸ می باشد. در این صورت به احتمال زیاد، در طی مراحل مختلف اجرای الگوریتم، کروموزوم هایی تولید می شود که معادل هیچ پارامتری نخواهد بود [۹]. جهت حل این مشکلات باید از تدابیر خاص برنامه نویسی، متناسب با هر پروژه استفاده شود.

### ۲-۳-۳ تعیین جمعیت اولیه

بعد از تصمیم گیری پیرامون شیوه کدگذاری پارامتر های موجود، جمعیت اولیه برای شروع الگوریتم باید تولید شود، که بنا بر نظر طراح الگوریتم می تواند به صورت کاملاً تصادفی و یا به صورت هدایت شده و با اعمال نظر کاربر، ایجاد شود. در صورتی که جمعیت نخستین با اعمال نظر کاربر ایجاد شود باید مقادیر مورد نظر برای هر ژن به صورت دودویی تبدیل شود [۱۴].

### ۲-۳-۴ توابع هدف<sup>۱</sup>، پنالتی<sup>۲</sup> و شایستگی<sup>۳</sup>

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

1. Objective Function

2. Penalty Function

3. fitness Function

می یابد. اما آنچه که در روند فوق حائز اهمیت است؛ چگونگی محاسبه تابع پنالتی و تابع هدف اصلاح شده است تا با کمک این توابع، تابع شایستگی تعریف شود [۸].

در ادامه به بررسی توابع فوق الذکر پرداخته شده است؛ تابع هدف، هدف و خواسته ما از طرح مساله بهینه سازی است، به عبارت دیگر تابع هدف، شاخص و مبین نحوه عملکرد هریک از افراد جمعیت در فضای مساله است به عنوان مثال در یک مساله بهینه سازی که هدف مینیم سازی باشد، مناسب ترین فرد در جمعیت، آنست که تابع هدف کمتری را نسبت به دیگران تولید نماید. اما آنچه در این میان ممکن است باعث تغییر در اهداف فوق شود عدم ارضاء و اغنای کامل شرایط مسئله است. به عنوان مثال در طرح یک سازه بهینه اگرچه طبق تعریف بالا، سازه ای که کمترین وزن را تولید نماید، باید بهترین طرح ممکن باشد، اما مسلماً طرح سازه ای که دارای ایمنی و پایداری کامل نباشد مورد نظر نیست و به احتمال بسیار زیاد، طرحی که دارای کمترین وزن باشد دارای نقض قیود آیین نامه ای است و نتیجتاً طرح مناسبی به حساب نمی آید. جهت جلوگیری از معرفی چنین طرحی به عنوان طرح منتخب باید از تابع پنالتی جهت جریمه استفاده شود. تابع پنالتی یا جریمه، مقداری است که به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود؛ در واقع به واسطه تعریف تصادفی متغیر یا متغیرهای طراحی، به احتمال فراوان قیود مسئله نقض می شود، بنابراین کروموزوم ناقص قیود، جریمه خواهد شد. طبیعی است کروموزومی که قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع پنالتی متناظر آن بیشتر است و بالطبع جریمه بیشتری به مقدار تابع هدف مربوط به این کروموزوم اعمال می شود. با این شیوه انتخاب جواب های خارج از قیود به شدت کم خواهد شد و در نتیجه فرایند انتخاب به سمت کروموزوم هایی که در قیود مساله صادق اند گرایش پیدا خواهند کرد.

تعیین ضرایب تابع جریمه اهمیت زیادی در همگرایی الگوریتم ژنتیک دارد. نتایج عددی نشان داده است، زمانی که مقادیر کوچکی برای این ضرایب اختیار گردد، معمولاً نتایج به سمت مقادیر غیر قابل دسترسی همگرا می گردند، زیرا در این حالت، سهم تابع پنالتی، در مینیم نمودن تابع شایستگی کم می شود؛ از طرف دیگر زمانی که مقادیر بزرگ برای این ضرایب اختیار شود، جواب ها دارای نوسانات

بسیار زیاد خواهد بود. جهت افزایش قدرت الگوریتم، می توان از تابع پناستی متغیر استفاده نمود، به صورتی که مقادیر ضرایب در هر تعداد مشخصی از نسل ها افزایش یابد. برای کسب بینش بازتر، جهت تعیین مقادیر مناسب این ضرایب برای بهبود قدرت الگوریتم می توان از آزمایشات عددی بهره برد [۱]. از همین رو محققین و دست اندرکاران GA، روابط متعددی برای تابع پناستی و چگونگی محاسبه مقدار جریمه ارائه نموده اند که در زیر یکی از روش های بسیار متداول که در این تحقیق نیز بکار گرفته شده است، ارائه می گردد:

۱. راجیو و کریشنامورتی<sup>۱</sup> تابع پناستی را بشرح زیر پیشنهاد می نمایند [۱۵].

$$f_{Penalty} = F(X) * K * C \quad (۴-۲)$$

که

$$C = \sum_{q=1}^Q \max[0, g_q(X)] \quad (۵-۲)$$

در روابط فوق

$X$ : بردار متغیر طراحی

$Q$ : تعداد کل قیود حاکم بر مسئله

$f_{Penalty}$ : تابع جریمه

$F(X)$ : تابع هدف

$g_q(X)$ : میزان نقض سازه در ارتباط با هر یک از قیود

و ثابت  $K = 10$  در نظر گرفته می شود.

پس از محاسبه تابع جریمه باید تابع هدف اصلاح شده و به تبع آن تابع شایستگی که معیار نهایی برای انتخاب کروموزوم ها است محاسبه گردد. همانند تابع پناستی، روابط بسیاری برای تابع هدف

<sup>۱</sup>. S.Rajeev & C.S.Krishnamoorthy

اصلاح شده و تابع شایستگی وجود دارد که در ذیل به شرح روش مورد استفاده در این تحقیق می پردازیم:

راجیو و کریشنا مورتی، تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی را بشرح زیر پیشنهاد می نمایند [۱۶ و ۱۷]:

$$\phi(X) = F(X) + f_{Penalty} \quad (۶-۲)$$

$$R(X) = [\phi_{\max}(X) + \phi_{\min}(X)] - \phi(X) \quad (۷-۲)$$

در روابط فوق:

$\phi(X)$ : تابع هدف اصلاح شده

$R(X)$ : تابع شایستگی

$f_{Penalty}$ : تابع جریمه

$F(X)$ : تابع هدف

$\phi_{\max}(X)$ : حداکثر مقادیر تابع هدف اصلاح شده در جمعیت حاضر

$\phi_{\min}(X)$ : حداقل مقادیر تابع هدف اصلاح شده در جمعیت حاضر

در هر صورت مطلب زیر در تمامی روابط و نظریات مربوط به تابع شایستگی حاکم است:

۱- در مسئله کمینه سازی، کروموزومی با کمترین مقدار تابع هدف اصلاح شده، بیشترین

مقدار شایستگی را به خود اختصاص می دهد؛ لذا شانس بیشتری برای حضور در جمعیت

بعدی دارد.

۲- مقادیر تابع شایستگی، همواره مقداری مثبت است.

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

می آید. حال زمان آن فرا رسیده است، تا با کمک مقادیر تابع شایستگی بهترین ها برای نسل بعد

برگزیده شوند. این مهم در فرآیند کلی به نام انتخاب به شرح زیر تبلور می یابد.



## ۲-۳-۵ انتخاب<sup>۱</sup>

پس از برآزش کروموزوم های موجود در هر جمعیت نوبت به پدیدهء انتخاب کروموزوم های والد می رسد که بر اساس اصل شایسته سالاری منطبق است، هرچند شیوه های متعدد انتخاب کروموزوم تا به امروز مطرح گشته است ولی، ویژگی های مشترک در تمامی آنها، انطباق روش بر اصل انتخاب طبیعی داروین است، بر این اساس که جواب های بهتر (کروموزوم های با شایستگی بیشتر) برای مساله از شانس بیشتری برای زاد و ولد برخوردارند. در تمامی فرایندهای انتخاب هرگاه کروموزومی منتخب گردد، بدان معنی است که این کروموزوم شایستگی حضور در استخر تولید مثل<sup>۲</sup> و یا حضور مستقیم در نسل بعدی را دارا است. به بیان ساده اینکه تعداد فرزندان که از هر فرد به وجود خواهد آمد در این مرحله تعیین می گردد. اما تعیین شیوه ها و تکنیک های انتخاب، بستگی به نوع مساله و شرایط حاکم بر آن را دارد، که هرکدام بنا به موقعیت و شرایط محیطی فضای مساله کارایی خاص خود را دارد. در ادامه به تفصیل و شرح مهمترین و رایج ترین روش های انتخاب، پرداخته شده است. به صورت کلی شیوه های رایج در فرایند انتخاب در سیستم های بهینه ساز تکاملی را می توان به ۷ دسته تقسیم نمود:

۱. روش چرخ گردان<sup>۳</sup>
۲. روش رتبه بندی<sup>۴</sup>
۳. روش حالت پایدار<sup>۵</sup>
۴. روش مسابقه<sup>۶</sup>
۵. روش میانگین

---

<sup>۱</sup> . Selection(Reproduction)  
<sup>۲</sup> . Mating Pool  
<sup>۳</sup> . Roulette Wheel  
<sup>۴</sup> . Rank  
<sup>۵</sup> . Steady State  
<sup>۶</sup> . Tournament

۶. مفهوم برگزیده<sup>۱</sup> یا نخبه گرا (شایسته سالاری)

۷. نمونه برداری تصادفی کلی<sup>۲</sup>

در ذیل به روش های مورد استفاده در این تحقیق می پردازیم.

## ۲-۳-۵-۱ چرخ گردان

این روش یکی از متداول ترین، ساده ترین و قدیمی ترین روش های موجود در فرآیند انتخاب سیستم های تکاملی می باشد. در این نوع انتخاب، یک فاصله، از صفر تا مجموع برآزش ها در نظر گرفته می شود، سپس مقادیر برآزش آنها در کنار هم روی این فاصله قرار می گیرند، محیط دایرهء تشکیل شده برابر مجموع برآزش کلیه افراد جامعه، و سایز قطاع مربوط به هر فرد متناسب با شایستگی آن می باشد، حال برای انتخاب کروموزوم های والد، عددی بین صفر تا مجموع برآزش ها انتخاب می گردد، سپس فردی که این نقطه در محدودهء مربوط به آن است انتخاب می گردد، این فرآیند تا انتخاب تعداد افراد لازم تکرار می گردد [۹]. در این روش رشته  $i$ ام با یک احتمال از  $P_i$  (که از مقدار تابع شایستگی آن سرچشمه می گیرد) انتخاب می شود بالطبع حاصل جمع این احتمال ها برای کل اعضای جمعیت بایستی برابر یک شود. احتمال هر رشته (کروموزوم)  $i$ ام برابر است با [۱۰]:

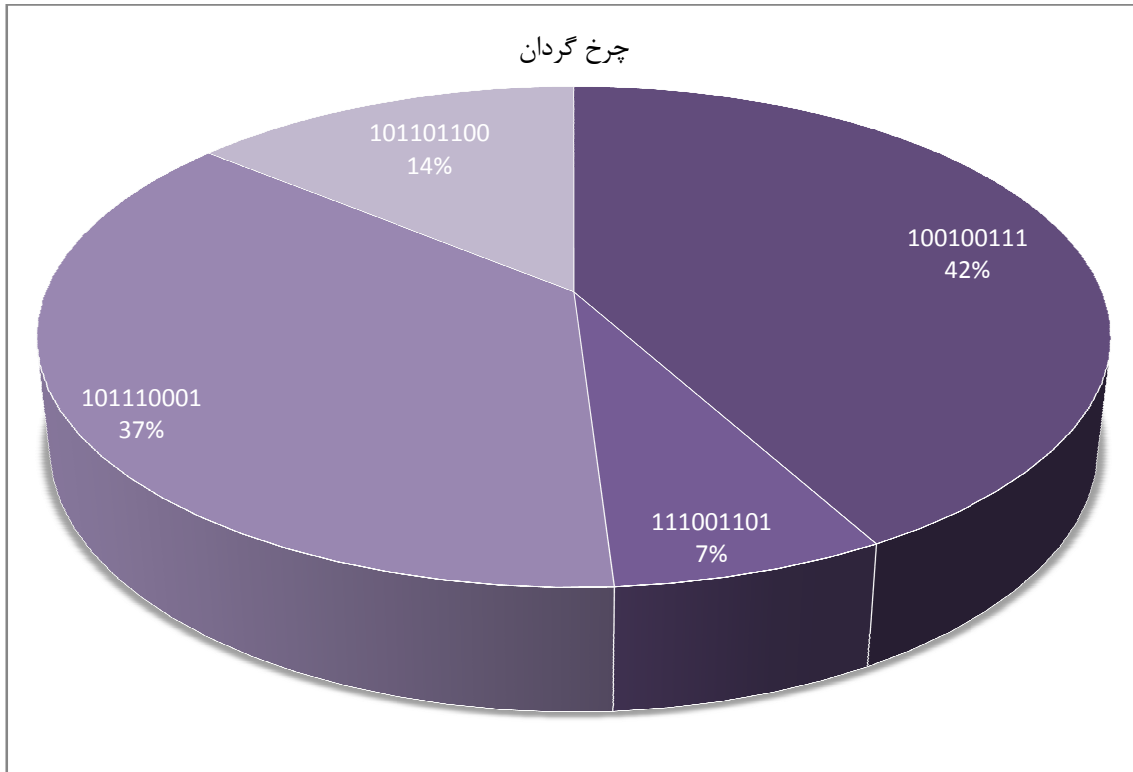
$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (۸-۲)$$

که  $n$  تعداد اعضای جمعیت و  $F$  مقدار تابع شایستگی هر رشته است.

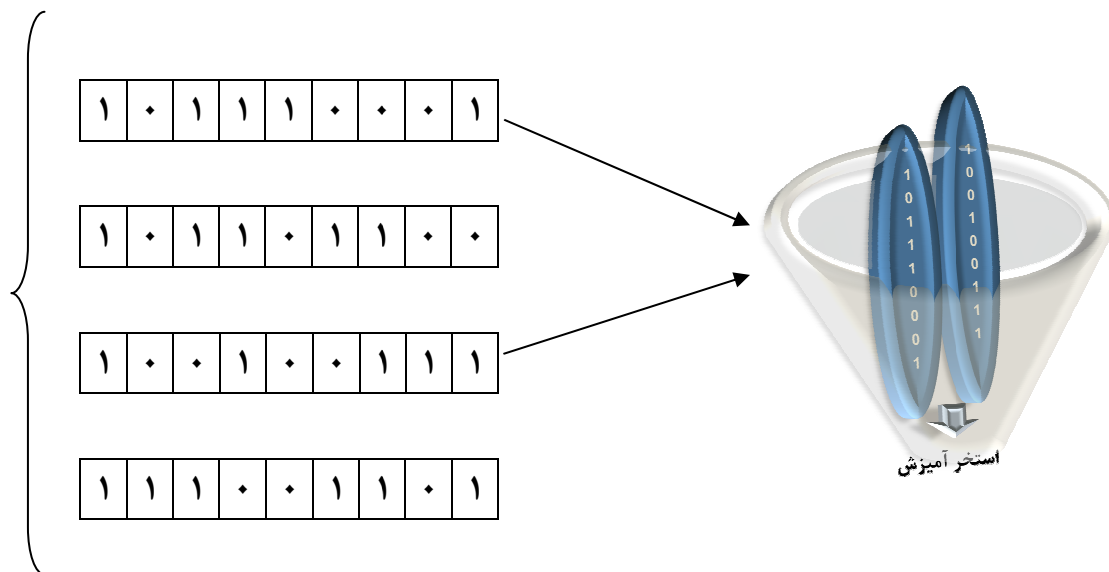
حال اگر درصد احتمال این مقادیر به صورت یک چرخ گردان نشان داده شود، مقادیر  $P_i$  ها، قطاع های چرخ گردان را تشکیل می دهد. با تولید یک عدد تصادفی، کروموزومی با قطاع بزرگتر یا شایستگی بیشتر، مبرهن است که، شانس بیشتری برای حضور در جمعیت بعد می یابد.

<sup>۱</sup> . Elitism

<sup>۲</sup> . Stochastic universal sampling



شکل (۱-۲) مدلی از چرخ گردان



شکل (۲-۲) مدلی از انتخاب کروموزوم مولد

## ۲-۳-۵-۲ روش رتبه بندی

در روش رتبه بندی ابتدا جمعیت بر اساس مقادیر شایستگی رتبه بندی می شود. سپس انتخاب کروموزوم ها بر اساس رتبه هر رشته صورت می گیرد. مثلاً بدترین حالت (کمترین مقدار شایستگی) دارای رتبه یک و به همین ترتیب مورد بعدی دو و الی آخر، در نهایت بهترین مورد (کروموزومی با بیشترین شایستگی) دارای رتبه برابر  $n$  خواهد بود (  $n$  تعداد کروموزوم های موجود در جمعیت است) [۸].

در روش رتبه بندی احتمال انتخاب رشته  $i$ ام به شرح زیر محاسبه می گردد [۱۸]:

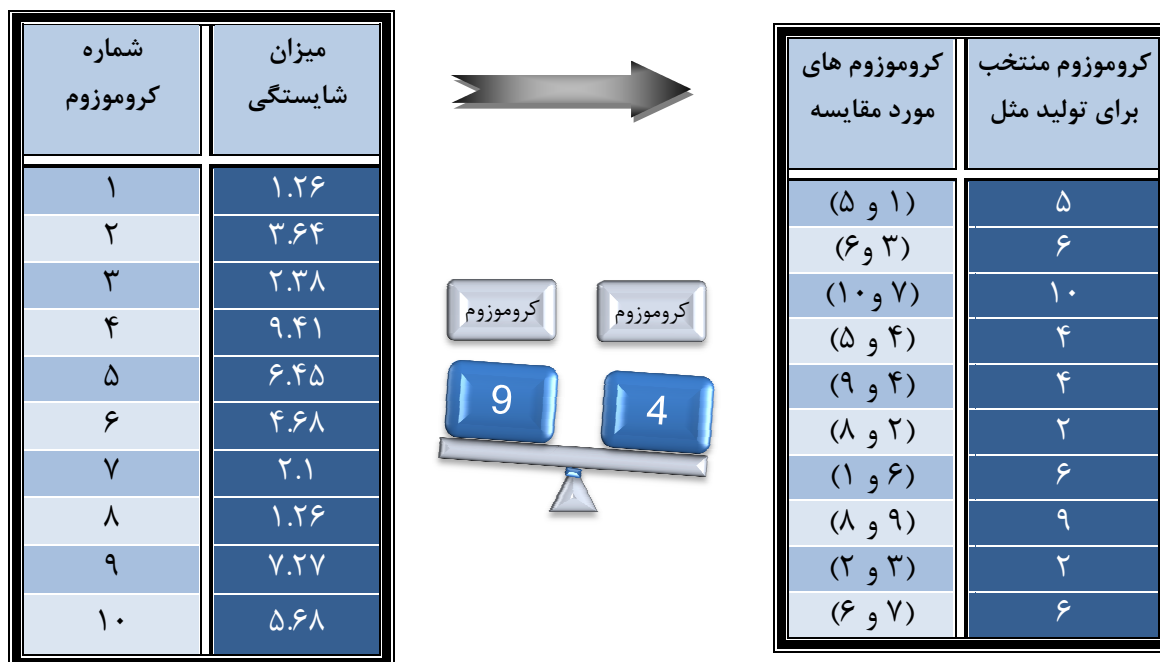
$$P_i = \frac{m}{\sum_{j=1}^n j} \quad (۹-۲)$$

که در آن  $n$  تعداد اعضای جمعیت و  $m$  شماره رشته موردنظر در جمعیت حاضر است. به عبارت دیگر  $m$  برابر  $i$  است. ادامه فرایند همانند چرخ گردان پی گیری خواهد شد و کروموزوم های منتخب به داخل استخر تولید مثل انتقال می یابند. در فرایند چرخ گردان ممکن است کروموزومی به دلیل شایستگی بالا، قسمت اعظم دایره را به خود اختصاص داده و احتمال انتخاب آن در جمعیت بعدی بسیار زیاد گردد. در حالیکه کروموزومی دیگر با دارا بودن قطاع بسیار کوچکی از دایره، شانس اندکی (تقریباً برابر صفر) برای حضور در حوضچه پیوند پیدا نماید. این مسئله می تواند سبب به دام افتادن الگوریتم در نقطه بهینه محلی به دلیل همگرایی سریع الگوریتم شود. این مشکل در روش رتبه بندی حل شده است؛ نسبت قطاع دایره برای کروموزوم ها در این روش خیلی زیاد نیست. بدین سان الگوریتم به سرعت همگرا نشده و احتمال حضور کروموزوم هایی با شایستگی پایین نیز در استخر تولید مثل وجود دارد. ممکن است کروموزوم هایی با شایستگی پایین حاوی زیررشته های مناسبی برای طرح بهینه باشند، و حضور آن ها در استخر تولید مثل، لازم باشد. اما از طرف دیگر این فرایند

موجب کندی بسیار زیاد در فرایند همگرایی<sup>۱</sup> الگوریتم خواهد شد فلذا، این روش برای جمعیت های بزرگ توصیه نمی گردد [۱۰].

### ۳-۵-۳-۲ روش رقابتی

جهت فرار از مشکلات موجود در دو روش گذشته، معمولاً در الگوریتم هایی با جمعیت های بزرگ از این روش بهره گرفته می شود. روش رقابتی که شبیه رقابت در طبیعت است، یک زیر مجموعه کوچک از کروموزوم ها به صورت تصادفی انتخاب شده و به رقابت می پردازند. معیار رقابت، میزان شایستگی هر کروموزوم است. یعنی به طور مثال در یک جمعیت ۱۰ کروموزومی ابتدا تابع شایستگی هر کروموزوم تعیین و سپس این کروموزوم ها به صورت تصادفی دو به دو منتخب گشته و با هم مقایسه می شوند و کروموزومی که شایستگی بالاتری را به خود اختصاص داده است، به استخر تولید مثل منتقل می گردد. این فرآیند تا انتخاب همهء والدها در جمعیت جدید، تکرار می شود. به عبارت دیگر، عملیات فوق به تعداد اعضای جمعیت تکرار می شود.



شکل (۳-۲) مدلی از انتخاب کروموزوم مولد در شیوه رقابتی

<sup>۱</sup> . Slow Convergence

## ۲-۳-۶ مفهوم برگزیده یا نخبه گرا (شایسته سالاری)

به صورت معمول تعداد افراد نسل جدید را برابر نسل گذشته در نظر می گیرند، در برخی از الگوریتم ها فقط تعداد کمی فرد جدید در هر مرحله ایجاد می گردد و باقی کروموزوم ها از نسل قبلی منتقل می گردد. اگر تعدادی از بهترین کروموزوم ها را بدون تغییر به نسل بعد منتقل نماییم، الگوریتم نخبه گرا خوانده می شود. شایان ذکر است این عمل تاثیر بسزایی در دستیابی به بهینه کلی خواهد داشت [۹].

بر اساس این روش بهترین کروموزوم ها (یک کروموزوم) بر مبنای شایستگی در جمعیت جدید بدون آنکه وارد استخر تولید مثل شود؛ کپی می شوند. این کار برای آن است تا بهترین کروموزوم نسل حاضر، در نسل بعدی حضور داشته باشند. به کمک استراتژی فوق می توان اطمینان حاصل نمود که بهترین فرزند هر نسل نسبت به بهترین فرزند نسل های گذشته دارای نمره شایستگی پایین تری نخواهد بود. این روش اغلب به صورت ترکیبی با سایر روش های انتخابی ارائه می شود. استفاده از مفهوم برگزیده باعث افزایش کارایی GA می گردد، زیرا مانع از گم شدن جواب های خوب به دست آمده در مراحل ماقبل پایانی الگوریتم می شود. استراتژی نخبه گرایی تأثیر بسزایی در همگرایی الگوریتم داشته و استفاده از آن در مقالات گوناگون، بررسی و توصیه شده است [۱۹].

## ۲-۳-۷ عملگرهای GA

پس از مراحل انتخاب کروموزوم های والد، نوبت به تولید نسل بعدی می رسد. مجموعه فعالیت هایی که در حوضچه تولید مثل انجام می گردد تا نسل های بعدی تولید شوند، توسط عملگرهای ژنتیک انجام می گیرد. در مرحله انتخاب جمعیتی از بهترین کروموزوم ها شکل می گیرد، سپس طی فرآیند اعمال عملگرهای الگوریتم ژنتیک، رشته های فرزندان تولید و سبب جستجوی بیشتر و بهتر در فضای طراحی می گردد.

در یک نگاه کلی عملگر های الگوریتم ژنتیک را می توان به دسته های زیر تقسیم نمود [۸]:

۱. عمل جفت گیری یا ادغام<sup>۱</sup> (پیوند)

۲. عمل معکوس کردن<sup>۲</sup>

۳. عمل حذف و کپی کردن<sup>۳</sup>

۴. عمل حذف و تولید مجدد<sup>۴</sup>

۵. عمل جداسازی<sup>۵</sup>

۶. عمل نقل مکان ( مهاجرت<sup>۶</sup> )

۷. عمل بخش بندی (مشارکت<sup>۷</sup>)

۸. عمل غالب شدن یا تسلط<sup>۸</sup>

۹. عمل ادغام و معکوس سازی<sup>۹</sup>

۱۰. روش تکثیر میانی

۱۱. عملگرهای بیتی<sup>۱۰</sup>

۱۲. عملگر جهش<sup>۱۱</sup>

### ۲-۳-۷-۱ عملگر ادغام (پیوند)

وقتی دو کروموزوم جهت تولید مثل گزینش شوند، عمل پیوند میان آنها به عنوان اولین و اصلی ترین

عملگر GA، با هدف تعویض ویژگی طرح ها در میان اعضای جمعیت، به قصد بهبود شایستگی نسل

---

1. Crossover  
2. Inversion  
3. Deletion And Duplication  
4. Deletion And Regeneration  
5. Segregation  
6. Migration  
7. Sharing  
8. Dominance  
9. Cross Over And Inversion  
10. Bite-Wise Operator  
11. Mutation

بعد انجام می شود [۹]. ادغام روشی است که با استفاده از آن کروموزوم های با شایستگی بالا، جهت تولید دو فرزند جدید، به صورت تصادفی، ویژگی های مشترک خود را با یکدیگر ادغام و ترکیب می نمایند. عملگر ادغام شامل دو مرحله می باشد، در مرحله اول یک جفت رشته به صورت تصادفی برای ورود به استخر تولید مثل انتخاب می گردند. سپس در مرحله دوم یک سری از بیت های کروموزوم ها به طور تصادفی در طول رشته انتخاب و در دو کروموزوم مولد جایگزین یکدیگر خواهند شد [۱].

در انجام فرآیند ادغام با تعریف ثابتی به نام نرخ ادغام<sup>۱</sup> (پیوند) ، شانس حضور کروموزوم در فرآیند ادغام بررسی می شود. نحوه انجام کار به این صورت است که، با انتخاب مقدار نرخ پیوند، برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی در محدوده صفر تا یک تولید می شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ ادغام کمتر باشد، این کروموزوم برای آمیزش با کروموزوم بعدی که شرایط فوق را دارد، انتخاب می شود. انتخاب نرخ ادغام مناسب نیز، اغلب مشکل ساز است. اگر این مقدار خیلی زیاد باشد، باعث می شود تا فرصت تطابق در کروموزوم از دست برود و همچنین اگر این مقدار خیلی کم باشد، تعداد فرزندان تولید شده کافی نخواهد بود [۸].

به طور اجمال می توان شیوه های مختلف پیوند را به دسته های زیر تقسیم نمود:

۱. روش ادغام تک نقطه ای یا مکانی<sup>۲</sup>

۲. روش ادغام دو نقطه ای<sup>۳</sup>

۳. روش ادغام چند نقطه ای<sup>۴</sup>

۴. روش ادغام یکنواخت<sup>۵</sup>

۵. روش ادغام متغیر

<sup>۱</sup> . Cross Over Rate

<sup>۲</sup> . Single-Sight Cross Over

<sup>۳</sup> . Two-Point Cross Over

<sup>۴</sup> . Multi-Point Cross Over

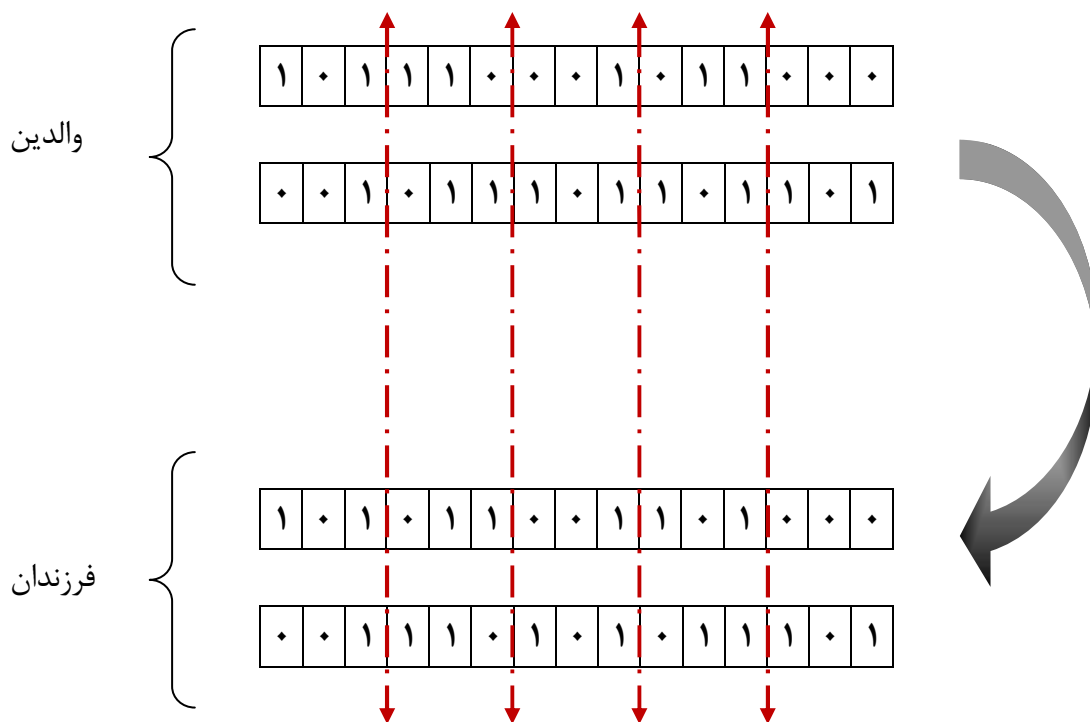
<sup>۵</sup> . Uniform Cross Over



اساس فرایند ادغام در تمامی روش های فوق الذکر بر اساس ترکیب سازی جدید ژن ها است، بر این اساس جهت روشن سازی نحوه عملکرد این فرایند، به شرح ادغام چند نقطه ای می پردازیم (روش یک نقطه ای و دو نقطه ای حالت ساده تر روش چند نقطه ای می باشد).

### ۲-۳-۷-۱-۱ تقاطع چند نقطه ای

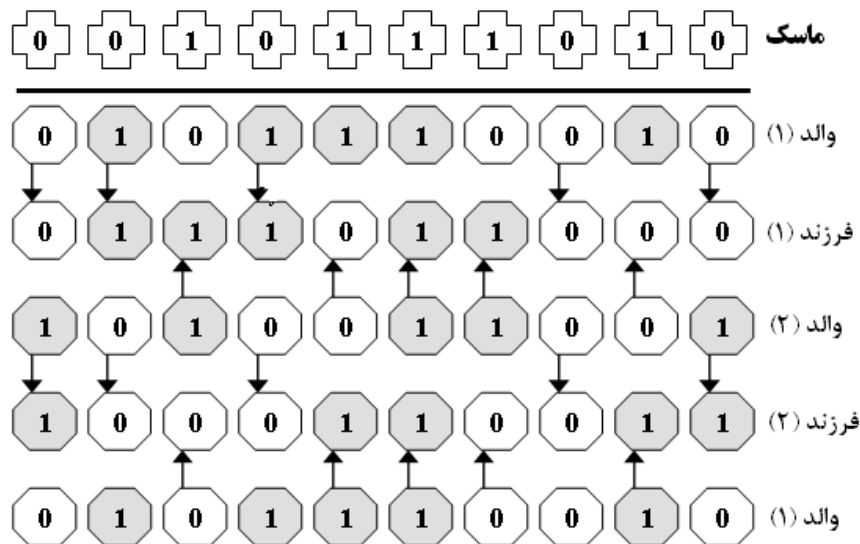
در این روش تعدادی نقطه به صورت تصادفی بر روی کروموزوم انتخاب شده و آن را به چند قسمت تقسیم می نماید، سپس با ثابت نگاه داشتن قسمت اول در هر کروموزوم، باقی قسمت ها به صورت یک در میان با یکدیگر تعویض می شوند و به این ترتیب نسل جدید با خصوصیات نسبتاً متفاوت تولید خواهد شد.



شکل (۲-۴) روش ادغام چند نقطه ای

## ۲-۳-۷-۱-۲ روش ادغام یکنواخت<sup>۱</sup>

این روش حالت پیشرفته ادغام چند نقطه ای است. در این روش هر بیت بر اساس یک احتمال پنجاه در صدی از والد هایش انتخاب شده و جابجا می شود. برای این منظور از یک الگوی ادغام تصادفی به نام ماسک<sup>۲</sup> استفاده می شود. طول رشته ماسک، برابر طول کروموزوم های جمعیت است. هنگامی که در ماسک مقدار بیت هم ارز، صفر (۰) باشد، ژن از والد اول و اگر مقدار یک (۱) باشد، ژن از والد دوم کپی می شود. روش ادغام یکنواخت در شکل زیر نشان داده شده است [۲۰].



شکل (۲-۵) روش ادغام یکنواخت

## ۲-۳-۷-۲ عمل معکوس سازی

بر اساس این فرایند، یک رشته از داخل جمعیت انتخاب شده و به صورت تصادفی دو نقطه در میان آن تعیین می گردد. سپس همه بیت های این زیر رشته معکوس می گردد. گفتنی است که، در این روش تنها به یک والد نیاز است. این معکوس سازی را می توان به دو صورت انجام داد [۲۱]:

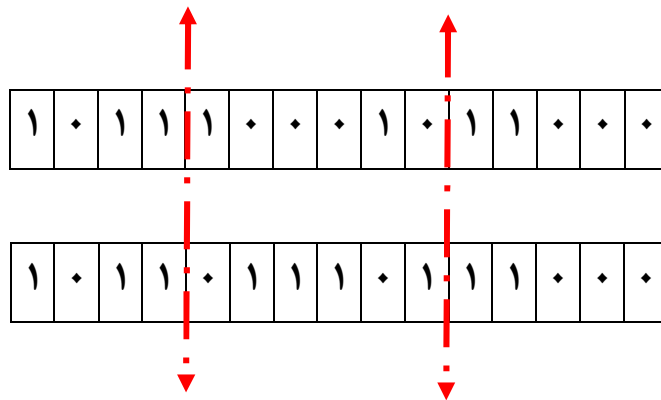
<sup>۱</sup> . Uniform Cross Over

<sup>۲</sup> . Mask

۱- در این حالت هر بیت معکوس می شود. یعنی اگر صفر است تبدیل به یک می شود و بالعکس اگر یک باشد به صفر تبدیل می شود. این حالت ، مختص روش کدگذاری دودویی است.

۲- در این حالت زیر رشته ، معکوس می شود.

در هر حال، انجام عمل معکوس سازی نیز همانند فرآیند ادغام بر اساس ثابتی به نام نرخ معکوس<sup>۱</sup> سازی انجام می شود. این نرخ بیانگر احتمال معکوس سازی برای هر کروموزوم است. شیوهء اعمال نرخ معکوس سازی همانند روش ادغام می باشد. لازم به ذکر است که عملیات فوق نیازمند تنها یک والد است.

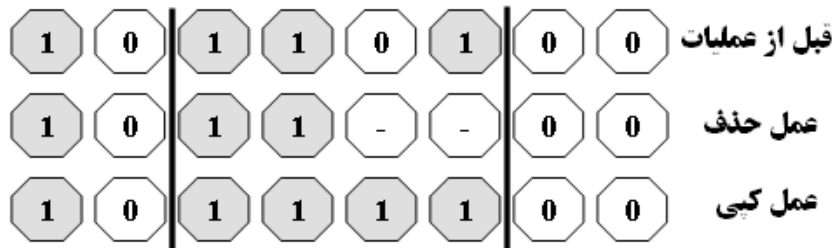


شکل (۶-۲) عمل معکوس سازی

### ۲-۳-۷-۳ عمل حذف و کپی

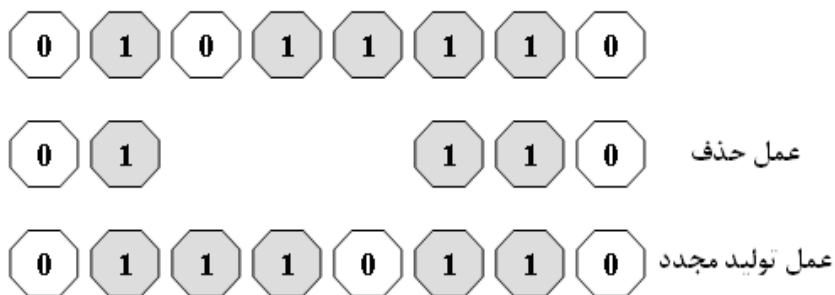
در این عمل یک رشته از داخل جمعیت متناسب با نرخ عملیات انتخاب شده و به صورت تصادفی دو نقطه از آن برگزیده می شود. سپس نصف بیت های زیررشته مورد نظر حذف شده و بیت های قبلی آن ها کپی می شود. لازم به ذکر است که این عملیات نیز تنها نیازمند یک والد است. شکل (۲-۷) عملیات حذف و کپی را بر روی یک رشته نشان می دهد [۲۰].

<sup>۱</sup> . Inversion Rate



شکل (۷-۲) عمل حذف و کپی بیت های پیشین

شایان ذکر است عمل حذف و تولید همان طور که در شکل ذیل مشاهده می گردد، مانند روش فوق است با این تفاوت که در این عمل ژن های بین دو نقطه از رشته منتخب حذف شده و به صورت تصادفی مجدداً تولید می شوند.



شکل (۸-۲) عمل حذف و تولید مجدد

## ۲-۳-۷-۴ جهش

در طبیعت، جهش فرایندی است که در آن یک بخش از یک ژن به صورت تصادفی تغییر می کند. در جهش، هر فرد به تنهایی، با توجه به قوانین احتمال می تواند تغییر کند [۹]. در الگوریتم ژنتیک نیز جهش با یک احتمال کوچک وارد عمل می گردد. به طور مثال در بعضی مواقع در حین انجام فرایند های تکثیر و ادغام، بیت خاصی از تمامی کروموزوم ها، دارای عدد ثابت می گردد، در این صورت دیگر

بازیابی این بیت با عملگر های تکثیر و ادغام غیر ممکن می گردد. به طور فرض، ۸ کروموزوم شکل شماره (۲-۹) را در نظر بگیرید، در تمامی کروموزوم ها بیت پنجم از سمت چپ عدد صفر است. در این حالت تحت هیچ شرایطی امکان رخداد عدد ۱ در این جایگاه خاص تحت تکثیر و ادغام وجود ندارد [۱].

110001	101001	000100	111101
010101	000001	111000	011100

شکل (۲-۹) هشت رشته کروموزوم را نشان می دهد

این محدودیت ممکن است موجب جلوگیری از بدست آوردن یک جواب بهینه از الگوریتم شود، جهت جلوگیری از این مشکل و فرار از این بن بست، می توان از عملگر جهش استفاده نمود، زیرا که در جهش تمامی بیت ها با در نظر گیری احتمال جهش، شانس تغییر را دارا می باشند [۱].

### ۲-۳-۷-۴-۱ عمل جهش در کدگذاری دودویی

عمل جهش یک بیت، شامل تبدیل عدد صفر به یک و بالعکس است که بر اساس یک احتمال کوچک مثل  $p_m$  به صورت بیت به بیت صورت می گیرد. عمل جهش به این ترتیب است که یک عدد تصادفی بین صفر تا یک تولید می شود؛ اگر عدد تولید شده کوچکتر از  $p_m$  باشد مقدار خروجی برابر درست<sup>۱</sup> و گرنه برابر غلط<sup>۲</sup> در نظر گرفته می شود. اگر برای هر بیت مقدار خروجی درست باشد، بیت تغییر می کند و گرنه بیت بدون تغییر باقی خواهد ماند. بیت های یک رشته بصورت مستقل جهش می یابند، به این معنا که جهش یک بیت بر روی احتمال جهش سایر بیت ها تأثیر نمی گذارد. این عمل در یک الگوریتم ژنتیک ساده به منزله یک عملگر ثانویه و به منظور حفظ اطلاعاتی که در حال

<sup>۱</sup> . True

<sup>۲</sup> . False

از دست رفتن است، تلقی می گردد. به کمک این عملگر می توان امید داشت که کروموزوم های خوب که در مراحل انتخاب و یا تکثیر حذف شده اند، دوباره احیا شوند [۸].

$p_m$  یا همان احتمال جهش در کروموزوم ها معمولاً در حدود ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۱ در نظر گرفته می شود [۹]، با این احتمال اندک، این عملگر تضمین می نماید که احتمال رخداد هر نقطه در فضای مساله هیچ گاه صفر نگردد. در بعضی از مراجع این نرخ برای یک جمعیت با اندازه ی ۲۰ تا ۲۰۰ مقداری بین ۰.۰۰۵ تا ۰.۰۵ نیز توصیه شده است [۸]. به هر تقدیر باید توجه داشت، نرخ های جهش پایین سبب همگرایی سریع و عدم تحرک در فضای جستجو می گردد، از سوی دیگر نرخ های جهش بالا سبب می گردد که عملیات GA به سمت روند جستجوی تصادفی میل نماید که گاه موجب از بین رفتن کروموزوم های نخبه تولید شده در نسل های ابتدایی و میانی می شود که جهت رفع این نقیصه، بهره جویی از الگوریتم های نخبه گرا توصیه می گردد.

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

۱. در این حالت نرخ جهش بصورت افزایشی می باشد. یعنی در ابتدا جهش با احتمال کمی

اعمال شده و در خلال عملیات GA، متناسب با نسبت شماره نسل به تعداد کل نسل ها

افزایش می یابد. یعنی:

$$p_m = p_m^{min} + (p_m^{max} - p_m^{min}) \frac{t}{T} \quad (10-2)$$

۲- در این حالت نرخ جهش بصورت کاهشی می باشد. یعنی در ابتدا جهش با بیشترین احتمال

اعمال می شود و در خلال فرآیند GA، رشد نزولی خود را متناسب با نسبت شماره نسل به

تعداد کل نسل ها، درپیش می گیرد:

$$p_m = p_m^{max} - (p_m^{max} - p_m^{min}) \frac{t}{T} \quad (11-2)$$

متغیرهای موجود در روابط (۲-۱۰) و (۲-۱۱) عبارتند از:

$p_m$  مقدار نرخ جهش در هر نسل

$p_m^{max}$  حداکثر مقدار نرخ جهش در فرآیند GA

$p_m^{min}$  حداقل مقدار نرخ جهش در فرآیند GA

$t$  شماره نسل حاضر

$T$  تعداد کل نسل سازی

### ۲-۳-۸ دستور خروج از الگوریتم

از آنجا که الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی است، و از سویی دیگر به علت ذات مسائلی بهینه سازی که جواب مساله از قبل مشخص نمی باشد، ارائه یک فرمول خاص برای خاتمه الگوریتم مشکل می باشد.

برخی از شرط های متداول توقف عملیات GA عبارتند از [۲۲]:

۱. رسیدن به جواب<sup>۱</sup> از پیش تعیین شده: این ساده ترین فکر برای همگرایی است. به این معنی که اگر تصور شد الگوریتم به مقدار کروموزوم مناسب رسیده است، الگوریتم متوقف شود.
۲. عدم پیشرفت<sup>۲</sup>: یعنی الگوریتم GA پس از  $n$  بار تکرار با همان کروموزوم های قبلی ادامه پیدا کند؛ در این صورت الگوریتم متوقف شود. در این حالت ممکن است الگوریتم در یک نقطه کمینه نسبی، به دام افتاده باشد.

---

<sup>۱</sup> . Correct Answer

<sup>۲</sup> . No Improvement

۳. روش آماری<sup>۱</sup>: اگر انحراف از معیار<sup>۲</sup> مقادیر شایستگی جمعیت به یک مقدار مشخصی

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

۴. تعداد تکرارها<sup>۳</sup>: اگر با هیچ کدام از موارد فوق جواب نداد، شرط توقف براساس تعداد

تکرار بنا می شود.

در هر صورت باید اذعان داشت که ممکن است GA نیز، همانند دیگر روش های بهینه سازی ، به جواب بهینه نرسد و یا در نقطه کمینه نسبی گرفتار شود. متأسفانه یکی از محدودیت های استفاده از الگوریتم های تکاملی و به طور خاص الگوریتم ژنتیک، وابستگی شدید نتایج الگوریتم به پارامترهای GA هستند: اندازه جمعیت، نوع روش انتخاب، نوع عملگرهای GA همچون ادغام، جهش ... و همچنین نرخ عملگرهای GA است. این مساله با توجه به زمان مورد نیاز برای اجرای این الگوریتم ها، مخصوصاً در مسائل پیچیده و بزرگ، بسیار نامطلوب به نظر می رسد. در هر صورت اگر در مساله ای خاص، الگوریتم ژنتیک به یک حل بهینه همگرا نشود، می بایست پارامترهای آن را تغییر داده و مجدداً الگوریتم را اجرا نمود. برای فرار از این بن بست، در تحقیق حاضر از الگوریتم ارائه شده در مرجع [۸] بهره برده شده است، که استفاده از این روش و مقایسه آن با الگوریتم های دیگر نشان داده است، این روش قابلیت کاهش تأثیر پارامترهای GA را بطور چشمگیری دارا می باشد و کاربر را از اجرای مجدد برنامه با پارامترهای جدید بی نیاز می سازد.

### ۲-۳-۹ روش جستجوی چند منظوره یا جزیره ای (M.S.M)<sup>۴</sup>

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو است که با کمک نقاط مختلف ، فضای طراحی را کاوش می نماید. بنابراین به تعداد دفعات تکرار بسیار زیاد جهت رسیدن به جواب بهینه نیاز است. این امر موجب

<sup>۱</sup> . Statistics

<sup>۲</sup> . Standard Deviation

<sup>۳</sup> . Number Of Iterations

<sup>۴</sup> . Multi Search Method



افزایش حجم محاسبات عددی در طی فرآیند بهینه یابی و به تبع آن افزایش زمان اجرای برنامه می شود.

در این پایان نامه با استفاده از روش نوین، ترکیبی و کارا (M.S.M) که در مرجع [۸] ارائه شده است، به بهینه یابی ابعادی مقاطع قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی پرداخته شده است. شایان ذکر است ویژگی منحصر بفرد این الگوریتم که موجب بکار گیری آن در تحقیق حاضر شده است، کاهش تأثیر پارامترهای GA و افزایش سرعت عملیات بهینه یابی و در نتیجه کاهش زمان اجرای برنامه می باشد. به عبارت دیگر بجای انجام چند باره برنامه و تغییر در پارامتر های الگوریتم، به اجرای یک باره آن در حالات مختلف با روش های متفاوت می پردازیم.

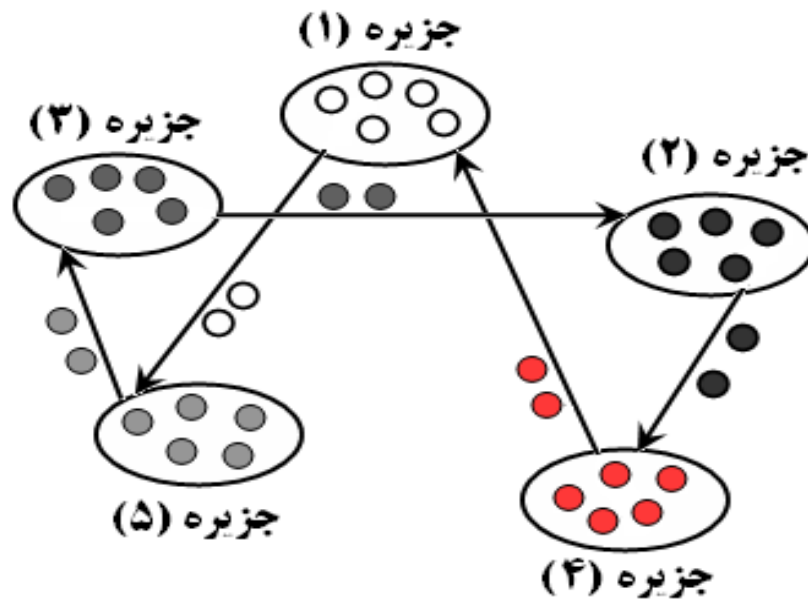
در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M)، جمعیت GA به بخش های مختلف (جزایر متنوع) تقسیم می شود. هر بخش<sup>۱</sup> دارای محیطی<sup>۲</sup> متفاوت و ساختاری منحصر بفرد است. ویژگی ها و ساختار هر بخش بر اساس آزمودن عملگرهای مختلف GA و انتخاب بهترین، شکل گرفته است. این طریقه عمل سبب می شود که جواب ها تنوع خوبی داشته باشند.

در پایان تعداد نسل سازی های معین براساس وقفه مهاجرت و طبق نرخ مهاجرت بهترین ها در مجموعه جزایر جابجا می شوند تا در نهایت، الگوریتم به جواب های مناسبی برسد. در این روش یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت<sup>۳</sup> کوچکتر تقسیم می شود و الگوریتم ژنتیک مرسوم با عملگرها و پارامترها متفاوتی، برای هر کدام از زیر جمعیت ها به طور جداگانه به کار گرفته می شود. هر کدام از این جمعیت ها با عنوان یک جزیره خوانده می شوند. بهترین کروموزوم های هر جزیره پس از طی چند نسل مشخص، و بطور تناوبی به جزایر دیگر منتقل می شود. این مطلب در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است [۸].

<sup>۱</sup> . Part

<sup>۲</sup> . Environment

<sup>۳</sup> . Subpopulations



شکل (۲-۱۰) روش جستجوی چند منظوره

در فرآیند انتقال دو پارامتر بشرح زیر تعریف می شود:

۱. وقفه مهاجرت<sup>۱</sup>: بیانگر تعداد نسل ها بین هر انتقال می باشد.

۲. نرخ مهاجرت<sup>۲</sup>: بیانگر درصد اعضای منتخب برای انتقال از هر جزیره در زمان انتقال

می باشد.

نحوه مهاجرت انتخاب شده به صورت یک حلقه با مقصدهای تصادفی<sup>۳</sup> می باشد که هر کدام از

زیرجمعیت ها دارای یک مقصد تصادفی می باشند و این مقصدها به طور تصادفی در هر دوره تناوب

مهاجرت<sup>۴</sup> مشخص می شوند. بر این اساس بهترین های هر جزیره برای مهاجرت انتخاب خواهند

گردید. عملگر مهاجرت، بهترین های یک زیرجمعیت را به جزیره دیگری می فرستد، که شامل محیط

و اعضای با ساختار بسیار متفاوتی است. پس از فرآیند مهاجرت، الگوریتم ژنتیک جمعیت های

<sup>۱</sup> . Migration Interval

<sup>۲</sup> . Migration Rate

<sup>۳</sup> . Random Destinations

<sup>۴</sup> . Migration Period

مهاجر<sup>۱</sup> را با باقیمانده اعضای جمعیت ترکیب می کند و به سوی حصول جمعیتی با برآزش بالاتر گام برمی دارد. بنابراین در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) به سبب آنکه یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت تبدیل می شود؛ تعداد اعضای هر زیرجمعیت کمتر و همگرایی سریعتر<sup>۲</sup> حاصل می شود. در این روش به سبب وجود مکانیزم مهاجرت، جواب ها در خلال فرآیند کاوش از تنوع خاصی برخوردارند، بنابراین بر اساس مبانی فوق، الگوریتم ژنتیک فضای طراحی را بطور کامل تری مورد کاوش قرار می دهد. از سوی دیگر در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) به دلیل خصوصیات مجزای فضای هر جزیره، می توان از تمامی روش های معتبر و کارآمد معرفی شده توسط محققین بهره جست. به عبارت دیگر هر مسئله بهینه یابی در یک لحظه با چندین روش، بررسی و فضای طراحی کاوش می شود و در ادامه بهترین نتایج، فی ما بین دیگر جزایر به اشتراک گذاشته و جمعیت های جدیدی در اختیار هر جزیره جهت پرورش قرار می گیرد. این خصوصیات بطور دسته جمعی سبب کاهش تأثیر پارامترها و روابط حاکم بر عملیات الگوریتم ژنتیک می شود. همچنین شایان ذکر است که استفاده از تکنیک فوق سرعت همگرایی الگوریتم را بطور شگرفی افزایش می دهد [۸].

در روش ارائه شده در مرجع فوق، فرایند جستجوی چند منظوره به پنج بخش و یا اصطلاحاً ۵ جزیره تقسیم شده است، اما در این پایان نامه به علت عدم انطباق نتایج یکی از جزایر با نتایج مطلوب در اینجا، تعداد جزایر به چهار بخش تقسیم گردیده است، که مشروح پارامتر های هر جزیره در فصل چهارم به تفصیل آمده است.

شایان ذکر است برنامهء دیگری نیز برای تعیین کارایی روش فوق نگاشته شده است، که بر اساس آن هر چهار روش فوق به صورت منفرد قابلیت عملکرد بر اساس روش های الگوریتم ژنتیک ساده<sup>۳</sup> را دارا می باشند. مقایسه نتایج بهینه سازی مثال های مشابه، توسط دو برنامه ارائه شده، نشان داده است که

<sup>۱</sup> . Immigrants

<sup>۲</sup> . Quick Convergence

<sup>۳</sup> . Simple GA

روش جزیره ای، دارای قابلیت و کارایی مناسبی می باشد. و همچنین مدت زمان اجرای برنامه با استفاده از روش چند منظوره (M.S.M) در مقایسه با، اجرای الگوریتم ژنتیک ساده برای انجام چهار حالت متفاوت، به صورت تقریبی به نصف تقلیل خواهد یافت.

## ۲-۳-۱۰ بهینه سازی سازه ها توسط الگوریتم در یک نگاه

بهینه سازی سازه ها توسط الگوریتم ژنتیک را می توان در یک نگاه کلی به مراحل زیر تقسیم نمود [۱]:

۱. تولید رشته های کروموزوم برای تمامی افراد جمعیت در نسل اول به صورت تصادفی (باید در نظر داشت که تعداد جمعیت تشکیل شده، باید زوج باشد)
۲. تعریف تابع جریمه مناسب و تعیین ضرایب آن
۳. کدگشایی هر یک از کروموزوم های جمعیت و انجام عملیات تحلیل ماتریسی یا اجزای محدود، جهت تعیین نیرو های داخلی، عکس العمل های تکیه گاهی و تغییر مکان های گره ای برای هر یک از آنها
۴. محاسبه برازش هر یک از رشته کروموزوم های جمعیت، که مقدار آن از ترکیب وزن کل سازه با تابع جریمه بدست خواهد آمد.
۵. بازتولید رشته های کروموزوم در داخل استخر تولید مثل با توجه به برازش های تولید شده در گام چهارم
۶. ترکیب تصادفی دو به دویی رشته ها در استخر آمیزش، و اعمال عملگر های الگوریتم ژنتیک از قبیل (ادغام، جهش، ...) به آنها، و تولید فرزندان جدید

۷. جانشینی رشته های جدید با رشته کروموزوم های قدیمی و برگشت به گام دوم تا زمان

اغنائی شرط خاتمه الگوریتم

فصل سوم:

تحلیل و طراحی قاب های شیدار غیر مشوری

### ۳-۱ پیشگفتار

بر روی قاب های شیبدار غیر منشوری در چند ساله اخیر کار های فراوانی از نظر ساخت و تولید به انجام رسیده است، حال آنکه از جهت بهینه سازی و همچنین تحلیل پایداری در آنها ، جای برای مطالعات و تحقیقات بیشتر وجود دارد. استفاده از ضرایب دست بالای اطمینان (که به حق به گفته استاد احمد حامی، پدر مهندس عمران ایران، ضریب جهل) برای جلوگیری از شکست های سازه ای ناشی از عدم طراحی دقیق آنها، نیز موجب غیر اقتصادی گشتن استفاده از این سیستم های سازه ای می شود.

بصورت کلی از جنبه تئوریک بهترین آرایش اعضای سازه ای هنگامی بدست می آید که نیروهای وارد بر سازه به نحو ایمن به پی منتقل شوند و در عین حال مصرف مصالح سازه ای به حداقل ممکن رسیده باشد و در یک معنی بهترین سازه، سیستمی است که تمام اعضای آن در یک زمان به حداکثر

تنش خود رسیده باشند. هرچند باید توجه داشت که رسیدن به سبکترین سازه، ممکن است با ضرورت های ویژه تولید ( طراحی قطعات گونه بندی شده) تا حدی در تعارض باشد. از آنجا که برای اقتصادی شدن ساخت سازه های صنعتی لازم است که تا حد امکان از تنوع بی رویه قطعات کاسته شود و تعداد تولیدی از هر نوع قطعه افزایش یابد، در این صورت رسیدن به حداقل وزن سازه ای که یک عدد تئوریک است دور از دسترس خواهد بود، اما می توان با بررسی همه جانبه و کلی گرا، در این گونه از سازه ها و با عنایت به محدودیت های طراحی، تولید و ساخت به مقاطع بهینه و همچنین سیستم سازه ای متناسب با پروژه که از نظر اقتصادی بهینه شده باشد، دست یافت. این امر نهایتاً موجب کم شدن هزینه تولید، افزایش بهره وری، افزایش حجم سفارشات و افزایش رضایت مندی مشتری خواهد گردید. در این راستا در این فصل در جهت روشن سازی نکات مربوط به تحلیل و طراحی قاب های شیبدار با ممان اینرسی متغیر به ذکر روش ها و فرمول بندی های مربوطه پرداخته شده است.

## ۲-۳ انواع سازه های شیبدار

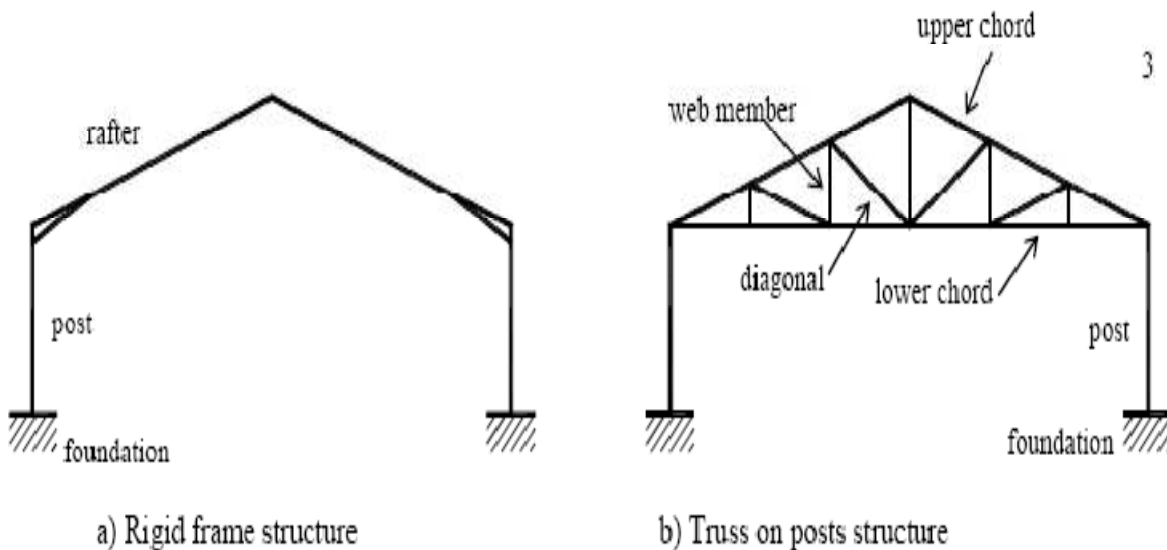
تقاضای بسیار زیاد سالن های صنعتی در طی سالیان گذشته باعث تاسیس کارخانجات و گارگاه های بیشمار در اطرافمان شده است. اصولاً سازه های شیبدار بر چهار دسته تقسیم می گردند که عمده تفاوت این سیستم ها مربوط به سیستم سقف و نحوهء مقابله با نیرو های ثقلی و بارهای زنده در آنها است. در یک تقسیم بندی کلی می توان آنها را به گروه های زیر تقسیم نمود:

۱. ساختمان های با سقف خرپایی
۲. ساختمان های دارای شاه تیر مشبک
۳. سازه های با قاب شیبدار صلب
۴. سازه های با ستون ها و تیر های خرپایی



۵. سازه های ترکیبی با سازه های فضاکار

در این میان، سیستم های سازه ای ۱ و ۳ از مقبولیت بیشتری در بین طراحان برخوردار است و تحقیقات متعددی بر روی، اقتصادی تر بودن هر یک از این سیستم ها صورت گرفته است.



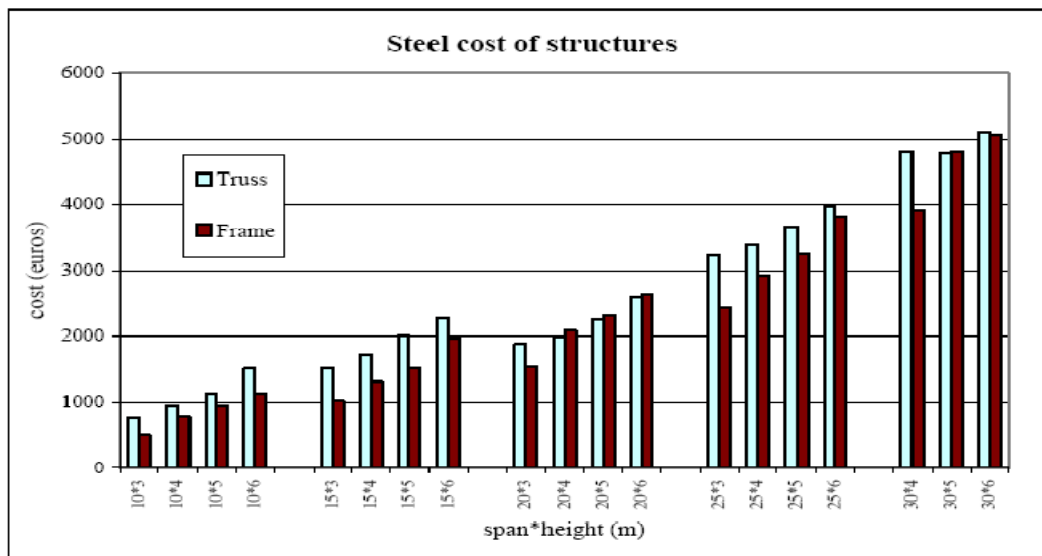
شکل شماره (۱-۳) نمایی از قاب های صلب (a) و خرپایی (b) را نشان می دهد

در سال های اخیر تمایل شدیدی به استفاده از سیستم قاب صلب دیده می شود زیرا گذشته از کارکرد های مناسب سازه ای آن، هزینه های ساخت آنها نیز کمتر است. تا حدی که در سال های اخیر بیش از ۹۰ درصد سازه های صنعتی به این سو گرایش پیدا کرده است و تا حدی می توان ابراز نمود که بدون ملاحظاتی اقتصادی به این سو گرایش پیدا کرده است.

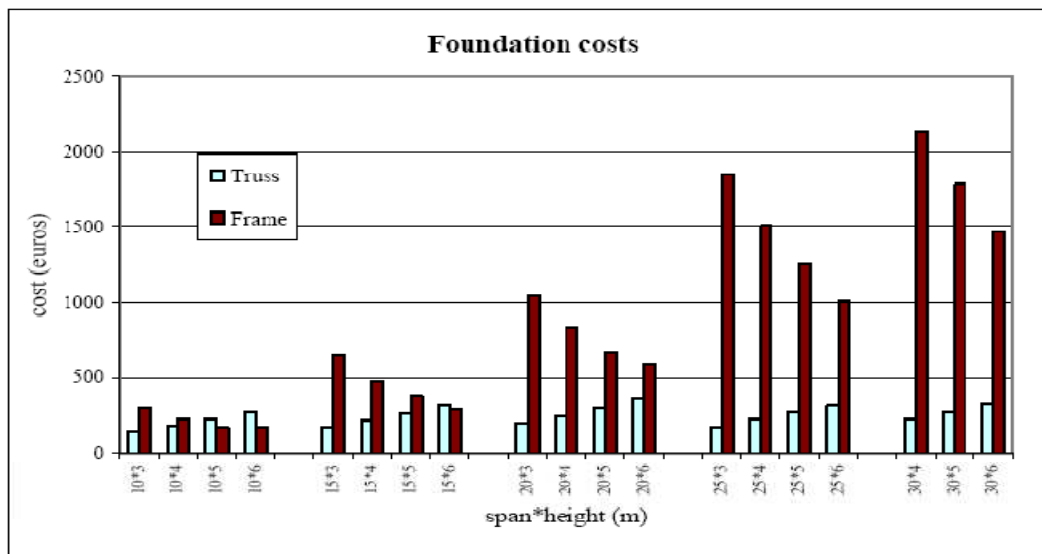
در سال ۲۰۰۴ "J.Montero" و همکارانش در تحقیقی جامع به مقایسه سازه های خرپایی و سیستم های قاب صلب پرداختند و نتایج بسیار در خور توجه و قابل اعتنا ارائه نمودند.

آنها با بررسی سازه های با دهانه های متنوع و ارتفاع های مختلف به این نتیجه رسیدند که در مواقعی که تنها هزینه ساخت سازه تعیین کننده باشد و هزینه های پی سازی مد نظر نباشد، برای سازه های تا دهانه ۳۰ متر، قاب های صلب نتایج بهتری را نشان می دهند ولی در مواردی که هزینه

پی سازی نیز تعیین کننده باشد شرایط تغییر خواهد کرد. برای دهانه های بیش از ۲۰ متر بدلیل وجود نیرو های برشی و لنگر های خمشی بزرگتر، سازه نیازمند به سیستم پی قوی تر شده و در نتیجه سیستم خرپایی بهینه خواهد شد. تحقیقات آنها نشان داده است که هزینه پی سازی در ساختمان های با قاب صلب در حدود ۴۳ درصد کل هزینه های ساخت است در حالی که این مقدار در سازه های خرپایی در حدود ۱۷ درصد است [۳].



شکل شماره (۲-۳) مقایسه میزان هزینه فولاد مصرفی در سیستم قاب صلب و خرپایی



شکل شماره (۳-۳) مقایسه میزان هزینه پی سازی در سیستم قاب صلب و خرپایی

اما نکته حائز اهمیت در مورد تحقیق فوق عدم بررسی سازه های با قاب صلب دارای مقطع متغیر است در حقیقت نتایج فوق الذکر بر اساس مقایسه بین سیستم های مختلف با مقاطع یکنواخت منشوری بوده است.

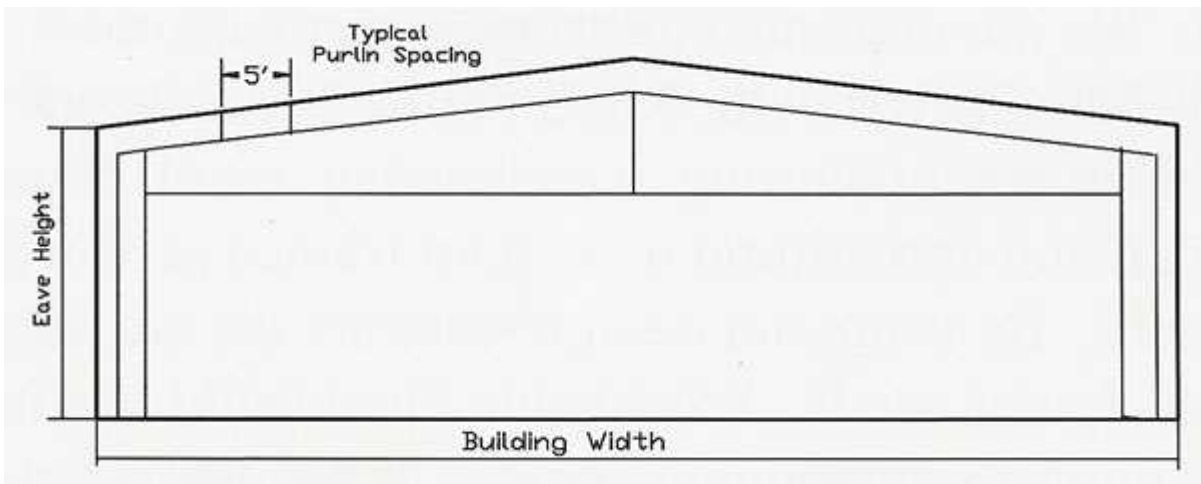
تحقیقات بعمل آمده توسط موسسه buildings steel worldwide [۲۳] در سال ۲۰۰۷ بر روی این سازه های صنعتی نشان داده است بعلت توزیع بهینه مصالح در نقاط مورد نیاز با توجه به وجود نیروهای خمشی، برشی و محوری در هر نقطه می توان با اطمینان بیان نمود در سازه های با دهانه کمتر از ۲۰ متر استفاده از قاب های شیبدار با مقطع ثابت و درمورد سازه های متعارف و با عرض دهانه ۲۰ تا حدود ۴۵ متر سازه های قاب صلب با مقطع متغیر بهینه خواهد بود؛ در دهانه های بزرگتر از این میزان نیز استفاده از ستونک های میانی توصیه می گردد، و یا در صورت عدم امکان معماری و کاربری برای استفاده از ستون میانی به علت بهره برداری حداکثری از کل عرض دهانه، برای دهانه های ۴۵ تا ۷۰ متر، بنا بر راهنمای انیستیتو فولاد استرالیا، استفاده از سیستم قاب های شیبدار با مقطع متغیر که از ستون ها و تیر های خرپایی ساخته شده اند (شکل ۳-۴) اقتصادی خواهد بود.



شکل شماره (۳-۴) نمایی از قاب با تیر ها و ستون های خرپایی

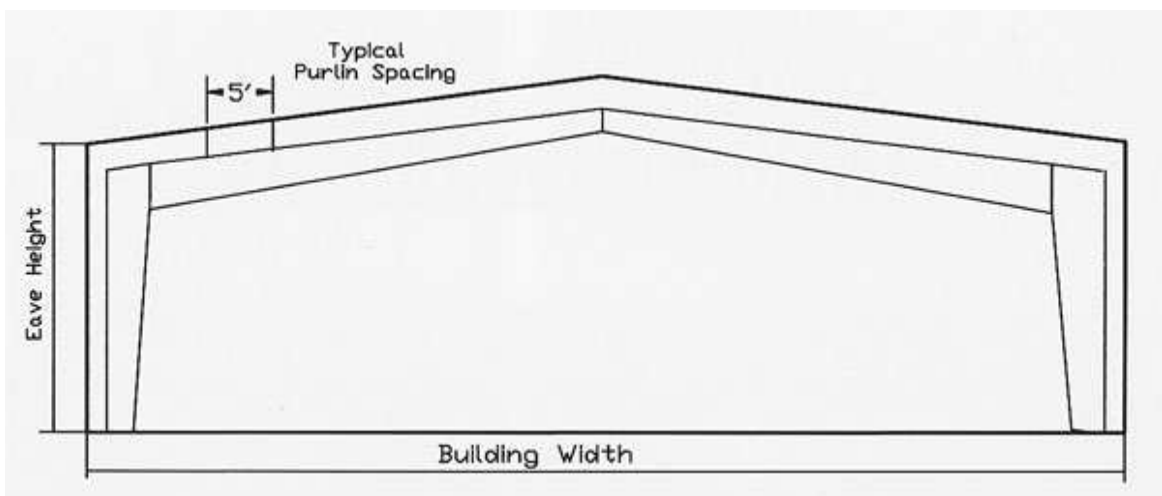
### ۳-۲-۱ انواع سازه های شیبدار با قاب صلب

- ❖ سازه با قاب صلب و ستون های با مقطع ثابت و تیرهای شیب دار: مورد استفاده در کارگاه های کوچک جهت بهره برداری از حداکثر فضای کارگاه با دهانه های در حدود ۶ تا ۱۸ متر با شیب های ۱ به ۴ تا ۱ به ۱۲ [۲۳].



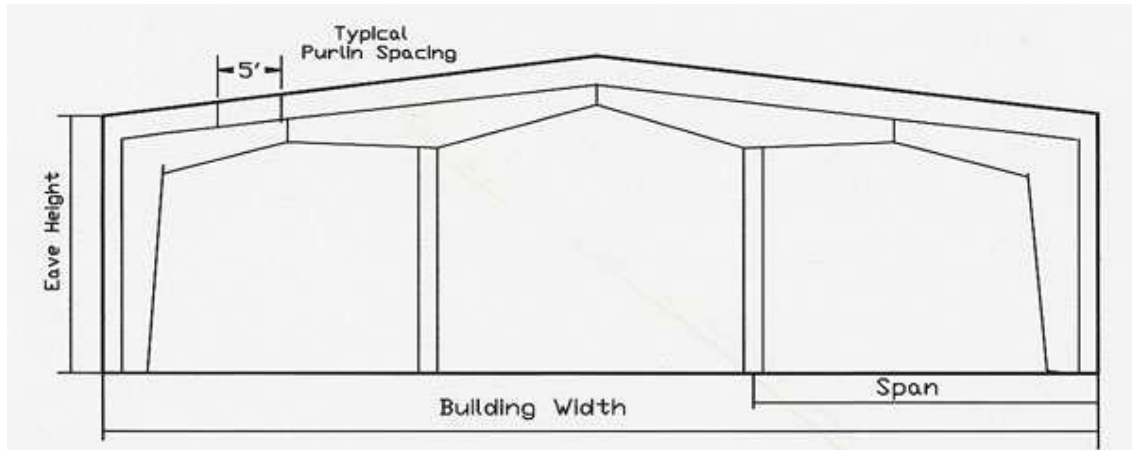
شکل شماره (۳-۵) قاب شیبدار منشوری

- ❖ سازه با قاب صلب و تیرهای شیب دار و مقاطع متغیر: کاربرد در کارخانجات متوسط و نسبتاً بزرگ با دهانه های ۱۲ تا ۴۸ متر با شیب های ۱ به ۴ تا ۱ به ۱۲.



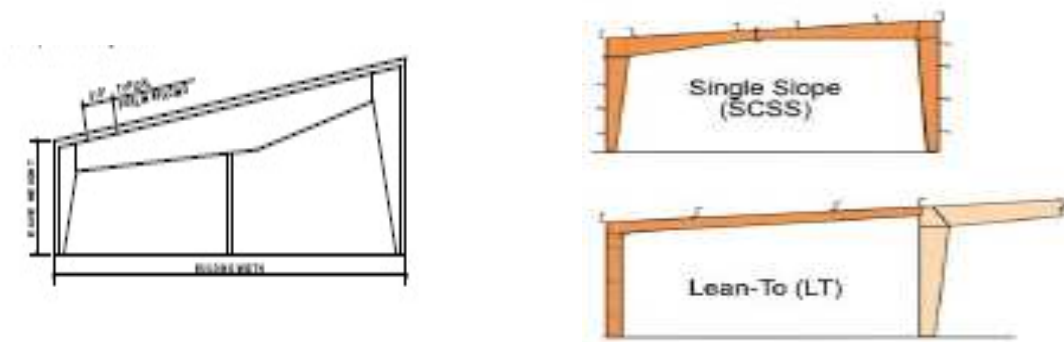
شکل شماره (۳-۶) قاب شیبدار غیر منشوری

❖ سازه با قاب صلب و تیر های شیب دار و مقاطع متغیر با ستون میانی: کاربرد در کارخانجات بزرگ با دهانه های ۲۴ تا ۹۰ متر که در حقیقت نوعی از قاب های چند دهانه را می سازد، با شیب های ۱ به ۴ تا ۱ به ۱۲.



شکل شماره (۷-۳) قاب شیبدار غیرمنشوری چند دهانه

❖ قاب های با شیب منفرد جهت اضافه شدن به سازه های موجود استفاده می گردد که به آن لنتو نیز می گویند و در طرفین قاب های موجود جهت گسترش عرضی سالن های موجود قرار می گیرند به صورت معمول در حدود ۶ تا ۱۸ متر عرض دهانه آنها است و در صورت استفاده از ستونک های میانی می توان این مقدار را تا ۹۰ متر نیز گسترش داد.



شکل شماره (۸-۳) قاب شیبدار یک سویه یا لنتو

### ۳-۳ فرضیات تحلیل و طراحی

فرضیات و نکات اساسی که در مراحل تحلیل و طراحی سازه در نظر گرفته شده اند به شرح ذیل می باشند:

(۱) هر عضو قاب یک مقطع I شکل فولادی است که ارتفاع آن می تواند به صورت خطی در طول تغییر نماید. بنابراین هر عضو دارای پنج مشخصه خواهد بود که عبارت اند از: ارتفاع عضو در ابتدای آن، ارتفاع عضو در انتهای آن، عرض بال، ضخامت جان و ضخامت بال؛ فرض بر آن است که هر پنج مشخصه عضو بتواند در طول فرایند بهینه سازی تغییر یابد. با توجه به وابستگی شدید ممان اینرسی مقطع به مجذور فاصله بال ها از یکدیگر و با توجه به تغییرات خطی فاصله بال ها از یکدیگر در طول عضو غیر منشوری، درجه تابع تغییرات ممان اینرسی بر حسب طول عضو برابر ۲ می باشد.

(۲) مدل سازی قاب شیبدار برای تحلیل بر اساس خطوط میان تار تیر و ستون انجام می شود و فرض می شود میان تار ستون بصورت قائم است.

(۳) تحلیل و طراحی با توجه به شرایط یکسان قاب های متوالی، بر اساس یک قاب خمشی مسطح انجام می گیرد. این فرض در مورد قاب های شیبدار فولادی که برای مصارف صنعتی و نیمه صنعتی طراحی می شوند کاملاً منطقی است، زیرا جهت اصلی در این قاب ها عرضی است و در جهت طولی صرفاً برای تعیین مهاربندی بین قاب ها تحت تحلیل و طراحی قرار می گیرند. در این تحلیل از تغییر مکان قاب در جهت عمود بر صفحه قاب صرف نظر می گردد. نیروی باد و نیروی ثقلی بر اساس سطح بارگیر هر قاب محاسبه و در تحلیل لحاظ می شود. نیروی ناشی از زلزله نیز با توجه به سختی یکسان قاب های متوالی به طور مساوی در بین آنها تقسیم می شود که البته در صورت شرایط خاص و عدم یکسانی قاب ها لازم است تحلیل برای تمام قاب ها انجام پذیرد (شایان ذکر است بدلیل کم کردن هزینه های تولید و محدودیت های اجرا اغلب تمامی قاب های سازه های صنعتی مشابه دارند).

۴) قید های در نظر گرفته شده برای طراحی عبارت اند از:

✓ قید های تغییر مکان گرهی

✓ قید های مقاومت اعضا

✓ قید ابعادی مقاطع

۵) تحلیل قاب به صورت الاستیک و استاتیکی می باشد و تحلیل دینامیکی منظور نشده است.

۶) طراحی قاب بر اساس روش تنش مجاز و بر طبق آیین نامه فولاد آمریکا AISC [۳۴] می باشد.

### ۳-۴ تحلیل قاب های شیبدار غیر منشوری

اعضای با مقطع متغیر در بسیاری از قاب های فولادی به منظور بهینه سازی توزیع وزن و مقاومت در صورتی که محدودیت معماری وجود نداشته باشد، مورد استفاده قرار می گیرند. در قاب های شیبدار فولادی نیز از این نوع اعضا به میزان وسیعی استفاده می گردد. متداول ترین نوع این اعضا مقاطع I شکل هستند که ارتفاع جان آنها، در طول عضو به صورت خطی تغییر می نماید. به علت توزیع متناسب فولاد در بسیاری از حالات استفاده از این روش موجب صرفه جویی اقتصادی خواهد شد. تحلیل اعضای با مقطع متغیر در بسیاری از متون کلاسیک مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل چنین اعضائی مستلزم محاسبات طولانی است که معمولاً در مراجع و مقالات ارائه شده جداول و گراف های متعددی ارائه می گردد که در بسیاری از موارد عملی، و به طور خاص در پروژه های تحقیقاتی مبتنی بر برنامه نویسی های کامپیوتری، قابل کاربرد نیستند.

یک روش جانشین برای ساده سازی مسئله تحلیل عضو با مقطع متغیر، تقسیم اعضای غیر منشوری به چند عضو با مقطع ثابت می باشد. چنین روشی علی رغم اینکه باعث ساده سازی روش تحلیلی مسئله و محاسبات آن خواهد شد، در عین حال باعث بروز خطا های اجتناب ناپذیر خواهد بود و دقت مسئله را پایین خواهد آورد، مضافاً با توجه به اینکه هدف از استفاده از مقاطع متغیر در جهت

بهینه سازی طرح سازه است در نتیجه استفاده از چنین روشی که محافظه کارانه است نمی تواند توجیح پذیر باشد. از طرف دیگر اگر هدف از تحلیل یک قاب شیبدار، بهینه سازی آن به روش های تکاملی، همچون روش الگوریتم ژنتیک باشد، استفاده از روش تقسیم بندی اعضا به مقاطع کوچک منشوری به علت افزایش درجات آزادی، علاوه بر افزایش بسیار زیاد زمان اجرای الگوریتم، که خود عیب بسیار بزرگی محسوب می گردد، موجب ناهمگونی جواب های الگوریتم و حتی در برخی اوقات دستیابی به جواب های غیر قابل قبول، خواهد شد. همچنین در چنین حالتی کاربر موظف است که، حجم بسیار بالایی از اطلاعات هندسی سازه را مخصوصاً در مورد سازه های بزرگ، به برنامه وارد کند، که خود موجب کاهش مقبولیت برنامه و گاه ایجاد خطاهای اجتناب ناپذیر انسانی خواهد شد.

شیوه دیگر استفاده از تئوری تیر برنولی- اولر می باشد که در حالتی که تغییر مقطع بیش از حد نباشد، تئوری کاملاً مناسبی است [۷]. در این حالت روابط دقیق بین نیرو ها و جابجایی های دو انتهای عضو بدست می آید که از روی این روابط ماتریس سختی عضو قابل حصول خواهد بود. از نقطه نظر محاسباتی فرق اصلی بین عضو با مقطع متغیر با عضو با مقطع ثابت، نحوه بدست آوردن ماتریس سختی عضو می باشد که در حالت عضو غیر منشوری بدلیل تغییرات ممان اینرسی عضو در طول آن انتگرال هایی ظاهر می شود که بصورت تحلیلی قابل حل نبوده و معمولاً از روش های عددی برای محاسبه ی چنین انتگرال هایی استفاده می شود. این روش جزء بهترین روش های ممکن برای رسیدن به جواب دقیق مساله خواهد بود، اما در این روش نیز به دلیل وجود انتگرال های غیر تحلیلی و لزوم استفاده از روش های عددی، پیچیدگی هایی وجود دارد که زمان اجرای برنامه را به نسبت افزایش می دهد.

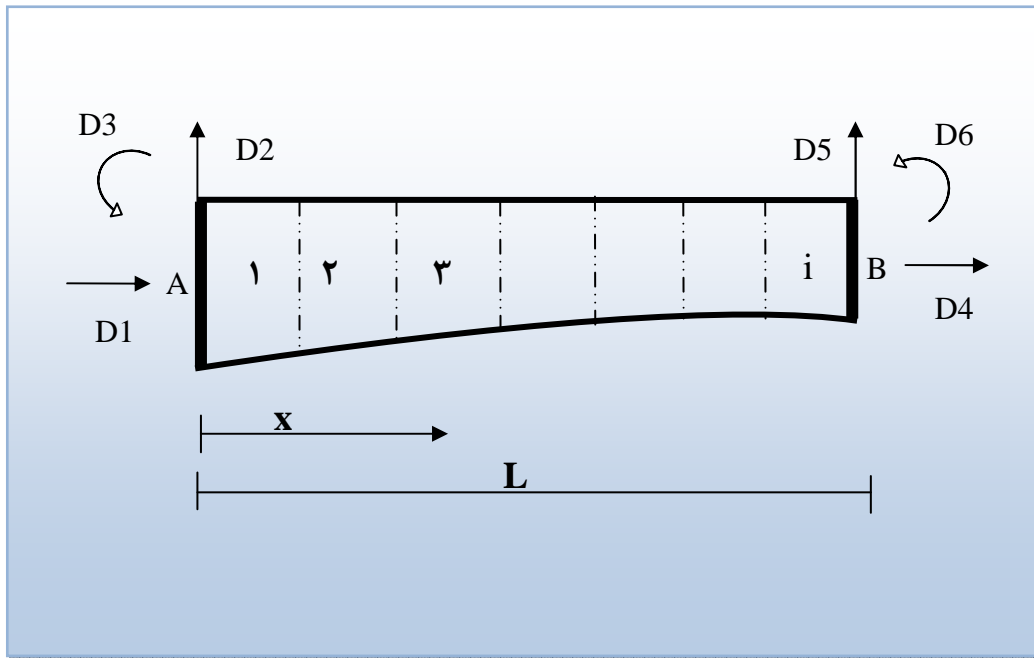
به هر حال تئوری ماتریسی سازه ها، در صورتی که ماتریس سختی یک عضو با مقطع متغیر تعیین شود، برای هر نوع سازه ای صرفنظر از آنکه دارای اعضای منشوری یا غیر منشوری است، قابل کاربرد است. ماتریس سختی یک عضو در مختصات سه بعدی یک ماتریس  $12 \times 12$  می باشد. در صورتی که عضو به صورت دوبعدی در نظر گرفته شود، همچنان که در این تحقیق نیز به همین نحو عمل



خواهد شد، ماتریس سختی عضو یک ماتریس  $6 \times 6$  خواهد بود. بنابراین چنانچه ماتریس سختی اعضای غیر منشوری را بتوان تعیین نمود، به روش های ماتریسی به راحتی می توان، قاب های شیبدار غیر منشوری را تحلیل نمود. در این تحقیق از روش ماتریسی ارائه شده در مرجع [۲۴] استفاده شده است، که در ادامه به آن می پردازیم. شایان ذکر است، مقایسه نتایج روش استفاده شده، با نتایج روش دقیق توزیع لنگر و نتایج مدل sap2000 در فصل ۵، جهت راستی آزمایشی روش مرجع [۲۴] ارائه گردیده است.

تحلیل قاب های شیبدار به روش سختی مبتنی بر تشکیل ماتریس سختی سازه و حل معادله  $KU=P$  می باشد که در آن  $K$  نشانگر ماتریس سختی سازه است که از سرهم بندی ماتریس های سختی تک تک اعضای سازه بدست می آید  $P$  نیز نشان گر بردار نیرو های گرهی است که از جمع بارهای وارد بر گره ها و نیز نیروهای گرهی معادل بارهای دهانه ای بدست می آید.  $U$  نیز بردار جابجایی گره ای است که از حل معادله تعادل بدست خواهد آمد. شایان ذکر است در این تحقیق جهت حل دستگاه معادلات تعادل، از روش چولسکی به جهت دقت و کارایی بهتر آن نسبت به روش گوس- جردن، بهره گرفته شده است.

جهت محاسبه درایه های ماتریس سختی عضو غیر منشوری، ابتدا عضو به  $n$  قسمت برابر تقسیم می شود؛ شایان ذکر است تعداد تقسیمات به ابعاد سطح مقطع و میزان دقت مورد نیاز برای محاسبات بستگی دارد. بطور معمول در صورتی که تغییرات ابعادی مقطع شدید و خارج از عرف نباشد،  $n$  برابر ده در نظر گرفته می شود، که می توان برای تعیین  $n$  مناسب برای یک طرح مشخص، میزان تغییرات را با محاسبه دو  $n$  متوالی، مثل ۱۰ و ۱۱ بررسی نمود. در صورتی که تعداد تقسیمات انجام گرفته کافی باشد، نتایج تحلیل حاصله از  $n$  و  $(n+1)$  تقسیم متوالی باید بسیار نزدیک به یکدیگر باشند. جهت تشکیل درایه های ماتریس سختی عضو غیرمنشوری، شکل شماره (۳-۹) مورد ملاحظه قرار می گیرد.



شکل شماره (۳-۹) درجات آزادی در یک عضو غیر منشوری

در شکل فوق شماره هر قطعه با  $i$ ، طول هر قطعه با  $\Delta x$  مشخص می گردد. روش عددی محاسبه‌ی درایه های ماتریس سختی اعضای غیرمنشوری همانند روش های محاسبه اعضای منشوری است، با این تفاوت که به جای محاسبه‌ی توابع انتگرالی، آنها را به مجموع تبدیل نموده و سپس این مجموع ها، محاسبه می گردند. فرض شود هدف محاسبه‌ی درایه های ستون اول ماتریس سختی یک عضو غیرمنشوری مطابق شکل فوق باشد. برای این کار، نخست عضو به  $n$  قسمت برابر تقسیم می شود و سپس به درجه آزادی شماره‌ی یک به اندازه‌ی ((واحد)) تغییر مکان داده و سایر درجات آزادی مقید می گردد. چنانچه قضیه دوم کاستیلیانو به کار رود، درایه های ستون اول ماتریس سختی، به قرار زیر محاسبه خواهد شد [۲۴]:

$$D_1 = \int_0^L \frac{S_{11}}{AE} dx = \sum_{i=1}^n \frac{S_{11}}{A_i E} \Delta x = 1$$

$$S_{11} = \frac{E}{[\Delta x \sum_{i=1}^n 1/A_i]}$$

$$S_{14} = S_{41} = -S_{11} = -S_{44}$$

$$S_{12} = S_{21} = S_{13} = S_{31} = S_{15} = S_{51} = S_{16} = S_{61} = 0 \quad (1-3)$$

شایان توجه است که سطح مقطع و لنگر لختی وسط هر قطعه، در محاسبات عددی وارد می گردند. برای قطعه کلی  $i$  ام، سطح مقطع و لنگر لختی آن به ترتیب با  $A_i$  و  $I_i$  نشان داده می شود. روش عددی به کار رفته برای محاسبه ی سایر درایه های ماتریس سختی بطور مشابه بدست می آید. باید افزود بجای  $X$ ، مقدار طول وسط قطعه ی کلی  $i$  ام از سر عضو، که برابر با  $(i-0.5)\Delta x$  است، قرار داده می شود. برای تسهیل در فرایند تحلیل از عبارات کمکی زیر بهره گرفته می شود.

$$k_1 = \frac{\Delta x}{E} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{I_i}\right)$$

$$k_2 = -\frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \left(\frac{i-0.5}{I_i}\right)$$

$$k_3 = \frac{\Delta x^3}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i-0.5)^2}{I_i}$$

$$k_4 = \frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \left(\frac{n-i+0.5}{I_i}\right)$$

$$k_5 = \frac{\Delta x^3}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(n-i+0.5)^2}{I_i} \quad (2-3)$$

در ادامه، سایر درجات آزادی، یک به یک آزاد شده و تغییر مکان یکه به آنها اعمال می شود. برای هر حالت، تغییر مکان بر حسب درایه ماتریس سختی نوشته شده و علامت تابع از انتگرال به سیگما تبدیل می گردد. به این ترتیب، با استفاده از تغییر مکان های معلوم، درایه های ماتریس سختی، ستون به ستون به دست می آید.

$$D_2 = \int_0^L \frac{(S_{22}x - S_{32})}{EI} x \cdot dx = \sum_{i=1}^n [S_{22}(i-0.5)^2 \cdot \Delta x^2 - S_{32}(i-0.5) \cdot \Delta x] \frac{\Delta x}{I_i E}$$

$$D_2 = S_{22} \left[ \frac{\Delta x^3}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i-0.5)^2}{I_i} \right] - S_{32} \left[ \frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i-0.5)}{I_i} \right]$$

$$D_2 = K_3 \cdot S_{22} + K_2 S_{32} = 1 \quad (3-3)$$

$$D_3 = - \int_0^L \frac{(S_{22}x - S_{32})}{EI} . dx = \sum_{i=1}^n [-S_{22} \cdot (i - 0.5) \cdot \Delta x + S_{32}] \frac{\Delta x}{I_i E}$$

$$D_3 = S_{22} \left[ - \frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i - 0.5)}{I_i} \right] + S_{32} \left[ \frac{\Delta x}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(1)}{I_i} \right]$$

$$D_3 = K_2 \cdot S_{22} + K_1 S_{32} = 0 \quad (۴ - ۳)$$

$$\begin{cases} D_2 = K_3 \cdot S_{22} + K_2 S_{32} = 1 \\ D_3 = K_2 \cdot S_{22} + K_1 S_{32} = 0 \end{cases}$$

$$S_{22} = \frac{K_1}{K_1 K_3 - K_2^2}$$

$$S_{32} = \frac{-K_2}{K_1 K_3 - K_2^2}$$

$$S_{22} = -S_{52}$$

$$S_{42} = 0$$

$$D_4 = \int_0^L \frac{(S_{23}x - S_{33})}{EI} x . dx = \sum_{i=1}^n [S_{23}(i - 0.5)^2 \cdot \Delta x^2 - S_{33}(i - 0.5) \cdot \Delta x] \frac{\Delta x}{I_i E}$$

$$D_4 = S_{23} \left[ \frac{\Delta x^3}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i - 0.5)^2}{I_i} \right] - S_{33} \left[ \frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i - 0.5)}{I_i} \right]$$

$$D_4 = K_3 \cdot S_{23} + K_2 S_{33} = 0 \quad (۵ - ۳)$$

$$D_5 = - \int_0^L \frac{(S_{23}x - S_{33})}{EI} . dx = \sum_{i=1}^n [-S_{23} \cdot (i - 0.5) \cdot \Delta x + S_{33}] \frac{\Delta x}{I_i E}$$

$$D_5 = S_{23} \left[ - \frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(i - 0.5)}{I_i} \right] + S_{33} \left[ \frac{\Delta x}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(1)}{I_i} \right]$$

$$D_5 = K_2 \cdot S_{23} + K_1 S_{33} = 1 \quad (6-3)$$

$$\begin{cases} K_3 \cdot S_{23} + K_2 S_{33} = 0 \\ K_2 \cdot S_{23} + K_1 S_{33} = 1 \end{cases}$$

$$S_{23} = \frac{-K_2}{K_1 K_3 - K_2^2}$$

$$S_{33} = \frac{K_3}{K_1 K_3 - K_2^2}$$

$$S_{53} = -S_{23}$$

$$S_{43} = 0$$

برای انتهای عضو مشابه همین محاسبات، قابل تکرار است. نتیجتاً می توان تمامی درایه های ناصفر

ماتریس سختی عضو را به صورت زیر نشان داد:

$$[S_{11}] = [-S_{14}] = [-S_{41}] = [S_{44}] = \frac{E}{\left[ \Delta x \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i} \right]}$$

$$[S_{22}] = [-S_{52}] = [-S_{25}] = [S_{55}] = -\frac{K_1}{[K_1 K_3 - K_2^2]}$$

$$[S_{32}] = [S_{23}] = [-S_{35}] = [-S_{53}] = \frac{-K_2}{[K_1 K_3 - K_2^2]}$$

$$[S_{33}] = \frac{K_3}{[K_1 K_3 - K_2^2]}$$

$$[S_{26}] = [S_{62}] = [-S_{56}] = [-S_{65}] = \frac{K_4}{[K_1 K_5 - K_4^2]}$$

$$[S_{36}] = [S_{63}] = \frac{[LK_4 - K_5]}{[K_1 K_5 - K_4^2]}$$

$$[S_{66}] = \frac{K_5}{[K_1 K_5 - K_4^2]} \quad (7-3)$$

شایان ذکر است ماتریس سختی فوق را می توان فارغ از نوع و شکل سطح مقطع برای تمامی اعضای غیر منشوری بکار برد، اما در اکثر روش هایی که ماتریس سختی دقیق اعضا را بدست می آورند، در درایه های ماتریس سختی ضرایبی دارند که بنا به شکل و نوع سطح مقطع متغیر است. برخی از این ضرایب در مراجع برای تعدادی از اشکال سطوح مقطع ذکر شده است، اما این محدودیت ها سبب گردیده که مطلوبیت روش های دقیق نسبت به روش های تقریبی کمتر گردد.

### ۳-۵ کلیات طراحی اعضا با استفاده از روش تنش های مجاز

نکته ای که در ابتدا باید به آن اشاره کرد آن است که، به علت شیبدار بودن این قاب ها، تمامی اعضای آن همزمان تحت نیرو های محوری، برشی و لنگرهای خمشی قرار می گیرند. به همین جهت در قاب های شیبدار غیر منشوری هم تیر ها و هم ستون ها باید به مانند یک تیر ستون مدل شوند؛ در این تحقیق برای طراحی اعضای غیر منشوری از آیین نامه آمریکا استفاده شده است شایان ذکر است که مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران در بر دارنده ضوابط طراحی برای اعضای با مقطع متغیر نمی باشد.

هدف از طراحی سازه بررسی محدودیت هایی است که در طراحی اعضای با مقطع متغیر مطرح می باشند. محدودیت هایی که در طراحی حکم فرما است به سه دسته قابل تقسیم هستند:

- قید های نسبت تنش
- قید تغییر مکان
- قیود ابعادی اعضا

علاوه بر اینها می توان برای متغیر های طراحی نیز مرز قائل شد که به قیود مرزی موسومند. این قیود به سلیقه ی طراح و نیز ابعاد پروفیل های موجود در بازار بستگی دارند و از لحاظ فنی محدودیتی برای آنها متصور نیست (در این پایان نامه جهت واقعی سازی نتایج برنامه، قید ابعادی ورق موجود در بازار

نیز لحاظ گشته است)، جهت اغنای سه قید یاد شده، باید از روش آیین نامه ای معتبر بهره گرفته شود. نوعاً مقاطعی که در قاب های شیبدار فولادی به کار می روند با توجه به ابعاد آنها و نیز نوع ساخت شان، جزو تیر ورق ها محسوب می گردند و ضوابط مربوط به این نوع اعضاء با این فرض که شرایط مربوط به غیر فشرده بودن را ارضا می نمایند در آنها منظور شده است و نکته مهم تر این که اعضاء بکار رفته دارای ارتفاع جان متغیر می باشند و بدین منظور از ضمیمه D آیین نامه AISC استفاده شده است.

برای اغناء شرایط آیین نامه، فرض بر این است که اعضاء I شکل متقارن بوده و بال ها دارای سطح مقطع مساوی و ثابت است و ارتفاع مقطع در انتهای کوچکتر عضو  $d_0$  و در انتهای بزرگتر آن  $d_1$  می باشد ( بر حسب سانتی متر) و با معادله خطی زیر در طول عضوی به طول یک (بر حسب سانتی متر) تغییر می یابد:

$$d_x = d_0 \left( 1 + \gamma \frac{x}{l} \right) \quad (8-3)$$

✓  $d_x$  ارتفاع مقطع در فاصله X از انتهای کوچکتر عضو می باشد.

✓  $\gamma$  در رابطه فوق، ضریب تغییر مقطع نامیده شده و عبارت است از:

$$\gamma = \frac{[d_1 - d_0]}{d_0} \quad (9-3)$$

✓  $\gamma$  نباید از کوچکترین دو مقدار ( 6 و  $0.2681/d_0$ ) تجاوز نماید.

محدودیت فوق بیانگر این واقعیت است که میزان متغیر بودن مقطع یا به عبارتی اختلاف عمق ابتدا و انتهای عضو نباید از حد معینی تجاوز کند. به علت متغیر بودن سطح مقطع در طول عضو، و با فرض رخداد نیروهای حداکثر در محل سطح مقطع ماکزیمم در طول عضو و اغنای قیود آیین نامه در آن نقطه، در حقیقت وجود این محدودیت به نوعی جلوگیری از تجاوز قیود، در سایر نقاط طولی عضو می باشد.

### ۳-۵-۱ تنش مجاز فشاری

در مقطع ناخالص اعضای با مقطع متغیر که تحت فشار محوری قرار دارند، تنش فشاری محوری، بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

✓  $F_{ay}$  تنش مجاز فشاری برای عضوی با ضریب تغییر  $\gamma$  که تحت فشار محوری قرار دارد

$$F_{ay} = \frac{\left(1.0 - \frac{S^2}{2C_c^2}\right)}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3S}{8C_c} - \frac{S^3}{8C_c^3}\right]} \cdot F_Y \quad S \leq C_c \quad (10-3)$$

$$F_{ay} = \frac{(12\pi^2 E)}{[23S^2]} \quad S \geq C_c \quad (11-3)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{(2\pi^2 E)}{[F_Y]}} \quad (12-3)$$

✓  $E$  مدول الاستیسیته و  $F_Y$  تنش تسلیم فولاد می باشد.

✓  $S$  ضریب لاغری موثر می باشد و مساوی است با :

$$S = \text{Max} \left( \frac{K\gamma l}{r_{ox}}, \frac{Kl}{r_{oy}} \right) \quad (13-3)$$

✓  $\frac{K\gamma l}{r_{ox}}$  برابر است با ضریب لاغری حول محور قوی

✓  $\frac{Kl}{r_{oy}}$  برابر است با ضریب لاغری حول محور ضعیف

✓ در آن  $l$  طول واقعی مهار نشده عضو بر حسب سانتی متر



✓  $\Gamma_{0x}$  برابر است با شعاع ژیراسیون حول محور قوی مقطع در انتهای کوچک عضو بر حسب

سانتی متر

✓  $\Gamma_{0y}$  برابر است با شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف تر مقطع در انتهای کوچک عضو بر

حسب سانتی متر

✓  $K\gamma$  ضریب طول موثر عضو با مقطع متغیر برای کمانش حول محور قوی که در بخش بعد

بدست خواهد آمد.

✓  $K$  ضریب طول موثر عضو دارای مقطع ثابت جهت کمانش حول محور ضعیف؛ از آنجا که

ممان اینرسی حول محور ضعیف مقطع متغیر در طول تیر تقریباً ثابت است لذا برای تعیین

ضریب طول موثر عضو جهت کمانش حول محور ضعیف می توان از رابطه مربوط به کمانش

عضو با مقطع ثابت استفاده کرد [۲۵].

### ۳-۵-۲ برآورد ضریب طول موثر ( $K\gamma$ )

جهت محاسبه ضریب طول موثر در اعضای غیر منشوری، می توان به حل کلاسیک و دقیق آن بر

اساس تئوری برنولی-اویلر پرداخت که در مرجع [۲۶] آمده است. همچنین مرجع [۲۷] نیز بر اساس

فرضیات تیر غیرمنشوری اویلر- تیموشنکو، به حل معادلات دیفرانسیل درجه دوم آن بر اساس قضیه

چبیشف<sup>۱</sup> پرداخته است. آیین نامه آمریکا AISC نیز، گراف هایی را معرفی نموده است که بر اساس

آن ضریب طول موثر ستون ها را می توان در دو حالت با حرکت جانبی مقید و غیر مقید، به وسیله

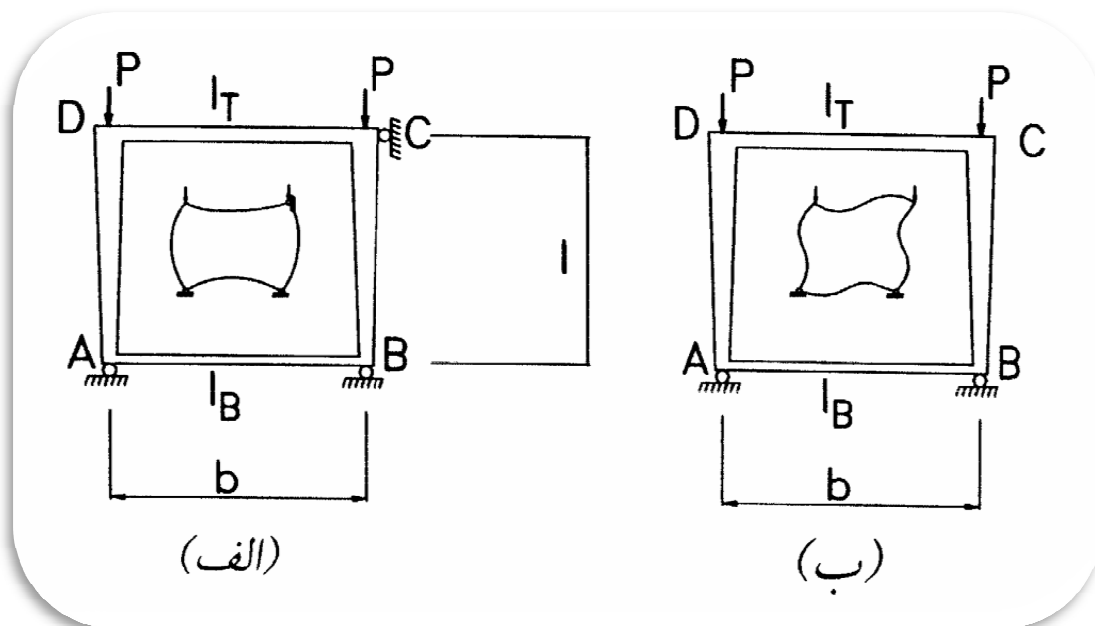
درون یابی به ازای  $\gamma$  های مختلف و ضرایب تعریف شده GB و GT تعیین نمود. این مسئله علاوه بر

عدم دقت کافی گراف ها به علت نیاز به درون یابی، دارای مشکل جدی دیگری نیز می باشد؛ در

<sup>1</sup> Chebyshev's theorem

حقیقت در پروژه های برنامه نویسی و نرم افزاری جهت شناساندن نمودار ها به برنامه نیازمند عملیات پردازش تصویر می باشیم تا برنامه قادر به تعیین مقادیر مختلف گراف به ازای متغیر های آن باشد. عملیات پردازش تصویر<sup>۱</sup> خود بسیار پیچیده و خارج از علوم سازه ای است . لذا استفاده از این گراف ها در تحقیق حاضر و سایر پروژه های مشابه برنامه نویسی، دور از ذهن و غیر عملی به نظر می رسد.

از طرف دیگر می توان از روش ارائه شده در مرجع [۲۸]، که اساس نمودار های به کار رفته در AISC است، استفاده نمود. در این روش ضریب طول موثر با استفاده از یک مدل قاب صلب مستطیل شکل تعیین می شود، که از تیر منشوری و ستون های غیر منشوری تشکیل شده است. ( شکل شماره (۱۰-۳))



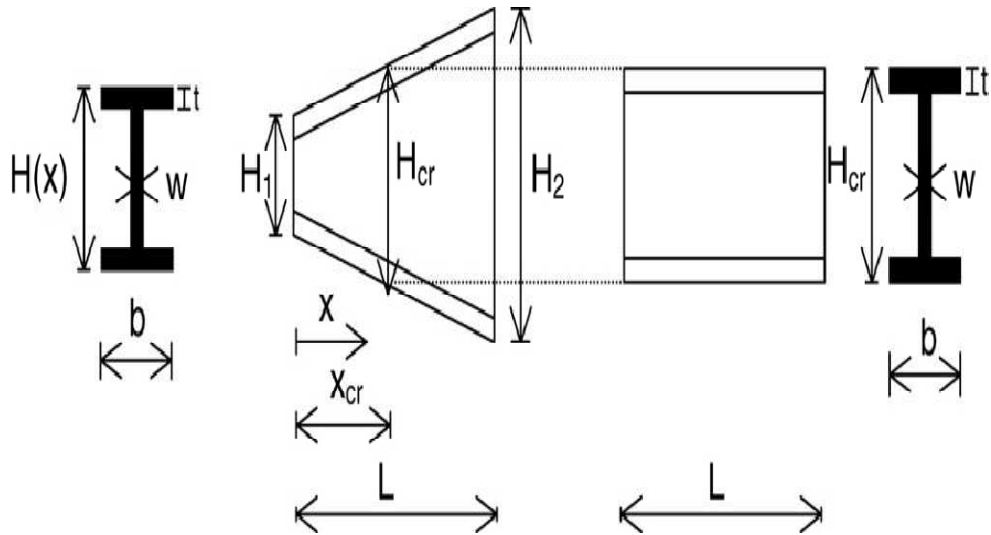
شکل شماره (۱۰-۳) مدلی برای تعیین ضریب طول کمانش

<sup>۱</sup> . image processing

استفاده از چنین روشی مستلزم حل پیچیده روابط شیب افت و روابط ماتریسی است، و علاوه بر افزایش زمان اجرای برنامه، ایجاب می نماید که بار بحرانی کمانش با افزایش تدریجی بار اعمالی و با فرایند سعی و خطا، جهت بدست آوردن یک جواب صفر برای دترمینان ماتریس سختی محاسبه گردد و سپس بر اساس آن ضریب طول موثر بدست آید [۷]. جهت اجتناب از مشکلات فوق، در این پایان نامه از روش ارائه شده در مرجع [۲۹] بهره گرفته شده است. در این روش تقریبی، محاسبه سریع ضریب طول کمانش اعضای غیر منشوری با مقطع I معرفی شده است، در این روش ضریب طول کمانش بر اساس شرایط مرزی اعضا و ضریب تغییر مقطع  $\gamma$  در آنها بر اساس تئوری تحلیل پایداری، برنولی اویلر تعیین می گردد.

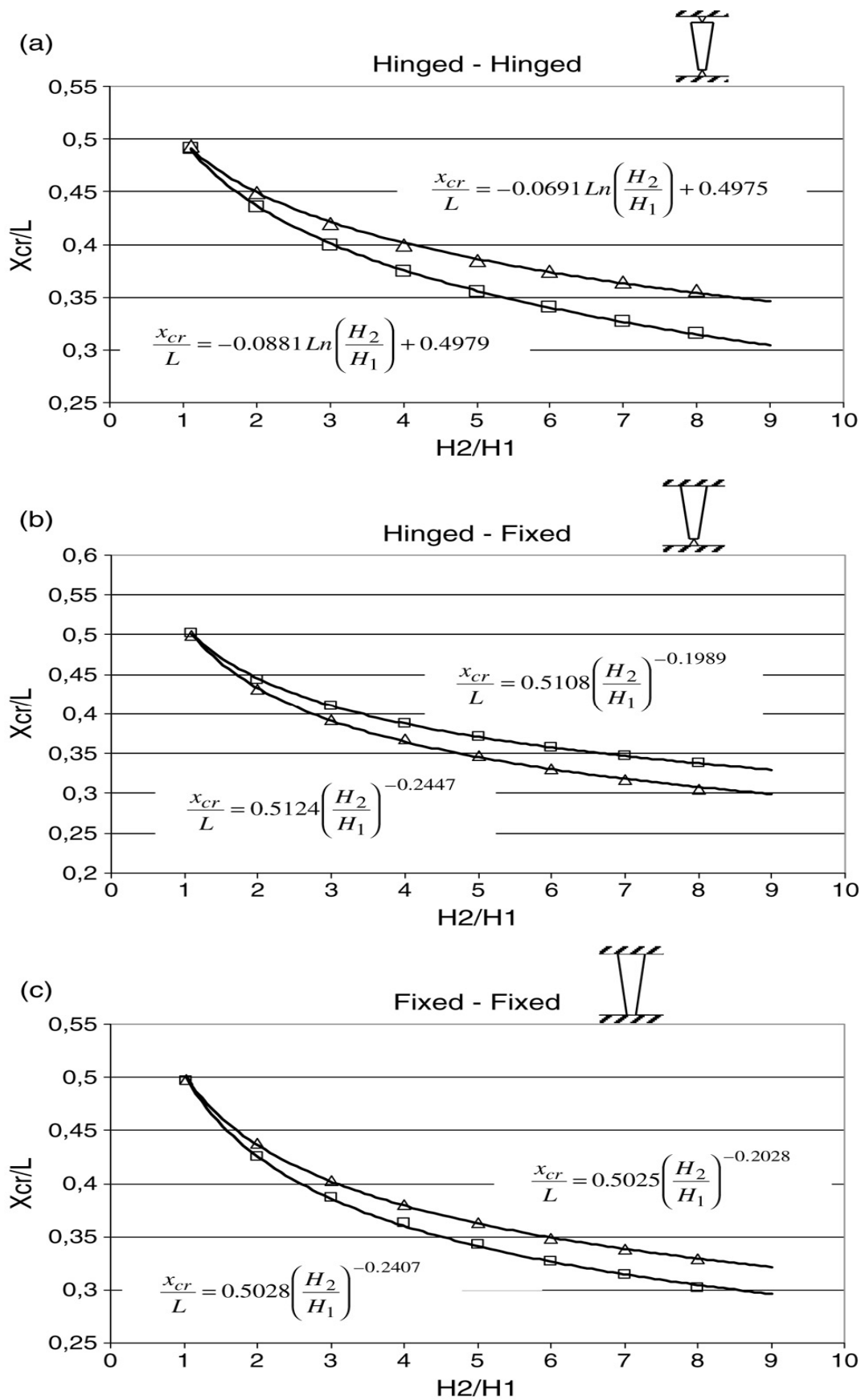
شایان ذکر است نتایج این روش، حاکی از دقت خوب، و انطباق آن با نتایج حل دقیق و تحلیلی کمانش در قاب های ۲ بعدی غیر منشوری اشاره شده در مرجع [۲۶]، می باشد. میزان اختلاف بار بحرانی در روش تقریبی مذکور با آنچه بر اساس روش دقیق تحلیلی بدست می آید، در حدود ۱.۶۴ درصد است. با توجه به سهولت و سرعت این روش، این میزان اختلاف قابل اغماض است. شایان توجه است که، نتایج حاصل از سری گراف های ارائه شده در آیین نامه آمریکا و مرجع [۷]، با آنچه براساس حل دقیق مسئله بدست می آید، دارای اختلاف بیشتری نسبت به روش پیشنهادی مرجع [۲۹] است.

روش ارائه شده مبتنی بر تئوری برنولی- اویلر و روش های مطرح شده در مراجع [۳۰] و [۲۶] براساس تعیین بار بحرانی یک ستون غیر منشوری با تغییرات خطی در ارتفاع جان می باشد (بقیه پارامتر های ابعادی مقطع از جمله  $t_w, t_f, b$  باید ثابت باشند) و به صورت اساسی وابسته به نسبت  $H_2/H_1$  است. در این روش گراف هایی بی بعد جهت معادل سازی بار بحرانی کمانش برای المان های غیر منشوری و قاب های ۲ بعدی با مقاطع I شکل، با المان های منشوری ارائه گشته است، که این امر موجب کاهش بسیار زیاد حجم محاسبات خواهد گردید.

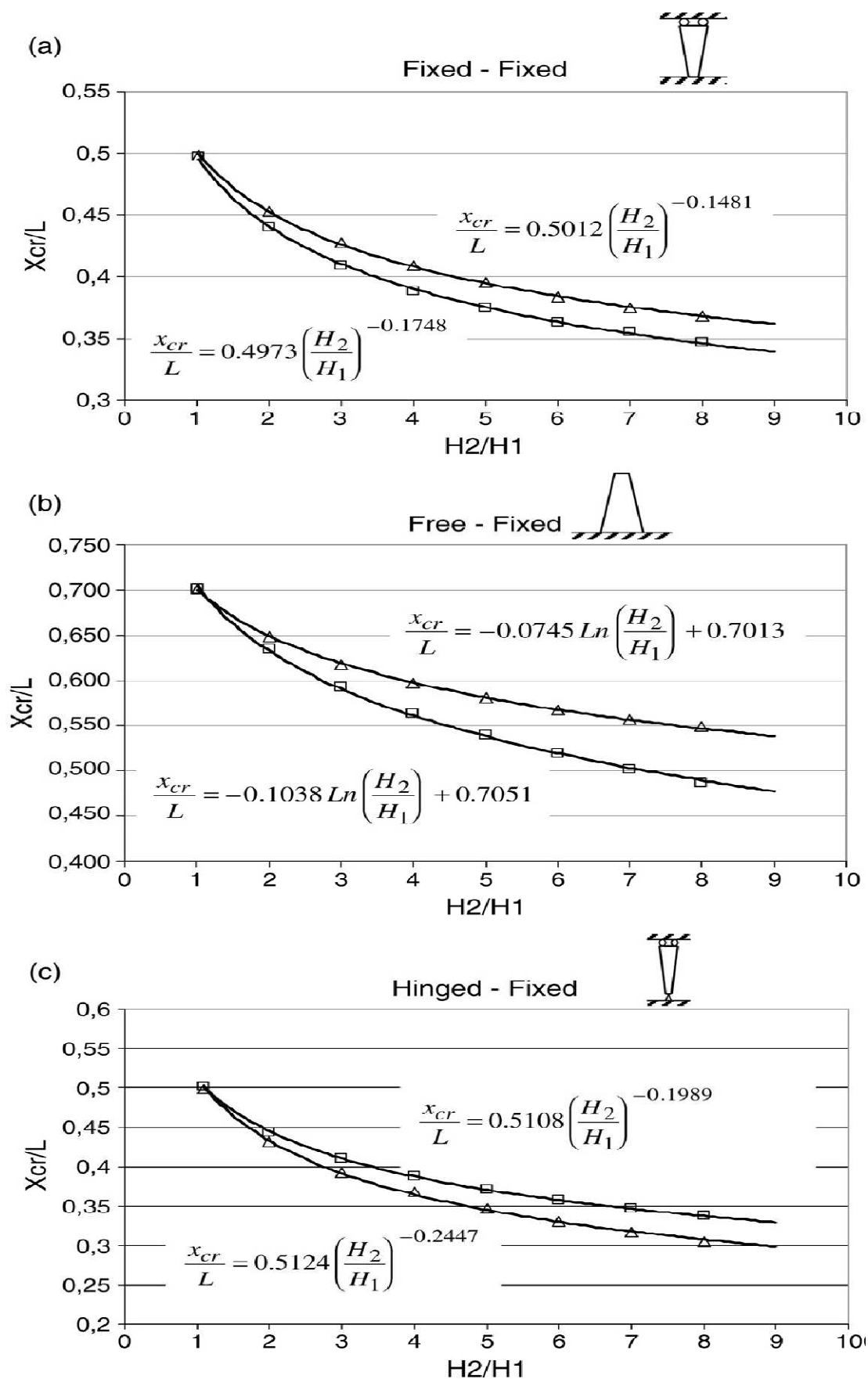


شکل شماره (۳-۱۱) تغییرات سطح مقطع عضو غیر منشوری در طول عضو

بنابراین با بحرانی کماتش توسط روش دقیق مرجع [۲۶] برای نسبت های معین از  $H_2/H_1$  در بازه تغییرات ۱.۱ تا ۸ محاسبه شده است. بر این اساس شش گراف با شرایط مرزی گوناگون که هر کدام در دو حد بالا و پایین محاسبه گشته اند ( اشکال (۳-۱۲) و (۳-۱۳)) با توجه به نسبت تغییر مقطع و شرایط مرزی ارائه شده است [۲۹]:



شکل شماره (۳-۱۲) نمودار بدون بعد اعضای غیر منشوری خطی در حالت بدون حرکت جانبی



شکل شماره (۳-۱۳) نمودار بدون بعد طراحی اعضای غیر منشوری خطی با حرکت جانبی

که از این گراف ها می توان نسبت  $\frac{x_{cr}}{L}$  را محاسبه نمود، آنگاه با قرار دهی مقدار فوق در فرمول زیر مقدار  $H_{cr}$  محاسبه می گردد:

$$\frac{X_{cr}}{L} = \frac{H_{cr} - H_1}{H_2 - H_1} \quad (۱۳ - ۳)$$

$$I_{cr} = \frac{[bH_{cr}^3 - (b - \omega)(H_{cr} - 2t)^3]}{12} \quad (۱۴ - ۳)$$

$$P_{cr} = I_{cr} \frac{\pi^2 E}{[KL]^2} \quad (۱۵ - ۳)$$

$$K_{\gamma} = \sqrt{\frac{E\pi^2 I_{OX}}{P_{cr} \cdot L^2}} \quad (۱۶ - ۳)$$

✓ E مدول الاستیسیته

✓  $H_1$  ارتفاع مقطع جان در قسمت کوچکتر

✓  $H_2$  ارتفاع مقطع جان در قسمت بزرگتر

✓  $H_{CR}$  ارتفاع مقطع بحرانی جان

✓ L طول عضو

✓ b عرض بال

✓  $\omega$  ضخامت جان

✓ t ضخامت بال

✓  $I_{cr}$  ممان اینرسی مقطع بحرانی

✓ K ضریب طول موثر کمانش برای یک عضو منشوری معادل با شرایط مرزی برابر

✓  $I_{cr}$  ممان اینرسی مقطع بحرانی

✓  $I_{OX}$  ممان اینرسی مقطع در قسمت کوچکتر

✓  $K_{\gamma}$  ضریب طول موثر کمانش برای یک عضو غیر منشوری

### ۳-۵-۳ تنش های مجاز خمشی

روش بکار گرفته شده در AISC برای تعیین تنش مجاز خمشی اعضای غیرمنشوری بر این اساس استوار است که تیر دارای مقطع متغیر را با یک تیر منشوری با طولی متفاوت و سطح مقطعی برابر با سطح مقطع انتهای کوچکتر تیر مورد نظر مدل می نماید. این روش منجر به استفاده از ضریب اصلاحی  $h_s$  در طول تیر جهت مقاومت آن نسبت به پیچش و ضریب اصلاحی  $h_w$  جهت مقاومت آن نسبت به خمش جانبی تابیدگی خواهد شد [۲۵]. تنش های کششی و فشاری ناشی از لنگر خمشی در تار های انتهایی عضو خمشی با ضریب تغییر مقطع  $\gamma$  بر حسب کیلو گرم بر سانتی متر مربع نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{by} = B \sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2} \quad F_{by} \leq \frac{F_y}{3} \quad (17-3) \\ F_{by} = \frac{2}{3} \left[ 1 - \frac{F_y}{6B \sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2}} \right] \cdot F_y \leq 0.6F_y \quad F_{by} \geq \frac{F_y}{3} \quad (18-3) \end{array} \right.$$

$$F_{sy} = \left[ \frac{84 * 10^4}{\left( \frac{h_s L_b d_0}{A_f} \right)} \right] \quad (19-3)$$

$$F_{wy} = \left[ \frac{12 * 10^6}{\left( \frac{h_w L_b}{r_{To}} \right)} \right] \quad (20-3)$$

$$h_s = 1 + 0.023\gamma \sqrt{\frac{L_b d_0}{A_f}} \quad (21-3)$$

$$h_w = 1 + 0.00385\gamma \sqrt{\frac{L_b}{r_{To}}} \quad (22-3)$$



✓  $L_b$ : فاصله بین مقاطعی از بال فشاری است که در مقابل پیچش یا حرکت جانبی مهار شده باشند

✓  $A_f$ : مساحت بال فشاری بر حسب سانتی متر مربع

✓  $I_{T0}$ : شعاع ژیراسیون مقطع در انتهای کوچکتر نسبت به محور مار بر جان است، که شامل بال فشاری و یک سوم از مقطع جان تحت فشار می باشد.

✓  $d_0$ : عمق مقطع در انتهای کوچکتر قطعه مهار نشده

✓  $B$ : ضریبی است که اثر تغییرات لنگر را در طول عضو غیر منشوری لحاظ می نماید. مقدار آن مبتنی بر در نظرگیری تاثیر قید های جانبی ناشی از قطعات مجاور است و در تیرهایی که بال آنها در فواصل معین توسط پرلین ها (لاپه ها) در برابر حرکت جانبی مقید می شود، مطرح است. بدلیل پیچیدگی نحوه اعمال این تاثیر و نیز کوچک بودن آن، از در نظر گرفتن این عوامل در مقدار  $B$  صرف نظر شده است (جهت بررسی این عوامل می توان به مرجع [۳۱] مراجعه نمود). به هر حال باید توجه داشت در تیرهایی که توسط قیود جانبی به چندین قطعه تقسیم می شوند، برآورد تنش مجاز خمشی برای هر قطعه به طور جداگانه صورت می پذیرد.

در اکثر مراجع جهت محاسبه  $B$ ، زمانی که تنش خمشی در انتهای کوچکتر عضو و یا انتهای کوچکتر قطعه مورد نظر از عضو مربوطه صفر باشد،  $B$  از رابطه  $\epsilon$  زیر بدست می آید:

$$B = \frac{1.75}{1+0.25\sqrt{\gamma}} \quad (3-23)$$

در رابطه فوق ضریب  $\gamma$  برای طول مهار نشده ی مجاور قطعه ای که تنش خمشی در آن صفر است محاسبه می شود. در غیر این صورت مقدار  $B$  برابر یک قرار خواهد گرفت.

### ۳-۵-۴ تنش مجاز برشی

حداکثر تنش مجاز برشی بر روی سطح مقطع موثر برای تحمل برش، یعنی جان مقطع، برابر  $0.4 F_y$  می باشد که مقدار آن بسته به فاصله و شکل سخت کننده های جان می تواند کاهش یابد. در اینجا فرض بر آن است که تنش مجاز برشی  $F_v$  همیشه برابر  $0.4F_y$  است و فاصله و شکل سخت کننده ها با توجه به همین مقدار پیدا می شود. البته گفتنی است که عملاً قیدهای مربوط به نیروی برشی در حل مسئله چندان بحرانی نیستند، با این همه فرض فوق در نظر گرفته شده است. عدم وجود پارامتر  $\gamma$  در نماد تنش مجاز برشی بیان گر این نکته است که متغیر بودن ارتفاع جان تاثیری در بر آورد مقدار آن ندارد.

$$G \equiv \frac{f_v}{F_v} - 1 \leq 0.0 \quad (24-3)$$

$$f_v = \frac{V}{ht_w} \quad (25-3)$$

$$F_v = 0.4 F_y \quad \frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}} \quad (26-3)$$

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} (C_v) \leq 0.4 F_y \quad \frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}} \quad (27-3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_v = \frac{315 \cdot 10^4 k_v}{F_y \left(\frac{h}{t_w}\right)^2} \\ c_v \leq 0.8 \end{array} \right. \quad (28-3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_v = \frac{1600}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} \\ c_v \geq 0.8 \end{array} \right. \quad (29-3)$$

$K_v$  نیز به کمک یکی از روابط زیر بسته به مقدار  $(a/h)$  به دست می آید:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_v = 4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \left(\frac{a}{h} < 1\right) \\ k_v = 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad \left(\frac{a}{h} \geq 1\right) \end{array} \right. \quad (30-3)$$

در روابط فوق:

✓  $f_v$ : تنش برشی در مقطع مورد نظر

✓  $t_w$ : ضخامت جان بر حسب cm

✓  $a$ : فاصله خالص بین قطعات تقویتی جان (در امتداد طول تیر) بر حسب cm

✓  $h$ : ارتفاع آزاد جان (فاصله بین بال های مقطع) بر حسب cm

### ۳-۵-۵ اندرکنش نیروی فشاری و خمشی

اعضای دارای مقطع متغیر در قاب های صنعتی معمولاً به طور همزمان تحت تاثیر نیروی محوری و لنگر خمشی قرار می گیرند. بر این اساس، برای اندرکنش نیروی فشاری و خمشی، که در اعضای تیر و ستون مطرح است، دو رابطه زیر در هر مقطع عضو باید کنترل شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_1 = \left[ \frac{f_{ao}}{F_{ay}} \right] + \frac{C_m}{\left( 1 - \frac{f_{ao}}{F_{ey}} \right)} \left[ \frac{f_{bl}}{F_{by}} \right] - 1 \leq 0 \quad (31-3) \\ G_2 = \left[ \frac{f_a}{0.6F_y} \right] + \left[ \frac{f_b}{F_{by}} \right] - 1 \leq 0.0 \quad (32-3) \end{array} \right.$$

در صورتی که  $0.15 \geq \frac{f_{ao}}{F_{ay}}$  باشد، می توانیم به جای دو رابطه فوق تنها رابطه زیر را کنترل نماییم:

$$G_3 = \left[ \frac{f_{ao}}{F_{ay}} \right] + \left[ \frac{f_{bl}}{F_{by}} \right] - 1 \leq 0.0 \quad (33-3)$$

✓ در روابط فوق  $F_{ey}$  تنش اویلر با احتساب یک ضریب اطمینان بر مبنای طول موثر عضو

غیرمنشوری در صفحه خمش مربوطه است، و عبارت است از:

$$F_{ey} = \frac{12\pi^2 E}{23 \left( \frac{k_y L_b}{r_{bo}} \right)^2} \quad (34-3)$$

✓  $f_{ao}$  = تنش فشاری در انتهای کوچکتر عضو و یا انتهای کوچکتر قطعه مهار نشده بر حسب

مورد هر کدام که صادق باشد، بر حسب کیلو گرم بر سانتی متر مربع.

✓  $f_{bl}$  = تنش خمشی در انتهای بزرگتر عضو و یا انتهای بزرگتر قطعه مهار نشده بر حسب مورد

هر کدام که صادق باشد، بر حسب کیلو گرم بر سانتی متر مربع.

✓  $F_{ay}$  = تنش فشاری مجاز وقتی که عضو تحت اثر لنگر خمشی نباشد، بر حسب کیلو گرم بر

سانتی متر مربع.

✓  $F_{by}$  = تنش خمشی مجاز وقتی که عضو تحت اثر نیروی محوری نباشد، بر حسب کیلو گرم

بر سانتی متر مربع.

✓  $\Gamma_{bo}$  = شعاع ژیراسیون در انتهای کوچک.

✓  $C_m$  = ضریبی است که بنا به شرایط زیر محاسبه می شود:

۱. در صورتی که عضو در دو انتها خود تحت لنگرهایی قرار داشته باشد که انحنای یک

طرفه ایجاد نمایند و تنش های خمشی در دو انتهای آن تقریباً مساوی باشند،

خواهیم داشت:

$$C_m = 1 + 0.1 \left[ \frac{f_{ao}}{f_{ey}} \right] + 0.3 \left[ \frac{f_{ao}}{f_{ey}} \right]^2 \quad (3-35)$$

۲. و در صورتی که تنش خمشی در انتهای کوچکتر عضو صفر باشد، داریم:

$$C_m = 1 - 0.9 \left[ \frac{f_{ao}}{f_{ey}} \right] + 0.6 \left[ \frac{f_{ao}}{f_{ey}} \right]^2 \quad (3-36)$$

❖ دقت شود در حالتی که  $(kl/r) \geq Cc$  باشد و ترکیب تنش ها در فواصل کوچک در طول عضو

کنترل شود، می توان در روابط بالا به جای  $f_{ao}$  و  $f_{bl}$  از  $f_a$  و  $f_b$  استفاده نمود.

### ۳-۵-۶ قید های مربوط به ابعاد عضو

آیین نامه برای تامین پایداری مقطع، محدودیت هایی را برای نسبت های عرض به ضخامت در جان و بال در نظر گرفته است. این محدودیت ها با فرض اینکه عضو شرایط غیر فشرده بودن را ارضاء نماید، می توانند با قید های زیر بیان شوند:

$$G_1 \equiv \frac{b_f \sqrt{F_y}}{2t_f 795} - 1 \leq 0 \quad (37-3)$$

$$G_2 \equiv \frac{h_{max} \sqrt{F_y}}{t_w 6370} - 1 \leq 0 \quad (38-3)$$

$G_1$  = کنترل کمانش موضعی بال فشاری

$G_2$  = کنترل کمانش خمشی جان

و در آن  $h_{max}$  ارتفاع جان در انتهای بزرگتر مقطع است.

همچنین طبق تصریح آیین نامه، روابط مرتبط با تنش های مجاز در صورتی در یک عضو غیرمنشوری صادق است که، مقدار ضریب تغییر مقطع  $\gamma$  محدود به کوچکترین دو مقدار ۶ و یا  $0.268 \frac{L}{d_0}$  باشد. از این رو قید  $G_3$  به شکل زیر باید در نظر گرفته شود:

$$G_3 \equiv \frac{\gamma}{\min(6.0 | 0.268 \frac{L}{d_0})} - 1 \leq 0 \quad (39-3)$$

و همچنین برای کنترل کمانش عمودی جان خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{ll} G_4 = \frac{h}{t_w} \cdot \frac{F_y(F_y+1160)}{985 \cdot 10^3} - 1 \leq 0 & (40-3) \quad \text{فاصله قطعات سخت کننده جان بیش از ۱.۵ متر} \\ G_4 = \frac{h}{t_w} \cdot \frac{\sqrt{F_y}}{16770} - 1 \leq 0 & (41-3) \quad \text{فاصله قطعات سخت کننده جان کمتر از ۱.۵ متر} \end{array} \right.$$

## فصل چهارم:

فرضیات و راه‌نمای اجرایی برنامه بهینه‌سازی

#### ۴-۱ پیشگفتار

بر اساس فرمول بندی های معرفی شده در فصول دوم و سوم، برنامه ای کامپیوتری به زبان Visual Basic 6.0.8 به منظور طراحی بهینه قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی تدوین شده است. جهت استفاده از این برنامه کاربر باید اطلاعات لازم جهت معرفی طرح مورد نظر خود را به برنامه وارد نماید. برنامه بر اساس الگوریتم ژنتیک شروع به ساخت طرح های اولیه از سازه و به تبع آن تحلیل و طراحی آنها (با توجه به معیارهای معرفی شده در فصول گذشته) و نتیجتاً برازش آنها می نماید. در نهایت الگوریتم با تکرار مراحل فوق به بهینه سازی سازه در طی نسل های متوالی می پردازد. درحالت کلی هریک از اعضای قاب دارای پنج پارامتر طراحی است و هدف گذاری برنامه بر این اساس بوده است که، خروجی های برنامه تا حد امکان، منطبق با شرایط اجرایی، مقاطع ورق های موجود در بازار و محدودیت های حمل و نقل باشند.

شایان ذکر است، تئوری کنترل مقاطع در اعضای منشوری بر اساس رخداد تنش ماکزیمم در محل اثر نیروهای ماکزیمم است. ولیکن در مقاطع غیر منشوری، با توجه به تغییر ممان اینرسی مقطع در طول

عضو، محل تنش ماکزیمم با تغییر مقطع عضو تغییر خواهد کرد. به صورت ایده آل قیدهای تنش باید در تمام نقاط یک عضو غیر منشوری کنترل گردد، اما در قاب های شیبدار غیرمنشوری فولادی قیدهای تنش در نقاط انتهایی اعضا بحرانی هستند [۷]. در نتیجه این قیود تنها در نقاط انتهایی و ابتدایی ستون ها و تیر ها و در صورت نیاز در یک نقطهء میانی در تیر ها کنترل می گردند. هرچند برای اطمینان بیشتر و بررسی نتایج، می توان در صورت صلاحدید کاربر این اعضا به تعداد بیشتری نیز تقسیم گردند (این عمل موجب افزایش زمان اجرای برنامه خواهد گردید)؛ در تحقیقات انجام گرفته در مرجع [۷] نشان داده شده است که با فرایند فوق الذکر، قیدهای تنش در تمام طول عضو ارضاء خواهند شد.

#### ۴-۲ فرضیات و ورودی های برنامه

در این تحقیق سعی بر کاربرپسند<sup>۱</sup> بودن برنامه، شده است. به همین سبب تلاش بر آن بوده است که تا حد امکان، ورودی های مورد نیاز از طرف کاربران به حداقل برسد، و این امر در نهایت تساهل و روانی برای کاربرانی که برای بار اول با برنامه برخورد می نمایند طراحی گردد. در یک نگاه کلی ورودی های مورد نیاز در این برنامه که توسط کاربران باید تعریف شوند، عبارت اند از:

۱. مشخصات هندسی گره های سازه
۲. مشخصات مصالح مصرفی
۳. گسترهی مقاطع مجاز برنامه
۴. مقدار بار گسترده بر روی اعضا
۵. پارامتر های بهینه سازی در الگوریتم ژنتیک

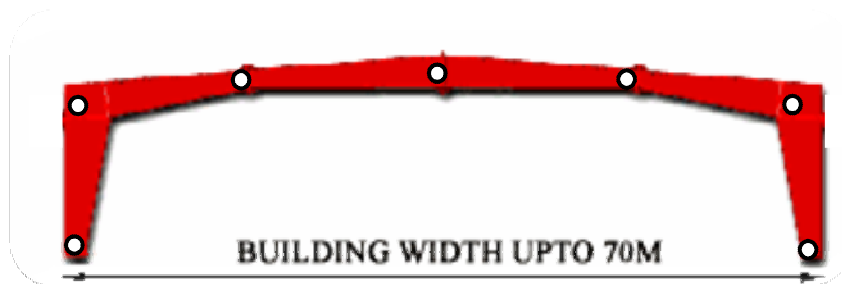
---

<sup>۱</sup>. User freindly



## ۴-۲-۱ مشخصات هندسی گره های سازه

کاربر باید مشخصات هندسی تمامی گره های سازه را برای برنامه تعریف نماید. گره ها می تواند براساس صلاحدید و نیاز کاربران، تنها در نقاط تقاطع تیرها و ستون ها و یا در نقاط تقاطع و میانی اعضا در نظر گرفته شوند. بر اساس روش تحلیلی ارائه شده در فصل سوم، برنامه به صورت خودکار هر یک از اعضا را به ده قسمت تقسیم می نماید (تعداد تقسیمات اعضا قابلیت تغییر را نیز دارد) و به تحلیل سازه می پردازد. خاطر نشان می سازد، با توجه عدم وجود تغییر مقطع غیر متعارف در اینگونه از سازه ها و همچنین قرابت نتایج تحلیل سازه در تعداد تقسیمات ده و یازده بخشی اعضا، بخش بندی ۱۰ قسمتی مناسب به نظر می رسد. شایان ذکر است در این تحقیق پس از مدل سازی قاب با انواع مختلف آرایش های گره‌ی، قاب شیبدار غیرمنشوری فولادی با آرایشی همانند شکل شکل شماره (۴-۱)، به عنوان طرح توپولوژی<sup>۱</sup> مناسب انتخاب شده است.



شکل شماره (۴-۱) نمایی از ساختار مورد نظر قاب شیبدار غیر منشوری در این تحقیق

<sup>۱</sup>. Topology

کاربران باید همبندی اعضای سازه را نیز تعیین نمایند، بدین معنی که کاربر باید معین نماید کدامین گره های سازه توسط کدام عضو، با یکدیگر مرتبط می باشند. همچنین کاربران باید نوع اتصالات اعضا به یکدیگر ( اعم از گیردار یا مفصلی) و نوع اتصالات تکیه گاه های سازه را، با توجه به جابجایی ها و دوران های مقید شده در آن تکیه گاه معین نماید.

#### ۲-۲-۴ خصوصیات مصالح مصرفی

جهت معرفی مصالح مصرفی در طرح مورد نظر، نیاز است کاربران خصوصیات فیزیکی مصالح بکار رفته، از جمله مدول الاستیسیته<sup>۱</sup> و چگالی را به برنامه وارد نمایند. همچنین تنش حد جاری شدن فولاد، به علت استفاده از فولاد ST37 در اکثر سازه های معمول و پروژه های اجرایی، به صورت پیش فرض، برابر  $2.4 * 10^3 \frac{kg}{cm^2}$  در برنامه در نظر گرفته شده است (هرچند در صورت استفاده از انواع فولاد های دیگر، مقدار فوق قابلیت تغییر را دارا است).

#### ۳-۲-۴ گستره ی مقاطع مجاز برنامه

لیستی از مقاطع به صورت پیش فرض به برنامه معرفی شده است. هرچند کاربران می توانند به صورت دلخواه تمام یا تعدادی از مقاطع پیش فرض برنامه را حذف نمایند و یا در صورت ورود مقطع جدید به بازار و یا در صورت انجام یک پروژه به صرف تحقیقاتی لیست های جدیدی از مقاطع را به برنامه وارد نمایند. اما همان طور که پیش تر اشاره شد، در این برنامه سعی شده است تا حد امکان جواب های برنامه منطبق بر محدودیت های بازار، ساخت و اجرا بنا نهاده شود، به همین منظور لیستی از ابعاد ورق موجود و معمول در بازار به صورت پیش فرض به برنامه داده شده است.

---

<sup>۱</sup> . Elasticity

پارامترهای ابعادی مقطع هر یک از اعضا در حین فرایند بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک بهینه خواهند شد. این پارامترها در ترکیبات متفاوت و متعدد برای تمامی اعضای سازه در نظر گرفته می شوند. در نهایت پس از اغنای شروط خاتمه الگوریتم (که در این برنامه تعداد نسل های معرفی شده توسط کاربر است)، ترکیبی از این پارامتر های ابعادی که بیشترین انطباق را با تابع هدف دارد تعیین گردد. به بیان دیگر ترکیبی از ابعاد مقاطع که کمترین وزن سازه ای را تولید می نماید و در عین حال هیچ کدام از قیود تنش و جابجایی مسئله را نقض نمی نماید، به عنوان ترکیب بهینه به کاربر معرفی می گردد. پارامتر های ابعادی اعضا به پنج دسته ذیل تقسیم می شوند:

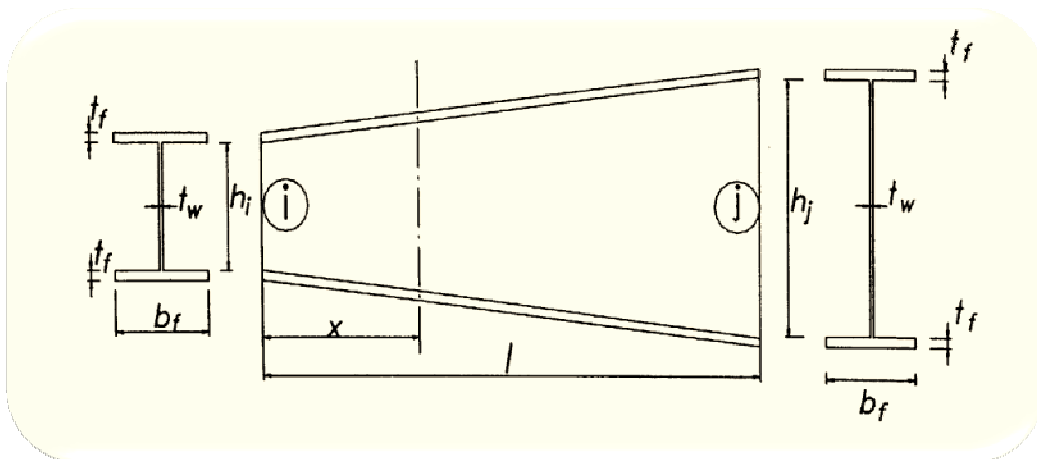
۱. ارتفاع جان در لبه کوچکتر عضو  $H_i$

۲. ارتفاع جان در لبه بزرگ تر عضو  $H_j$

۳. عرض بال مقطع  $b_f$

۴. ضخامت بال مقطع  $t_f$

۵. ضخامت جان مقطع  $t_w$



شکل شماره (۲-۴) مشخصات ابعادی اعضا را نشان می دهد

## ۴-۲-۴ مقادیر بار گسترده بر روی اعضا و ترکیبات بار

بارگذاری صورت پذیرفته در این تحقیق بر پایه ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران، [۳۲] استوار است. بر این اساس نیرو های پیش بینی شده در برنامه عبارت اند از:

- بار زنده ( بار برف)
- بار مرده
- بار باد

شایان ذکر است به صورت کلی بر اساس آیین نامه، در ساختمان های صنعتی در نظر گرفتن اثرات همزمان نیرو های ناشی از باد و زلزله ضروری نیست. از سویی دیگر تجربیات گذشته نشان داده است که در سازه های صنعتی، اثرات نیرو های ناشی از زلزله بحرانی نبوده و غالباً نیرو های ناشی از وزش باد ( به علت وجود سطوح باد گیر بسیار بزرگ بر روی آنها) تعیین کننده خواهد بود. لذا در این تحقیق از پرداختن به اثرات ناشی از نیروی زلزله بر روی قاب های صنعتی صرف نظر گردیده است، و نیروی جانبی حاکم، نیروی باد قرار داده شده است.

کاربر موظف است، نیرو های مذکور وارده بر سازه را، بر اساس مبحث ششم آیین نامه محاسبه نماید و سپس مقادیر این بارهای گسترده را بر حسب  $\frac{kg}{cm}$  برای هر یک از بارهای باد ( نیروی باد در حالت فشار با مقادیر مثبت و در حالت اعمال کشش به عضو با علامت منفی)، برف و ثقل به برنامه وارد نماید.

لازم به ذکر است هریک از اجزای سازه باید بر اساس ترکیب بارهایی که بیشترین اثر را در آن عضو ایجاد می نماید، طراحی گردند. لذا بر اساس آیین نامه ترکیبات بار ذیل نیز در برنامه به صورت پیش فرض لحاظ گردیده است:

1. D+S	(۱-۴)
2. $.75 (D \pm W)$	(۲-۴)
3. $0.75 (D+S \pm 0.5W)$	(۳-۴)
4. $0.75 (D+0.5S \pm W)$	(۴-۴)

که در آن:

➤ D : بار مرده

➤ L: بار زنده

➤ S: بار برف

➤ W: بار باد

#### ۴-۲-۵ پارامتر های بهینه سازی

فرایند بهینه سازی صورت پذیرفته در این پایان نامه بر اساس روش جزیره ای ارائه شده، در مرجع [۸] می باشد. بر اساس این روش، به جای حل و اجرای چند باره الگوریتم ژنتیک ساده جهت دستیابی به بهینه مطلق ( که خود نقیصه ای بزرگ برای این الگوریتم های محسوب می شود)، اجرای برنامه فقط برای یک بار و در چند حالت مختلف با مقادیر پارامتر های متفاوت، و روش های متنوع انتخاب و تکنیک بهینه سازی انجام می پذیرد. به صورت فرضی هر یک از حالات را به عنوان یک جزیره جدا در نظر می گیریم، که به صورت مستقل عمل می نماید. سپس در پایان هر نسل، کروموزوم های بهینه در هر جزیره، بسته به میزان صلاحدید کاربر، جهت مهاجرت به جزایر دیگر منتخب می گردند. در این روش جمعیت GA بطور مساوی بین چهار جزیره تقسیم می شود. لازم به ذکر است در صورتیکه جمعیت کلی مضربی از چهار نباشد، سهم هر جزیره با تقسیم تعداد اعضای جمعیت بر عدد چهار و گزینش قسمت صحیح حاصل تقسیم بدست می آید.

پس از توزیع جمعیت بین جزایر، هر جزیره بر اساس اسلوب پیشنهادی، فرآیند پرورش کروموزوم ها را سرلوحه کار خود قرار می دهد. شیوه هر جزیره با جزایر دیگر اندکی متفاوت است. انتخاب هر یک از متد های موجود در جزایر، بر اساس آزمودن کلیه روش ها و عملگرهای دنیای GA صورت گرفته است [۸].

اطلاعاتی همچون تعداد اعضای جمعیت، مقدار ثابت  $K$  برای تابع هدف اصلاح شده و میزان تکرار<sup>۱</sup> و نسل سازی به عنوان ورودی های عمومی<sup>۲</sup> GA توسط کاربر اعلام می گردند. نرخ مهاجرت و وقفه مهاجرت نیز از جمله اطلاعاتی می باشند که می بایست توسط کاربر اعلام گردد. شایان ذکر است، این اطلاعات مختص الگوریتم جستجوی چند منظوره (M.S.A)<sup>۳</sup> می باشند. باید توجه داشت که نرخ مهاجرت عددی در محدوده صفر تا صد (برحسب درصد) است. بعد از معرفی اطلاعات عمومی الگوریتم کاربر موظف است اطلاعات مربوط به هر یک از جزایر را معرفی نماید.

در نهایت زمانی که شرط خاتمه الگوریتم اغناء شود یعنی تعداد نسل های تولید شده برابر تعداد کل نسل های معرفی شده توسط کاربر گردد، الگوریتم جستجوی چند منظوره (M.S.A) بهترین کروموزوم نسل حاضر ( آخرین نسل ) را به عنوان طرح بهینه معرفی خواهد نمود. شرح تفصیلی جزایره موردنظر، در جداول (۴-۱) تا (۴-۴) به شرح ذیل آمده است.

---

<sup>۱</sup> . Iteration

<sup>۲</sup> . Public

<sup>۳</sup> . Multi Search Algorithm

جدول شماره (۴-۱) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۱)

فرایند	توضیحات
تولید مثل	انتخاب والدین براساس روش رقابتی با مرتبه (۳) جهت تشکیل استخر تولید مثل صورت می گیرد، مرتبه رقابت (سایز جمعیت رقابتی) قابل تغییر می باشد و می توان متناسب با شرایط مسئله آن را تغییر داد.
عملگر پیوند	انتخاب والدین بر اساس نرخ پیوند معرفی شده توسط کاربر انجام می پذیرد و همچنین در هم آمیختگی والدین بر اساس الگوی پیوند دونقطه ایی صورت می گیرد.
عملگر جهش	ایجاد تحول در جمعیت فرزندان با استفاده از عملگر جهش با نرخ ثابت که توسط کاربر معرفی می گردد، صورت می پذیرد.
وقفه مهاجرت	پس از اعمال عملگرهای مختلف GA و تولید فرزندان ، روش جستجوی چند منظوره تعداد نسل های جزیره (۱) را کنترل می نماید. در صورتیکه این مقدار کوچکتر از میزان وقفه مهاجرت باشد ، روند بهینه یابی از طریق جزیره (۱) تا اغنای شرط فوق ادامه می یابد. در غیر این صورت عملیات بهینه یابی در جزیره (۱) متوقف و اعضای نسل حاضر بر اساس شایستگی و برازش، مرتب می شوند.
عمل مهاجرت	در این مرحله با انتخاب مقصد مهاجرت بصورت تصادفی، بهترین های جزیره (۱) به میزان نرخ مهاجرت اقدام به مهاجرت می نمایند. پس از مهاجرت جمعیت جدید از جزیره دیگری با مقصد جزیره (۱) وارد این جزیره می شوند و بدین ترتیب نسل جدید در این جزیره شکل می گیرد.
جمعیت جامع و نهایی	در نهایت امر نسل نهایی جزیره (۱) در گروه جمعیت کل جای می گیرند. باید توجه داشت که در این مرحله موقعیت زیرجمعیت جزیره (۱) در جمعیت کلی ثابت و معلوم می باشد. این موضوع سبب می شود تا در تکرار بعدی الگوریتم جستجوی چند منظوره ، زیر جمعیت جزیره (۱) به جزیره خویش برگردد.

جدول شماره (۴-۲) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۲)

فرایند	توضیحات
تولید مثل	انتخاب والدین براساس روش رقابتی با مرتبه (۲) جهت تشکیل استخر تولید مثل صورت می گیرد، مرتبه رقابت (سایز جمعیت رقابتی) قابل تغییر می باشد و می توان متناسب با شرایط مسئله آن را تغییر داد.
عملگر پیوند	انتخاب والدین بر اساس نرخ پیوند معرفی شده توسط کاربر انجام می پذیرد و همچنین در هم آمیختگی والدین بر اساس الگوی پیوند یکنواخت صورت می گیرد.
عملگر جهش	ایجاد تحول در جمعیت فرزندان با استفاده از عملگر جهش با نرخ نزولی که توسط کاربر معرفی می گردد، صورت می پذیرد
وقفه مهاجرت	پس از اعمال عملگرهای مختلف GA و تولید فرزندان، روش جستجوی چند منظوره تعداد نسل های جزیره (۲) را کنترل می نماید. در صورتیکه این مقدار کوچکتر از میزان وقفه مهاجرت باشد، روند بهینه یابی از طریق جزیره (۲) تا اغنای شرط فوق ادامه می یابد. در غیر این صورت عملیات بهینه یابی در جزیره (۲) متوقف و اعضای نسل حاضر بر اساس شایستگی و برازش، مرتب می شوند.
عمل مهاجرت	در این مرحله با انتخاب مقصد مهاجرت بصورت تصادفی، بهترین های جزیره (۲) به میزان نرخ مهاجرت اقدام به مهاجرت می نمایند. پس از مهاجرت جمعیت جدید از جزیره دیگری با مقصد جزیره (۲) وارد این جزیره می شوند و بدین ترتیب نسل جدید در این جزیره شکل می گیرد.
جمعیت جامع و نهایی	در نهایت امر نسل نهایی جزیره (۲) در گروه جمعیت کل جای می گیرند. باید توجه داشت که در این مرحله موقعیت زیرجمعیت جزیره (۲) در جمعیت کلی ثابت و معلوم می باشد. این موضوع سبب می شود تا در تکرار بعدی الگوریتم جستجوی چند منظوره ، زیر جمعیت جزیره (۲) به جزیره خویش برگردد.



جدول شماره (۴-۳) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۳)

فرایند	توضیحات
تولید مثل	انتخاب والدین براساس روش چرخ گردان) جهت تشکیل استخر تولید مثل صورت می گیرد.
عملگر پیوند و معکوس سازی	از میان عملگرهای GA عملگر پیوند تک نقطه ایی و معکوس سازی ، به عنوان اولین عملگر مؤثر بر زیرجمعیت جزیره (۳) استفاده شده است. بنابراین در گام ابتدایی، والدین بر اساس نرخ پیوند تک نقطه ایی و معکوس سازی که کاربر معرفی نموده است، از میان استخر تولید مثل انتخاب می شوند ؛ سپس ، والدین بر اساس الگوی پیوند و معکوس سازی در هم آمیخته و با تولید فرزندان ، نسل جدیدی را ایجاد می نمایند.
عملگر جهش	ایجاد تحول در جمعیت فرزندان با استفاده از عملگر جهش با نرخ نزولی که توسط کاربر معرفی می گردد، صورت می پذیرد
وقفه مهاجرت	پس از اعمال عملگرهای مختلف GA و تولید فرزندان، روش جستجوی چند منظوره تعداد نسل های جزیره (۳) را کنترل می نماید. در صورتیکه این مقدار کوچکتر از میزان وقفه مهاجرت باشد، روند بهینه یابی از طریق جزیره (۳) تا اغنای شرط فوق ادامه می یابد. در غیر این صورت عملیات بهینه یابی در جزیره (۳) متوقف و اعضای نسل حاضر بر اساس شایستگی و برازش، مرتب می شوند.
عمل مهاجرت	در این مرحله با انتخاب مقصد مهاجرت بصورت تصادفی، بهترین های جزیره (۳) به میزان نرخ مهاجرت اقدام به مهاجرت می نمایند. پس از مهاجرت جمعیت جدید از جزیره دیگری با مقصد جزیره (۳) وارد این جزیره می شوند و بدین ترتیب نسل جدید در این جزیره شکل می گیرد.
جمعیت جامع و نهایی	در نهایت نسل نهایی جزیره (۳) در گروه جمعیت کل جای می گیرند. باید توجه داشت که در این مرحله موقعیت زیرجمعیت جزیره (۳) در جمعیت کلی معلوم می باشد. این موضوع سبب می شود تا در تکرار بعدی الگوریتم جستجوی چند منظوره ، زیر جمعیت جزیره (۳) به جزیره خویش برگردد.

جدول شماره (۴-۴) اطلاعات و پارامتر های مورد استفاده در جزیره (۴)

فرایند	توضیحات
تولید مثل	انتخاب والدین براساس روش رتبه بندی جهت تشکیل استخر تولید مثل صورت می گیرد.
عملگر پیوند و معکوس سازی	از میان عملگرهای GA عملگر پیوند تک نقطه ایی و معکوس سازی ، به عنوان اولین عملگر مؤثر بر زیرجمعیت جزیره (۴) استفاده شده است. بنابراین در گام ابتدایی ، والدین بر اساس نرخ پیوند دو نقطه ایی و معکوس سازی که کاربر معرفی نموده است، از میان استخر تولید مثل انتخاب می شوند ؛ سپس ، والدین بر اساس الگوی پیوند و معکوس سازی در هم آمیخته و با تولید فرزندان ، نسل جدیدی را ایجاد می نمایند.
عملگر جهش	ایجاد تحول در جمعیت فرزندان با استفاده از عملگر جهش با نرخ صعودی که توسط کاربر معرفی می گردد، صورت می پذیرد.
وقفه مهاجرت	پس از اعمال عملگرهای مختلف GA و تولید فرزندان، روش جستجوی چند منظوره تعداد نسل های جزیره (۴) را کنترل می نماید. در صورتیکه این مقدار کوچکتر از میزان وقفه مهاجرت باشد، روند بهینه یابی از طریق جزیره (۴) تا اغنای شرط فوق ادامه می یابد. در غیر این صورت عملیات بهینه یابی در جزیره (۴) متوقف و اعضای نسل حاضر بر اساس شایستگی و برازش، مرتب می شوند.
عمل مهاجرت	در این مرحله با انتخاب مقصد مهاجرت بصورت تصادفی، بهترین های جزیره (۴) به میزان نرخ مهاجرت اقدام به مهاجرت می نمایند. پس از مهاجرت جمعیت جدید از جزیره دیگری با مقصد جزیره (۴) وارد این جزیره می شوند و بدین ترتیب نسل جدید در این جزیره شکل می گیرد.
جمعیت جامع و نهایی	در نهایت نسل نهایی جزیره (۴) در گروه جمعیت کل جای می گیرند. باید توجه داشت که در این مرحله موقعیت زیرجمعیت جزیره (۴) در جمعیت کلی معلوم می باشد. این موضوع سبب می شود تا در تکرار بعدی الگوریتم جستجوی چند منظوره ، زیر جمعیت جزیره (۴) به جزیره خویش برگردد.

# فصل پنجم:

صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه

## ۵-۱ پیشگفتار

جهت صحت سنجی<sup>۱</sup> و ارزش سنجی<sup>۲</sup> برنامه ارائه شده در این پایان نامه، نیاز به بررسی دقت نتایج مقادیر نیرو های بدست آمده از تحلیل سازه، و همچنین مقایسه نتایج بهینه یابی ابعادی سازه مورد نظر می باشد. بدین منظور جهت صحت سنجی نتایج تحلیل سازه، مقادیر نیرو های بدست آمده توسط برنامه با مرجع [۳۳] و همچنین مدل ساخته شده در برنامه SAP2000 مقایسه شده است. برای ارزیابی کارایی الگوریتم ژنتیک و ارزش سنجی نتایج روش بهینه سازی حاضر، طرح بهینه یک تیر کنسول غیر منشوری مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین نتایج ابعادی مقاطع مورد نیاز برای سه قاب غیرمنشوری، با مرجع شماره [۷] که به بهینه سازی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم SQP پرداخته است، مقایسه شده است.

---

<sup>۱</sup>. Accuracy of data

<sup>۲</sup>. Avail assay

## ۵-۲ صحت سنجی نتایج تحلیل سازه

از آنجا که یکی از مهم ترین ورودی های الگوریتم ژنتیک برای بهینه یابی سازه ها، نیرو های درونی اعضا است و از سویی دیگر صحت روش ماتریسی ارائه شده در فصل سوم مورد بحث می باشد. لذا تعیین دقیق نیرو های درونی اعضا و جابجایی های گرهی سازه، جهت دستیابی به مقطع بهینه، بسیار مهم می باشد. به بیان دیگر می توان ادعان نمود، عدم دقت کافی در نتایج تحلیل به نوعی عملکرد الگوریتم ژنتیک را بی ثمر و یا کم اثر خواهد نمود.

جهت صحت سنجی ماتریس سختی عضو غیر منشوری ارائه شده در فصل ۳، و تعیین میزان اختلاف نتایج برنامه با نتایج مدل سازی سازه در نرم افزار SAP2000 و همچنین روش دقیق توزیع لنگر ارائه شده در مرجع [۳۳] (که به تحلیل اعضای غیر منشوری I شکل با بال شیبدار پرداخته است) به شرح ۲ مثال ذیل می پردازیم.

## ۵-۲-۱ شرح مثال اول تحلیل سازه

این آزمون بر اساس مثال حل شده در مرجع [۳۳] می باشد. ابتدا نتایج روش توزیع لنگر، سپس نتایج تحلیل ماتریسی برنامه ارائه شده و در نهایت نتایج مدل SAP به تفصیل در آمده است. شایان ذکر است در صورت مثال مرجع اثرات ناشی از نشست نیز وارد شده است، که به علت عدم نیاز به این بخش، این اثرات حذف گردیده است.

❖ شرح مثال: نیرو های داخلی یک تیر ۲ دهانه ای غیر منشوری به طول دهانه ۱۲ و ۱۸ متر، با در

نظرگیری یک بار متمرکز ۸ تنی در نقطه ای D مورد نظر می باشد.

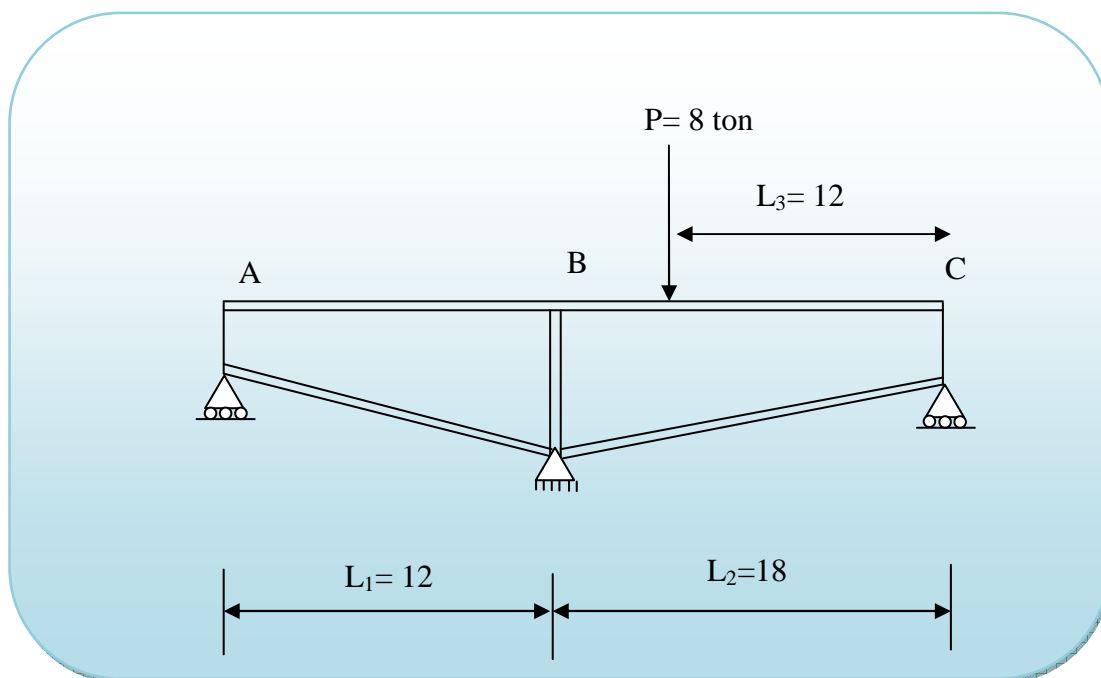
❖ اطلاعات هندسی و ابعادی مقاطع تیر به شرح شکل و جدول شماره (۵-۱) می باشد. نتایج

تحلیل در مرجع [۳۳] پس از محاسبه ضرایب توزیع لنگر، مقادیر نیرو های برشی و لنگر

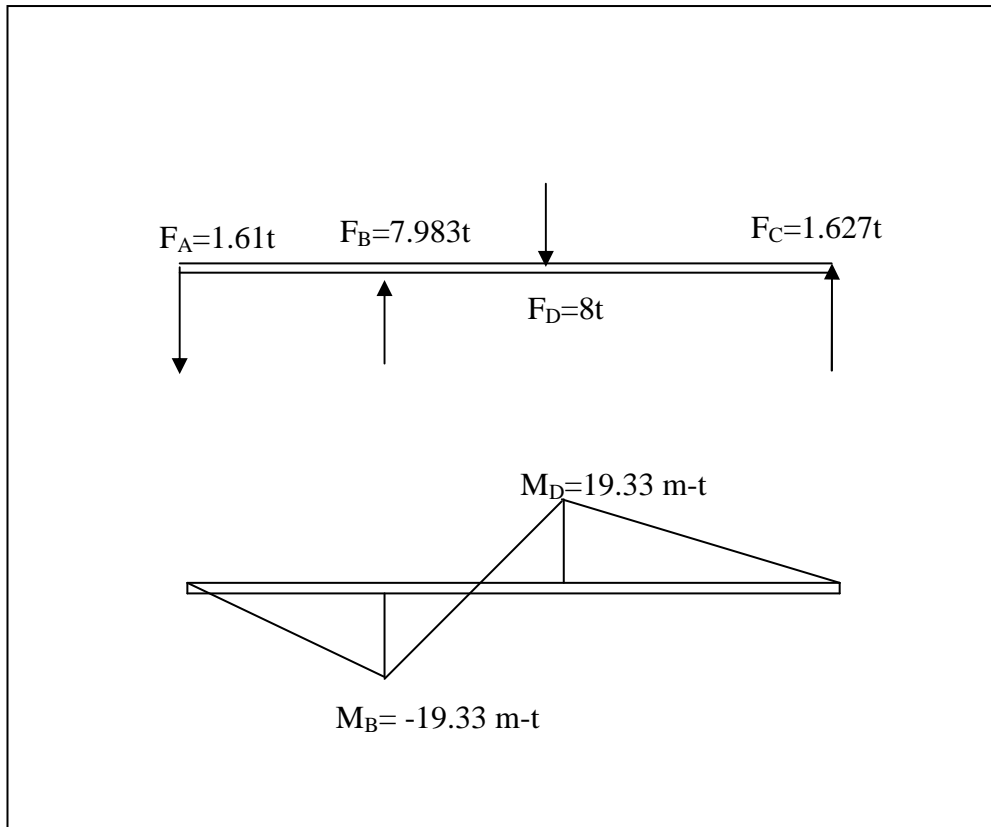
خمش به شرح شکل (۲-۵)، نتایج برنامه تحلیل نگاشته شده بر اساس روش تحلیلی معرفی شده به شرح شکل (۳-۵) و مقادیر این نتایج بر اساس مدل سازی تیر در نرم افزار SAP 2000 به شرح شکل (۴-۵) است. همچنین مقایسه مقادیر بدست آمده از این سه روش در جدول شماره (۲-۵) جهت دقت سنجی، نمایش داده شده است.

جدول شماره (۱-۵) اطلاعات ابعادی مثال یک تحلیل

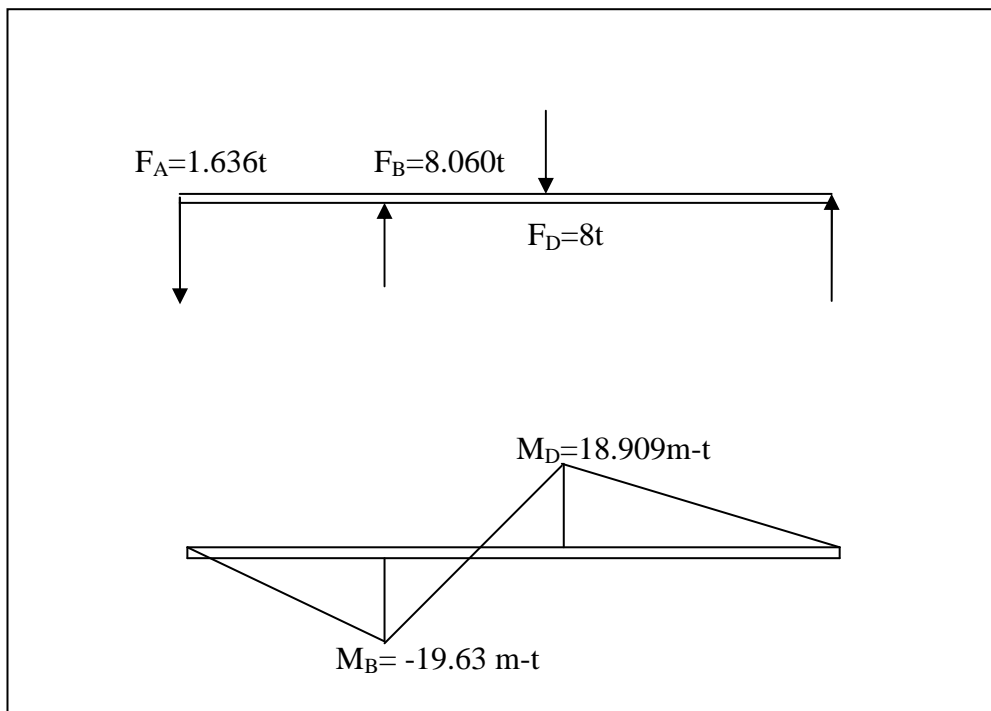
گره	عرض بال (cm)	ارتفاع جان (cm)	ضخامت جان (cm)	ضخامت بال (cm)
A	۳۰	۲۰	۲/۵	۳/۷۵
B	۳۰	۶۰	۲/۵	۳/۷۵
C	۳۰	۲۰	۲/۵	۳/۷۵



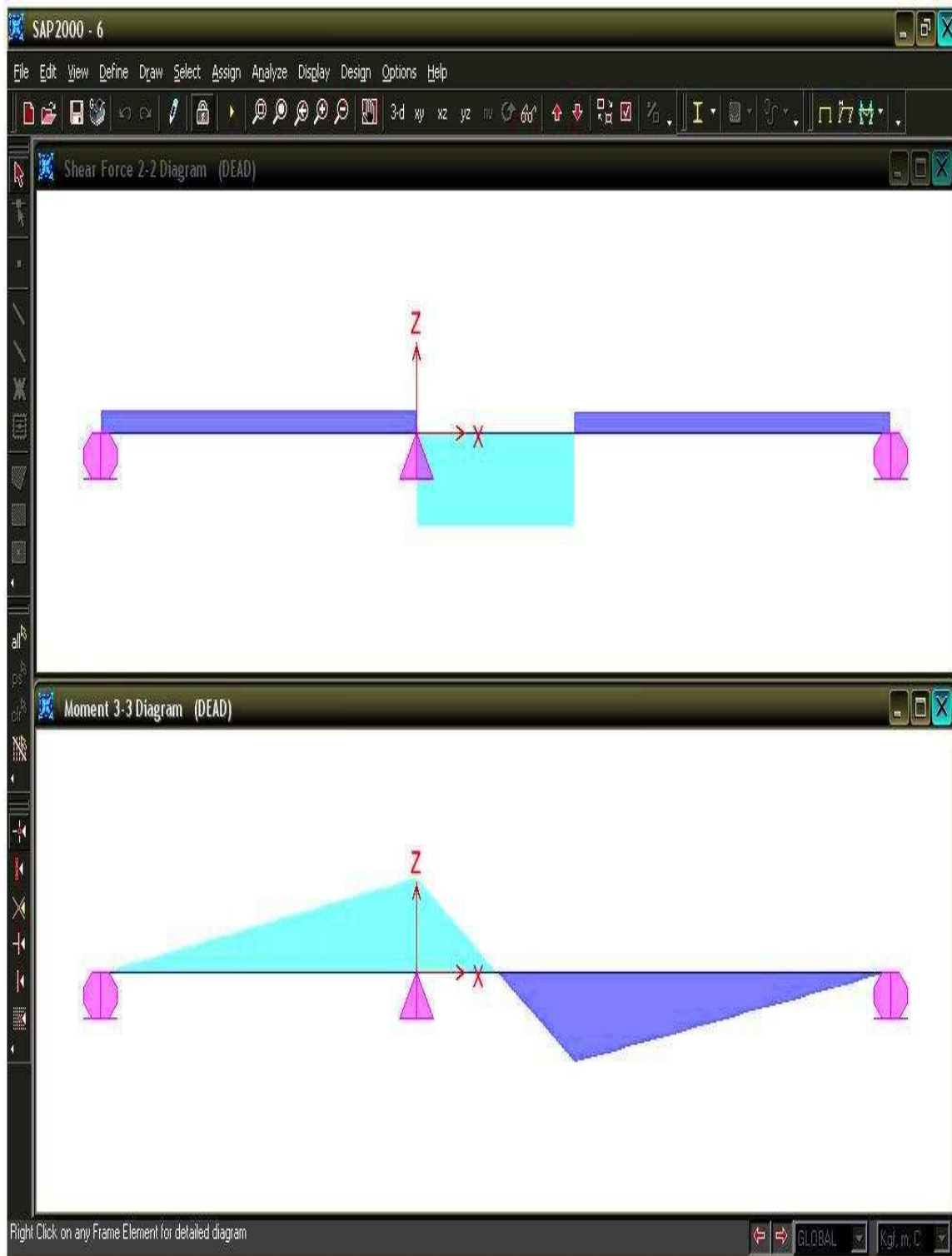
شکل شماره (۱-۵) اطلاعات هندسی مثال یک تحلیل



شکل شماره (۲-۵) نتایج نیروها با استفاده از روش توزیع لنگر



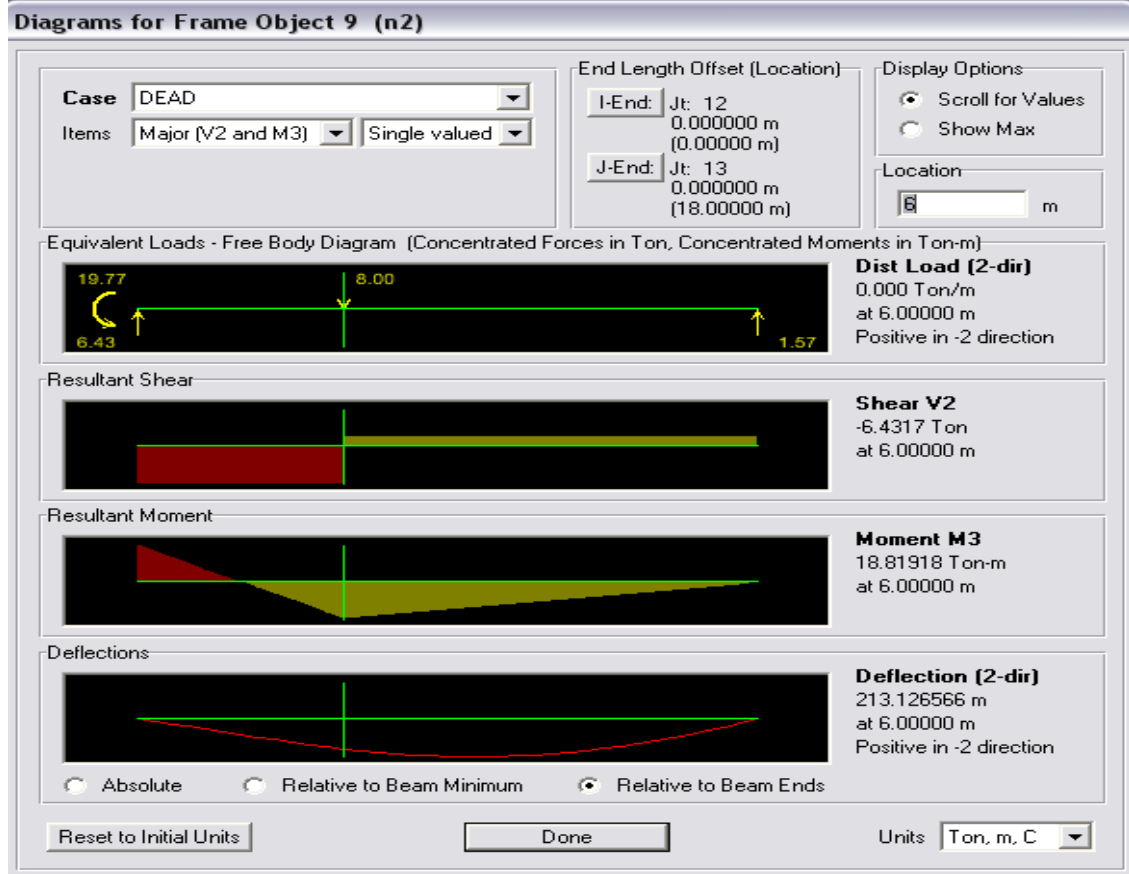
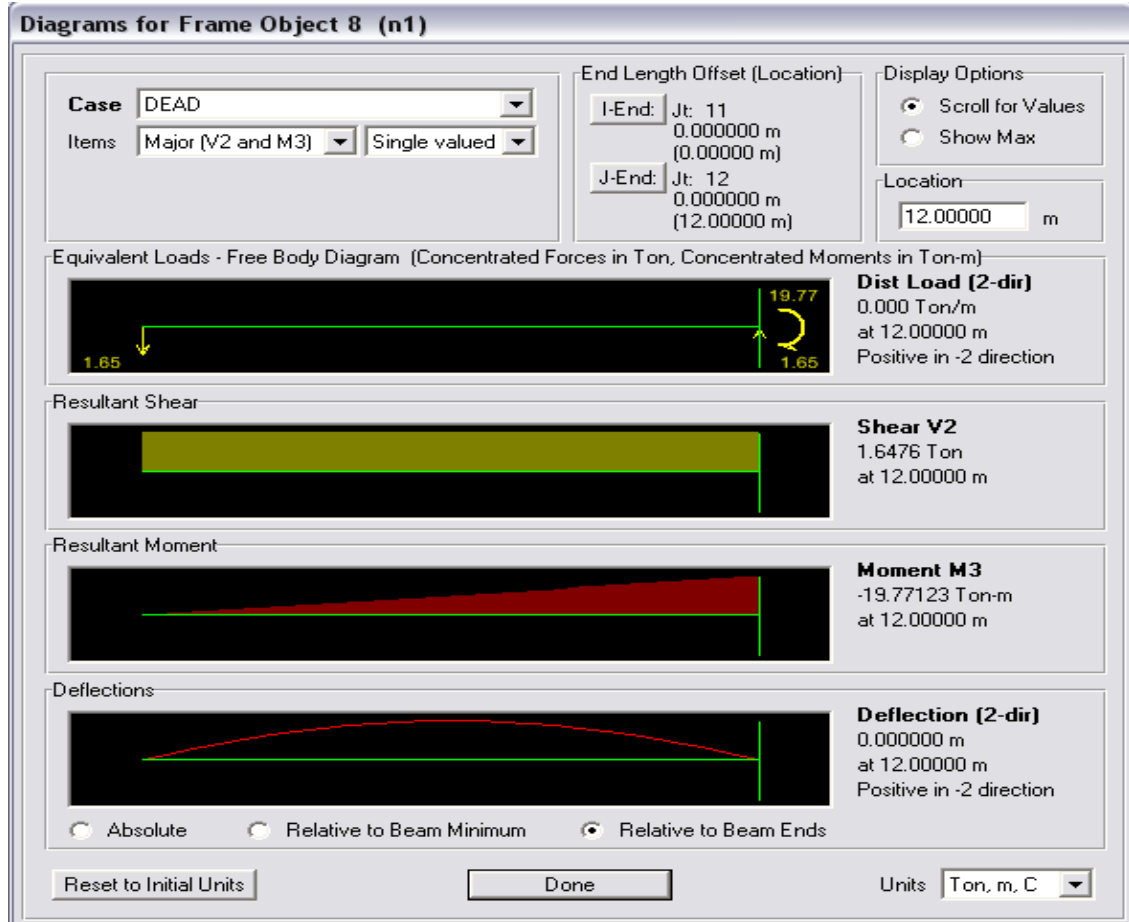
شکل شماره (۳-۵) نتایج نیروها با استفاده از روش تحلیلی استفاده شده در برنامه



شکل شماره (۴-۵) دیاگرام برش و خمش تیر مثال یک با استفاده از نرم افزار SAP 2000



بهبینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک  
فصل پنجم: صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه



شکل شماره (۵-۵) مقادیر نیروهای تیر مثال یک با استفاده از نرم افزار SAP 2000

جدول شماره (۵-۲) مقایسه نتایج مثال یک تحلیل

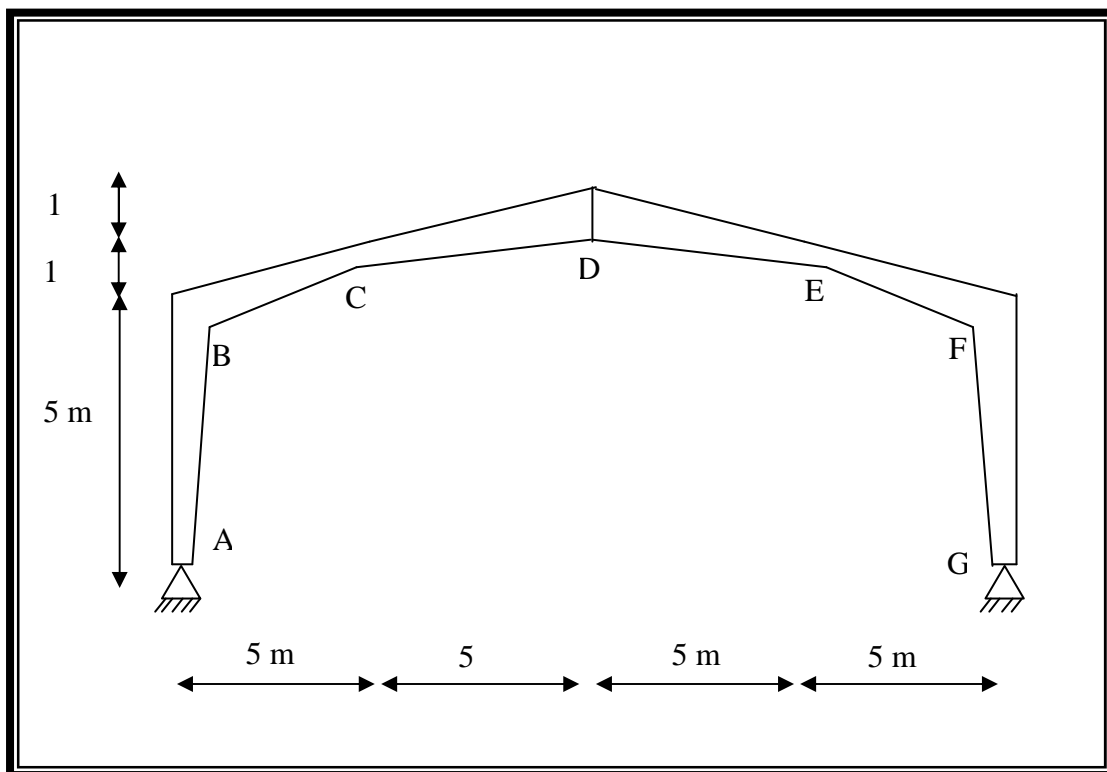
اختلاف برنامه با مدل SAP (درصد)	اختلاف برنامه با توزیع لنگر (درصد)	نتایج مدل سازی در SAP	نتایج روش تحلیل ماتریسی برنامه	نتایج روش توزیع لنگر مرجع [۳۳]	عکس العمل
-۰/۶۷	۱/۵۴	-۱/۶۴۷	-۱/۶۳۶	-۱/۶۱۰۸	FA
۰	۰	۰	۰	۰	MA
-۰/۱	۰/۹	۸/۰۷۶	۸/۰۶۰	۷/۹۸۳۸	FB
-۰/۶۹	۱/۵۷	-۱۹/۷۷۱	-۱۹/۶۳۵	-۱۹/۳۳	MB
-۰/۱	۰/۸	۶/۴۳۱	۶/۴۲۴	۶/۳۷۳	FD
۰/۴۷	-۲/۲	۱۸/۸۱۹	۱۸/۹۰۹	۱۹/۳۳	MD
۰/۴۴	-۳/۳	۱/۵۶۸	۱/۵۷۵	۱/۶۲۷	FC
۰	۰	۰	۰	۰	MC

❖ با بررسی مقایسه مقادیر جدول فوق مشاهده می گردد، اختلاف روش ماتریسی برنامه حاضر با خروجی نرم افزار SAP2000 در بیشترین حالت، کمتر از ۰/۷ درصد است. همچنین حداکثر اختلاف برنامه با روش توزیع لنگر ۳/۳ درصد می باشد. شایان ذکر است در روش توزیع لنگر مرجع [۳۳] جهت محاسبات ضرایب توزیع لنگر از گراف هایی استفاده شده است که این امر موجب کاهش دقت روش مذکور شده است.

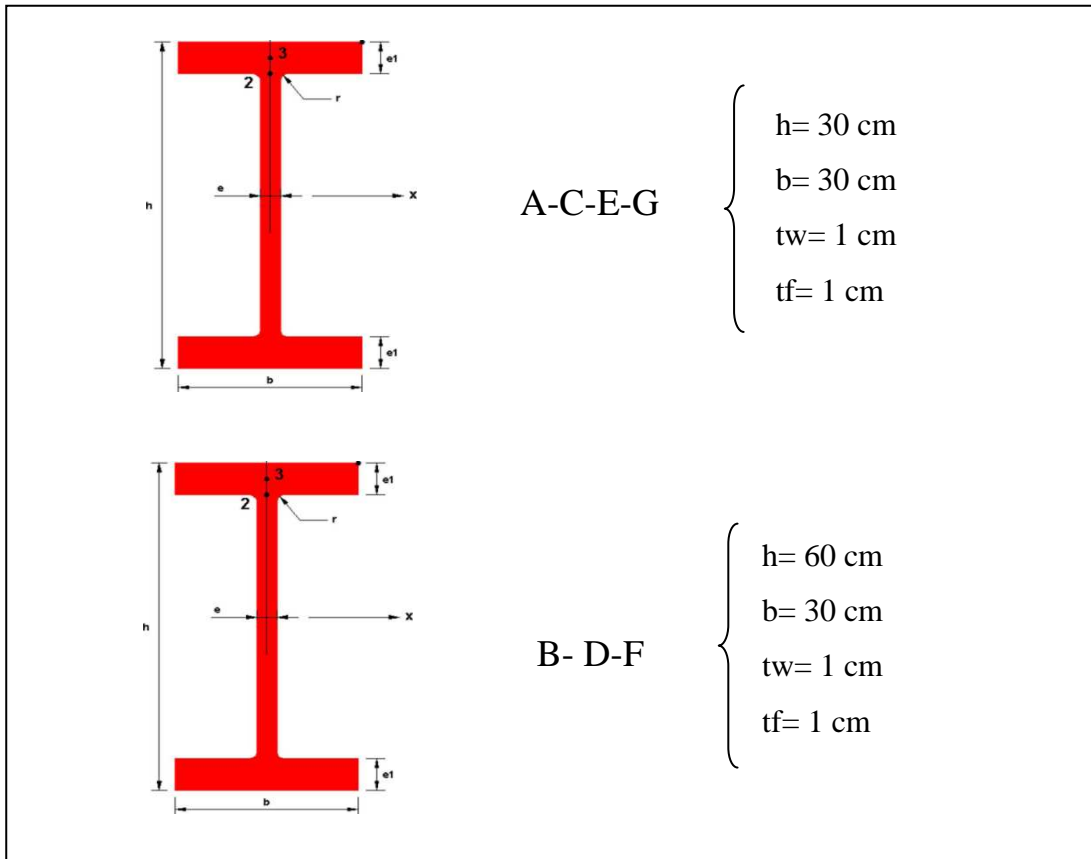
### ۵-۲-۲ شرح مثال دوم تحلیل سازه

این مثال به بررسی نتایج نیروهای درونی اعضا و همچنین تغییر مکان های گرهی یک قاب شیبدار غیر منشوری فولادی پرداخته است. بر این اساس نتایج ناشی از تحلیل ماتریسی برنامه نگاشته شده با نتایج مدل سازی قاب در نرم افزار SAP2000 مقایسه شده است.

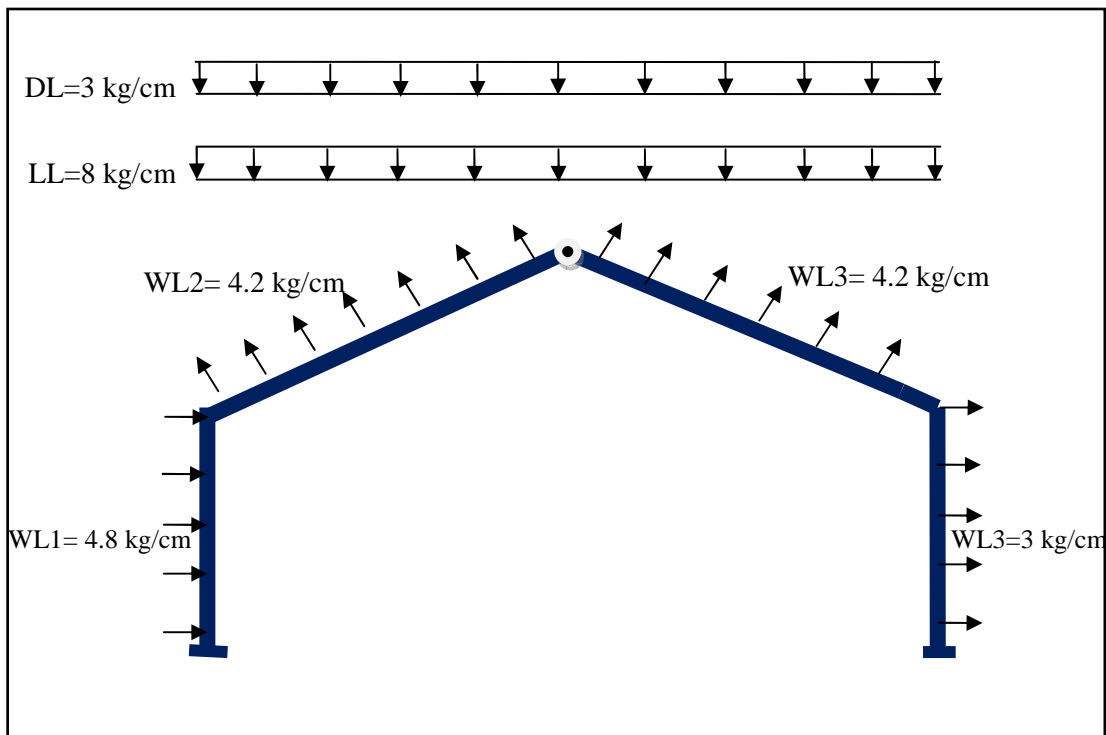
❖ شرح مثال: تعیین نیرو های داخلی و تغییر مکان های گرهی یک قاب شیبدار مطابق با مشخصات هندسی نمایش داده شده در شکل (۵-۶) و سطح مقطع نشان داده شده در شکل (۵-۷) و بارگذاری نشان داده شده در شکل (۵-۸) مورد نظر است.



شکل شماره (۵-۶) نمای هندسی مثال دوم تحلیل



شکل شماره (۷-۵) مشخصات ابعادی مثال دوم تحلیل



شکل شماره (۸-۵) مشخصات بارگذاری مثال دوم تحلیل

جدول شماره (۵-۳) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۱

نیرو های بار مرده	$N_{AB}$	$V_{AB}$	$M_{AB}$	$N_{BA}$	$V_{BA}$	$M_{BA}$
نتایج برنامه ماتریسی	-۳۰۰۰	-۱۶۵۴	۰	-۳۰۰۰	-۱۶۵۴	۸۲۷۰۷۲
نتایج مدل sap	-۳۰۵۹	-۱۶۸۱	۰	-۳۰۵۹	-۱۶۸۱	۸۴۰۹۲۲
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۹۶	-۱/۶۳	۰	-۱/۹۶	-۱/۶۳	-۱/۶۷

نیرو های بار زنده	$N_{AB}$	$V_{AB}$	$M_{AB}$	$N_{BA}$	$V_{BA}$	$M_{BA}$
نتایج برنامه ماتریسی	-۸۰۰۰	-۴۴۱۱	۰	-۸۰۰۰	-۴۴۱۱	۲۲۰۵۵۲۵
نتایج مدل sap	-۸۱۵۸	-۴۴۸۴	۰	-۸۱۵۸	-۴۴۸۴	۲۲۴۲۴۵۹
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۹۷	-۱/۶۵	۰	-۱/۹۷	-۱/۶۵	-۱/۶۷

نیرو های بار باد	$N_{AB}$	$V_{AB}$	$M_{AB}$	$N_{BA}$	$V_{BA}$	$M_{BA}$
نتایج برنامه ماتریسی	۴۶۸۷	۴۴۸۰	۰	۴۶۸۷	۲۰۸۰	-۱۶۴۰۲۹۴
نتایج مدل sap	۴۶۸۷	۴۴۷۳	۰	۴۶۸۷	۲۰۷۳	-۱۶۳۶۵۸۳
مقایسه نتایج (درصد)	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۳۳	۰/۲

نیرو های منفی بار باد	$N_{AB}$	$V_{AB}$	$M_{AB}$	$N_{BA}$	$V_{BA}$	$M_{BA}$
نتایج برنامه ماتریسی	۳۷۱۲	۵۸۰	۰	۳۷۱۲	۲۰۸۰	-۶۶۵۲۹۳
نتایج مدل sap	۳۷۱۲	۵۷۳	۰	۳۷۱۲	۲۰۷۳	-۶۶۱۵۸۳
مقایسه نتایج (درصد)	۰	۱/۲۲	۰	۰	۰/۳۳	۰/۵۶

جدول شماره (۴-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۲

نیرو های بار مرده	N <sub>BC</sub>	V <sub>BC</sub>	M <sub>BC</sub>	N <sub>CB</sub>	V <sub>CB</sub>	M <sub>CB</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۲۲۱۰	-۲۶۱۸	-۸۲۷۰۷۲	-۱۹۱۶	-۱۱۴۸	۱۳۲۵۱۳
نتایج مدل sap	-۲۲۴۹	-۲۶۷۰	-۸۴۰۹۲۲	-۱۹۴۹	-۱۱۷۰	۱۳۸۱۷۲
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۷۶	-۱/۹۸	-۱/۶۷	-۱/۷۲	-۱/۹۱	-۴/۲۷

نیرو های بار زنده	N <sub>BC</sub>	V <sub>BC</sub>	M <sub>BC</sub>	N <sub>CB</sub>	V <sub>CB</sub>	M <sub>CB</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۵۸۹۴	-۶۹۸۰	-۲۲۰۵۵۲۵	-۵۱۰۹	-۳۰۵۸	۳۵۳۳۶۸
نتایج مدل sap	-۵۹۹۷	-۷۱۲۰	-۲۲۴۲۴۵۹	-۵۱۹۷	-۳۱۲۰	۳۶۸۴۵۹
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۷۴	-۱/۹۹	-۱/۶۷	-۱/۷۲	-۲/۰۰	-۴/۲۷

نیرو های بار باد	N <sub>BC</sub>	V <sub>BC</sub>	M <sub>BC</sub>	N <sub>CB</sub>	V <sub>CB</sub>	M <sub>CB</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۹۵۹	۴۱۸۸	۱۶۴۰۲۹۴	۲۹۵۹	۲۰۴۶	۴۷۶۰۳
نتایج مدل sap	۲۹۵۲	۴۱۸۹	۱۶۳۵۸۶۳	۲۹۵۲	۲۰۴۸	۴۶۱۴۹
مقایسه نتایج (درصد)	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۲۳	-۰/۰۹	۳/۱۴

نیرو های منفی بار باد	N <sub>BC</sub>	V <sub>BC</sub>	M <sub>BC</sub>	N <sub>CB</sub>	V <sub>CB</sub>	M <sub>CB</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۷۶۸	۳۲۳۲	۶۶۵۲۹۳	۲۷۶۸	۱۰۹۰	-۴۳۶۸۹۶
نتایج مدل sap	۲۷۶۰	۳۲۳۳	۶۶۱۵۸۳	۲۷۶۰	۱۰۹۲	-۴۴۱۳۵۰
مقایسه نتایج (درصد)	۰/۲۸	-۰/۰۳	۰/۵۶	۰/۲۸	-۰/۱۸	-۱/۰۱

جدول شماره (۵-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۳

نیرو های بار مرده	N <sub>CD</sub>	V <sub>CD</sub>	M <sub>CD</sub>	N <sub>DC</sub>	V <sub>DC</sub>	M <sub>DC</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۱۹۱۶	-۱۱۴۶	۱۳۲۵۱۳	-۱۶۲۲	۳۲۴	۳۴۲۰۹۹
نتایج مدل sap	-۱۹۴۹	-۱۱۶۸	۱۳۸۷۵۸	-۱۶۴۹	۳۲۹	۳۵۲۴۱۴
مقایسه نتایج(درصد)	-۱/۷۲	-۱/۹۱	-۴/۷۲	-۱/۶۶	-۱/۵۴	-۳/۰۱

نیرو های بار زنده	N <sub>CD</sub>	V <sub>CD</sub>	M <sub>CD</sub>	N <sub>DC</sub>	V <sub>DC</sub>	M <sub>DC</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۵۱۰۹	-۳۰۵۷	۳۵۳۳۶۸	-۴۳۲۵	۸۶۵	۹۱۲۲۶۴
نتایج مدل sap	-۵۱۹۷	-۳۱۲۰	۳۶۸۴۵۹	-۴۳۹۷	۸۷۹	۹۳۹۷۷۱
مقایسه نتایج(درصد)	-۱/۷۲	۲/۰۶	-۴/۲۷	-۱/۶۶	-۱/۶۱	-۳/۰۱

نیرو های بار باد	N <sub>CD</sub>	V <sub>CD</sub>	M <sub>CD</sub>	N <sub>DC</sub>	V <sub>DC</sub>	M <sub>DC</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۹۵۹	۲۰۴۶	۴۷۶۰۳	۲۹۵۹	-۹۴	-۴۴۷۰۸۸
نتایج مدل sap	۲۹۵۲	۲۰۴۸	۴۶۱۴۹	۲۹۵۲	-۹۳	-۴۵۲۲۸۳
مقایسه نتایج(درصد)	۰/۲۳	-۰/۰۹	۳/۱۴	۰/۲۳	۱/۰۷	-۱/۱۶

نیرو های منفی بار باد	N <sub>CD</sub>	V <sub>CD</sub>	M <sub>CD</sub>	N <sub>DC</sub>	V <sub>DC</sub>	M <sub>DC</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۷۶۸	۱۰۹۰	-۴۳۶۸۹۶	۲۷۶۸	-۱۰۵۰	-۴۴۷۰۸۷
نتایج مدل sap	۲۷۶۰	۱۰۹۲	-۴۴۱۳۵۰	۲۷۶۰	-۱۰۴۹	-۴۵۲۲۸۳
مقایسه نتایج(درصد)	۰/۲۸	-۰/۱۸	-۱/۰۱	۰/۲۸	۰/۰۹	-۱/۱۶

جدول شماره (۵-۶) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۴

نیرو های بار مرده	N <sub>DE</sub>	V <sub>DE</sub>	M <sub>DE</sub>	N <sub>ED</sub>	V <sub>ED</sub>	M <sub>ED</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۱۶۲۲	۳۲۴	۳۴۲۰۹۹	-۱۹۱۶	-۱۱۴۶	۱۳۲۵۱۴
نتایج مدل sap	-۱۶۴۹	۳۲۹	۳۵۲۴۱۴	-۱۹۴۹	-۱۱۷۰	۱۳۸۱۷۲
مقایسه نتایج(درصد)	-۱/۶۶	-۱/۵۴	-۳/۰۱	-۱/۷۲	-۲/۰۹	۴/۲۶

نیرو های بار زنده	N <sub>DE</sub>	V <sub>DE</sub>	M <sub>DE</sub>	N <sub>ED</sub>	V <sub>ED</sub>	M <sub>ED</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۴۳۲۵	۸۶۵	۹۱۲۲۶۴	-۵۱۰۹	-۳۰۵۷	۳۵۳۳۷۰
نتایج مدل sap	-۴۳۹۷	۸۷۹	۹۳۹۷۷۱	-۵۱۹۷	-۳۱۲۰	۳۶۸۴۵۹
مقایسه نتایج(درصد)	-۱/۶۶	-۱/۶۱	-۳/۰۱	-۱/۷۲	۲/۰۶	۴/۲۷

نیرو های بار باد	N <sub>DE</sub>	V <sub>DE</sub>	M <sub>DE</sub>	N <sub>ED</sub>	V <sub>ED</sub>	M <sub>ED</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۷۶۸	-۱۰۵۰	-۴۴۷۰۸۸	۲۷۶۸	۱۰۹۰	-۴۳۶۸۹۸
نتایج مدل sap	۲۷۶۰	-۱۰۴۹	-۴۵۲۲۸۳	۲۷۶۰	۱۰۹۲	-۴۴۱۳۵۰
مقایسه نتایج(درصد)	۰/۲۸	۰/۰۹	-۱/۱۶	۰/۲۸	-۰/۱۸	-۱/۰۱

نیرو های منفی بار باد	N <sub>DE</sub>	V <sub>DE</sub>	M <sub>DE</sub>	N <sub>ED</sub>	V <sub>ED</sub>	M <sub>ED</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۹۹۵	-۹۴	-۴۴۷۰۸۷	۲۹۵۹	۲۰۴۶	۴۷۶۰۲
نتایج مدل sap	۲۹۵۲	-۹۳	-۴۵۲۲۸۳	۲۹۵۲	۲۰۴۸	۴۶۱۴۹
مقایسه نتایج(درصد)	۱/۴۵	۱/۰۷	-۱/۱۶	۱/۴۵	۰/۰۹	۳/۱۴



جدول شماره (۷-۵) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۵

نیرو های بار مرده	N <sub>EG</sub>	V <sub>EG</sub>	M <sub>EG</sub>	N <sub>GE</sub>	V <sub>GE</sub>	M <sub>GE</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۱۹۱۶	-۱۱۴۸	۱۳۲۵۱۴	-۲۲۱۰	-۲۶۱۸	-۸۲۷۰۷۱
نتایج مدل sap	-۱۹۴۹	-۱۱۷۰	۱۳۸۱۷۲	-۲۲۴۹	-۲۶۷۰	-۸۴۰۹۲۲
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۷۲	-۱/۹۱	۴/۲۶	-۱/۷۶	-۱/۹۸	-۱/۶۶

نیرو های بار زنده	N <sub>EG</sub>	V <sub>EG</sub>	M <sub>EG</sub>	N <sub>GE</sub>	V <sub>GE</sub>	M <sub>GE</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۵۱۰۹	-۳۰۵۷	۳۵۳۳۷۰	-۵۸۹۴	-۶۹۷۹	-۲۲۰۵۵۲۵
نتایج مدل sap	-۵۱۹۷	-۳۱۲۰	۳۶۸۴۵۹	-۵۹۹۷	-۷۱۲۰	-۲۲۴۲۴۵۹
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۷۲	-۲/۰۶	-۴/۲۷	-۱/۷۴	-۲/۰۲	-۱/۶۷

نیرو های بار باد	N <sub>EG</sub>	V <sub>EG</sub>	M <sub>EG</sub>	N <sub>GE</sub>	V <sub>GE</sub>	M <sub>GE</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۷۶۸	۱۰۹۰	-۴۳۶۸۹۸	۲۷۶۸	۳۲۳۲	۶۶۵۲۹۴
نتایج مدل sap	۲۶۷۰	۱۰۹۲	-۴۴۱۳۵۰	۲۶۷۰	۳۲۳۳	۶۶۱۵۸۳
مقایسه نتایج (درصد)	۳/۶۷	۰/۱۸	-۱/۰۱	۳/۶۷	۰/۰۳	۰/۵۶

نیرو های منفی بار باد	N <sub>EG</sub>	V <sub>EG</sub>	M <sub>EG</sub>	N <sub>GE</sub>	V <sub>GE</sub>	M <sub>GE</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۲۹۹۵	۲۰۴۶	۴۷۶۰۲	۲۹۵۹	۴۱۸۸	۱۶۴۰۲۹۳
نتایج مدل sap	۲۹۵۲	۲۰۴۸	۴۶۱۴۹	۲۹۵۲	۴۱۸۹	۱۶۳۶۵۸۳
مقایسه نتایج (درصد)	۱/۴۵	-۰/۰۹	۳/۱۴	۱/۴۵	-۰/۰۲	۰/۲۲

جدول شماره (۵-۸) مقایسه نتایج مثال دوم تحلیل در عضو ۶

نیرو های بار مرده	N <sub>GF</sub>	V <sub>GF</sub>	M <sub>GF</sub>	N <sub>FG</sub>	V <sub>FG</sub>	M <sub>FG</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۳۰۰۰	-۱۶۵۴	-۸۲۷۰۷۱	-۳۰۰۰	-۱۶۵۴	۰
نتایج مدل sap	-۳۰۵۹	-۱۶۸۱	-۸۴۰۹۲۲	-۳۰۵۹	-۱۶۸۱	۰
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۹۶	-۱/۶۳	-۱/۶۷	-۱/۹۶	-۱/۶۳	۰

نیرو های بار زنده	N <sub>GF</sub>	V <sub>GF</sub>	M <sub>GF</sub>	N <sub>FG</sub>	V <sub>FG</sub>	M <sub>FG</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	-۸۰۰۰	-۴۴۱۱	-۲۲۰۵۵۲۵	-۸۰۰۰	-۴۴۱۱	۰
نتایج مدل sap	-۸۱۵۸	-۴۴۸۴	-۲۲۴۲۴۵۹	-۸۱۵۸	-۴۴۸۴	۰
مقایسه نتایج (درصد)	-۱/۹۷	-۱/۶۵	-۱/۶۷	-۱/۹۷	-۱/۶۵	۰

نیرو های بار باد	N <sub>GF</sub>	V <sub>GF</sub>	M <sub>GF</sub>	N <sub>FG</sub>	V <sub>FG</sub>	M <sub>FG</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۳۷۱۲	۲۰۸۰	۶۶۵۲۹۴	۳۷۱۲	۵۸۰	۰
نتایج مدل sap	۳۷۱۲	۲۰۷۳	۶۶۱۵۸۳	۳۷۱۲	۵۷۳	۰
مقایسه نتایج (درصد)	۰	۰/۳۳	۰/۵۶	۰	۱/۲۲	۰

نیرو های منفی بار باد	N <sub>GF</sub>	V <sub>GF</sub>	M <sub>GF</sub>	N <sub>FG</sub>	V <sub>FG</sub>	M <sub>FG</sub>
نتایج برنامه ماتریسی	۴۶۸۷	۲۰۸۰	۱۶۴۰۲۹۳	۴۶۸۷	۴۴۸۰	۰
نتایج مدل sap	۴۶۸۷	۲۰۷۳	۱۶۳۶۵۸۳	۴۶۸۷	۴۴۷۳	۰
مقایسه نتایج (درصد)	۰	۰/۳۳	۰/۲۲	۰	۰/۱۵	۰

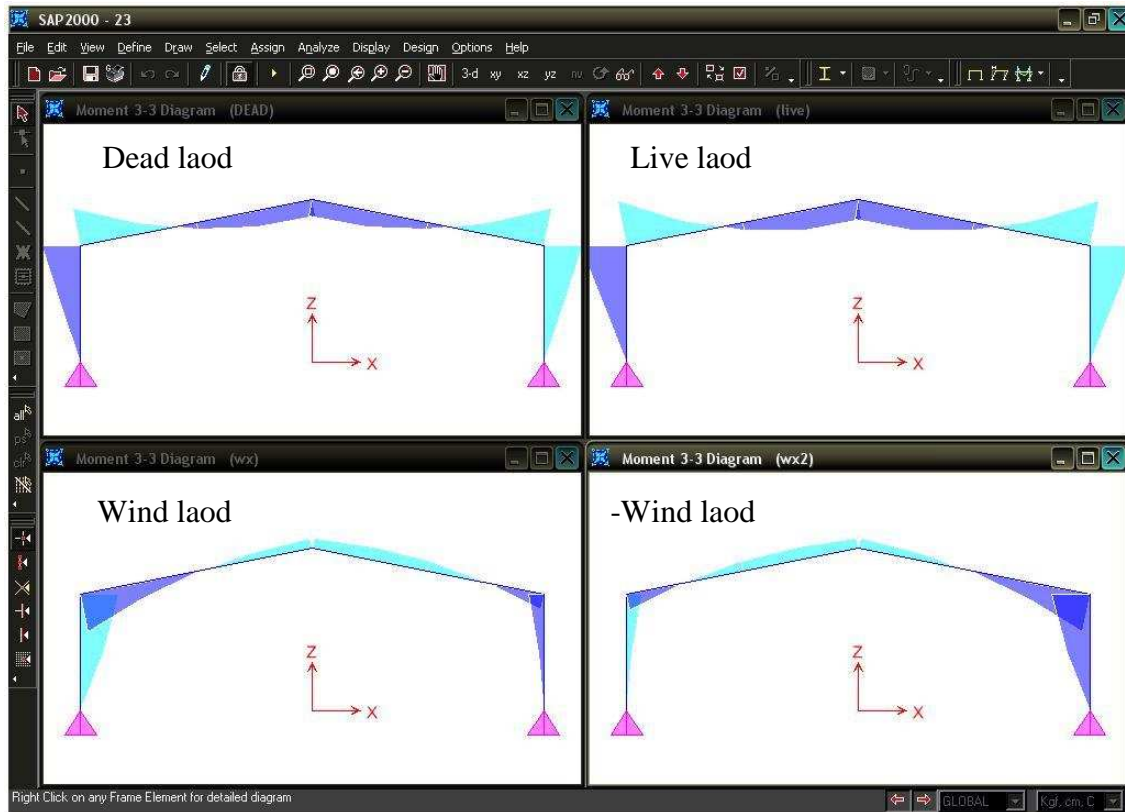
جدول شماره (۵-۹) مقایسه جابجایی برنامه با مدل SAP تحت بار مرده

گره	$\Delta_{X1}$	$\Delta_{X2}$	$\Delta_{Y1}$	$\Delta_{Y2}$	$\theta_1$	$\theta_2$
۱	۰	۰	۰	۰	-۰/۰۰۱۴۵	-۰/۰۰۱۵
۲	-۰/۲۵۵۷۳	-۰/۲۸۲۳۶	-۰/۰۰۶۸۴	-۰/۰۰۷۱۲	۰/۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۸
۳	-۰/۰۸۳۱۲	-۰/۰۹۲۲۳	-۰/۸۹۴۳۹	-۰/۹۸۲۶۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۱
۴	۰	۰	-۱/۳۳۰۹۹	-۱/۴۶۶۱۳	۰	۰
۵	۰/۰۸۳۱۱	۰/۰۹۲۲۳	-۰/۸۹۴۳۹	-۰/۹۸۲۶۱	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲۱
۶	۰/۲۵۵۷۳	۰/۲۸۲۳۶	-۰/۰۰۶۴۸	-۰/۰۰۷۱۲	-۰/۰۰۰۷۸	-۰/۰۰۰۸
۷	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۱۴۵	۰/۰۰۱۵

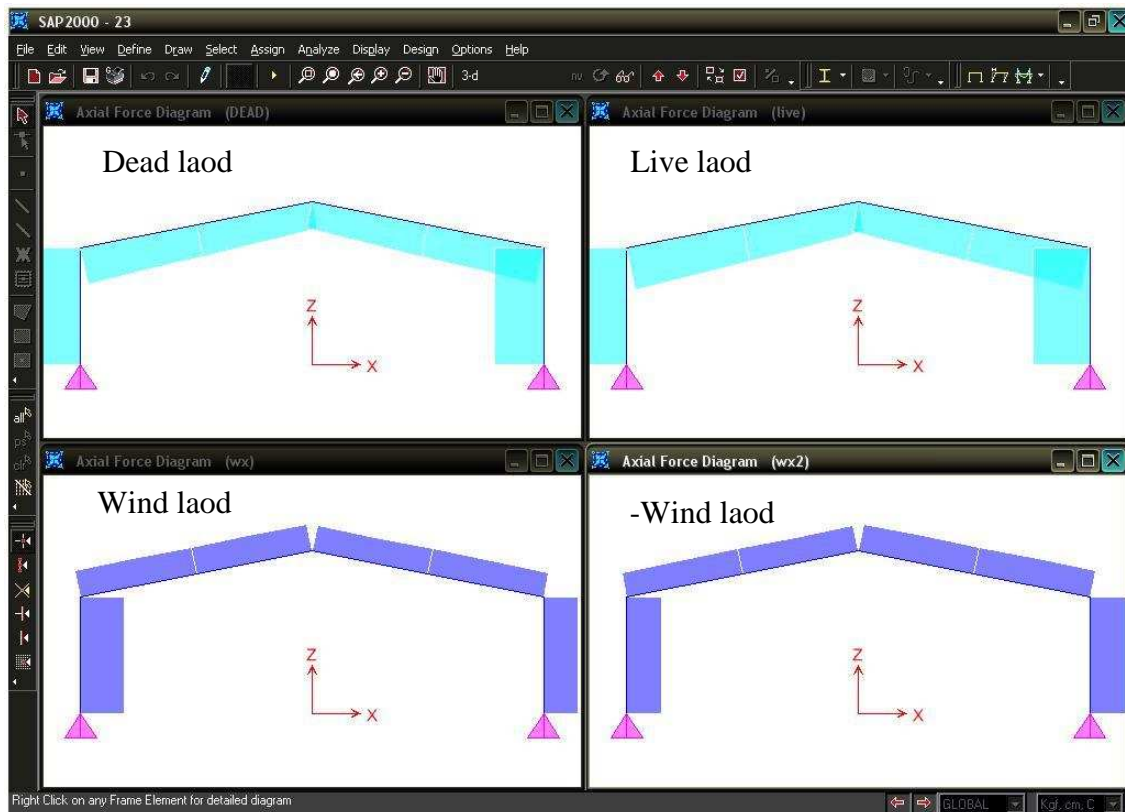
جدول شماره (۵-۱۰) مقایسه جابجایی برنامه با مدل SAP تحت بار زنده

گره	$\Delta_{X1}$	$\Delta_{X2}$	$\Delta_{Y1}$	$\Delta_{Y2}$	$\theta_1$	$\theta_2$
۱	۰	۰	۰	۰	-۰/۰۰۳۸۷	-۰/۰۰۴۰
۲	-۰/۶۸۱۹۴	-۰/۷۵۲۹۷	-۰/۰۱۸۲۶	-۰/۰۱۸۹۹	۰/۰۰۲۰۸	۰/۰۰۲۲
۳	-۰/۲۲۱۶۵	-۰/۲۴۶۲۱	-۲/۳۸۵۰۵	-۲/۶۲۰۲	۰/۰۰۵۳۳	۰/۰۰۵۷۲
۴	۰	۰	-۳/۵۴۹۳	-۳/۹۰۹۶	۰	۰
۵	۰/۲۲۱۶۵	۰/۲۴۶۲۱	-۲/۳۸۵۰۵	-۲/۶۲۰۲	-۰/۰۰۵۳۳	-۰/۰۰۵۷
۶	۰/۶۸۱۹۴	۰/۷۵۲۹۷	-۰/۰۱۸۲۶	-۰/۰۱۸۹۹	-۰/۰۰۲۰۸	-۰/۰۰۲۲
۷	۰	۰	۰	۰	-۰/۰۰۳۸۷	۰/۰۰۴۰

بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک  
فصل پنجم: صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه

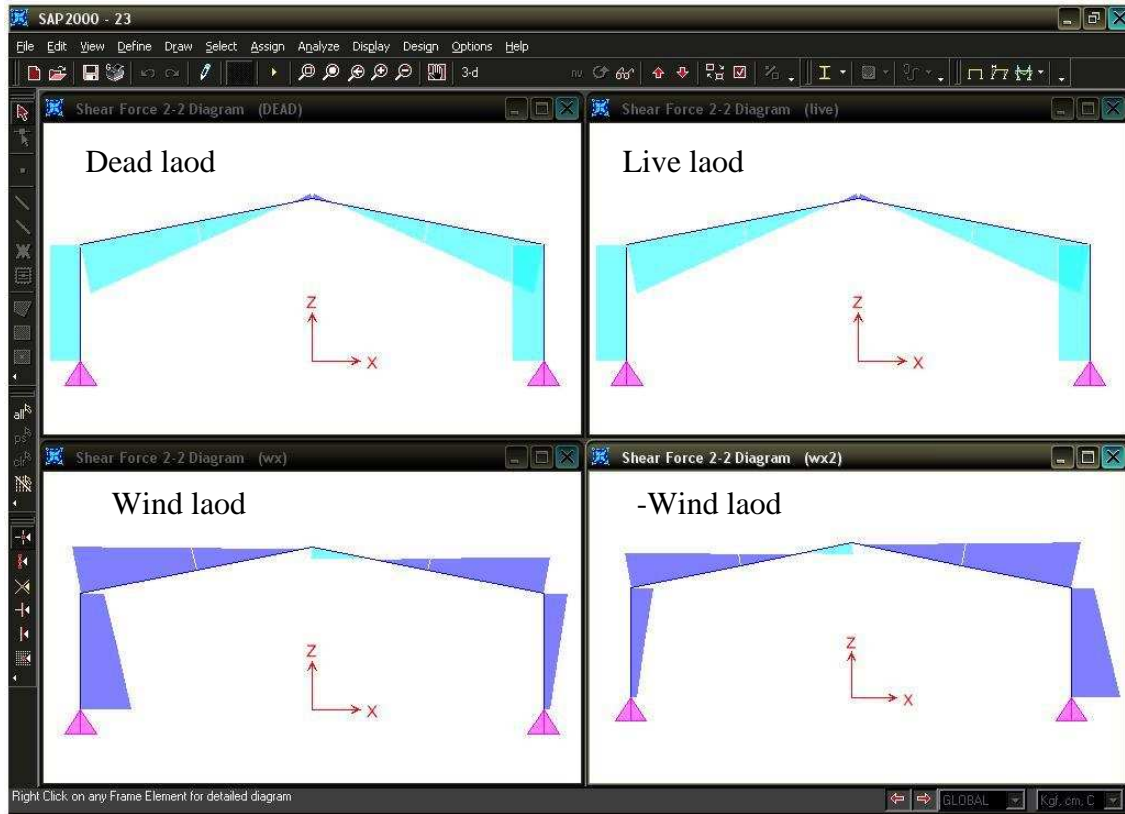


شکل شماره (۵-۹) دیاگرام لنگر خمشی قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap

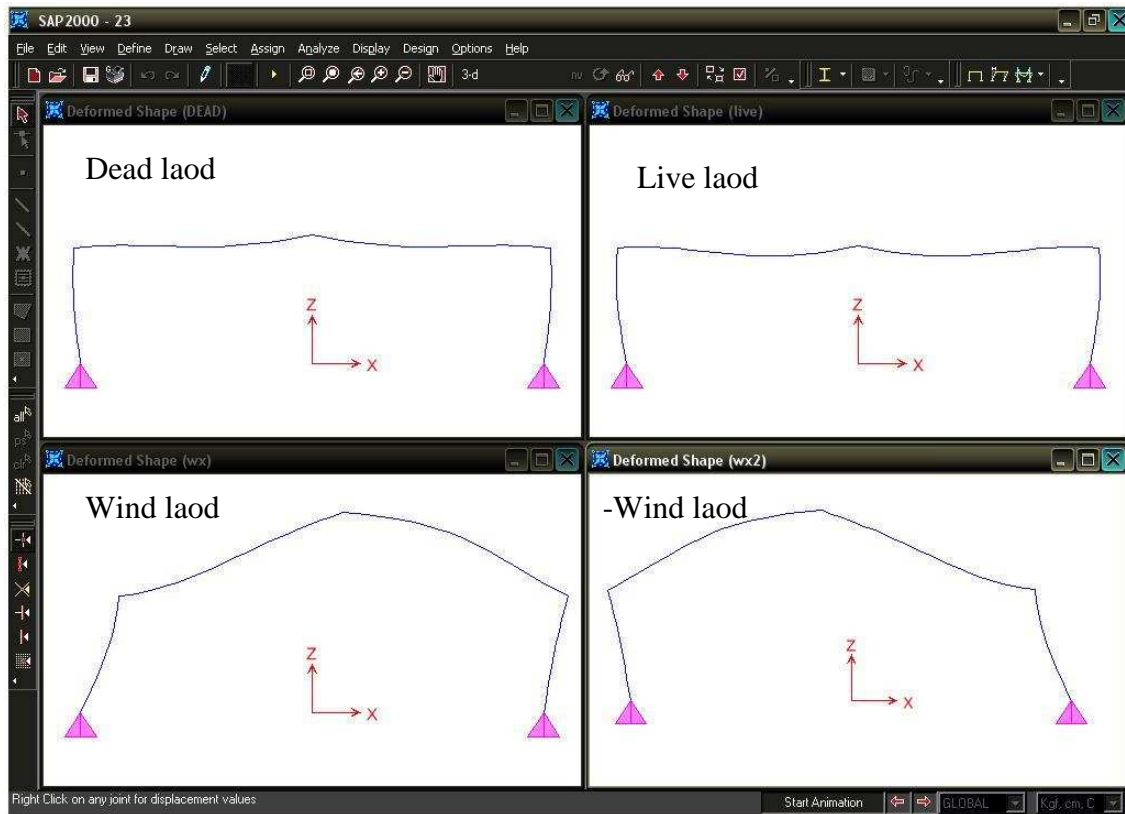


شکل شماره (۵-۱۰) دیاگرام نیروی محوری قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap

بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک  
فصل پنجم: صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه



شکل شماره (۵-۱۱) دیاگرام برش قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap



شکل شماره (۵-۱۲) دیاگرام تغییرشکل قاب شیبدار مثال ۲ در نرم افزار sap

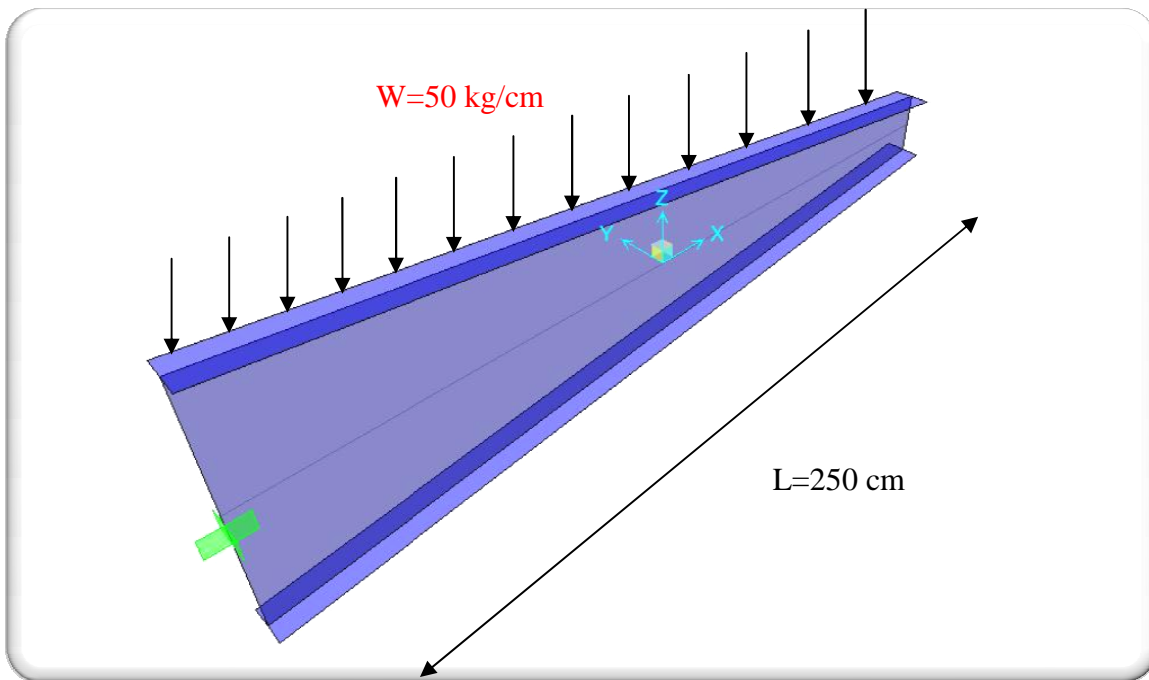
### ۵-۳ ارزش سنجی نتایج بهینه سازی

تاکنون به صحت سنجی نتایج تحلیل پرداخته شده است. در بخش دوم از این فصل، جهت روشن سازی شیوه بهینه سازی سازه و ارزش سنجی نتایج برنامه، ابتدا به طراحی بهینه یک تیر معین غیرمنشوری و سپس به شرح ۲ مثال از قاب های شیبدار غیر منشوری پرداخته شده است. بدین منظور جهت تعیین کارایی سیستم بهینه سازی الگوریتم ژنتیک جزیره ای، نتایج بهینه سازی قاب شیبدار غیر منشوری مطرحه در مرجع [۷] (که با استفاده از الگوریتم SQP بهینه یابی گردیده است)، با نتایج برنامه ی تدوین شده، مقایسه شده است.

### ۵-۳-۱ شرح مثال یک بهینه سازی

جهت بررسی کارایی الگوریتم برنامه در دستیابی به مقاطع حداقلی در فرایند بهینه سازی، یک تیر کنسولی مطابق با شرایط هندسی، مرزی و بارگذاری نشان داده شده در ذیل مورد بهینه سازی توسط برنامه قرار گرفته است. (شکل شماره (۵-۱۳))

پس از اجرای برنامه و معرفی عضو بهینه توسط آن، اساس مقطع تثوریک مورد نیاز با اساس مقطع عضو مورد نظر (در محل رخداد لنگر ماکزیمم در طول تیر) مقایسه شده است. همچنین پارامتر های عضو معرفی شده اعم از ارتفاع سطح مقطع در قسمت بزرگتر سازه، ارتفاع در قسمت کوچکتر، ضخامت بال، ضخامت جان و عرض بال، هر کدام به تناوب (با ثابت نگاه داشتن سایر پارامتر ها) به میزان یک واحد ( واحد ورودی هر یک از پارامتر های اولیه مقاطع به برنامه) کاهش داده شده است و سازه جدید در زیربرنامهء تحلیل و طراحی وارد گردیده است، تا نتایج پایداری تیر کنسولی جدید بررسی شود.



شکل شماره (۵-۱۳) شرایط هندسی، مرزی و بارگذاری مثال اول بهینه سازی

➤ جهت بهینه سازی تیر کنسولی فوق، پارامتر های الگوریتم ژنتیک مطابق جداول ذیل به برنامه وارد شده است:

جدول شماره (۵-۱۱) پارامتر های عمومی بهینه سازی

parameter	Size
Migration_Rate	5
Migration_Interval	100
Popsie_Total	80
Popsie Islands	20
Number_Generation	30000
K_Constant	10

جدول شماره (۵-۱۲) پارامتر های بهینه سازی جزیره ۱

Island ( 1 )	explanation
Method_Selection	Method Tournament
Number of Tournament	3
Rate Of Cross Over	0.85
Cross Over	Two point
Rate Of Mutation	0.001

جدول شماره (۵-۱۳) پارامتر های بهینه سازی جزیره ۲

Island ( 2 )	explanation
Method_Selection	Method Tournament
Number of Tournament	2
Rate Of Cross Over	0.85
Cross Over	Cross Over Is Uniform
RM Max Mutation	0.01
RM Min Mutation	0.001
Rate Of Mutation	Mutation Is Linear (Decreased)

جدول شماره (۵-۱۴) پارامتر های بهینه سازی جزیره ۳

Island ( 3 )	explanation
Method_Selection	Roulette_Wheel
Rate Of Cross Over	0.85
Cross Over	Cross Over Is Single Sight
RM Max Mutation	0.01
RM Min Mutation	0.001
Rate Of Mutation	Mutation Is Linear (Decreased)

جدول شماره (۵-۱۵) پارامتر های بهینه سازی جزیره ۴

Island ( 4 )	explanation
Method_Selection	Method Rank
Rate Of Cross Over	0.85
Cross Over	Cross Over Is Single Sight
RM Max Mutation	0.01
RM Min Mutation	0.001
Rate Of Mutation	Mutation Is Linear (Increased)



پس از بهینه سازی، برنامه عضو بهینه را با مشخصات ابعادی ذیل معرفی نموده است:

- $H_1 = 79$
- $H_2 = 12$
- $B_f = 10$
- $T_f = 0.6$
- $T_w = 0.6$

نتایج نسبت های تنش و ضوابط آیین نامه ای، در تیر کنسول با مقطع معرفی شده توسط برنامه و مقاطع متناظر تضعیف شده ( نسبت به مقطع منتخب) در جدول ذیل به تفصیل در آمده است.

جدول شماره (۵-۱۶) مقایسه نتایج نسبت های تنش و ضوابط آیین نامه، در تیر کنسول با مقطع ارائه

شده توسط برنامه و مقاطع متناظر تضعیف شده

مقطع مورد بررسی	کنترل تنش نسبت	کنترل برش	کمانش موضعی بال فشاری	کمانش عمودی جان	کمانش خمشی جان	ضریب تغییر مقطع
$H_1=79$ $H_2=12$ $B_f=10$ $T_f=0.6$ $T_w=0.6$	$0.9965 < 1$	$259 < 335$	$8.33 < 11.95$	$131.6 < 337$	$131.6 < 168$	$5.583 \leq 6$
$H_1=78$ $H_2=12$ $B_f=10$ $T_f=0.6$ $T_w=0.6$	$1.0167 \not< 1$	$263 < 344$	$8.33 < 11.98$	$130 < 337$	$130 < 168$	$5.50 \leq 6$
$H_1=79$ $H_2=11$ $B_f=10$ $T_f=0.6$ $T_w=0.6$	$0.9965 < 1$	$259 < 335$	$8.33 < 11.95$	$131.6 < 337$	$131.6 < 168$	$6.181 \not\leq 6$
$H_1=79$ $H_2=12$ $B_f=9$ $T_f=0.6$ $T_w=0.6$	$1.0679 \not< 1$	$259 < 335$	$7.5 < 11.95$	$131.6 < 337$	$131.6 < 168$	$5.583 \leq 6$
$H_1=79$ $H_2=12$ $B_f=10$ $T_f=0.5$ $T_w=0.6$	$1.0733 \not< 1$	$260 < 335$	$10 < 11.95$	$131.6 < 337$	$131.6 < 168$	$5.583 \leq 6$
$H_1=79$ $H_2=12$ $B_f=10$ $T_f=0.6$ $T_w=0.5$	$1.1001 \not< 1$	$245 < 319$	$8.33 < 11.95$	$158 < 337$	$158 < 168$	$5.583 \leq 6$

با توجه به نتایج جدول فوق می توان دریافت، با کاهش هر یک از پارامتر های ابعادی مقطع، به میزان یک واحد (منظور از یک واحد، واحد لیست اندازه های وردی به برنامه می باشد)، حداقل یکی از شروط پایداری سازه نقض خواهد گردید. از سویی دیگر اساس مقطع مورد نیاز در بر تکیه گاه تیر کنسول فوق ( با فرض بهره برداری از حداکثر ظرفیت خمشی مقطع) برابر است با:

$$M_{max} = 1562500$$

$$S_{net} = \frac{1562500}{1440} = 1085.07$$

اساس مقطع معرفی شده توسط برنامه در بر تکیه گاه عبارت است از :

$$S_{available} = \frac{I}{c} = \frac{43660.7}{40.1} = 1088$$

میزان اختلاف اساس مقطع تئوریک مورد نیاز و اساس مقطع موجود معرفی شده توسط برنامه، برابر ۰.۲۷ درصد است. این اختلاف بسیار اندک نیز به علت معرفی لیست گسسته ای از مقاطع ورق های موجود در بازار به برنامه است.

با توجه به مقدار لنگر و برش صفر در انتهای تیر کنسول (در لبه آزاد تیر)، S مورد نیاز در آن قسمت بر اساس تئوری برابر صفر خواهد بود. اما با توجه به قیود آیین نامه فولاد آمریکا، ضریب تغییر مقطع اعضای غیر منشوری نباید از کوچکترین دو مقدار ( 6 و  $0.268L/d_0$ ) تجاوز نماید. لذا جهت طراحی چنین تیر کنسولی ۲ حالت امکان پذیر خواهد بود:

$$1. \gamma = \min\left(6 > \frac{0.268L}{d_0}\right) \longrightarrow \gamma_{min} = \frac{0.268L}{d_0}$$

$$2. \gamma = \min\left(6 < \frac{0.268L}{d_0}\right) \longrightarrow \gamma_{min} = 6$$

با توجه به دو حالت فوق می توان دریافت، حداکثر ضریب تغییر مقطع ممکن، برای اعضای غیرمنشوری برابر ۶ خواهد بود. از آنجا که در چنین تیر کنسولی، طراحی بهینه متمایل به تغییرات حداکثری مقطع در طول عضو است، لذا طرح بهینه این کنسول باید دارای  $\gamma$  ای برابر ۶ باشد. در نتیجه در صورتی که برنامه توانایی شناسایی بهینه مطلق را داشته باشد رابطه زیر در آن ، باید صادق باشد.

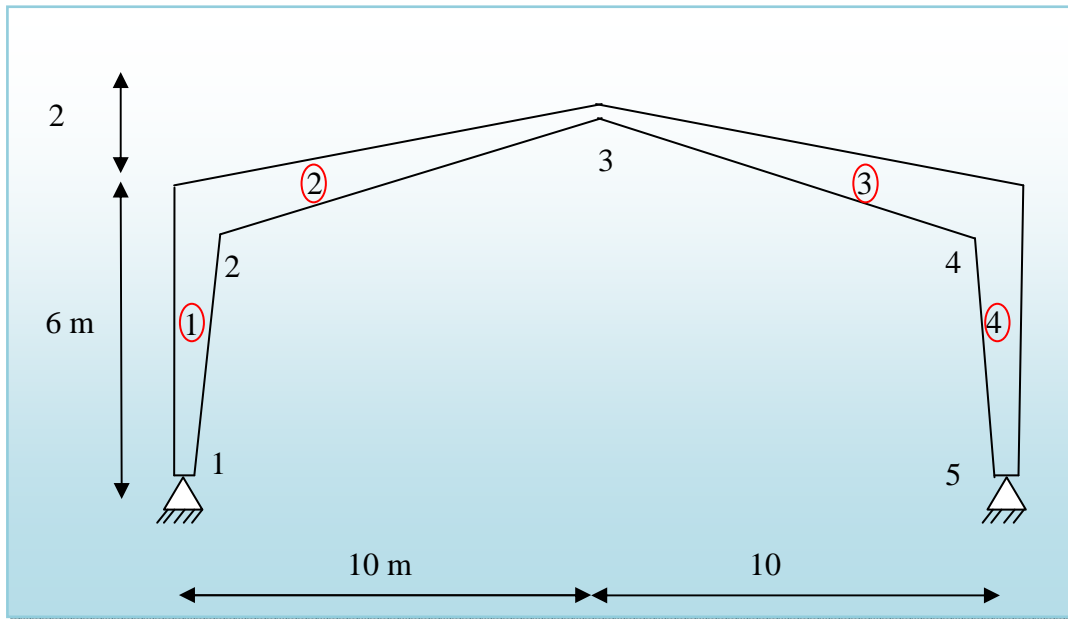
$$\gamma = \frac{(d_L - d_0)}{d_0} \longrightarrow d_0 = \frac{d_L}{7}$$

به عبارت دیگر، اگر برنامه قدرت کافی برای بهینه یابی را دارا باشد؛ می بایست در صورت معرفی  $d_L = 79$  (که با توجه به اساس مقطع مورد نیاز بدست آمده است) مقدار  $d_0 = 11.285$  را در میان طرح های تصادفی تشکیل شده، به عنوان طرح بهینه معرفی نماید. با توجه به نتایج برنامه حاضر مشاهده می شود  $d_0 = 12$  منتخب شده است ( بعلت معرفی لیست مقاطع به صورت گسسته به برنامه).

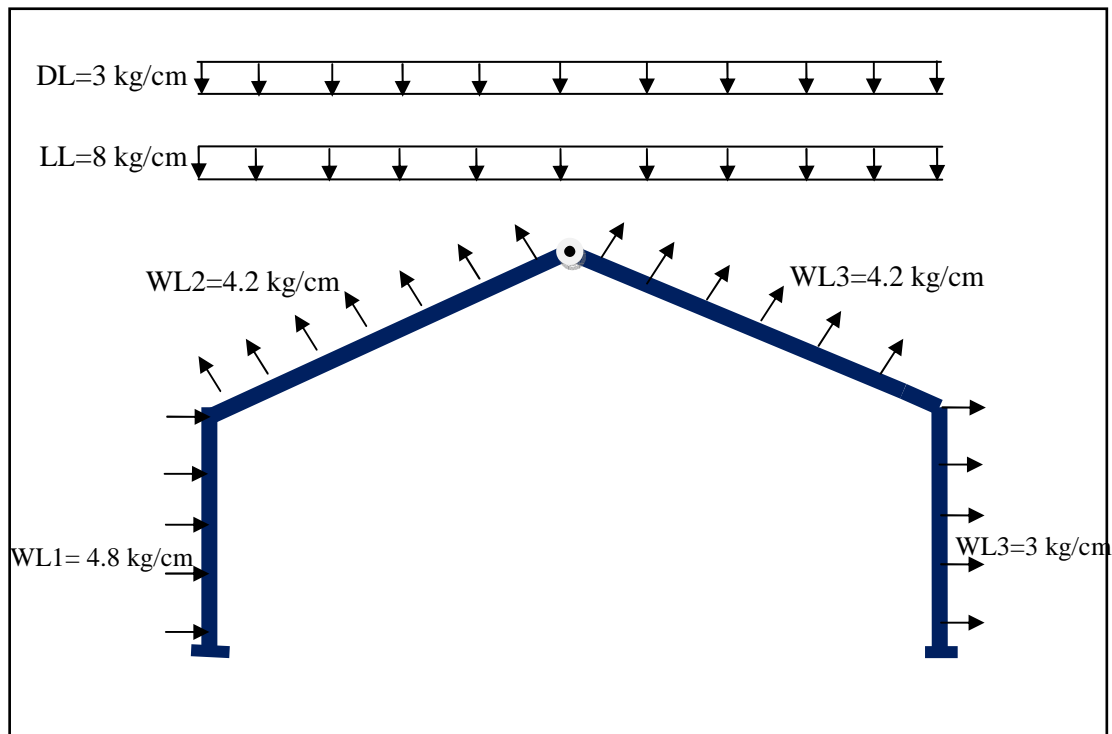
از مطالب فوق برداشت می شود که ، الگوریتم ژنتیک جزیره ای مقطعی را به عنوان مقطع بهینه معرفی نموده است که از حداکثر ظرفیت آن در طراحی سازه بهره گرفته شده است. به عبارت دیگر می توان بیان نمود که، هیچکدام از متغیر های عضو قابلیت و ظرفیت کاهش را ندارند.

### ۵-۳-۲ شرح مثال دوم بهینه سازی

مطلوب است طرح بهینه ی قاب یک دهانه ی متقارن تحت ترکیبات بار گذاری با مشخصات هندسی ای مطابق شکل (۵-۱۴) و بارگذاری نشان داده شده در شکل (۵-۱۵).  
شایان ذکر است، مثال فوق در مرجع [۷] بر اساس توپولوژی نشان داده در شکل (۵-۱۴) می باشد. علاوه بر مقایسه نتایج این نوع توپولوژی از سازه، در بخش دوم از این مثال، نتایج ابعادی سازه ای با مشخصات هندسی همسان با سازه فوق اما دارای ۲ شیب در طول تیر، به مقایسه گذاشته شده است.



شکل شماره (۵-۱۴) مشخصات هندسی مثال دوم بهینه سازی



شکل شماره (۵-۱۵) مشخصات بارگذاری مثال دوم بهینه سازی

### ۵-۳-۲-۱-۱ نتایج بهینه سازی مرجع توسط الگوریتم SQP

جدول شماره (۵-۱۷) نتایج بهینه سازی مثال دوم در مرجع توسط الگوریتم SQP

متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح اولیه (cm)	طرح بهینه (cm)
۱	ارتفاع جان در گره ۱ و ۵	۱۰	۱۵۰	۵۰	۱۶/۱۵
۲	ارتفاع جان در گره ۲ و ۴ از عضو ۱ و ۴	۱۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۰۲/۵۶
۳	عرض بال در عضو ۱ و ۴	۱۰	۵۰	۲۰	۲۷/۹۶
۴	ضخامت جان عضو ۱ و ۴	۰/۵	۵	۰/۸	۰/۶۱۶
۵	ضخامت بال عضو ۱ و ۴	۰/۵	۵	۱/۷	۰/۸۷۸
۶	ارتفاع جان در گره ۲ و ۴ از عضو ۲ و ۳	۱۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۲۵/۰۳
۷	ارتفاع جان در گره ۳	۱۰	۱۵۰	۵۰	۱۷/۲۰
۸	عرض بال در عضو ۲ و ۳	۱۰	۵۰	۲۰	۱۲/۰۱
۹	ضخامت جان در عضو ۲ و ۳	۰/۵	۵	۰/۸	۰/۷۱۵
۱۰	ضخامت بال در عضو ۲ و ۳	۰/۵	۵	۱/۵	۰/۶۳
<b>حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتی متر مکعب</b>				<b>۳۹۸۳۵۷</b>	<b>۲۴۲۵۲۴</b>

❖ شاین توجه است، با بررسی نتایج مرجع فوق، مشاهده می گردد، تیر های سازه دارای نقض قیود محدودیت ابعادی می باشند. یادآور می شود بنابر آیین نامه آمریکا (مرجع فوق نیز بر همین اساس نگاشته شده است)  $\gamma$  یا همان ضریب تغییر مقطع اعضای غیر منشوری نباید از کوچکترین دو مقدار (6 و  $0.268L/d_0$ ) تجاوز نماید. این ضریب برای تیر های بهینه معرفی شده در بالا برابر  $6/269$  خواهد بود، در نتیجه ناقض آیین نامه می باشد. پیش بینی می گردد در صورت لحاظ محدودیت فوق، نتایج مرجع تا حدودی تضعیف گردد.

### ۵-۳-۲-۱-۲ نتایج بهینه سازی توسط برنامه الگوریتم ژنتیک جزیره ای

در حل مثال فوق مدول الاستیسیته برابر با  $2.1E6 \text{ kg/cm}^2$  در نظر گرفته شده است. با فرض قرارگیری یک مهار طولی در فاصله ی ۴۰۰ سانتی متر از پایه ستون، طول عضو مهار نشده در راستای محور ضعیف ۴۰۰ سانتی متر مفروض می گردد. فاصله سینه بند های تیر نیز برابر ۲۰۰ سانتی متر منتخب گردیده است. بر اساس اطلاعات هندسی مسئله و با در نظر گیری پارامتر های فوق سازه تحلیل و طراحی گردیده است. همچنین پارامتر های ژنتیک این مثال همانند مثال یک بهینه سازی در نظر گرفته شده است.

جدول شماره (۵-۱۸) مقایسه نتایج مثال دوم در برنامه الگوریتم ژنتیک ارائه شده با الگوریتم SQP

مرجع شماره [۷]

متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح بهینه الگوریتم ژنتیک (cm)	طرح بهینه الگوریتم SQP (cm)
۱	ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۲	۱۶/۱۵
۲	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۶۶	۱۰۲/۵۶
۳	عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱	۲۷/۹۶
۴	ضخامت جان عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۰/۴	۰/۶۱۶
۵	ضخامت بال عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۸۷۸
۶	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۸۷	۱۲۵/۰۳

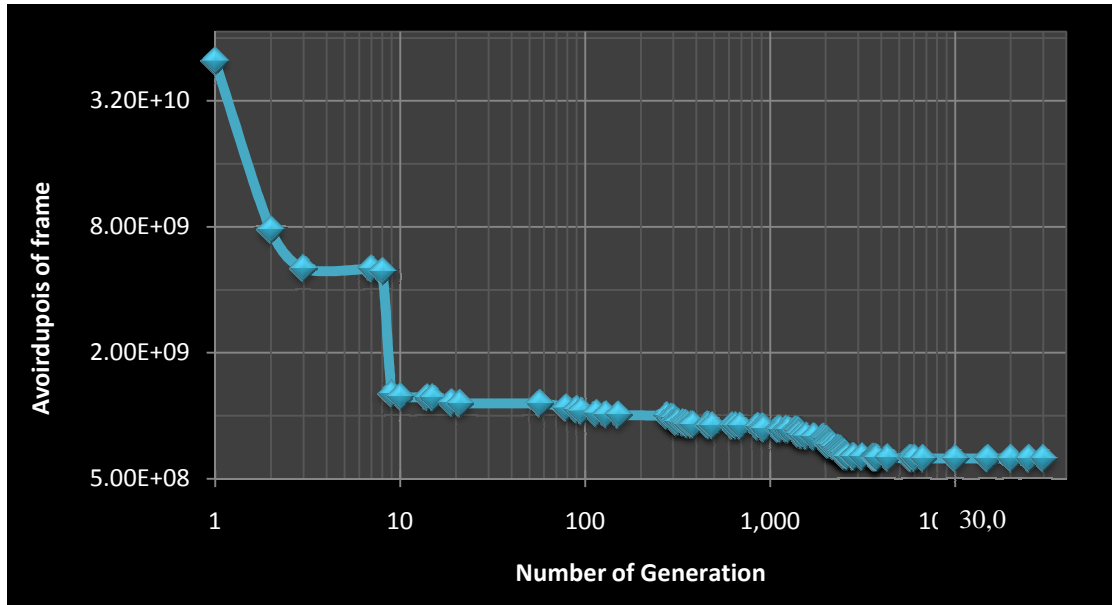
بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک  
فصل پنجم: صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه

متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح بهینه الگوریتم ژنتیک (cm)	طرح بهینه الگوریتم SQP (cm)
۷	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۳۸	۱۷/۲۰
۸	عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۳	۱۲/۰۱
۹	ضخامت جان در عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۰/۶	۰/۷۱۵
۱۰	ضخامت بال در عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۶۳
۱۱	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۳۴	۱۷/۲۰
۱۲	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۹۶	۱۲۵/۰۳
۱۳	عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۲	۱۲/۰۱
۱۴	ضخامت جان در عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۰/۶	۰/۷۱۵
۱۵	ضخامت بال در عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۶۳
۱۶	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۶۵	۱۰۲/۵۶
۱۷	ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۱	۱۶/۱۵
۱۸	عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۱	۲۷/۹۶
۱۹	ضخامت جان عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۰/۴	۰/۶۱۶
۲۰	ضخامت بال عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۸۷۸
<b>حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتی متر مکعب</b>				<b>۲۰۱۴۸۵</b>	<b>۲۴۲۵۲۴</b>

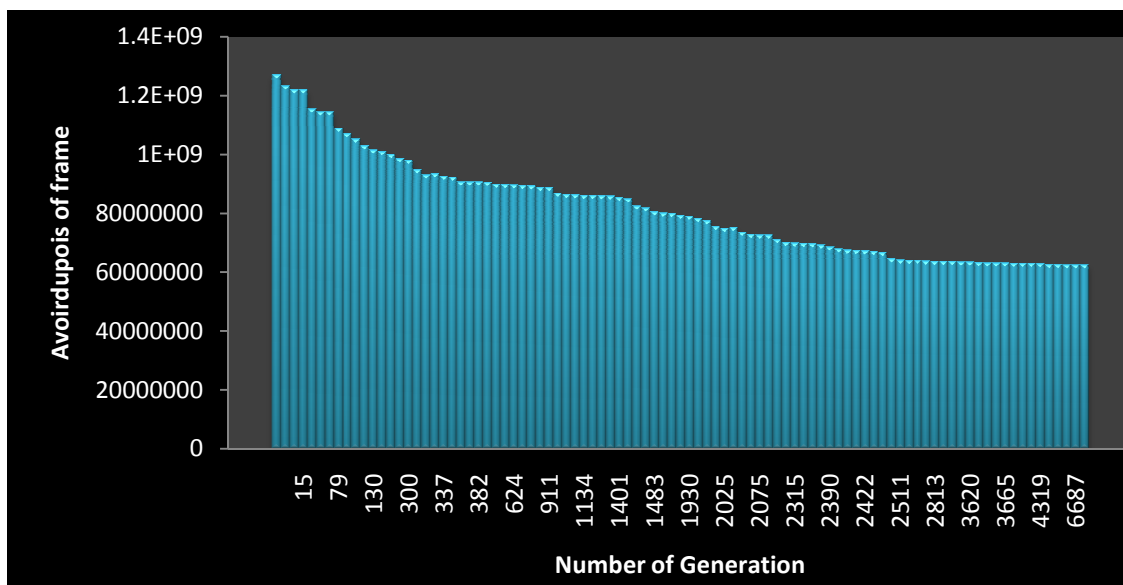
❖ گراف تغییرات وزنی سازه در طول فرایند بهینه سازی در طی نسل های متوالی، در گراف های

ذیل نمایش داده شده است. با توجه به گراف های ذیل می توان دریافت، پس از گذشت حدود

۱۰ نسل اول، الگوریتم به سمت هدف معین در دستیابی به جواب بهینه گام بر می دارد. این فرایند تا نسل ۶۶۸۷ ادامه می یابد. از آن پس (تا نسل سی هزارم که نسل پایانی الگوریتم است) کروموزوم بهینه تولید شده در نسل ۶۶۸۷ بر اساس فرایند الگوریتم نخبه گرا در تمام نسل ها تکثیر و منتقل شده است. (اشکال (۵-۱۶) و (۵-۱۷))



شکل شماره (۵-۱۶) نمودار لگاریتمی وزن قاب در طی فرایند بهینه سازی در نسل های ۱ تا ۳۰۰۰۰

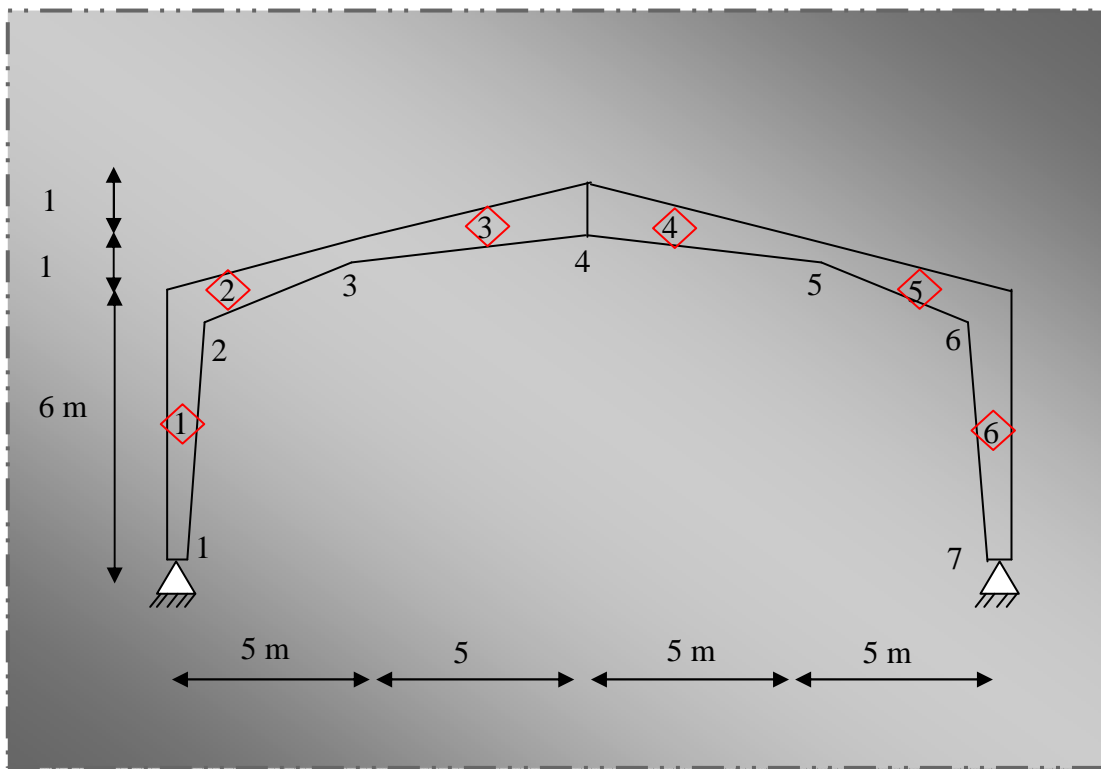


شکل شماره (۵-۱۷) نمودار تغییرات وزن قاب در طی فرایند بهینه سازی در نسل های ۹ تا ۶۶۸۷



### ۵-۳-۲-۲ بخش دوم از مثال دوم

در این بخش همان طور که ذکر شد، مثال شماره یک با توپولوژی نشان داده شده در شکل (۵-۱۸) تحت فرایند بهینه سازی قرار گرفته است. در این حالت کلیه پارامتر های هندسی سازه، شرایط مرزی و فاکتورهای بهینه سازی، برابر با پارامتر های بخش اول می باشد؛ به استثناء تیر های سازه که دارای یک گرهء میانی است. براین اساس ۲ شیب در طول تیر خواهیم بود که این ساختار تیر ها با توجه به نمودار های لنگر و برش در تیر ها منطقی تر به نظر می رسد. همچنین تعداد نسل ها به ۴۰۰۰۰ افزایش یافته است. شایان ذکر است این بخش به دلیل تعیین توپولوژی بهینه در بین ۲ طرح پر کاربرد (۵-۱۴) و (۵-۱۸) در سازه های فولادی شیبدار غیر منشوری، و همچنین افزایش دقت در اغنای قیود طراحی در سراسر طول تیر بررسی شده است.



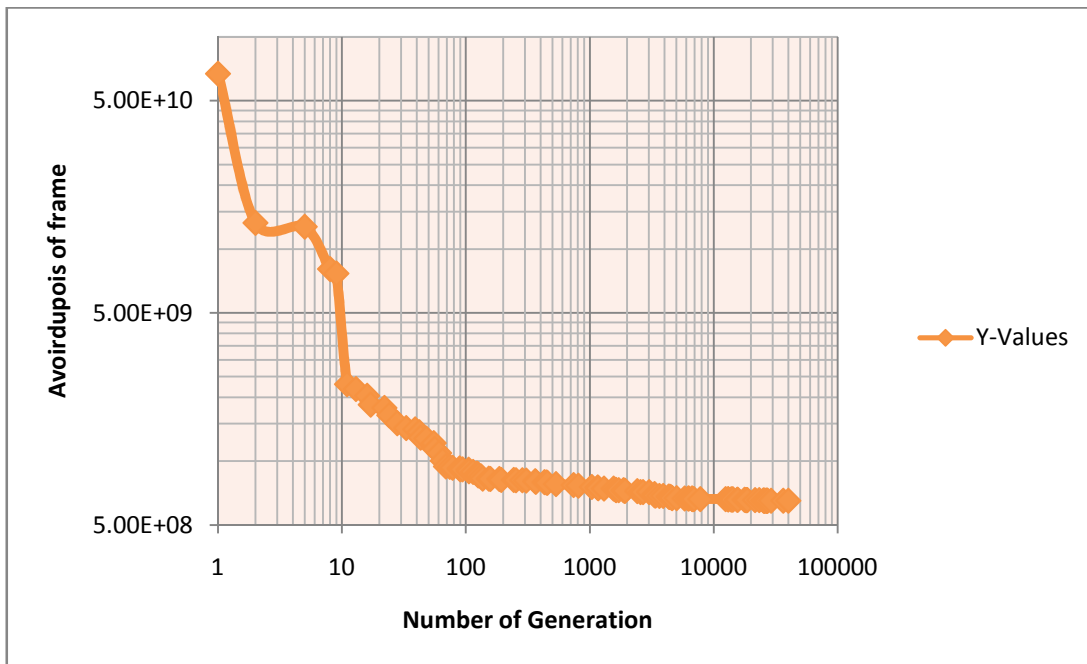
شکل (۵-۱۸) مشخصات توپولوژی- هندسی بخش دوم از مثال دوم بهینه سازی

جدول شماره (۵-۱۹) نتایج برنامه الگوریتم ژنتیک در حالت دوم از مثال دوم

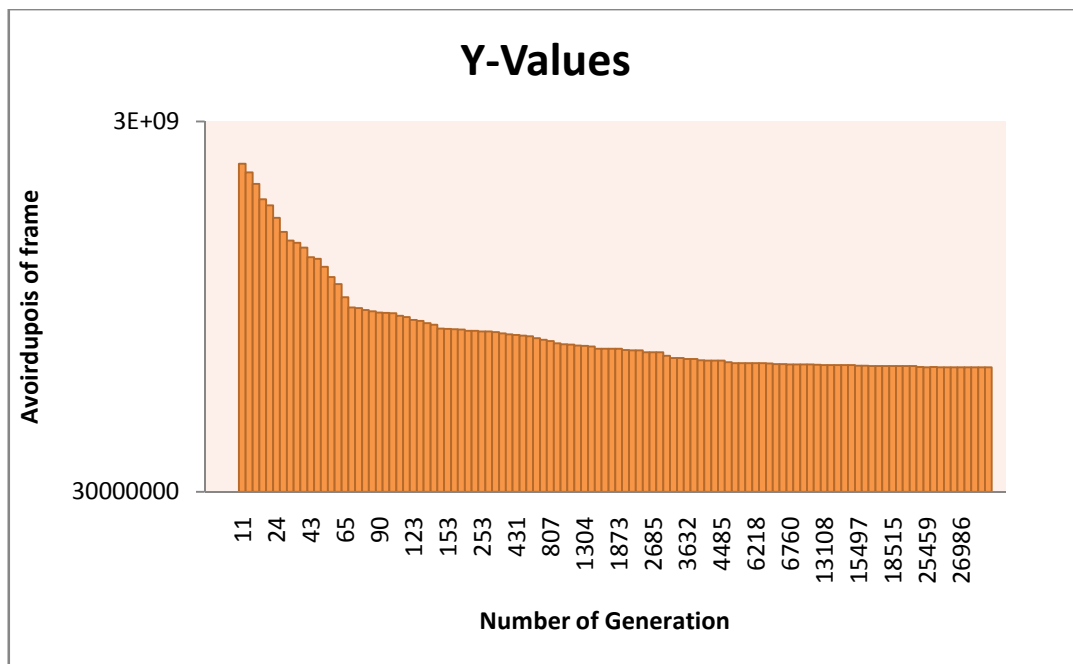
متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح بهینه الگوریتم ژنتیک (cm)
۱	ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱
۲	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۷۷
۳	عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱
۴	ضخامت جان عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۱
۵	ضخامت بال عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۱
۶	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۰۰
۷	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۸
۸	عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۶
۹	ضخامت جان در عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۰/۶
۱۰	ضخامت بال در عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۱
۱۱	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۲۸
۱۲	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۵۰
۱۳	عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۵
۱۴	ضخامت جان در عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۰/۳
۱۵	ضخامت بال در عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۰/۶

بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک  
فصل پنجم: صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه

متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح بهینه الگوریتم ژنتیک (cm)
۱۶	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۵۴
۱۷	ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۰
۱۸	عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۱
۱۹	ضخامت جان عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۰/۴
۲۰	ضخامت بال عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۱
۲۱	ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۳۲
۲۲	ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۹۰
۲۳	عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۱
۲۴	ضخامت جان عضو ۵	۰/۲	۳/۵	۰/۶
۲۵	ضخامت بال عضو ۵	۰/۲	۳/۵	۱
۲۶	ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۹۷
۲۷	ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۱
۲۸	عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۱
۲۹	ضخامت جان عضو ۶	۰/۲	۳/۵	۰/۶
۳۰	ضخامت بال عضو ۶	۰/۲	۳/۵	۱
۲۰۴۹۰۴	حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتی متر مکعب			



شکل شماره (۵-۱۹) نمودار لگاریتمی وزن قاب در طی فرایند بهینه سازی در نسل های ۱ تا ۴۰۰۰۰



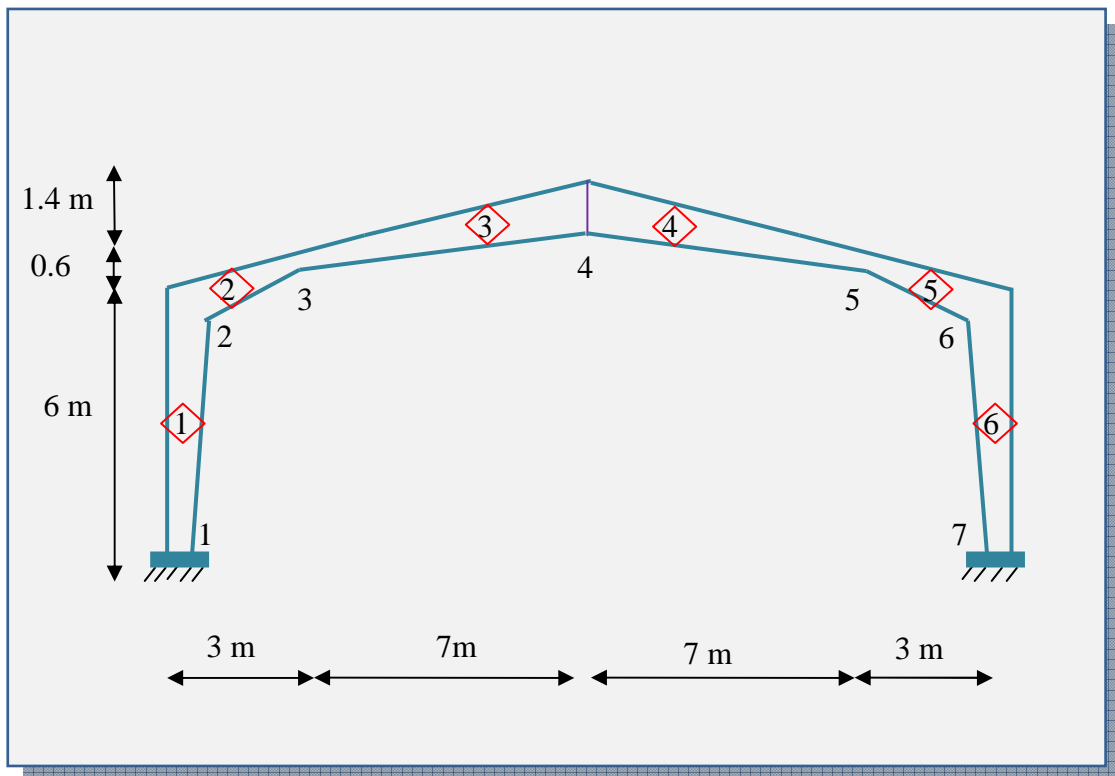
شکل شماره (۵-۲۰) نمودار تغییرات وزنی قاب در طی فرایند بهینه سازی در طول نسل های ۱۱ تا

۲۶۹۸۶

### ۵-۳-۳ شرح مثال سوم بهینه سازی

در این بخش به مقایسه نتایج بهینه سازی مثال سوم از مرجع شماره [۷] می پردازیم. بر این اساس قاب شیبدار غیر منشوری فولادی مطابق با شرایط مرزی و هندسی ذیل مفروض است. ( شکل شماره (۵-۲۱))

مطلوب است طرح بهینه این سازه تحت بار های نشان داده شده در شکل (۵-۱۵) و ترکیبات بار مفروض در آیین نامه؛ همچنین پارامتر های ژنتیک برنامه و فواصل مهاربندی ها نیز مطابق مثال دوم در نظر گرفته شده است.



شکل شماره (۵-۲۱) مشخصات هندسی مثال سوم بهینه سازی

### ۵-۳-۱ نتایج بهینه سازی مرجع توسط الگوریتم SQP

جدول شماره (۵-۲۰) نتایج بهینه سازی مثال سوم در مرجع توسط الگوریتم SQP

متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح اولیه (cm)	طرح بهینه (cm)
۱	ارتفاع جان در گره ۱ و ۷	۱۰	۱۵۰	۶۰	۸۳/۲۷
۲	ارتفاع جان در گره ۲ و ۶ از عضو ۱ و ۶	۱۰	۱۵۰	۹۰	۸۳/۷۴
۳	عرض بال در عضو ۱ و ۶	۱۰	۵۰	۲۵	۲۹/۵۳
۴	ضخامت جان عضو ۱ و ۶	۰/۵	۵	۰/۸	۰/۵۰۵
۵	ضخامت بال عضو ۱ و ۶	۰/۵	۵	۱/۵	۰/۹۱۵
۶	ارتفاع جان در گره ۲ و ۶ از عضو ۲ و ۵	۱۰	۱۵۰	۹۰	۱۱۶/۴۹
۷	ارتفاع جان در گره ۳ و ۵	۱۰	۱۵۰	۵۰	۶۰/۶۷
۸	عرض بال در عضو ۲ و ۳ و ۴ و ۵	۱۰	۵۰	۲۰	۱۲/۲۴
۹	ضخامت جان در عضو ۲ و ۳ و ۴ و ۵	۰/۵	۵	۰/۸	۰/۶۹۸
۱۰	ضخامت بال در عضو ۲ و ۳ و ۴ و ۵	۰/۵	۵	۱/۵	۰/۵۱۸
۱۱	ارتفاع جان در گره ۴	۱۰	۱۵۰	۵۰	۱۰/۷۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتی متر مکعب				۳۷۵۷۵۱	۲۱۴۷۰۳

### ۵-۳-۲ نتایج بهینه سازی توسط برنامه الگوریتم ژنتیک جزیره ای

جدول شماره (۵-۲۱) نتایج بهینه سازی مثال سوم توسط برنامه الگوریتم ژنتیک جزیره ای

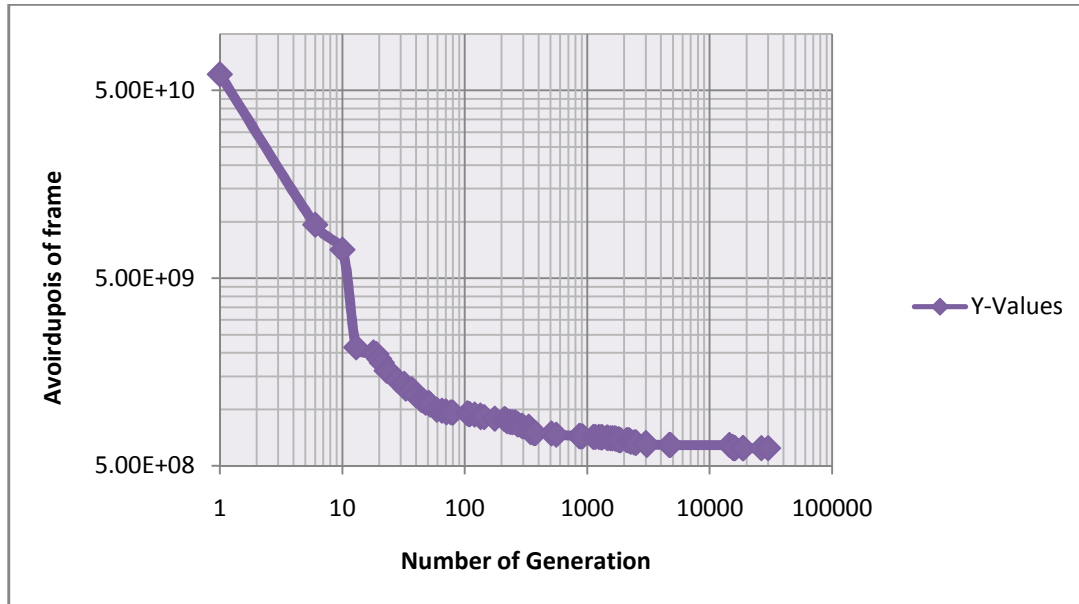
متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح بهینه الگوریتم ژنتیک (cm)
۱	ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۴۲
۲	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۶۶
۳	عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۴
۴	ضخامت جان عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۰/۴
۵	ضخامت بال عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۱
۶	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۶۵
۷	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۷
۸	عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۱
۹	ضخامت جان در عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۰/۶
۱۰	ضخامت بال در عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۱
۱۱	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۵
۱۲	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۸۹
۱۳	عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۲
۱۴	ضخامت جان در عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۰/۶
۱۵	ضخامت بال در عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۱

بهینه یابی ابعادی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک  
فصل پنجم: صحت سنجی و ارزش سنجی نتایج برنامه

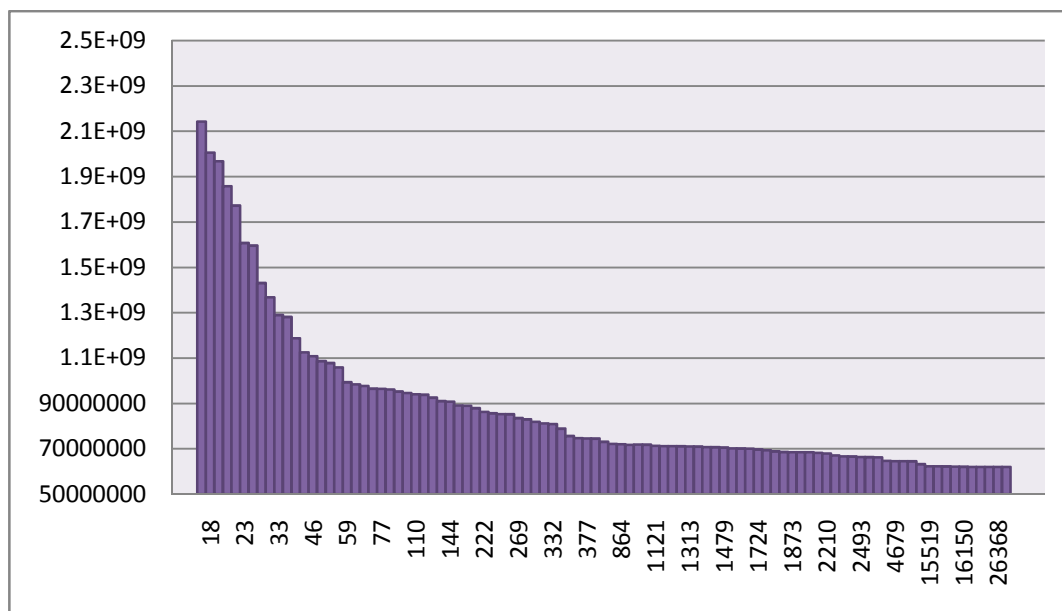
متغیر	شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح بهینه الگوریتم ژنتیک (cm)
۱۶	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۷۸
۱۷	ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۲
۱۸	عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۵
۱۹	ضخامت جان عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۰/۶
۲۰	ضخامت بال عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۰/۸
۲۱	ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۶
۲۲	ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۷۳
۲۳	عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۸
۲۴	ضخامت جان عضو ۵	۰/۲	۳/۵	۱
۲۵	ضخامت بال عضو ۵	۰/۲	۳/۵	۰/۸
۲۶	ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۶۶
۲۷	ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۴۳
۲۸	عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۲
۲۹	ضخامت جان عضو ۶	۰/۲	۳/۵	۰/۴
۳۰	ضخامت بال عضو ۶	۰/۲	۳/۵	۱/۲
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتی متر مکعب		۲۰۳۲۵۳		



❖ گراف تغییرات وزنی سازه در طول فرایند بهینه سازی در طی نسل ها، در اشکال زیر نمایش داده شده است. پس از گذشت حدود ۱۱ نسل اول، الگوریتم به سمت هدف معین در دستیابی به جواب بهینه گام بر می دارد. این فرایند تا نسل ۲۶۳۶۸ ادامه می یابد و از آن پس مقادیر ثابت می گردد.



شکل شماره (۵-۲۲) نمودار لگاریتمی وزن قاب در طی فرایند بهینه سازی در نسل های ۱ تا ۳۰۰۰۰



شکل شماره (۵-۲۳) نمودار تغییرات وزنی قاب در فرایند بهینه سازی از نسل ۱ تا ۲۶۳۶۸

## فصل ششم:

## نتیجہ گیری و پیشہادات

## ۶-۱ نتیجه گیری

این تحقیق از پس احساس لزوم وجود نرم افزاری جامع جهت تحلیل، طراحی و بهینه سازی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی صورت پذیرفته است. بر این اساس برنامه ای کاربرپسند در زبان ویژوال بیسیک تدوین شده است که به تحلیل، طراحی و بهینه یابی این گونه از سازه ها می پردازد. برای تحلیل قاب غیر منشوری از روش ارائه شده در مرجع [۲۴] و جهت تحلیل پایداری سازه از روش ارائه شده در مرجع [۲۹] استفاده گردیده است. طراحی سازه نیز بر اساس آیین نامه آمریکا AISC صورت گرفته است. جهت بهینه سازی قاب شیبدار غیر منشوری فولادی نیز از روش الگوریتم ژنتیک جزیره ای، که در مرجع [۸] ارائه گردیده، بهره گرفته شده است.

جهت دقت سنجی نتایج تحلیل سازه که از ارکان اساسی در بهینه سازی قاب های غیر منشوری می باشد، نتایج تحلیل توزیع لنگر تیر غیرمنشوری مرجع [۳۳] با نتایج برنامه حاضر مقایسه شده است. نتایج مقایسه، اختلافی در حدود ۳ درصد در بین دو روش فوق را نشان می دهد. شایان ذکر

است بخشی از اختلاف نتایج، ناشی از خطا های درون یابی گراف ها در روش مرجع [۳۳] است. همچنین جهت بررسی بیشتر دقت نتایج تحلیل سازه، مقادیر نیروهای درونی و تغییر شکل های یک قاب غیر منشوری فولادی که توسط برنامه مدل شده است، با نتایج مدل سازی قاب در نرم افزار Sap2000 مقایسه گردیده است. نتایج حاکی از اختلافی در حدود کمتر از ۵ درصد در بین آنها است. جهت صحت سنجی زیر برنامه طراحی سازه، طرح مثال قاب شیبدار غیر منشوری در مرجع [۲۵] بررسی شده است. نتایج طراحی توسط برنامه ارائه شده ( با در نظر گیری ضریب طول موثر به روش ارائه شده در آن مرجع) کاملاً منطبق بر مرجع می باشد.

جهت ارزش سنجی الگوریتم بهینه سازی حاضر، طرح بهینه یک تیر کنسول غیر منشوری مورد بحث قرار گرفته است. نتایج این بررسی حاکی از انطباق اساس مقطع تئوریک و اساس مقطع معرفی شده توسط برنامه بوده، که این موضوع نشانگر قدرت بالای الگوریتم در شناسایی بهینه مطلق است. همچنین نتایج بهینه سازی قاب شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک جزیره ای با نتایج الگوریتم SQP ارائه شده در مرجع [۷] مقایسه شده است. بر این اساس به مقایسه ۲ قاب معرفی شده در آن مرجع پرداخته شده است. شایان ذکر است مثال اول در دو حالت توپولوژی سازه ای بررسی گردیده است.

بر اساس این مقایسه، در مثال دوم نشان داده شده است، نتایج مقادیر حجم فولاد مورد نیاز در برنامه الگوریتم ژنتیک ارائه شده در این پایان نامه، نسبت به طرح بهینه سازه در مرجع فوق در حدود ۲۰ درصد و در حالت دوم از این مثال در حدود ۱۸ درصد بهبود یافته است.

در مثال سوم نیز نتایج حجمی فولاد مصرفی در قاب های بهینه طرح شده توسط الگوریتم ژنتیک جزیره ای نسبت به طرح بهینه سازه در مرجع فوق در حدود ۷ درصد بهبود یافته است.

شایان توجه است، همان طور که در فصل قبل نیز اشاره شد، مرجع [۷] دارای نقض قیود هایی می باشد که پیش بینی می گردد در صورت رعایت این قیود، توسط مرجع فوق نتایج آن تا حدودی

تضعیف گردد؛ به معنای دیگر میزان درصد بهبود نتایج بهینه سازی در این پایان نامه افزایش خواهد یافت.

از سویی دیگر با دقت در نمودار های تغییرات وزنی قاب ها در طی نسل های متوالی ( که در فصل پنجم بدان پرداخته شده است) می توان دریافت که، همگرایی الگوریتم ژنتیک مناسب بوده و الگوریتم توانایی خروج از بهینه های محلی را دارا می باشد. با توجه به نخبه گرا بودن الگوریتم، کروموزوم های نخبه که در نسل های ابتدایی تولید شده است، توانایی تکثیر و مهاجرت به نسل های بعدی را دارا می باشند.

شایان ذکر است کلیه مثال های مشروح در این پایان نامه، به صورت مجزا با الگوریتم های ژنتیک ساده با روش های متنوع انتخاب و عملگر های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج این آزمایشات موید بهبود کارایی، سرعت و قابلیت الگوریتم ژنتیک جزیره ای ( روش جستجوی چند منظوره) در مقایسه با الگوریتم های ژنتیک ساده است.

## ۶-۲ پیشنهادات

۱. پیشنهاد می شود در گام بعدی، بهینه سازی قاب های شیبدار غیر منشوری در حالت سه بعدی مورد تحقیق قرار گیرد. شایان ذکر است تحلیل سه بعدی سازه در سازه های با جرثقیل های ثقفی، به جهت تحمل بخشی از نیرو های وارده به هر قاب توسط قاب های مجاور آن، موجب کاهش سطح مقطع مورد نیاز در هر یک از قاب ها می شود. در نتیجه تحلیل سه بعدی سازه در این گونه از سازه ها موجب طراحی بهینه تر آنها خواهد شد.
۲. به عنوان یک پروژه جانبی پیشنهاد می گردد، اثرات ناشی از بارگذاری دینامیکی در قاب های شیبدار غیر منشوری، جهت مدل سازی نیرو های ناشی از وجود جرثقیل های ثقفی در آنها، مورد بررسی قرار گیرد.
۳. تحلیل پایداری قاب های غیر منشوری از ارکان مهم این گونه از سازه ها می باشد، که بررسی اثرات و مقادیر ضریب طول موثر در تیر ها و ستون ها می تواند مفید باشد.
۴. استفاده از شبکه های عصبی آموزش یافته با الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ژنتیک هیبرید، و یا سایر الگوریتم های تکاملی همچون الگوریتم پرندگان، الگوریتم مورچگان و ... جهت بهینه یابی قاب های غیر منشوری و مقایسه آن با نتایج الگوریتم ژنتیک جزیره ای پیشنهاد می شود.
۵. جهت بررسی و بهبود نتایج، پیشنهاد می گردد برای طراحی سازه از روش های دیگری همچون LRDF و یا طراحی پلاستیک سازه نیز استفاده شود.

# فہرست مراجع



- [1] Hojat Adeli, Kamal C Sarma, (2006), "*Cost Optimization of Structures Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, and Parallel Computing*". John Wiley & Sons Ltd, England.
- [2] Khan MR, (1984), "Optimality Criterion Techniques to frames having general cross sectional relationships". AIAA J.22, pp.669-676.
- [3] J.Montero, P.Galletero, C.Neumeister, and J. I. Díaz. (July, 2004) "*Comparative Study between Rigid Frames and Truss Steel Structures*" Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript BC 03 010.
- [4] Tan,TKH and Jeninig. (1987) "*Optimal plastic design of frames with tapered members*" In: civil-COMP 87, proc. Third Int. Conf. on civil and structural engineering computing, london. Vol. 1,pp.265-271.
- [5] Hayalioglu m.s, saka m.p. (1992) "*Optimum design of geometrically nonlinear Elastic-plastic steel frames with tapered members*". Computers& structures, vol 44, No 4, PP 915-924.
- [6] saka m.p. (1997) "*Optimum design of steel frames with tapered members*". Computers& structures, Vol 63, No 4, PP 797-811.

[۷] حسین زاده. ر، اسفند ۱۳۸۰، پایان نامه کارشناسی ارشد، " طرح بهینه قاب های شیبدار

فولادی"، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.



[۸] طالبپور. ح، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خرپایی با استفاده از روش های نوین الگوریتم ژنتیک"، دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۹] امید باوی، منوچهر صالحی (۱۳۸۷) "الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی سازه های مرکب"، چاپ اول، انتشارات عابد، تهران.

[۱۰] علیرضا م. (۱۳۸۶). "مقدمه ای بر الگوریتم های ژنتیک و کاربردهای آن". چاپ دوم، شرکت ناقوس اندیشه، تهران.

[۱۱] رضایی ع. و رنجبران س. (۱۳۸۶). "آموزش کاربردی الگوریتم ژنتیک در نرم افزار Matlab". چاپ اول، کتاب پدیده، تهران.

[12] <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga.html>

[۱۳] کلات جاری و. ر. (۱۳۸۰)، رساله دکتری. "بهینه یابی خرپاها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش جبری نیروها". دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۱۴] باقرنژاد. ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد، "کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی تیر ورق ها"، دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود.

[15] Rajeev S. and Krishnamoorthy C. S. (1992). "Discrete Optimization Of Structures Using Genetic Algorithms" *ASCE, Journal of Structural Engineering* 118, 5, pp. 1233-1250.

[16] 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.

- [17]Rajeev S. and Krishnamoorthy C. S. (1992). "Discrete Optimization Of Structures Using Genetic Algorithms", *ASCE, Journal of Structural Engineering*. 118, 5, pp. 1233-1250.
- [18]Haupt R. L. and Werner D. H.. "Genetic Algorithms in Electromagnetics". IEEE PRESS, ISBN 978-0-471-48889-7.
- [19]Sahab M. G., Toropov V. V. and Ashour A. F. . "A Hybrid Genetic Algorithm for Structural Optimization Problems". *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 5, pp. 121-143.
- [20] Sivanandam S. N. and Deepa S. N. "Introduction to Genetic Algorithms", Springer-Berlin Heidelberg New York, ISBN 978-3-540-73189-4.
- [21] Mitchell M. (1999). "An Introduction to Genetic Algorithms" . MIT Press, ISBN 0-262-13316-4.
- [22] Haupt R. L. and Haupt E. " *Practical Genetic Algorithms*". Second Edition, John Wiley and Sons, New York.
- [23] [www.worldwidesteelbuildings.com](http://www.worldwidesteelbuildings.com), PO Box 588 Peculiar MO 64078, 800-825-316 Office, 816-779-6441 KC Line,816-779-7361 Fax.
- [۲۴] رضایی پزند م، (۱۳۸۷). "نگره ماتریسی تحلیل سازه ها". چاپ دوم، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۲۵] ازهری م، میرقادی س ر، (۱۳۸۴). "طراحی سازه های فولادی". جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات ارکان، اصفهان.
- [26] Karabalis DL, Beskos DE. 1983 "Static, dynamic and stability analysis of structures composed of tapered beams". *Computers and Structures* 16:731–48.

- [27] Guo-Qiang Li a, Jin-Jun Li, 2002, "A tapered Timoshenko–Euler beam element for analysis of steel portal frames " , *Journal of Constructional Steel Research* 58, 1531–1544
- [28] Lee, GC, morel, ML. and ketter R.L,1972 "design of tapered members", *WRC (welding research council)*, bulletin No 173.
- [29] Nikitas Bazeos, Dimitris L. Karabalis, 2006 "Efficient computation of buckling loads for plane steel frames with tapered members", *Engineering Structures* 28 771–775.
- [30] Gallagher RH, Lee CH. 1970 Matrix dynamic and instability analysis with non-uniform elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 2:265–75.
- [۳۱] مجیدزمانی س س، ارشاد ل، طاحونی ش، (۱۳۸۳). " طرح و محاسبه سازه ای ساختمان های صنعتی فولادی ". گزارش تحقیقاتی نشریه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن شهرسازی گ- ۴۰۵.
- [۳۲] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۳). " مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان "، چاپ پنجم، نشر توسعه ایران.
- [۳۳] ام گر ج (۱۳۶۶). " توزیع لنگر "، اخوان لیل آبادی م ر، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- [۳۴] میرقادری س ر، مترجم، " آیین نامه سازه های فولادی AISC " جهاد دانشگاهی واحد اصفهان،

۱۳۷۷

## **Abstract**

In this thesis, sizing optimization of steel portal frames with tapered members by Genetics Algorithm on the basis of AISC code has been studied. The goal of this research is to develop a user friendly computer program that can be able to analysis, design and optimization of nonprismatic portal gable frames.

This program is based on current hypothesis in construction of this type of structure e.g. single story, plane frame with nonprismatic member. Each member of the frame consists of 5 design parameters, namely, height of web at the head of member, height of web at the end of member, Thickness of web, Thickness of flange and breadth of flange that will be optimized during algorithm process. Finally the optimum module type of frame, that yielding minimum weight of structure will be provided to user.

In exposition of the thesis, after introduction of chronicle from optimization of tapered member, genetic algorithm was explained, and then the terms and methods of analysis and design of nonprismatic frames were surveyed. Finally, accuracy and worth out put of the program were presented.

Keyword:

Portal Frame, Tapered Member, Optimization, Genetic Algorithm, AISC Manual



Shahrood University of Technology

Faculty: Civil & Architecture

Sizing Optimization of portal Gable Frame with Tapered  
Member by Genetic Algorithm

AMIN NOORYAN

Supervisor: Dr. VAHID REZA KALATJARI

Counselor: Dr. SYROOS GHOLAMPOUR

2010 , January