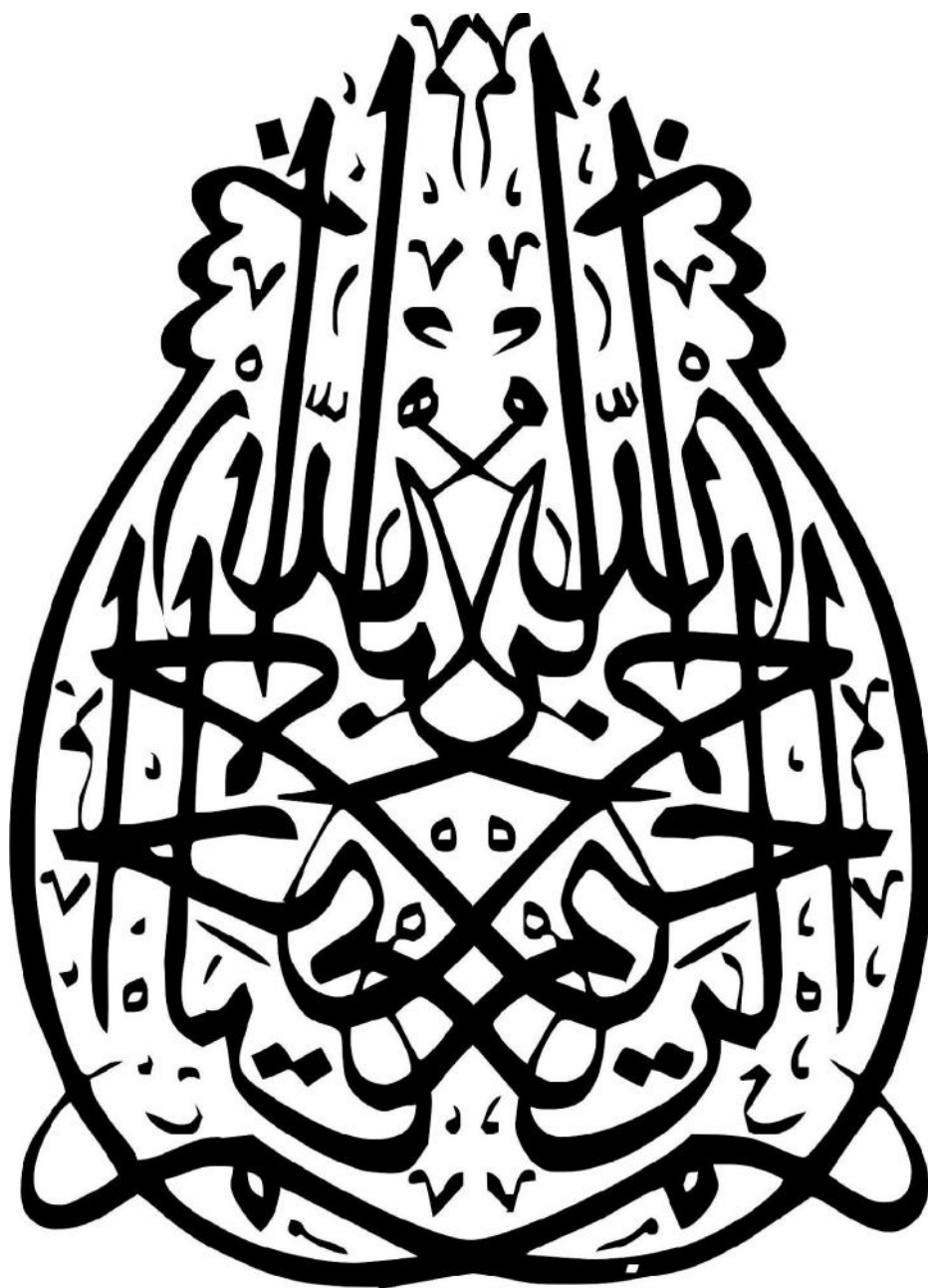






دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بهینه‌یابی قاب‌های شیب‌دار صنعتی توسط پیش‌تنیدگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ابوالفضل عسکری

استاد راهنما:

دکتر وحید رضا کلات جاری

استاد مشاور:

مهندس محمد حسین طالب‌پور

شهریور ۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

گروه: عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای ابوالفضل عسکری

تحت عنوان:

بهینه یابی قاب های شیب دار صنعتی توسط پیش تنیدگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در تاریخ توسط کمیته ی تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد راهنما	امضاء	استاد مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :		

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	استاد داور
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

تقدیم به

پدر و مادرم

که هماره مدیون دعای خیرشان هستم

همسر بزرگوارم

به خاطر تمام فداکاری هایش

و

روح بلند برادرم که وسعتش در همیشگی من جاریست

تشکر و قدردانی

اکنون که این تحقیق به ثمر رسیده، جا دارد از زحمات بی‌شائبه‌ی آقایان دکتر وحید رضا کلات‌جاری و مهندس محمد حسین طالب‌پور که بدون مساعدت و حمایت‌های بی‌دریغ ایشان اتمام این پایان‌نامه ممکن نبود، کمال سپاسگزاری و قدردانی را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب **ابوالفضل عسکری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران- سازه دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهینه‌یابی قاب‌های شیب‌دار صنعتی توسط پیش‌تنیدگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحت راهنمایی دکتر وحیدرضا کلات جاری متعهد می‌شوم:

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

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. 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 نمی‌باشد.

چکیده

این تحقیق با ارائه‌ی روشی ابتکاری، در راستای بهینه‌سازی وزن سازه، مبادرت به اعمال نیروی پیش‌تنیدگی در قاب‌های شیب‌دار صنعتی با مقاطع متغیر نموده است. مکان اعمال نیروی پیش‌تنیدگی، با حل مثال‌های فراوانی در دو نقطه‌ی پای ستون یا همان تکیه گاه و همچنین بالای ستون تعیین گردیده است. نحوه‌ی اعمال این نیرو می‌تواند با استفاده از کابل‌های کشیده شده باشد.

در این تحقیق به‌واسطه‌ی تدوین نرم‌افزاری به زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک، به بهینه‌سازی قاب‌های شیب‌دار صنعتی با مقاطع متغیر به وسیله‌ی پیش‌تنیدگی پرداخته شده است. روش بهینه‌سازی، روش الگوریتم ژنتیک جزیره‌ای بوده و از روش تنش مجاز آیین نامه فولاد آمریکا استفاده گردیده است.

خروجی‌های نرم‌افزار ذکرشده مقاطع بهینه‌ی سازه که شامل ارتفاع جان در دو انتهای هر کدام از اعضا، عرض بال، ضخامت جان و ضخامت بال بهینه شده می‌باشد. علاوه بر پارامترهای ذکر شده میزان نیروی پیش‌تنیدگی بهینه در هرکدام از نقاط ذکر شده نیز توسط نرم‌افزار ارائه می‌گردد.

صحت‌سنجی نتایج برنامه در سه مرحله‌ی تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی انجام پذیرفته است. مقایسه نتایج برنامه با نتایج حاصله از حل دستی و نرم‌افزار SAP2000 حاکی از صحت خروجی‌های برنامه می‌باشد. پس از اطمینان از درستی نتایج، اقدام به بهینه‌سازی چند قاب در حالات مختلف پیش‌تنیدگی گردیده است و نهایتاً نتایج قابل توجهی حاصل شده است که حاکی از تاثیر بسزای پیش‌تنیدگی در بهینه‌سازی قاب‌های شیب‌دار صنعتی می‌باشد. میزان این تاثیر براساس مکان اعمال نیروی پیش‌تنیدگی و طول دهانه قاب متغیر می‌باشد.

مقاله مستخرج از این پایان نامه:

The study of retrofitting methods of steel structures by applying prestressing force, Proceedings of the 4th International Conference on Seismic Retrofitting, Tabriz, Iran, 2-4 May 2012

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ پیشگفتار	۲
۲-۱ بهینه‌سازی با استفاده از پیش‌تنیدگی	۳
۳-۱ بهینه‌سازی قاب‌های شیب‌دار صنعتی	۳
۴-۱ تاریخچه‌ی بهینه‌سازی با روش پیش‌تنیدگی	۵
۵-۱ تاریخچه تحقیقات بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با اعضای غیرمنشوری	۷
۶-۱ اهداف و فرضیات تحقیق	۱۰
۷-۱ ساختار پایان‌نامه	۱۱
فصل دوم: مفهوم پیش‌تنیدگی و انواع روش‌های اعمال آن	۱۲
۱-۲ مفهوم پیش‌تنیدگی	۱۳
۲-۲ پیش‌تنیدگی با صفحات CFRP	۱۵
۱-۲-۲ پیش‌تنیدگی به‌واسطه‌ی ایجاد خیز منفی	۱۶
۲-۲-۲ پیش‌تنیدگی به‌واسطه تجهیزات خارجی	۱۶
۳-۲-۲ پیش‌تنیدگی با تجهیزات الحاقی	۱۷
۳-۲ پیش‌تنیده کردن اعضای فولادی به وسیله کابل‌ها	۱۸
۱-۳-۲ کابل‌های مستقیم	۱۸
۲-۳-۲ کابل‌های آویخته	۲۱
۴-۲ پیش‌تنیدگی تیرها به وسیله خمش	۲۴
۵-۲ روش ایجاد خیز از قبل (پیش‌خیز)	۲۶
۶-۲ بازپخش لنگرهای خمشی	۲۸
۷-۲ مقاوم‌سازی اتصال با پیش‌تنیدگی خارجی به‌وسیله کابل کششی	۳۰
۸-۲ الزامات پیش‌تنیدگی	۳۲

۳۳	۹-۲ صرفه جویی با پیش تنیدگی
۳۴	۱۰-۲ نمونه ای از کاربرد روش پیش تنیدگی در ایران
۳۶	فصل سوم: الگوریتم ژنتیک و مفاهیم آن
۳۷	۱-۳ پیشگفتار
۳۸	۲-۳ تاریخچه الگوریتم های ژنتیک
۳۸	۳-۳ مفاهیم علم ژنتیک
۴۰	۴-۳ بهینه یابی با الگوریتم های ژنتیک
۴۲	۵-۳ کد کردن مقادیر
۴۲	۲-۵-۱ کد مبنای دو (کد دودویی)
۴۳	۲-۶ شایستگی هر کروموزوم
۴۴	۳-۷ تابع پناستی
۴۵	۳-۸ تابع شایستگی
۴۶	۳-۹ انتخاب
۴۷	۳-۹-۱ روش چرخ گردان
۴۹	۳-۹-۲ روش رتبه بندی
۵۱	۳-۹-۳ روش رقابتی
۵۲	۳-۹-۴ مفهوم برگزیده (شایسته سالاری)
۵۳	۳-۱۰ عملگر های GA
۵۵	۳-۱۰-۱ روش ادغام چند نقطه ای
۵۶	۳-۱۰-۲ روش ادغام یکنواخت
۵۶	۳-۱۰-۳ نرخ ادغام
۵۷	۳-۱۰-۴ عمل معکوس سازی
۵۸	۳-۱۰-۵ عمل حذف و کپی
۵۸	۳-۱۰-۶ عمل حذف و تولید مجدد

۱۱-۳	جهش.....	۵۹
۱-۱۱-۳	عمل جهش در کدگذاری دودویی.....	۵۹
۱۲-۳	شرط توقف الگوریتم.....	۶۱
۱۳-۳	روش جستجوی جزیره‌ای یا چند منظوره (M.S.M).....	۶۱
فصل چهارم: تحلیل و طراحی قاب‌های شیب‌دار غیر منشوری		
۱-۴	پیشگفتار.....	۷۱
۲-۴	انواع سازه‌های شیب‌دار.....	۷۲
۱-۲-۴	انواع سازه‌های شیب‌دار با قاب صلب.....	۷۴
۳-۴	فرضیات تحلیل و طراحی.....	۷۶
۴-۴	تحلیل قاب‌های شیب‌دار غیر منشوری.....	۷۷
۵-۴	کلیات طراحی اعضا با استفاده از روش تنش‌های مجاز.....	۸۳
۱-۵-۴	تنش مجاز فشاری.....	۸۵
۲-۵-۴	برآورد ضریب طول موثر (K_Y).....	۸۶
۳-۵-۴	تنش‌های مجاز خمشی.....	۹۲
۴-۵-۴	تنش مجاز برشی.....	۹۴
۵-۵-۴	اندرکنش نیروی فشاری و خمشی.....	۹۵
۶-۵-۴	قیدهای مربوط به ابعاد عضو.....	۹۷
فصل پنجم: فرضیات و راهنمای اجرای نرم‌افزار		
۱-۵	پیشگفتار.....	۹۹
۲-۵	فرضیات ورودی‌های برنامه.....	۱۰۰
۱-۲-۵	مشخصات هندسی گره‌های سازه.....	۱۰۰
۲-۲-۵	خصوصیات مصالح مصرفی.....	۱۰۱
۳-۲-۵	گستره‌ی مقاطع مجاز برنامه.....	۱۰۲
۴-۲-۵	بارهای وارده به اعضا و ترکیبات بار.....	۱۰۵

۱۰۸.....	۵-۲-۵ شرایط تکیه گاهی
۱۰۸.....	۵-۲-۶ پارامترهای بهینه سازی
۱۱۰.....	۵-۲-۷ نیروهای پیش‌تنیدگی
۱۱۱.....	فصل ششم: صحت‌سنجی و ارزیابی نتایج نرم‌افزار
۱۱۲.....	۶-۱ پیشگفتار
۱۱۳.....	۶-۲ صحت سنجی تحلیل سازه
۱۱۳.....	۶-۲-۱ مثال اول صحت سنجی تحلیل سازه
۱۱۶.....	۶-۲-۲ مثال دوم صحت سنجی تحلیل سازه
۱۲۰.....	۶-۳ صحت سنجی طراحی و کنترل‌های اعضای سازه
۱۲۲.....	۶-۴ صحت سنجی بهینه‌یابی
۱۲۶.....	۶-۵ مثال های بهینه‌سازی
۱۲۷.....	۶-۵-۱ مثال اول بهینه سازی
۱۳۲.....	۶-۵-۲ مثال دوم بهینه سازی
۱۳۷.....	۶-۵-۳ مثال سوم بهینه سازی
۱۴۳.....	فصل هفتم: نتایج و پیشنهادات
۱۴۴.....	۷-۱ نتیجه گیری
۱۴۷.....	۷-۲ پیشنهادات
۱۴۸.....	مراجع

فهرست اشکال

اشکال فصل دوم

- شکل ۲-۱ مثال ساده کتاب‌ها برای مفهوم پیش‌تنیدگی..... ۱۴
- شکل ۲-۲ پیش‌تنیدگی در یک و چند مرحله..... ۱۵
- شکل ۲-۳ مراحل پیش‌تنیدگی CFRP با ایجاد خیز منفی..... ۱۶
- شکل ۲-۴ پیش‌تنیدگی به‌واسطه تجهیزات خارجی..... ۱۷
- شکل ۲-۵ پیش‌تنیدگی با تجهیزات خارجی..... ۱۷
- شکل ۲-۶ یک عضو در کشش در اثر پیش‌تنیدگی..... ۱۹
- شکل ۲-۷ اثر اضافه طول عضو در پیش‌تنیدگی..... ۱۹
- شکل ۲-۸ پخش تنش ناشی از پیش‌تنیدگی و بار رود یک تیر I شکل فولادی متقارن..... ۲۰
- شکل ۲-۹ کابل آویخته..... ۲۲
- شکل ۲-۱۰ پیش‌تنیدگی به‌واسطه کابل‌های آویزان..... ۲۲
- شکل ۲-۱۱ پیش‌تنیده کردن به وسیله خمش..... ۲۴
- شکل ۲-۱۲ نمودارهای تنش‌های عمودی تیرهای متقارن ناشی از خمش عضو..... ۲۵
- شکل ۲-۱۳ خصوصیات مقاطع و تنش اعضا در مراحل مختلف بارگذاری تیر قوس‌دار..... ۲۷
- شکل ۲-۱۴ بازپخش لنگر خمشی در شاه‌تیر سه‌دهانه پیوسته به‌وسیله پایین آوردن تکیه‌گاه‌ها..... ۲۹
- شکل ۲-۱۵ اتصالات آسیب دیده..... ۳۱
- شکل ۲-۱۶ مقاوم‌سازی اتصال با پیش‌تنیدگی خارجی..... ۳۱
- شکل ۲-۱۷ پل غازیان انزلی..... ۳۴
- شکل ۲-۱۸ مقاوم‌سازی با پیش‌تنیدگی کابل‌ها..... ۳۵
- شکل ۲-۱۹ نحوه اتصال کابل‌ها..... ۳۵

اشکال فصل سوم

- شکل ۳-۱ رشته DNA..... ۳۹
- شکل ۳-۲ مدلی از چرخ گردان..... ۴۸
- شکل ۳-۳ قرارگیری کروموزوم‌های منتخب در استخر آمیزش..... ۴۹
- شکل ۳-۴ موقعیت کروموزوم‌ها بر اساس روش چرخ گردان..... ۵۰
- شکل ۳-۵ موقعیت کروموزوم‌ها پس از مرتب‌سازی بر اساس روش رتبه‌بندی..... ۵۰

- شکل ۳-۶ روش رقابتی ۵۲
- شکل ۳-۷ روش ادغام چند نقطه‌ای (حالتی که تعداد مکان‌ها زوج باشد) ۵۵
- شکل ۳-۸ روش ادغام چند نقطه‌ای (حالتی که تعداد مکان‌ها فرد باشد) ۵۵
- شکل ۳-۹ روش ادغام یکنواخت ۵۶
- شکل ۳-۱۰ عمل معکوس سازی ۵۸
- شکل ۳-۱۱ عمل حذف و کپی بیت های پیشین ۵۸
- شکل ۳-۱۲ عمل حذف و تولید مجدد ۵۹
- شکل ۳-۱۳ نیاز جمعیت به بیت ۱ ۶۰
- شکل ۳-۱۴ تاثیر عملگر جهش ۶۰
- شکل ۳-۱۵ روش جستجوی چند منظوره ۶۲

اشکال فصل چهارم

- شکل ۴-۱ مقایسه میزان هزینه فولاد مصرفی در سیستم قاب صلب و خرپایی ۷۳
- شکل ۴-۲ مقایسه میزان هزینه‌های پی‌سازی در سیستم قاب صلب و خرپایی ۷۳
- شکل ۴-۳ نمایی از قاب با تیرها و ستون‌های خرپایی ۷۴
- شکل ۴-۴ قاب شیب‌دار منشوری ۷۴
- شکل ۴-۵ قاب شیب‌دار غیرمنشوری ۷۵
- شکل ۴-۶ قاب شیب‌دار غیرمنشوری چند دهانه ۷۵
- شکل ۴-۷ قاب شیب‌دار یک‌سویه یا لنتو ۷۶
- شکل ۴-۸ درجات آزادی در یک عضو غیر منشوری ۷۹
- شکل ۴-۹ مدلی برای تعیین ضریب طول کمانش ۸۷
- شکل ۴-۱۰ تغییرات سطح مقطع عضو غیرمنشوری در طول عضو ۸۸
- شکل ۴-۱۱ نمودار بدون بعد اعضای غیرمنشوری خطی در حالت بدون حرکت جانبی ۸۹
- شکل ۴-۱۲ نمودار بدون بعد اعضای غیرمنشوری خطی در حالت بدون حرکت جانبی ۹۰

اشکال فصل پنجم

- شکل ۵-۱ پنجره مربوط به اطلاعات گره‌های سازه ۱۰۱
- شکل ۵-۲ پنجره اطلاعات هم‌بندی اعضا ۱۰۲
- شکل ۵-۳ پنجره خصوصیات مصالح ۱۰۲
- شکل ۵-۴ پنجره ورود اطلاعات مقاطع ۱۰۳
- شکل ۵-۵ پنجره مقاطع ویژه ۱۰۴

شکل ۵- ۶ مشخصات ابعادی اعضا.....	۱۰۵
شکل ۵- ۷ پنجره بارهای گسترده.....	۱۰۶
شکل ۵- ۸ پنجره بارهای نقطه‌ای.....	۱۰۷
شکل ۵- ۹ پنجره بارها و ممان‌های گرهی.....	۱۰۷
شکل ۵- ۱۰ پنجره تعیین شرایط تکیه‌گاهی.....	۱۰۸
شکل ۵- ۱۱ پنجره اطلاعات اصلی GA و یکی از جزایر.....	۱۰۹
شکل ۵- ۱۲ پنجره ورود اطلاعات نیروهای پیش‌تنیگی.....	۱۱۰

اشکال فصل ششم

شکل ۶- ۱ مشخصات هندسی و مقاطع سازه مثال اول تحلیل.....	۱۱۳
شکل ۶- ۲ بارهای وارده بر سازه مثال اول تحلیل.....	۱۱۴
شکل ۶- ۳ دیاگرام‌های نیروی محوری، برش و ممان ستون مثال اول تحلیل سازه.....	۱۱۵
شکل ۶- ۴ دیاگرام‌های نیروی محوری، برش و ممان تیر مثال اول تحلیل سازه.....	۱۱۶
شکل ۶- ۵ مشخصات هندسی و بارگذاری سازه در مثال دوم تحلیل سازه.....	۱۱۶
شکل ۶- ۶ مشخصات ابعادی اعضا در محل گره‌های مثال دوم تحلیل.....	۱۱۷
شکل ۶- ۷ دیاگرام‌های نیروی محوری به تفکیک بارهای مثال دوم تحلیل در نرم افزار SAP.....	۱۱۸
شکل ۶- ۸ دیاگرام‌های نیروی برشی به تفکیک بارهای مثال دوم تحلیل در نرم افزار SAP.....	۱۱۹
شکل ۶- ۹ دیاگرام‌های خمش به تفکیک بارهای مثال دوم تحلیل در نرم افزار SAP.....	۱۱۹
شکل ۶- ۱۰ مشخصات هندسی و مقاطع سازه مثال طراحی و کنترل.....	۱۲۰
شکل ۶- ۱۱ هندسه و بارگذاری سازه مثال بهینه‌سازی.....	۱۲۲
شکل ۶- ۱۲ ابعاد بهینه خروجی از برنامه در مثال طراحی.....	۱۲۴
شکل ۶- ۱۳ هندسه و بارگذاری سازه در مثال اول بهینه‌سازی.....	۱۲۷
شکل ۶- ۱۴ توپولوژی و هندسه سازه مثال دوم بهینه‌سازی مربوط به مرجع [۱۲].....	۱۳۲
شکل ۶- ۱۵ توپولوژی و هندسه سازه منظور شده برای مثال دوم بهینه‌سازی.....	۱۳۳
شکل ۶- ۱۶ هندسه و بارگذاری سازه در مثال سوم بهینه‌سازی.....	۱۳۷
شکل ۶- ۱۷ گراف تغییرات وزنی در فرایند بهینه‌سازی.....	۱۳۸

فهرست جداول

جدول ۱-۲	مزایای اقتصادی سازه‌های فولادی پیش‌تنبیده	۳۳
جدول ۶-۱	مقایسه نتایج برنامه و تحلیل دستی مثال اول تحلیل سازه	۱۱۴
جدول ۶-۲	مقایسه نتایج برنامه و تحلیل دستی مثال دوم تحلیل سازه	۱۱۷
جدول ۶-۳	نیروهای طراحی ستون در برنامه و مرجع [۲۷] و مقایسه آن‌ها	۱۲۰
جدول ۶-۴	نیروهای طراحی تیر در برنامه و مرجع [۲۷] و مقایسه آن‌ها	۱۲۱
جدول ۶-۵	مقایسه نتایج کنترل‌های ستون	۱۲۱
جدول ۶-۶	مقایسه نتایج کنترل‌های ستون	۱۲۱
جدول ۶-۷	پارامترهای الگوریتم ژنتیک عمومی	۱۲۳
جدول ۶-۸	پارامترهای الگوریتم ژنتیک مربوط به جزایر	۱۲۳
جدول ۶-۹	نتایج حاصل از تغییر ابعاد مقطع و کنترل‌های انجام پذیرفته	۱۲۵
جدول ۶-۱۰	طرح بهینه ارائه شده در مرجع [۱۲] در مثال اول بهینه‌سازی	۱۲۸
جدول ۶-۱۱	طرح بهینه ارائه شده توسط نرم‌افزار به واسطه اعمال پیش‌تنبیدگی در تکیه‌گاه در مثال اول بهینه‌سازی	۱۲۸
جدول ۶-۱۲	طرح بهینه ارائه شده توسط نرم‌افزار به واسطه اعمال پیش‌تنبیدگی در بالای ستون در مثال اول بهینه‌سازی	۱۳۰
جدول ۶-۱۳	طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش‌تنبیدگی در هردو نقطه (بالای ستون و تکیه‌گاه) در مثال اول بهینه‌سازی	۱۳۱
جدول ۶-۱۴	طرح بهینه ارائه شده در مرجع [۱۲] در مثال دوم بهینه‌سازی	۱۳۳
جدول ۶-۱۵	طرح بهینه نرم‌افزار به واسطه اعمال پیش‌تنبیدگی در تکیه‌گاه در مثال دوم بهینه‌سازی	۱۳۴
جدول ۶-۱۶	طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش‌تنبیدگی در بالای ستون در مثال دوم بهینه‌سازی	۱۳۵
جدول ۶-۱۷	طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش‌تنبیدگی در هردو نقطه (بالای ستون و تکیه‌گاه) در مثال دوم بهینه‌سازی	۱۳۶
جدول ۶-۱۸	طرح بهینه نرم‌افزار بدون اعمال پیش‌تنبیدگی در مثال سوم بهینه‌سازی	۱۳۹
جدول ۶-۱۹	طرح بهینه نرم‌افزار به واسطه اعمال پیش‌تنبیدگی در تکیه‌گاه در مثال سوم بهینه‌سازی	۱۴۰
جدول ۶-۲۰	طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش‌تنبیدگی در بالای ستون در مثال سوم بهینه‌سازی	۱۴۱
جدول ۶-۲۱	طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش‌تنبیدگی در هردو نقطه (بالای ستون و تکیه‌گاه) در مثال سوم بهینه‌سازی	۱۴۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

امروزه دنیای علم با سرعت عجیبی رو به پیشرفت نهاده و در این مسیر ترقی، ابداعات و اکتشافات نقش بسیار مهمی را ایفا می کنند. اما قسمت عمده ای از این روند را بهینه سازی آنچه که در دست داریم تشکیل می دهد و بخش عظیمی از تلاش های علمی بر پایه استفاده بهینه از امکانات است.

عرصه ی مهندسی عمران نیز مستثنی از این قاعده نیست و کاهش هزینه های ساخت و تولید، نگهداری، مقاوم سازی و نیز بهینه استفاده از امکانات موجود همواره مد نظر بوده است. با مرور مختصری بر روال طی شده در مهندسی عمران، سیر بهینه سازی در همه ی زمینه ها کاملاً ملموس است. سازه ها در جهت استفاده بهینه از فضا در بعد سوم یعنی همان ارتفاع رشد کرده اند. مصالح سبک جای مصالح سنگین سابق را گرفته اند. دیوارهای باربر و با عرض بسیار زیاد را فراموش نکرده ایم که امروز جای خود را به پنل های بسیار نازک داده است. از این دست تغییرات، بسیار زیاد است و هر تغییری به فراخور هدف یا اهدافی در جهت نیل به بهینگی بوده است.

کمبود فضا و امکانات، کمبود منابع انرژی، محدودیت مصالح و مواد خام، سیطره ی اقتصاد بر مهندسی و از همه مهم تر ذات تکامل گرای انسان از دلایل رویکرد بهینه سازی در کلیه زمینه ها و به ویژه مهندسی عمران است. اما اتخاذ تصمیم در خصوص شیوه و چگونگی بهینه سازی در هر زمینه ای، مقوله ی بسیار مهمی است که به عواملی از قبیل امکانات، تخصص، قابلیت ها، علایق، محدودیت ها و حتی مواردی مانند فرهنگ بستگی دارد.

۱-۲ بهینه سازی با استفاده از پیش تنیدگی

پیش تنیدگی از جمله کارآمدترین شیوه ها در راستای نیل به اهداف ذکر شده است. این روش در عرصه سازه های بتنی پیشرفت قابل توجهی نموده و کاربرد گسترده ای دارد.

در دهه های اخیر، مشاهده نتایج بسیار خوب این روش در سازه های بتنی دانشمندان را بر آن داشت تا این روش را در سازه های فولادی نیز مورد ارزیابی قرار دهند و همان طور که انتظار می رفت این روش با پاسخگویی بسیار خوب چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ افزایش ظرفیت باربری، برخی از اهل علم را مجاب کرد تا به عنوان یک روش ارزنده بیشتر به آن بپردازند. نیاز به دهانه های بزرگ تر، کاهش هزینه ها، نیاز به افزایش ظرفیت های باربری، الزامات معماری و نیاز به ترمیم و مقاوم سازی سازه های فولادی موجود، مسایلی است که پیش تنیدگی با پاسخگویی مناسب به آنها خود را به عنوان یک فن ایده آل مطرح نموده است.

البته این شیوه در کشور ما چندان مورد استقبال قرار نگرفته و اقدامات و تحقیقات صورت پذیرفته، به جز مواردی معدود، همگی به پیش تنیدگی در بتن معطوف گردیده و پیش تنیدگی در سازه های فولادی در ایران مقوله ای تقریباً ناآشنا به نظر می رسد.

۱-۳ بهینه سازی قاب های شیب دار صنعتی

از قاب های شیب دار صنعتی به صورت یک یا چند دهانه و عموماً به صورت یک طبقه برای پوشش دهانه های بزرگ در کارخانجات صنعتی، کشاورزی، انبارها، تعمیرگاه ها، پارکینگ ها، ورزشگاه ها و ... استفاده می شود. در سال های نه چندان دور برای پوشش دهانه های مذکور از سازه هایی به صورت خرپا استفاده می شد، اما امروزه شاهد استفاده بسیار زیاد از قاب های شیب دار صنعتی و به ویژه قاب های شیب دار با مقطع متغیر هستیم.

استفاده از مقاطع متغیر گامی در جهت بهینه سازی است. بدین معنا که در یک قاب، محل هایی که دارای لنگرهای خمشی بیشتری هستند از مقاطعی بزرگ تر و دارای ممان اینرسی بیشتر، و در محل های دارای لنگر

کمتر از مقاطع کوچک تر استفاده می گردد. سطح مقطع قاب های صنعتی عموماً I شکل هستند که در آن ها ابعاد بال در طول یک عضو ثابت بوده ولی ارتفاع جان بسته به اندازه لنگر خمشی عضو، متغیر در نظر گرفته می شود. بر روی قاب های شیب دار صنعتی در سال های اخیر تحقیقات فراوانی انجام پذیرفته است. و هر کدام از تحقیقات ذکر شده به نوبه ی خود سهمی در ساخت و تولید بهینه این سازه ها داشته، لیکن با توجه به این که تحلیل دقیق چنین سازه هایی مستلزم محاسبات طولانی است در مواردی حتی معتبرترین آیین نامه های طراحی نیز روش های کاربردی مناسبی جهت استفاده، ارایه نکرده اند. به عنوان مثال در مواردی به ارائه جداول و گراف هایی بسنده کرده اند که این جداول و گراف ها بعضاً دارای محدودیت ها و معضلاتی از قبیل تقریب بسیار زیاد، عدم دقت کافی، جامع نبودن و عدم قابلیت استفاده در پروژه های برنامه نویسی هستند.

از روش های جایگزین برای سهولت تحلیل اعضای غیر منشوری می توان به تقسیم عضو به چند قسمت و لحاظ کردن مقطع ثابت معادل برای هر قسمت اشاره کرد. البته این روش علیرغم کاهش حجم محاسبات و ساده سازی مسئله، در عین حال از دقت پایین و درصد خطای بالایی برخوردار است. با پیشرفت کامپیوترها و توسعه روش های عددی از قبیل اجزای محدود، تحلیل اعضای با مقطع متغیر به نحو مناسب تری انجام می پذیرد. مش بندی های بسیار ریز در این روش ها و تشکیل ماتریس سختی عضو از سرهم بندی ماتریس سختی قطعات کوچک تر، باعث به دست آمدن پاسخ های دقیق تری گردیده است. البته ذکر این نکته لازم است که تقسیم عضو به المان های بسیار کوچک، حجم محاسبات و به تبع آن زمان رسیدن به پاسخ را به شدت افزایش می دهد. با توجه به موارد ذکر شده اهمیت محاسبه دقیق ماتریس سختی اعضای غیرمنشوری را به وضوح روشن می کند. از دیگر نقاط مبهم در طراحی این گونه سازه ها تعیین ضریب طول کمانش است که با توجه به غیر منشوری بودن اعضا دارای پیچیدگی های خاص می باشد. در اکثر مراجع از جمله آیین نامه آمریکا برای تعیین ضریب طول موثر توصیه به استفاده از گراف هایی شده است که با توجه به برنامه نویسی ارائه شده در این پایان نامه قابل استفاده نمی باشند.

الگوریتم های به کار رفته در بهینه سازی قاب ها دارای دو گام اصلی مشترک هستند. در گام اول، تحلیل سازه به منظور تعیین پاسخ سازه به بارهای خارجی صورت می پذیرد و در گام دوم مقادیر متغیرهای طراحی بر اساس این نتایج سنجش می گردند. با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی معیارهای بهینگی کنترل می گردند تا در نهایت بهترین طرح ممکن به دست آید.

در این پایان نامه از روش تحلیل ماتریسی سازه ها جهت تحلیل قاب های شیب دار و از روش تنش مجاز آیین نامه فولاد آمریکا جهت طراحی استفاده شده است. از میان روش های متنوع بهینه سازی، از روش الگوریتم ژنتیک جزیره ای استفاده شده است. اعمال نیروی پیش تنیدگی به عنوان ایده ای نو جهت غلبه بر درصدی از بارهای سرویس بررسی می گردد. نرم افزار ویژوال بیسیک جهت برنامه نویسی مورد استفاده قرار گرفته و نهایتاً با استفاده از روش های فوق، برنامه ای جهت بهینه سازی قاب های شیب دار با مقطع متغیر تدوین شده است. مسئله بهینه سازی در این تحقیق یافتن وزن حداقل برای سازه به واسطه معرفی ابعاد بهینه مقاطع و تعیین نیروی پیش تنیدگی بهینه با توجه به قیودی است که در قسمت های بعد معرفی می گردند.

۱-۴ تاریخچه بهینه سازی با روش پیش تنیدگی

قطعاً کاربرد روش پیش تنیدگی به زمان هایی قبل از به کار بردن این واژه و دانستن مفهوم آن برمی گردد. قدیمی ترین سازه پیش تنیده، کشتی های بادبانی مصری با قدمتی حدود ۲۷۰۰ سال قبل از میلاد است که به کمک سیستمی از طناب های سیمی پیش تنیده می شدند. این عمل با کاربرد یک سیم اصلی در طول کشتی و تعدادی سیم در جهت عرضی صورت می گرفت [۱].

در قرن ۱۵ لئوردو داوینچی پیشنهاد سفت کردن لوله توپ های چدنی بوسیله سیم های آهنی را جهت جلوگیری از خرد شدن آنها هنگام شلیک مطرح کرد که قرن ها بعد پذیرفته شد [۲].

اقتباس فن پیش تنیدگی به پکستون^۱ نسبت داده می‌شود که در سال ۱۸۵۱ این روش را استفاده کرد. او این شیوه را غافل از کشف بزرگی که انجام داده در کاخ کریستال پالاس انجام داد [۳].

در سال ۱۸۶۱ ا.و. گادولین^۲ پیشنهاد کرد لوله توپ‌های آتش‌بار با سیم‌های داغ مقاومت بالا پیچانده شود تا بعد از سرد شدن با ایجاد نیروی فشاری در لوله توپ از تنش‌های کششی در هنگام انفجار کاسته شود.

اما پدر علم امروزی پیش تنیدگی را می‌توان یوجین فریسینت^۳ فرانسوی دانست که در سال ۱۹۲۸ پیش تنیدگی را به عنوان یک روش که شامل قرار دادن یک عضو سازه تحت بارهایی با عملکردی متضاد با بارهای بهره برداری بود معرفی کرد. او این کار را به واسطه کابل‌های پیش کشیده انجام داد [۴].

از اوایل دهه ۱۹۵۰، اخبار زیادی در خصوص مقاوم کردن پل‌ها با استفاده از پس کشیدگی انتشار یافته است. در ساله ۱۹۵۲ "لی"^۱ گزارش مقاوم کردن بزرگراه فولاد انگلیس و پل‌های بزرگراه را به وسیله پس کشیدگی ارائه داد که در آن هم تیر، هم خرپای مرتبط با پل‌ها مقاوم شده بود. بریچ و لی در سال ۱۹۵۶ مقاوم کردن یک پل فولادی خرپایی را تشریح کردند. کنی مقاوم کردن پلهای بزرگراه فولاد انگلیس را به وسیله پس کشیدگی به عنوان عملی با عمومیت بسیار متذکر شد.

بلینا و گروواکسی از روسیه، تحلیلی را در خصوص تیرهای فولادی مقاوم شده به وسیله روش پس کشیدگی ارائه کردند. بر طبق تحلیل آن‌ها، پیش‌تنیدگی تا ۹۰ درصد ظرفیت باربری تیرهای فولادی غیرپیش‌تنیده را افزایش می‌دهد. در سال ۱۹۷۰ شرکت تی.وای. بین. اینترنشنال یک پل تیرورقی با چند دهانه را در پرتوریکو به وسیله پس کشیدگی مقاوم کرد. طرح پس کشیدگی، تقریباً ۱۶ اینچ از تغییر مکان ناشی از بار مرده را در وسط دهانه بهبود بخشید.

¹ Paxton

² A.V.Gadolin

³ Eugene Freyssinet

در اوایل سال ۱۹۸۰، انجمن امریکایی مهندسان عمران نشریه‌ای را درخصوص حفظ و مقاوم کردن پل‌های فرسوده آماده کرد. با توجه به مفهوم مقاوم کردن یک پل خرابایی، آنها پیش تنیده کردن یک عضو منفرد کششی یا مقاوم کردن یال پایینی یا بعضی اعضای مقاوم شده را به وسیله روش پیش‌تنیدگی در نظر می‌گیرند. در اواخر قرن گذشته سازه‌های فلزی بسیار مهمی از جمله پل راه‌آهن بر روی رودخانه آری در سویس، پل رودخانه اورلیک در چک و اسلواکی به واسطه این شیوه به ظرفیت باربری بیشتری دست پیدا کرده‌اند.

در سال ۱۹۹۹ وینسنزو نانزیاتا به بررسی تاثیر پیش تنیدگی در سازه‌های فولادی پرداخت. در سال ۲۰۰۷ جوکیم هالند و آنا جورکلاند بهینه سازی سازه‌های فولادی با استفاده از صفحات FRP پیش‌تنیده را مورد بررسی قرار دادند [۱].

در سال ۲۰۱۰ سانک یو پارک و همکارانش به بررسی آزمایشگاهی پیش تنیدگی تیرهای فولادی با تاندون‌های پیش تنیده پرداخته و از کل حالات ممکن روش کابل‌های آویخته را به عنوان روش بهینه معرفی کردند [۵]. با توجه به گستردگی و وسعت بسیار زیاد بحث پیش تنیدگی سازه‌های فولادی، موارد فوق تنها شرح مختصری از انبوه فعالیت‌های انجام شده در این زمینه است. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل وجود نیروی محوری در اعضای قاب‌های شیب‌دار صنعتی، نمونه‌ای در خصوص بهینه‌سازی این نوع سازه‌ها با پیش‌تنیدگی یافت نمی‌گردد و در واقع ایده‌ی اعمال نیروی پیش تنیدگی در قاب‌های شیب‌دار غیرمنشوری و نحوه‌ی اعمال این نیرو به سازه‌های مذکور ایده‌ای کاملاً بکر و نو می‌باشد که در این پایان نامه بدان پرداخته شده است.

۱-۵ تاریخچه تحقیقات بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با اعضای غیرمنشوری

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

کرفورد و جنیکس در سال ۱۹۸۰ طرح اقتصادی ۷ تیپ از قابهای شیبدار یک‌دهانه را بر اساس آیین‌نامه بریتانیا معرفی نمودند که در آن‌ها تیرها و ستون‌ها، با زبانه و یا بدون زبانه، طراحی شده بودند. نویسندگان در این طرح تنها به بهینه سازی مقاطع سقف پرداخته و از بهینه‌سازی ستون‌ها صرف نظر نمودند [۶].

خان در سال ۱۹۸۴ تکنیک‌های معیار بهینگی در مورد قاب‌هایی که سطح مقطع آن‌ها دارای یک رابطه‌ی عمومی باشند را بررسی کرد [۷].

هوریدج و موريس در سال ۱۹۸۶ در طی تحقیقی سیستم‌های سازه‌ای قاب‌های شیبدار که در مورد سازه‌های یک‌طبقه و یک‌دهانه طراحی و اجرا شده بودند را بررسی کردند. آن‌ها با در نظرگیری فاکتورهای متعدد در نهایت به این نتیجه رسیدند که در ظاهر استفاده از سیستم‌های با شاه‌تیرهای مشبک خرابایی اقتصادی‌تر است اما درحقیقت با در نظر گرفتن هزینه‌های نگهداری و طول عمر مفید هر نوع از این سیستم‌ها، می‌توان ابراز نمود که سازه‌های با شاه‌تیرهای صلب بیشترین صرفه اقتصادی را در طول حدود ۵۰ سال عمر مفید سازه خواهند داشت [۸].

تان و جنینگ در سال ۱۹۸۷ طراحی بهینه قاب‌های دارای اعضا با مقطع متغیر را با استفاده از طراحی پلاستیک قاب بررسی کردند [۹].

حیالی اوغلو و ساکا در سال ۱۹۹۱ به طراحی بهینه قاب‌های الاستوپلاستیک غیر خطی هندسی فولادی پرداختند که در آن اعضای قاب به صورت I شکل و هر عضو دارای دو متغیر طراحی، عبارت از سطح مقطع در یک انتهای عضو و نسبت سطح مقطع‌ها، بودند [۱۰].

ساکا در سال ۱۹۹۷ به ارائه‌ی 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. قیدهای آن شامل محدودیت‌های اعمالی بر تغییر مکان‌ها و نیز مقاومت در برابر ترکیب نیروهای خمشی و محوری بر اساس روش LRFD آیین‌نامه آمریکا بود. الگوریتم او مبتنی بر روش OC بوده و از دو مرحله تشکیل می‌شد. نخست سازه تحت

بارهای خارجی واحد برای متغیرهای جاری آنالیز می‌شد و سپس پاسخ سازه‌ای همراه با مقادیر ضرایب لاگرانژ برای مقادیر جدید متغیرهای طراحی بکار می‌رفت [۱۱].

در سال ۲۰۰۲ رضا حسین زاده طراحی بهینه قاب‌های شیب‌دار غیرمنشوری را بر اساس آیین نامه آمریکا مورد بررسی قرار داد و جهت تحلیل قاب و برآورد پاسخ‌های سازه‌ای از روش عمومی تحلیل ماتریسی سازه‌ها استفاده نمود. تحلیل سازه براساس 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 قیدهای تنش، قیدهای جابه‌جایی گرهی و قیدهای ابعادی را نیز در محاسبات وارد نمود [۱۲].

در سال ۲۰۰۳ ساکا و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی قاب‌های شیب‌دار فولادی با ستون های منشوری و تیرهای منشوری با ماهیچه پرداختند. طی فرایند بهینه‌سازی مقاطع بهینه و همچنین طول و عمق بهینه برای ماهیچه‌های تیرهای قاب تعیین می‌گشت.

در سال ۲۰۰۴ مونتر و همکارانش در تحقیقی جامع به مقایسه سازه‌های خرابایی و سیستم‌های قاب صلب با مقاطع منشوری پرداختند. آن‌ها با بررسی سازه‌های با دهانه های متنوع و ارتفاع‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که در مواقعی که تنها هزینه ساخت تعیین کننده باشد و هزینه‌های پی سازی مد نظر نباشد برای سازه های تا دهانه ۳۰ متر قاب‌های صلب نتایج بهتری را نشان می‌دهند ولی در مواردی که هزینه پی‌سازی نیز تعیین کننده باشد شرایط تغییر خواهد کرد. برای دهانه‌های بیش از ۲۰ متر به دلیل وجود نیروهای برشی و لنگرهای خمشی بزرگ‌تر سازه نیازمند به سیستم پی قوی‌تر شده و در نتیجه سیستم خرابایی بهینه خواهد بود [۸].

در سال ۲۰۰۷ موسسه Buildings steel worldwide طی تحقیقات خود بر روی این سازه‌های صنعتی نشان داد به‌علت توزیع بهینه مصالح در نقاط مورد نیاز با توجه به وجود نیروهای خمشی برشی و محوری در هر نقطه، در سازه‌های با دهانه کمتر از ۲۰ متر استفاده از قاب‌های شیب‌دار با مقطع ثابت و در مورد سازه‌های متعارف و با عرض دهانه ۲۰ تا حدود ۴۵ متر سازه‌های قاب صلب با مقطع متغیر بهینه خواهد بود [۱۳].

در سال ۲۰۰۹ نوریان بهینه یابی قابهای شیبدار صنعتی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار داد. وی این کار را بر اساس روش تنش مجاز آیین نامه آمریکا انجام داد و موفق شد نتایج کار حسین زاده را بهبود بخشد. روند استفاده شده در تحقیق ایشان کمک شایانی در پیشبرد اهداف این پایان نامه نمود [۱۴].

۱-۶ اهداف و فرضیات تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی میزان تاثیر نیروی پیش تنیدگی در قابهای شیبدار غیرمنشوری و همچنین ارایه ی یک برنامه کامپیوتری مطلوب و در حد امکان کاربر پسند برای تحلیل و بهینه سازی قابها و مقاطع غیر منشوری فولادی است.

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 در طول عضو می تواند به صورت خطی تغییر یابد. بنابراین هر عضو سازه دارای پنج متغیر بهینه یابی خواهد بود که عبارتند از: ارتفاع مقطع در ابتدای عضو، ارتفاع مقطع در انتهای عضو، عرض بال مقطع، ضخامت بال و ضخامت جان.
- نیروی پیش تنیدگی به عنوان بار متمرکز از نوع مرده در ترکیب بارها لحاظ گردیده و از بین تمام حالات آزمایش شده دو حالت بهینه یی ورود نیرو به تکیه گاه و بالای ستون برگزیده و به عنوان دو متغیر بهینه یابی به مجموع پنج پارامتر فوق اضافه شده است.
- جهت تحلیل قاب شیبدار غیرمنشوری از خطوط میان تار تیرها و ستونها (به صورت قائم) جهت مدل سازی قاب استفاده شده است.
- تحلیل قاب به صورت الاستیک و استاتیکی می باشد و تحلیل دینامیکی در آن منظور نشده است.
- طراحی بر اساس روش تنش مجاز آیین نامه های فولاد آمریکا و بارگذاری ایران انجام پذیرفته است.

- قیودهای طراحی و کنترل سازه عبارتند از: قیود تغییرمکانهای گرهی سازه، مقاومت و نسبت تنش اعضا و محدودیت های ابعادی اعضا.
- در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک جزیره ای استفاده گردیده است که بر اساس آن، بهترین مدل سازه که دارای کمترین وزن و به تبع آن کمترین هزینه را دارا می باشد، و همچنین نیروهای پیش تنیدگی بهینه به کاربر معرفی می گردد و در عین حال هیچ کدام از قیود ذکر شده در بالا را نقض نمی نماید.

۷-۱ ساختار پایان نامه

- پس از فصل حاضر که به عنوان مقدمه شاهد آن بودید، این پایان نامه دارای پنج فصل دیگر می باشد.
- در فصل دوم به معرفی پیش تنیدگی، نحوه ی تاثیرگذاری این نیرو در سازه های فولادی، انواع روش های آن و تاریخچه مختصری از فعالیت ها و تحقیقات انجام پذیرفته در این خصوص، پرداخته شده است.
 - در فصل سوم به شرح عملکرد الگوریتم ژنتیک، مفاهیم و پارامترهای مرتبط با آن و روند بهینه یابی با این روش پرداخته شده است.
 - فصل چهارم به توضیح روش تحلیل و طراحی قاب های شیبدار و فرمول بندی مسئله اختصاص یافته است.
 - در فصل پنجم فرضیات و راهنمای استفاده از برنامه ی تدوین شده، ارائه گردیده است.
 - فصل ششم به بررسی مثال های صحت سنجی و مثال های بهینه سازی اختصاص دارد.
 - در فصل هفتم جمع بندی نتایج حاصله، پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده و در نهایت فهرست مراجع ارائه گردیده است.

فصل دوم

مفهوم پیش‌تنیدگی و انواع روش‌های اعمال آن

۱-۲ مفهوم پیش تنیدگی

پیش تنیدگی عبارت است از ایجاد یک تنش ثابت و دائمی در یک عضو، به نحو دل خواه و به اندازه لازم، به طوری که در اثر این تنش، مقداری از تنش های ناشی از بارهای سرویس در این عضو خنثی شده و در نتیجه، مقاومت و باربری آن افزایش یابد.

پیش تنیدگی اصلی عمومی است که در موارد دیگر نیز مورد استفاده قرار می گیرد. چرخ دوچرخه یک مثال از پیش تنیدگی را نشان می دهد: لاستیک چرخ دوچرخه بسیار نرم است و سیم های داخل آن بلندتر است، به طوری که تحت نیروی فشار امکان کمانش آنها وجود دارد. ولی هم لاستیک و هم سیم ها در مقابل کشش مقاوم هستند، پس لاستیک چرخ را پر از باد می کنند و در سیم ها به واسطه بسته شدن در درون طوقه چرخ پیش تنیدگی ایجاد می شود.

یکی از ساده ترین مثال های پیش تنیدگی، تلاش برای بلند کردن یک ردیف کتاب می باشد. ابتدا لازم است به ردیف کتابها از دو طرف فشاری اعمال کنیم تا باعث افزایش مقاومت در برابر لغزش بین کتاب ها شده، بطوری که بلند کردن آنها را ممکن سازد. (شکل ۱-۲)

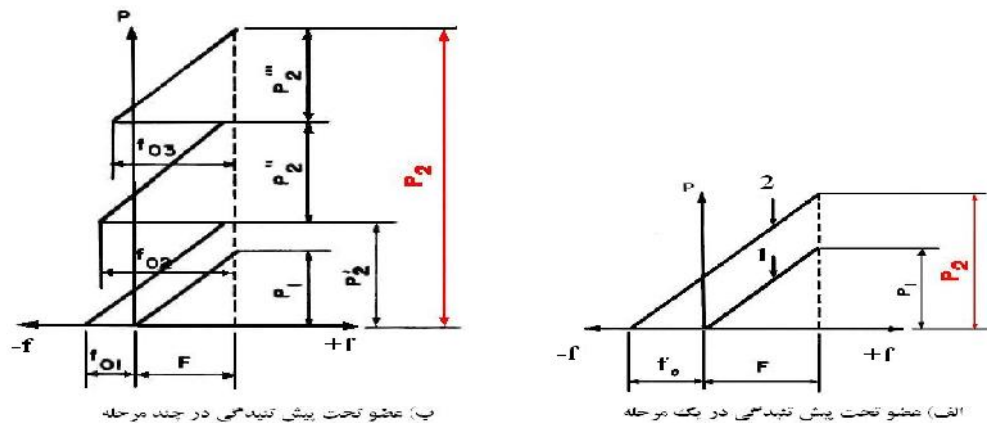
اگر مجموعه این کتاب ها را یک تیر در نظر بگیریم می توان به راحتی تاثیر پیش تنیدگی را مشاهده کرد؛ به این ترتیب که کتاب ها قبل از پیش فشردن تحمل وزن خود را نیز ندارند ولی بعد از اعمال نیرو حتی توان باربری پیدا می کنند [۱۵].



شکل ۲- ۱ مثال ساده کتاب ها برای مفهوم پیش تنیدگی

در پیش تنیدگی با ایجاد فشار در یک عضو موجبات مقاومت بیشتر این عضو در مقابل بارهای وارده فراهم می گردد. به عبارت دیگر پیش تنیدگی ایجاد یک تنش ثابت و دائمی در یک عضو به اندازه لازم به طوری که در اثر این تنش مقداری از تنش های ناشی از بارهای زنده و مرده در این عضو خنثی شده و در نتیجه، مقاومت باربری آن افزایش پیدا می کند. عمل خنثی نمودن تنش ها یا متعادل نمودن بار، اساس طراحی قطعات پیش تنیده را تشکیل می دهد.

در سازه های فولادی پیش تنیده، تنش ها به صورت ساختگی ایجاد و اغلب در جهت عکس تنش های ناشی از بارگذاری اعمال می شوند. بر اساس شکل (۲-۲ الف)، با ایجاد پیش تنیدگی f_0 در یک سازه، تنش در خلاف جهت تنش های ناشی از بارگذاری خواهیم داشت. این تنش باعث افزایش دامنه محدوده ارتجاعی مصالح می شود. بدین منظور در آغاز، تنش اولیه f_0 ایجاد می شود. با اعمال بار بزرگ تر P_2 نسبت به P_1 ، تنش در میله به تنش مفروض F می رسد. لذا نیروی کشش تحمل شده بوسیله میله پیش تنیده به مقدار $f_0 A$ بزرگ تر از نیرویی است که عضو مشابه بدون پیش تنیدگی تحمل می کند.



شکل ۲-۲ پیش تنیدگی در یک و چند مرحله

اگر اعمال نیروی پیش تنیدگی و بارگذاری به طور متناوب در چند دوره تکرار شود، شاهد افزایش چشم گیر ظرفیت تحمل عضو خواهیم بود که به این حالت، پیش تنیدگی چند مرحله ای اطلاق می گردد. همانطور که از شکل (۲-۲ ب) پیداست ظرفیت باربری اولیه عضو که با P_1 نمایش داده شده است بواسطه پیش تنیدگی در چند مرحله به مقدار بسیار قابل ملاحظه ای P_2 افزایش یافته است [۱].

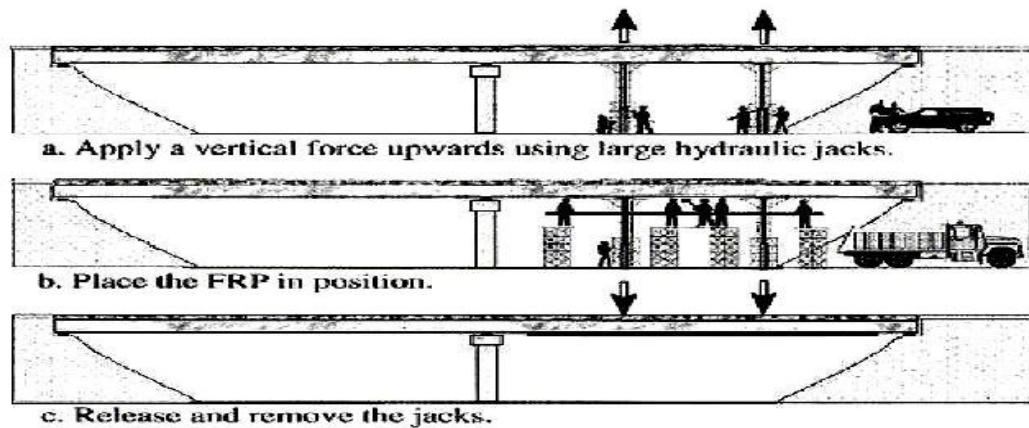
فرایند فوق، مفهوم کلی ایجاد پیش تنیدگی می باشد. در راستای نیل به مفهوم و کارایی مورد نظر، روش های مختلفی توسط محققین ارائه گردیده که در ذیل به بررسی رایج ترین این حالات پرداخته شده است.

۲-۲ پیش تنیدگی با صفحات CFRP

یکی از شیوه های مدرن و مرسوم پیش تنیدگی استفاده از صفحات CFRP می باشد که با توجه به نحوه اعمال نیروی پیش تنیدگی در آن ها، در دسته های مختلف به شرح زیر ارائه شده و مورد بررسی قرار می گیرد.

۲-۲-۱ پیش تنیدگی به واسطه ی ایجاد خیز منفی

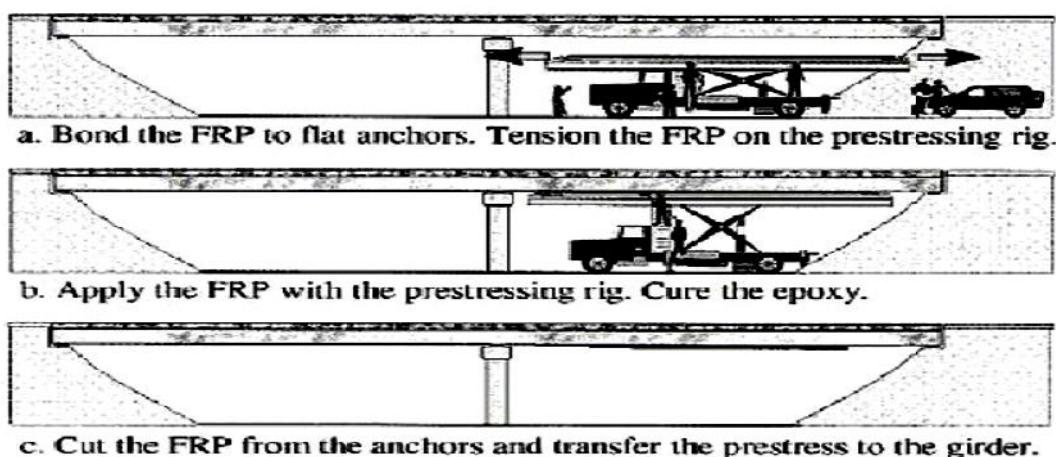
در این روش ابتدا تیر فولادی مورد نظر را بوسیله جک های هیدرولیک قوی بالا برده و یک خیز منفی در آن ایجاد می کنند سپس سطح زیرین تیر که قبلاً کاملاً تمیز و آماده شده است و عاری از هرگونه زنگ زدگی و آلودگی گردیده را به چسب مخصوص آغشته کرده و سپس صفحات CFRP آغشته به چسب را به آن می چسبانند. پس از خشک شدن چسب، جک ها آزاد شده و بواسطه وزن تیر، یک نیروی پیش تنیدگی در زیر تیر ایجاد می گردد که این نیرو ظرفیت باربری تیر را به شکل قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. شکل (۲-۳) روند کار مشروح در بالا را نشان می دهد.



شکل ۲-۳ مراحل پیش تنیدگی CFRP با ایجاد خیز منفی

۲-۲-۲ پیش تنیدگی بواسطه تجهیزات خارجی

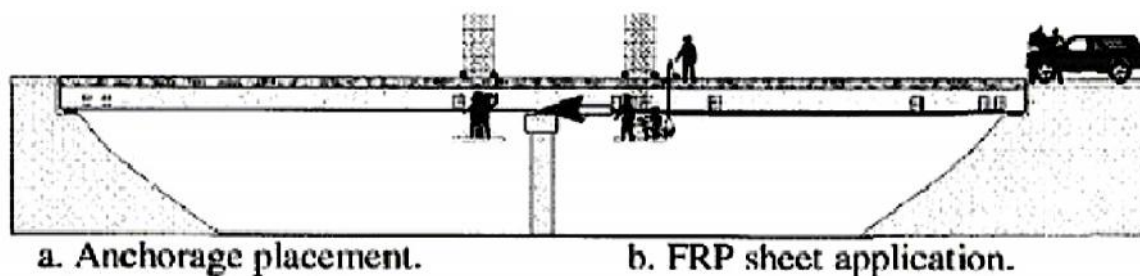
این روش یکی دیگر از روش های پیش تنیدگی با استفاده از صفحات CFRP است. در این روش صفحات CFRP توسط تجهیزات بیرونی از دو طرف کشیده می شود و پس از کشیده شدن توسط چسب به سطح آماده شده تیر می چسبد. بعد از خشک شدن چسب، کشش خارجی حذف می شود. حذف این کشش می تواند از طریق بریدن صفحات از اطراف صورت گیرد. شکل (۲-۴) این روش را نشان می دهد.



شکل ۲-۴ پیش تنیدگی به واسطه تجهیزات خارجی

۲-۲-۳ پیش تنیدگی با تجهیزات الحاقی

در این روش یک سری مهار در سازه تعبیه می گردد و پیش تنیدگی از طریق این مهارها اعمال می شود. مهارها از یک طرف ثابت و از یک طرف به کمک جکهای خاص (به عنوان مثال جک نعل اسبی) قابلیت کشیده شدن را برای صفحات CFRP ایجاد می کنند. صفحات پیش تنیده توسط چسب به تیر فولادی چسبانده می شود. در شکل (۲-۵) این روش نمایش داده شده است. مهارهای استفاده شده در این روش ها به اشکال مختلف همچون دایروی، بیضوی و مسطح می باشند که متناسب با شرایط و کارایی آنها مورد استفاده قرار می گیرد [۵].



شکل ۲-۵ پیش تنیدگی با تجهیزات خارجی

در روش های مذکور، کشش ایجاد شده در صفحات CFRP باعث ایجاد یک فشردگی در سطح تحتانی تیر و مشاهده نیروی قابل ملاحظه ای در خلاف جهت بارهای سرویس می باشد که پس از بارگذاری صرف غلبه بر

نیروهای بهره برداری می گردد. نکته قابل توجه آن است که پس از بار گذاری و اعمال نیرو و خنثی شدن نیروی پیش تنیدگی، مرحله دوم کار صفحات آغاز می شود. بارگذاری بیش از نیروی پیش تنیدگی باعث بوجود آمدن کشش ثانویه در صفحات CFRP خواهد شد. این کشش مجدد، افزایش نیروی پیش تنیدگی و به دنبال آن، افزایش سطح باربری را در پی خواهد داشت. در قسمت بعد به تفصیل در خصوص اعمال کشش اضافه توضیح داده خواهد شد. [۱۶].

۲-۳ پیش تنیده کردن اعضای فولادی به وسیله کابل ها

استفاده از کابل ها، متداول ترین شیوه پیش تنیدگی است که به روش های مختلفی انجام می پذیرد. در این قسمت به بررسی دو روش مرسوم پیش تنیدگی با کابل های مستقیم و کابل های آویخته پرداخته می شود.

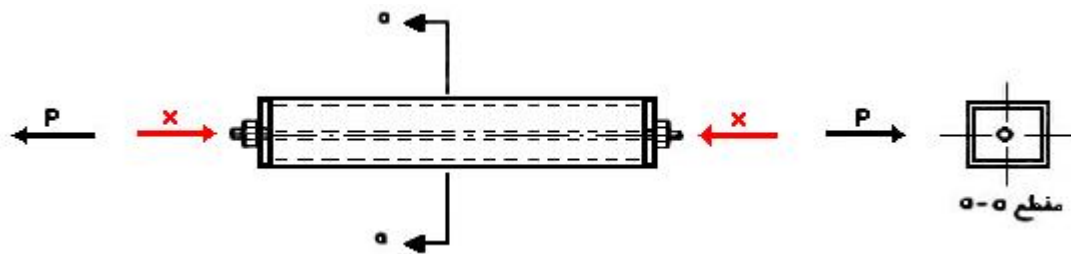
۲-۳-۱ کابل های مستقیم

میله ای فولادی با مقطع مستطیلی، تحت بار کششی P و بار فشاری X (نیروی پیش تنیدگی اولیه) قرار گرفته است. تنش های ایجاد شده در عضو و کابل با استفاده از روابط (۲-۱) و (۲-۲) محاسبه می شود.

$$f_m = \frac{P - X}{A} \quad (۲-۱)$$

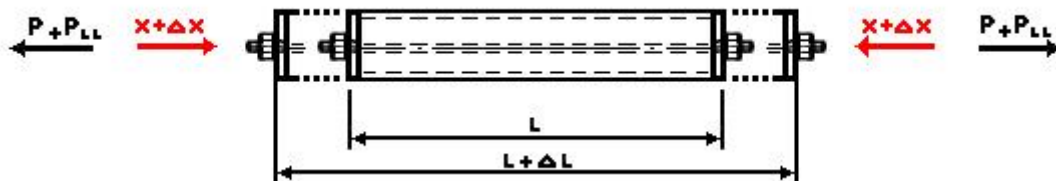
$$f_t = \frac{X}{A_t} \quad (۲-۲)$$

به ترتیب تنش عضو، تنش کابل، سطح مقطع عرضی عضو و سطح مقطع عرضی کابل می باشد.



شکل ۲-۶ یک عضو در کشش در اثر پیش تنیدگی

اعمال نیروی کششی اضافی، باعث افزایش طول عضو به اندازه ΔL و برابر با تغییر طول کابل می گردد. تغییر طول کابل متناسب با افزایش نیروی پیش تنیدگی نشان داده شده در شکل زیر، با رابطه (۲-۳) قابل محاسبه است.



شکل ۲-۷ اثر اضافه طول عضو در پیش تنیدگی

$$\frac{P_{LL} - X}{AE} = \frac{\Delta X}{A_t E_t} \quad (2-3)$$

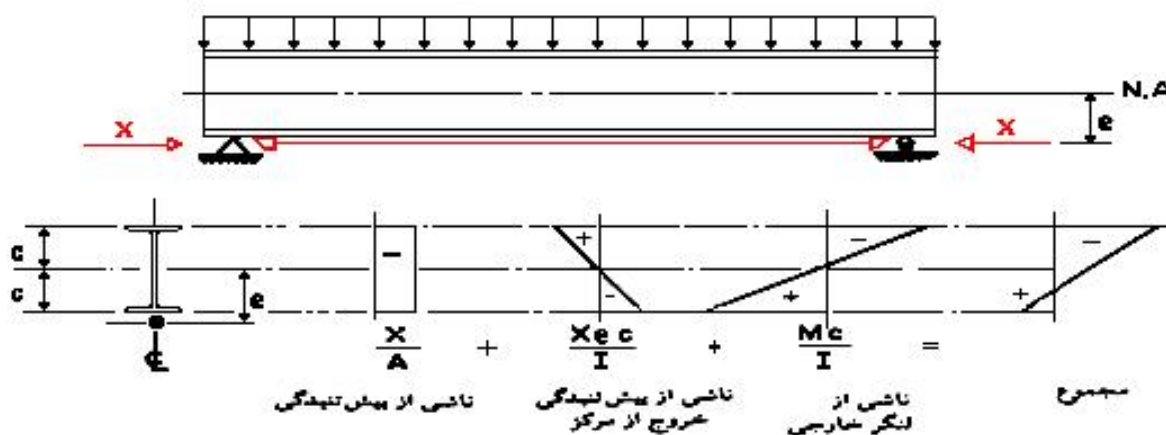
تنش نهایی کابل و عضو، پس از ایجاد نیروی پیش تنیدگی ثانویه را می توان با استفاده از روابط (۲-۴) و (۲-۵) محاسبه نمود.

$$f_t = \frac{X + \Delta X}{A_t} < F_t \quad (2-4)$$

$$f_m = \frac{(P + P_{LL}) - (X + \Delta X)}{A} < F \quad (2-5)$$

روابط فوق مقادیر تنش نهایی کابل و عضو را در حالت کلی نتیجه می دهد.

حال یک تیر متقارن I شکل که به وسیله کابل های واقع در بال تحتانی و تحت بارگذاری خارجی، پیش تنیده شده است، بررسی می شود (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲ پخش تنش ناشی از پیش تنیدگی و بار رود یک تیر I شکل فولادی متقارن

با اعمال نیروی پیش تنیدگی X ، یک تنش یکنواخت فشاری در سطح A ایجاد می شود.

$$f = -\frac{X}{A} \quad (۶-۲)$$

با اعمال نیروی پیش تنیدگی با ویژگی خروج از مرکز e ، تیر تحت لنگر اضافی $X.e$ قرار می گیرد که علاوه بر لنگر ناشی از بار خارجی است. رابطه (۷-۲) تنش حداکثر تولید شده در اثر این لنگر را نشان می دهد.

$$f = \pm \frac{Xec}{I} \quad (۷-۲)$$

حال اگر لنگر خارجی M ، نتیجه اعمال بار خارجی در یک مقطع تیر باشد، در این صورت تنش حداکثر در سطح مقطع بر اثر بار مذکور و توزیع تنش برآیند پس از پیش تنیدگی به ترتیب مطابق با روابط (۸-۲) و (۹-۲) است.

$$f = \pm \frac{Mc}{I} \quad (۸-۲)$$

$$f = -\frac{X}{A} \pm \frac{X_{ec}}{I} \pm \frac{Mc}{I} \quad (9-2)$$

بنابراین با در نظر گرفتن تیر مذکور در شکل ۷، نتایج تنش ها در تارهای فوقانی و تحتانی مساوی نیست به گونه ای که تارهای فوقانی تحت تنش بیشتری نسبت به تارهای تحتانی قرار می گیرد. [۱۷]

۲-۳-۲ کابل های آویخته

توزیع تنش در یک عضو پیش تنیده، عموماً ترکیبی از یک تنش محوری و یک تنش خمشی ناشی از ویژگی خروج از مرکز می باشد و طبق رابطه (۱۰-۲) بیان می شود.

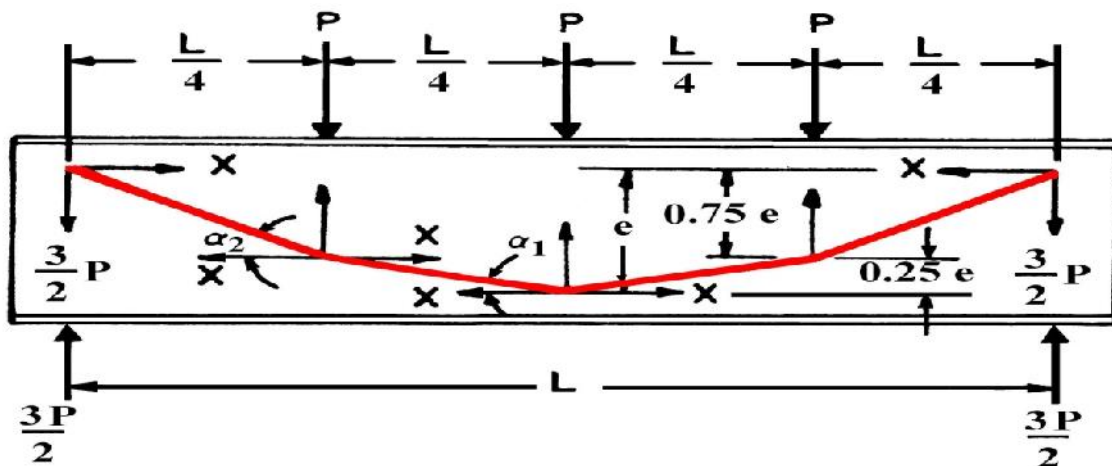
$$f = -\frac{X}{A} \pm \frac{X_e}{S} \quad (10-2)$$

که X و e و S به ترتیب مولفه افقی نیروی پیش تنیدگی، میزان خروج از مرکزیت نیرو و مدول مقطع عضو می باشند. تنش های ایجاد شده در اثر اعمال بارهای طراحی $\pm \frac{M}{S}$ است که در آن M لنگر خمشی می باشد. با

توجه به این که هدف از پیش تنیدگی فولاد، خنثی کردن تنش $\frac{M}{S}$ ناشی از بارهای طراحی است، به نظر می رسد سیستم ایده آلی با اعمال توزیع مشابه و معکوس $\pm \frac{X_e}{S}$ و با حذف نیروی محوری $\frac{X}{A}$ به دست آید. در این حالت چگونگی کم شدن کشش در فولاد به صورت یک چندضلعی نامنظم به بارهای اعمال شده، مقدار کشش و نحوه مهار به قسمت فشاری تیر بستگی دارد (شکل (۹-۲) و (۱۰-۲)). نتایج تحقیقات آزمایشگاهی نیز مؤید طرح بهینه حالت کابل های آویخته نسبت به دیگر حالات است [۱۸].

در یک شاه تیر دوسر ساده، مولفه های قائم کشش فولاد باعث ایجاد نیروهایی به سمت بالا در نقطه مهار شده می شود.

طراحی نیروهای رو به بالا به گونه ای است که نیروهای رو به سمت پائین ناشی از بارهای خارجی را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش دهند. همچنین کابل آویخته، لنگر و تنش های خمشی مشابه و مخالف جهت بارهای خارجی ایجاد می کند.



شکل ۲-۹ کابل آویخته



شکل ۲-۱۰ پیش تنیدگی به واسطه کابل های آویزان

کاهش یا حذف لنگر ناشی از بارهای خارجی، اجازه می دهد بارهای اعمال شده بر سازه، با همان مدول مقطع قبلی افزایش یابند. برای مثال بر تیر موجود در شکل (۲-۹) که به صورت دو سر ساده است سه بار متمرکز P وارد می شود. نحوه استقرار کابل آویخته، مشخص و نیروهای افقی آن با X نشان داده شده است. مولفه افقی کشش در کابل طراحی و مولفه قائم در مرکز نیروی X برابر $\frac{M}{e}$ در نظر گرفته می شود. با توجه به هندسه شکل، مقدار لنگر M و نیروی X بر اساس روابط (۲-۱۱) و (۲-۱۲) حاصل خواهد شد.

$$M = \left(\frac{3P}{2} \cdot \frac{L}{2}\right) - \left(\frac{PL}{4}\right) = \frac{PL}{2} \quad (۲-۱۱)$$

$$X = \frac{PL}{2e} \quad (۲-۱۲)$$

مولفه قائم کشش کابل عبارت است از:

$$V = 2X \tan \alpha = 2X \frac{0.25e}{0.25L} \quad (۲-۱۳)$$

با جایگزینی مقدار X رابطه (۲-۱۴) حاصل خواهد شد.

$$V = \frac{PL}{2e} \cdot \frac{2e}{L} = P \quad (۲-۱۴)$$

به طور مشابه، مولفه قائم نیروی کششی در هر ربع، با در نظر گرفتن $X = \frac{PL}{2e}$ و مولفه قائم کشش کابل با استفاده از رابطه (۲-۱۵) زیر به دست می آید.

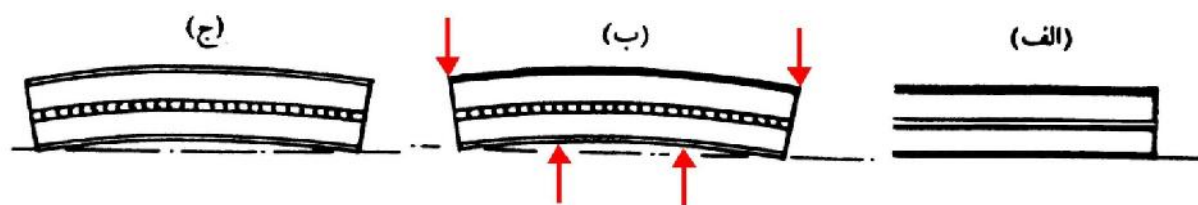
$$V = X \frac{0.75e}{0.25L} - X \frac{0.25e}{0.25e} = \frac{2Xe}{L} = P \quad (۲-۱۵)$$

بنابراین وقتی که کابل ها کشیده می شوند، مولفه های قائم برابر با P است و تیر تحت تاثیر سه بار متمرکز ضمن برخورداری از لنگر برش و افت صفر در هر مقطع، کاملاً بدون تنش در اثر بار مرده می باشد. بنابراین بر اساس شکل (۲-۹) ممکن است مجموع بار بدون افزایش مدول مقطع به $3P$ افزایش یابد. لنگر خمشی ناشی از

کشش در هر مقطع تیر ممکن است از نمودار بارگذاری و یا معادله $M = Xy$ به دست آید که در آن y شکم دادگی کابل در هر مقطع است. [۱]

۲-۴ پیش تنیدگی تیرها به وسیله خمش

یک مقطع نورد شده، ممکن است در یک محدوده ارتجاعی، در اثر جوشکاری یا به کمک جک یا هر دو، تحت خمش قرار گیرد. به این ترتیب با حذف بار، تنش های پیش تنیدگی در آن باقی می ماند (شکل (۲-۱۱)). هنگام خم شدن چنین تیری تحت بار سرویس، عمل پیش تنیدگی در جهت مخالف بار، عمل می کند. تنش های حداکثر در تارهای مقطع، مخالف علامت تنش های پیش تنیدگی است، بنابراین به وجود آمدن یک توزیع یکنواخت تنش در مقطع تیر، باعث افزایش اثر مصالح می شود.

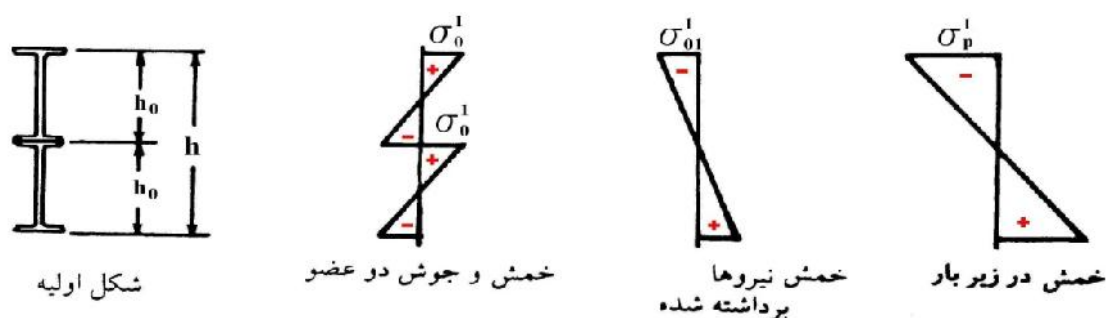


شکل ۲-۱۱ پیش تنیده کردن به وسیله خمش (الف) شکل اولیه: (ب) خمش و جوش دادن دو عضو؛ (ج) یک عضو پیش تنیده

یک تیر پیش تنیده، متشکل از دو عضو متقارن نسبت به محور افقی را در نظر بگیرید (شکل (۲-۱۲)). این تیر به وسیله تنش های کششی در بالا و تنش های فشار در لبه های تحتانی خم شده است. این تنش ها در تارهای بیرونی مربوط به مقاطع نورد شده مجزا، بر اساس رابطه (۱۶) قابل محاسبه خواهند بود.

$$\sigma_o^1 = \frac{M_o}{I_o} \times \frac{h_o}{2} = \frac{M_o}{S_o} \quad (2-16)$$

که در آن M_0 ، I_0 و S_0 به ترتیب لنگر خمشی، ممان اینرسی و مدول مقطع هر نیم رخ می باشد.



شکل ۲- ۱۲ نمودارهای تنش های عمودی تیرهای متقارن ناشی از خمشی عضو

لنگر خمشی پس از جوش شدن اعضا به یکدیگر برداشته می شود، به بیان دیگر، لنگر خمشی $2M$ بر تیر، به صورت لنگری با علامت مخالف عمل می کند. در این صورت تنش های تارهای فوقانی و تحتانی مطابق رابطه ی (۱۷-۲) می باشد.

$$\sigma_{o1}^1 = \frac{2M_o}{S_w} = \frac{2\sigma_o^1 S_o}{S_w} \quad (۱۷-۲)$$

که در آن S_w مدول مقطع تیرجوش شده می باشد. با قرار گرفتن تیر تحت اثر بارهای سرویس که در خلاف جهت بارهای پیش تنیدگی می باشند، تنش ها در تارهای مقطع از رابطه (۱۸-۲) بدست خواهد آمد.

$$\sigma_p^1 = \frac{M_L}{I} \times \frac{h}{2} = \frac{M_L}{S_w} \quad (۱۸-۲)$$

از تنش های برآیند در لبه های فوقانی و تحتانی مقطع طبق روابط (۱۹) و (۲۰) قابل محاسبه می باشد.

$$\sigma_t^1 = \frac{M_o}{S_o} - \frac{2\sigma_o^1 S_o}{S_w} - \frac{M_L}{S_w} \quad (۱۹-۲)$$

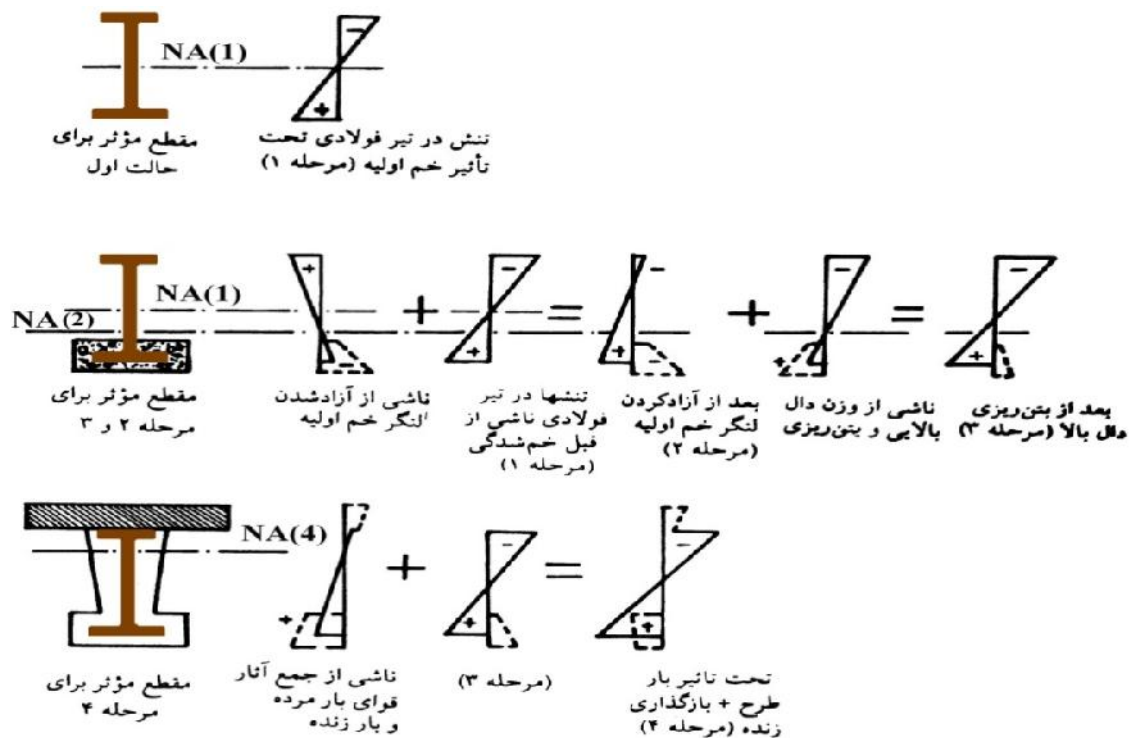
$$\sigma_b^1 = -\frac{M_o}{S_o} + \frac{2\sigma_o^1 S_o}{S_w} + \frac{M_L}{S_w} \quad (۲۰-۲)$$

همچنین ممکن است با پیش خمیدگی تیرهای نورد شده، به منظور پیش تنیدگی تیرهای مرکب، ورق های

فولادی با مقاومت بالا را به بال های تیر جوش دهند. پیش تنیده کردن با تغییر شکل تیر به سمت بالا در یک مقدار معین، و جوش دادن ورق های پوششی با مقاومت بالا انجام می شود سپس با رهاسازی و حذف بارها، در بال فوقانی کشش و در بال تحتانی فشار به وجود می آید. پس از آن که عضو در سازه قرار گرفت، تنش های پس مانده هستند که در جهت خلاف تنش های ناشی از بارهای زنده و مرده عمل می کنند [۱].

۲-۵ روش ایجاد خیز از قبل (پیش خیز)

روش ایجاد خیز از قبل، در سال ۱۹۴۹ به وسیله لیپسکی توسعه یافت. که به عنوان تیر از قبل خم شده معروف می باشد. این روش، استفاده از تیرهای فولادی با پوشش بتنی را برای حالت هایی که خیز یا ترک بتن و یا هر دو زیاد باشد، مقدور می سازد. از این سیستم معمولاً هنگام نیاز به تیری با ارتفاع کوتاه استفاده می شود. در مراحل ساخت، در صورت لزوم یک تیر نورد شده دارای یک ورق پوششی یا یک قطعه سازه فولادی جوش داده شده با مقاومت بالا در جهت بارهای طراحی، خم می شود. با تحت تنش نگه داشتن قطعه به صورت خم دار، بال کششی در پوشش بتن مسلح با مقاومت بالا قرار می گیرد. پس از بتن ریزی در اطراف بال کششی و زمانی که بتن مقاومت لازم خود را به دست می آورد، تغییر شکل پیشین آزاد می شود. این عمل پوشش بال کششی را تحت پیش تنیدگی قرار می دهد. تنش های خمشی و خصوصیات مقطع عرضی در چهار مرحله جداگانه ی ساخت در شکل (۲-۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۳ خصوصیات مقاطع و تنش اعضا در مراحل مختلف بارگذاری تیر قوس دار

مرحله اول: تیر فولادی تحت تأثیر نیروهای جک قرار می گیرد.

مرحله دوم: پس از اعمال نیروی جک در جهت بارهای سرویس، بتن ریزی در بال پایینی صورت می گیرد و ممکن است میلگرد به بتن اضافه شود.

مرحله سوم: تنش هایی پس از بتن ریزی دالی، که بال بالایی تیر را تشکیل می دهد، به اضافه بتن پوششی جان پدید می آید. البته شایان ذکر است مقداری افت پیش تنیدگی ناشی از افتادگی و جمع شدگی بتن، در فاصله زمانی بین آزاد کردن و بتن ریزی دال بالایی به وجود خواهد آمد.

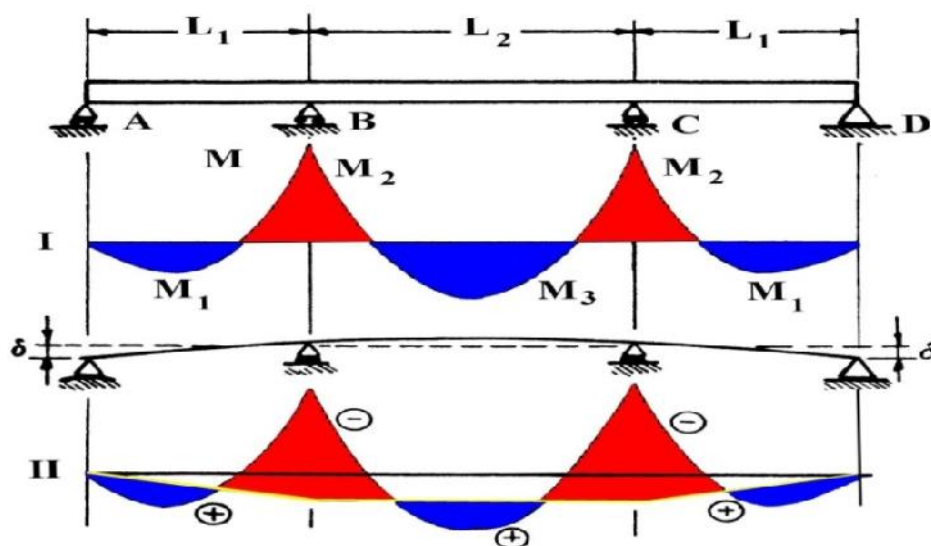
مرحله چهارم: در این مرحله بر اساس اعمال بار مرده و بار زنده و با استفاده از نسبت مدولی مناسب، اعمال محاسبات جداگانه برای هر دو نوع این بارگذاری ها صورت می پذیرد. برخی نکات مثبت حاصله از خم دار کردن یک تیر فولادی را می توان به شرح زیر خلاصه نمود.

- ایجاد یک افزایش در سختی که منتج به کاهش خیز در محدوده بار اسمی می شود.
- پوشش ماندنی بر روی تیر فولادی به وسیله بتن با مقاومت بالا، که در این صورت ترک کمتری در بار اسمی نسبت به تیر مشابه هم اندازه به وجود می آید.
- ایجاد یک افزایش در نسبت دهانه به ارتفاع در مقایسه به تیر مرکب بدون پوشش بتنی که در جای خود می تواند از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد [۱۹].

۲-۶ بازپخش لنگرهای خمشی

با تغییر ارتفاع تکیه گاه شاه تیرهای پیوسته، می توان لنگرهای خمشی و در نتیجه تنش ها را در مقاطع عرضی شاه تیر بازپخش نمود. با اعمال نیروهای اضافی و عوض کردن ارتفاع تکیه گاه، امکان دستیابی به حجم گسترده ای از بازپخش نیروها در اعضای اصلی یک پل یا بازپخش تنش های آن ها در مقاطع عرضی مورد نظر وجود دارد. این روش ابتکاری در خصوص ایجاد باربری مناسب در یک شاه تیر، می تواند تحت عنوان قوانین تنش ها نامگذاری شود که ممکن است از چند روش، که همگی دارای یک اصل می باشند، به دست آید.

یکی از روش ها به صورت عوض کردن ارتفاع تکیه گاه ها برای ایجاد لنگرهای خمشی مصنوعی اضافی که با لنگرهای داده شده در مقطع، جمع جبری می شود است. عوض کردن لنگرهای خمشی ممکن است با پایین آوردن یا بالا بردن ارتفاع تکیه گاه ها به صورت مصنوعی در سازه های نامعین استاتیکی به عنوان شاه تیرهای پیوسته و قاب ها اعمال شود. به عنوان مثال، طبق شکل (۲-۱۴)، وقتی تکیه گاه های A، B، C و D در یک تراز بوده و تحت تاثیر بار مرده گسترده یکنواخت قرار گیرند نمودار لنگر I، حاصل می شود. در این حالت با پایین آوردن ارتفاع تکیه گاه های A و D تغییر مقادیر لنگر خمشی پدید می آید. با پایین آمدن هر کدام از تکیه گاه های A و D به مقدار d، روی تکیه گاه های B و C، لنگرهای منفی M_B و M_C به وجود می آید و پس از اضافه کردن آن ها به لنگرهای خمشی ناشی از بار مرده، نموداری نظیر نمودار لنگر II حاصل می گردد.



شکل ۲-۱۴ بازپخش لنگر خمشی در شاه تیر سه دهانه پیوسته به وسیله پایین آوردن تکیه گاه‌ها
در این روش با ایجاد بازپخش لنگرها، می توان مقادیر M_1 و M_3 را به طور مساوی به دست آورد. هر چند توجه به
این نکته ضروری است که به تساوی رسیدن لنگرهای خمشی این دهانه ها با پایین آوردن تکیه گاه ها، باعث
افزایش لنگرهای تکیه گاهی می شود. با افزایش ارتفاع بر روی تکیه گاه‌ها، در ارتفاع شاه تیر نیز در دهانه وسط
کاهش حاصل خواهد شد و لازمه این مساله یک شاه تیر با ارتفاع متغیر است. ممکن است مدول مقطع یک
شاه تیر I شکل به صورت ذیل در نظر گرفته شود.

$$S = \frac{Ah}{2} - \frac{A_w h}{3} \quad (2-21)$$

$$S = \frac{Ah}{6} (3 - 2m) \quad (2-22)$$

A و h به ترتیب سطح مقطع و ارتفاع شاه تیر و همچنین $m = \frac{A_w}{A}$ نسبت سطح مقطع یک جان به سطح مقطع

کل شاه تیر می باشد. با جایگزین کردن $S = \frac{M}{f}$ ، رابطه (۲-۲۳) حاصل خواهد شد.

$$\frac{A}{M} = \frac{6}{f h (3 - 2m)} \quad (2-23)$$

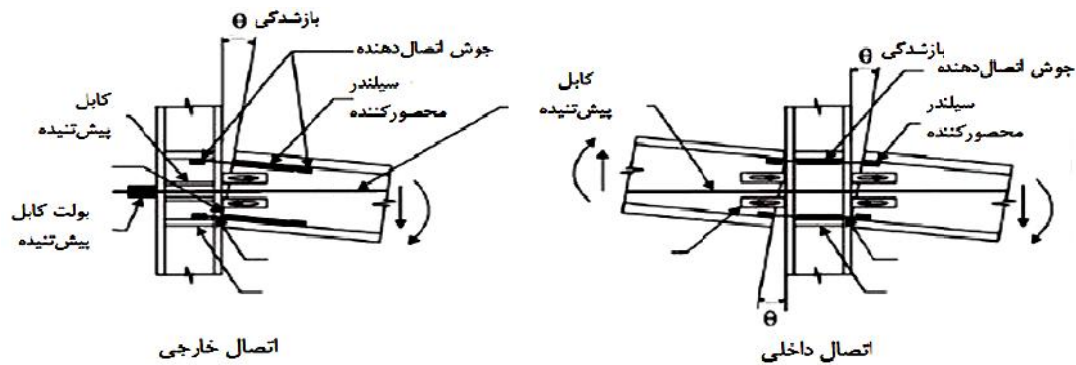
این عبارت نشان دهنده یک سطح مقطع مشخص در شاه تیر یا سطح هر لنگر خمشی واحد شاه تیر است. معادله (۲-۲۳) بیان گر آن است که سطح مقطع مشخص شاه تیر با ارتفاع آن نسبت معکوس دارد. بنابراین، با قبول m به عنوان یک مقدار ثابت، می توان نتیجه گرفت که عمل لنگر انتقالی روی ارتفاع بزرگ تر شاه تیر به سمت تکیه گاه هایش برتری دارد.

به هر صورت توجه به این نکته ضروری است که استفاده از شاه تیرهایی با ارتفاع متغیر، ضمن مشکل کردن مراحل مربوط به روش ساخت آنها، هزینه نهایی را افزایش خواهد داد. به همین سبب، برتری اعمال این روش در خصوص قوانین لنگرها، ممکن است فقط برای پل هایی با دهانه بزرگ قابل قبول و توجیه پذیر باشد. می بایست اقتصادی بودن فولاد به دست آمده ناشی از روش قوانین لنگر بر هزینه ناشی از دشواری تولید برتری پیدا کند. در خصوص پل هایی با دهانه های متوسط، استفاده از شاه تیرهای پیوسته با بال های موازی برتری بیشتری خواهد داشت. بنابراین در حالتی که اختلاف زیادی بین مقادیر واقعی در حالت تراز تکیه گاه ها، لنگرهای دهانه و تکیه گاهی وجود داشته باشد، این راه حل عملی نیست [۱].

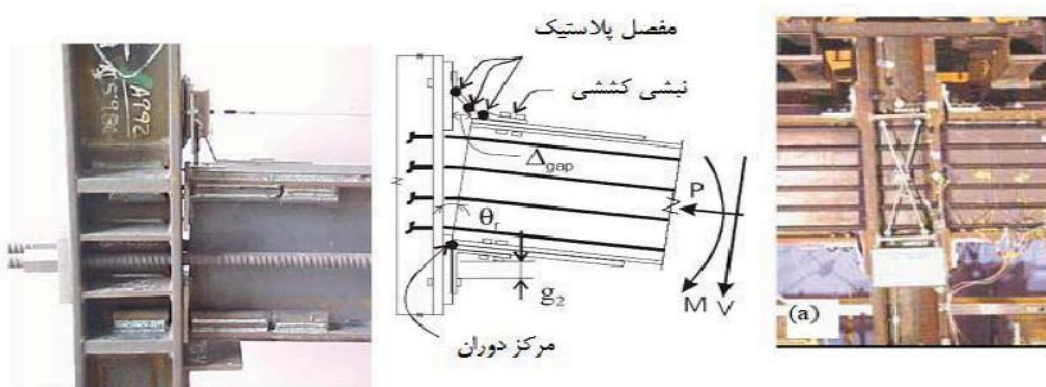
۲-۷ مقاوم سازی اتصال با پیش تنیدگی خارجی به وسیله کابل کششی

این روش یکی از نوین ترین روش های بهسازی لرزه ای است که در سال های اخیر توسعه یافته است. در این شیوه اتصالات آسیب دیده و یا اتصالاتی که نیاز به افزایش مقاومت دارند را با پیش تنیدگی بواسطه کابل ها یا میلگردها تقویت می کنند. کابل با مقاومت بالا معمولاً در قسمت میانی تیر تعبیه می گردد. این روش را با چهار کابل نیز می توان اجرا نمود (اشکال (۲-۱۵) و (۲-۱۶)). حسن استفاده از چهار کابل این است که با از بین رفتن یک کابل، عملکرد اتصال مختل نمی گردد. مقاومت برشی اتصال توسط دو نبشی که در قسمت فوقانی و تحتانی قرار دارد و نیروی اصطکاک بین تیر و ستون که به علت پیش تنیدگی کابل افزایش یافته، تامین می گردد [۱۵].

بهینه یابی قابهای شیبدار صنعتی توسط پیش تنیدگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک
فصل دوم: مفهوم پیش تنیدگی و انواع روش های اعمال آن



شکل ۲-۱۵ اتصالات آسیب دیده



شکل ۲-۱۶ مقاوم سازی اتصال با پیش تنیدگی خارجی

برخی از محاسن این روش به صورت مختصر در زیر آمده است:

- یکسان سازی عملکرد غیر خطی اجزای سازه ای و در نتیجه محدود نمودن نیروهای لرزه ای به وجود آمده و فراهم نمودن میرایی اضافه برای سازه.
- برگشت سیستم به حالت اولیه بعد از ایجاد تغییر شکل های بوجود آمده در اثر بارهای لرزه ای.
- کاهش یا حذف خسارت های شدید به المان های سازه ای اصلی.

۲-۸ الزامات پیش تنیدگی

- محافظت فولادهای پیش تنیدگی در برابر زنگ زدگی و عوامل جوی بسیار حائز اهمیت بوده و باید به وسیله یک پوشش محافظ روغن جلا، ورق های پلاستیک، روی یا روش های دیگر مثل مالیدن مواد قیری یا گریس بر روی آن از زنگ زدگی محافظت شوند.
- هنگام جاییگیری کابل ها در قسمت پوشش دار تیرها یا خرپاها قسمت های پوششی باید به وسیله ملات سیمان یا قیر پر شوند تا تغییر شکل های طولی کابل ها و قسمت سخت فولادی عضو به صورت مستقل و همزمان انجام شود.
- با توجه به خوردگی محتمل تجهیزات پیش تنیدگی، کاربرد سازه های فولادی پیش تنیده در سطوحی با رطوبت خیلی زیاد جایز نیست.
- کابل ها در اعضای سخت سازه ها با کمک گوه فشاری، غلاف کردن (جعبه) یا مهاربندهای دیگر استفاده شده در مدت ساخت سازه های پیش تنیده، می بایست در جای خود محکم گردند.
- برای رسیدن به یک طرح بهینه از لحاظ مقدار مصالح، وزن و هزینه، باید طراحی و اجرا به گونه ای انجام شود که پیش تنیدگی کامل حاصل گردد و بتوان از کل مقطع در فشار بهره جست. کنترل نیروی کشش کابل ها باید توسط جک های کالیبره شده دقیق انجام شود.
- توجه به مسئله ی افت در اعضای پیش تنیده بسیار حائز اهمیت بوده و محاسبه و پیش بینی مقدار افت ناشی از مواردی همچون نیروی پس کشیدگی به جهت اصطکاک بین کابل و غلاف، افت به دلیل لغزش مهار انتهایی و فرو رفتن گوه گیرداری در ابتدا و انتهای کابل و نیز افت به جهت شل شدگی فولاد باید مورد توجه قرار گیرد.
- تخریب این سیستم به دلیل وجود تارهای پیش تنیده بسیار پرخطر بوده و باید با روش های خاص توسط تیم فنی آموزش دیده، صورت گیرد.

- استفاده از سیستم پیش تنیده، در دهانه های بلند توجیه اقتصادی دارد.
- انتخاب شیوه پیش تنیدگی می بایست بر اساس امکانات موجود، شرایط محیط و جغرافیای محل، الزامات و محدودیت ها انجام پذیرد. به عنوان مثال استفاده از صفحات CFRP در مناطقی که احتمال خوردگی می رود شیوه مناسبی می باشد.

۲-۹ صرفه جویی با پیش تنیدگی

کاربرد پیش تنیدگی در سازه های فولادی، امکان کاهش مقدار فولاد مصرفی و در نتیجه هزینه ها را فراهم می کند. ایجاد سازه های فولادی پیش تنیده در تمام کشورهایی که در آنها چنین سازه هایی ساخته شده است، با توجه به میزان فولاد مصرفی و قیمت تمام شده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده است. بر طبق اطلاعات داده شده به وسیله کلوبوکوسکی، مزایای اقتصادی سازه های پیش تنیده در مقایسه با سازه های غیر پیش تنیده در جدول (۲-۱) درج شده است [۵].

مقایسه مزایای اقتصادی سازه های فولادی پیش تنیده

سازه ها	صرفه جویی در فولاد (درصد)	صرفه جویی در هزینه (درصد)
شاه تیرها	۱۰-۱۲	۸-۱۲
خرپاهای با دهانه ۱۰۰ فوت	۵-۱۰	۲-۵
خرپاهای بام با دهانه ۱۰۰ تا ۱۳۰ فوت	۱۰-۲۰	۵-۱۰
خرپاهای بام با دهانه ۱۳۰ تا ۲۰۰ فوت	۱۰-۴۵	۷-۲۰
قاب ها و خرپاهای با دهانه ۱۰۰ تا ۲۰۰ فوت	۲۰-۵۰	۱۰-۳۰

مقادیر موجود در جدول (۱-۲) برای سازه های فولادی پیش تنیده بدون در نظر گرفتن موارد اختلاف مربوط به مهارت فنی و خوردگی به دست آمده است. همچنین این موارد مربوط به پیش تنیدگی در یک مرحله می باشد اگر سازه در چند مرحله تحت تنش قرار گیرد، در اثر بارهای وارد شده، ظرفیت باربری آن در اعضای کششی می تواند از سه تا پنج برابر افزایش یابد.

۲-۱۰ نمونه ای از کاربرد روش پیش تنیدگی در ایران



شکل ۲-۱۷ پل غازیان انزلی

از محدود موارد کاربرد روش پیش تنیدگی در سازه های فولادی در ایران می توان به مقاوم سازی پل غازیان انزلی اشاره کرد. پل غازیان دارای پنج دهانه می باشد که سه دهانه دارای ساختمان قوسی بتنی، یک دهانه عرشه دال بتنی و یک دهانه عرشه فولادی با قابلیت بازشواست. این پل به علت بروز خرابی هایی که عمدتاً در دهانه های قوسی بوجود آمده و نشست و اعوجاج عرشه پل را در پی داشته، نیاز به مقاوم سازی پیدا کرده بود. به علت بارگذاری سنگین و خارج از توان قوس های بتنی و فاصله گرفتن انتهای قوس ها ستون های متصل کننده قوس به عرشه دچار برش شده بود و باعث ایجاد ترک هایی در محل گره شده، که همین امر از ظرفیت باربری پل کاسته

بود. برای ترمیم این خرابی از یک قوس فلزی ساخته شده از تیر ورق و نیز از یک کابل پیش تنیده استفاده کرده اند. برای مقابله با نیروی افقی تیر قوسی از کابل های مهاری استفاده گردیده است.



شکل ۲- ۱۸ مقاوم سازی با پیش تنیدگی کابل ها



شکل ۲- ۱۹ نحوه اتصال کابل ها

فصل سوم

الگوریتم ژنتیک و مفاهیم آن

۳-۱ پیشگفتار

در سال های اخیر الگوریتم ژنتیک با توجه به سازوکار نسبتاً ساده و همچنین عدم وجود مشکلات و پیچیدگی های روش های بهینه سازی دیگر از جمله محاسبات پیچیده گرادیان و تحلیل اجزای محدود سازه به ویژه در سازه های بزرگ جایگاه ویژه ای پیدا کرده است. الگوریتم ژنتیک یکی از زیر مجموعه های الگوریتم های تکاملی^۱ است که رابطه مستقیمی با مبحث هوش مصنوعی دارد. الگوریتم ژنتیک یا به اختصار GA، یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای طراحی بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد. الگوریتم های ژنتیک را می توان یک روش جستجوی کلی نامید، که از قوانین تکامل بیولوژیکی طبیعی تقلید می کند. الگوریتم های ژنتیک تفاوت های زیادی با روش های بهینه سازی قدیمی دارند. در این الگوریتم ها باید فضای طراحی به فضای ژنتیک^۲ تبدیل شود؛ لذا می بایست متغیرهای طراحی بصورت کد مطرح گردند، تا بیان گر 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 حالی که روش های قدیمی بهینه سازی تنها برای یک نقطه خاص عمل می نمایند. به عبارت دیگر، GA در هر تکرار و نسل مجموعه ای از طرح های ممکن را مورد پردازش قرار می دهد. در نگاه اول ممکن است به نظر برسد که این پردازش، یک جستجوی تصادفی^۳ است. در حالی که با نگاهی عمیق می توان مشاهده نمود که GA، یک جستجوی تصادفی هدایت شده در راستای طرح بهینه است [۲۰].

^۱ . Evolutionary Algorithm

^۲ . Genetic Space

^۳ . Random Search

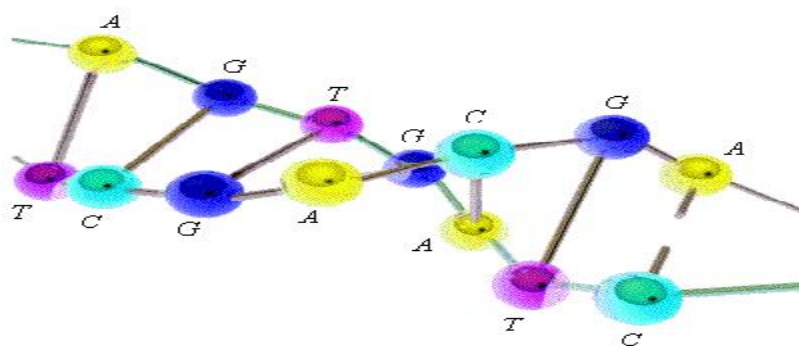
۳-۲ تاریخچه الگوریتم های ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم های تکاملی در سال ۱۹۶۰ توسط ریچنبرگ^۱ مطرح شد که تحقیق وی در مورد استراتژی های تکاملی بود [۲۱]. 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^۲ ها و کروموزوم^۳ ها است که توسط جان هولند^۴ در سال ۱۹۷۵ در دانشگاه میشیگان مطرح شد و پس از وی توسط جمعی از دانشجویانش مثل گلدبرگ^۵ و آنن آربور^۶ توسعه یافت. در سال ۱۹۹۲ جان کوزا^۷ 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. نرم افزاری که توسط وی ابداع گردید به نرم افزار LISP مشهور است که هم اکنون نیز کاربرد فراوانی در حل و بهینه سازی مسائل مهندسی دارد. از آن پس تا به امروز کتاب های متعددی توسط افرادی چون گلدبرگ، دب^۸ و جنکینز^۹ 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 [۲۰].

۳-۳ مفاهیم علم ژنتیک

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. این مطلب در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

^۱ . Rechenberg
^۲ . Gene
^۳ . Chromosome
^۴ . John Holland
^۵ . Goldberg
^۶ . Ann Arbor
^۷ . John Koza
^۸ . Deb
^۹ . Jenkins



شکل ۳-۱ رشته DNA

هر ژن یک الگوی خاص را رمز گشایی^۱ می کند. به عبارت دیگر هر ژن یک صفت^۲ را مشخص می نماید. مثلاً رنگ چشم یک فرد به عنوان یک صفت است. مجموعه ای از این صفت ها آلل^۳ نامیده می شود. از سوی دیگر هر ژن دارای موقعیت مشخص در کروموزوم است که به این موقعیت لوکاس^۴ می گویند. مجموعه کامل ماده ژنتیکی ژنوم^۵ نامیده شده و هر مجموعه خاصی از ژن ها را در ژنوم، ژنوتیپ^۶ می نامند که این ژنوتیپ اساس فنوتیپ^۷ بوده و ویژگی فیزیکی و فکری مثل رنگ چشم و هوش و ... را بوجود می آورد.

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

۱- تولید مثل^۸ که به تولید کروموزوم های جدید با ویژگی های والدین خود، منجر می شود.

۲- جهش^۹ که سبب ایجاد تغییرات ناگهانی در DNA می شود.

۳- مناسب بودن^{۱۰} که برای یک موجود زنده میزان شایستگی آن در ادامه حیات است.

1. Decode
2. Trait
3. Alleles
4. Locus
5. Genome
6. Genotype
7. Phenotype
8. Cross Over
9. Mutation
10. Fitness

در هنگام تولید سلول‌های جدید یک تلفیق^۱ توسط عمل ادغام صورت می‌گیرد. در این فرآیند ژن‌های والد، کروموزوم‌های جدید را تشکیل می‌دهند. احتمال دارد این مولودهای جدید جهش یابند. یعنی DNA آن‌ها دستخوش تغییرات شود. این تغییرات ممکن است همراه با خطا در کپی شدن ژن‌های والد صورت بگیرد. معیار مناسب بودن یک ارگانیسم با توجه به موفقیت این ارگانیسم در ادامه حیات آن تعیین می‌شود [۲۰].

در ادامه به بررسی جایگاه هر یک از مطالب بالا در الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است.

۳-۴ بهینه یابی با الگوریتم های ژنتیک

الگوریتم ژنتیک با الهام از نظریه داروین^۲ درباره حیات بهترین‌ها شکل گرفته است که بر اساس آن بهترین‌ها حق بقا دارند، بنابراین می‌توان گفت:

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

این روش هوشمند به‌طور موفقیت آمیزی طرح بهینه عمومی^۳ را بدون در نظر گرفتن فرضیات محدود کننده‌ای از قبیل پیوسته بودن فضای جستجو و یا وجود مشتقات پیدا می‌کند. فرآیند GA بر روی متغیرهای طراحی رمز شده که رشته‌ای از کاراکترها با طول محدود هستند، انجام می‌گیرد. مزیت کار با متغیرهای کد شده در این است که اصولاً کدها قابلیت تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته را دارند.

الگوریتم GA در ابتدا با مجموعه ای از جواب‌های تصادفی (کروموزوم‌ها) که به آن جمعیت^۴ گفته می‌شود، آغاز می‌گردد. از این جواب ها برای ساخت جمعیت بعدی استفاده می‌شود، به این امید که جمعیت های جدید بهتر از جمعیت های قدیم باشند. زیرا روش‌هایی که برای انتخاب جمعیت جدید استفاده شده با توجه به مناسب بودن آن‌ها صورت گرفته است. پس بهترین‌ها شانس بیشتری برای تولید مثل و ادامه حیات خواهند داشت. این فرایند آنقدر تکرار می‌شود تا براساس معیار همگرایی طرح نزدیک به بهینه حاصل شود.

^۱ . Recombination

^۲ . Darwin

^۳ . Global Optimum

^۴ . Population

در بهینه یابی از طریق GA چهار مرحله اساسی انجام می پذیرد [۲۲]:

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

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

^۱ . Code
^۲ . String
^۳ . Substring
^۴ . Bite
^۵ . Penalty Function
^۶ . Modified Objective Function
^۷ . Offspring
^۸ . Generation

۱- تعریف تابع هدف به شکلی صحیح

۲- تعریف فضای ژنتیک بر اساس قیود مسئله

۳- تعریف و پیاده سازی صحیح عملگرهای GA

در فرآیندهای فوق، نکاتی نهفته است که در بخش‌های بعد به طور اجمالی بدان پرداخته شده است.

۳-۵ کد کردن مقادیر

بر اساس تعریف هولند، روش‌های متعددی برای نمایش ژن‌های منفرد وجود دارد. مثلاً می‌توان آن‌ها را به صورت رشته، آرایه، درخت یا لیست نشان داد. به هر حال، یک سیستم کدگذاری خوب باید دارای خواص زیر باشد:

۱- تبدیل بین عناصر گذشته و گذشته، یک تبدیل یک به یک باشد.

۲- کروموزوم‌هایی 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.

از بین شیوه‌های مختلف کدگذاری، در این قسمت به شرح روش کدگذاری دودویی پرداخته شده است [۲۰].

۲-۵-۱ کد مبنای دو (کد دودویی)

با توجه به این که روش رمز کردن دودویی مرسوم ترین روش در GA، برای نمایش رشته ای متغیرهای طراحی می باشد و همچنین به دلیل این که در این تحقیق نیز از این شیوه استفاده گردیده است به شرح مختصری از این شیوه می‌پردازیم. ویژگی اصلی این شیوه نمایش، انطباق آن با ذات عملگرهای GA می‌باشد. این شیوه نمایش، خصوصیات مناسب برای یک سیستم کدگذاری را دارا می‌باشد. در این شیوه تمامی متغیرهای تصمیم گیری به صورت دودویی (باینری) در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها، کروموزوم ایجاد می‌گردد.

نخستین گام برای کدکردن پارامترهای تصمیم گیری مساله، تعیین طول زیر رشته‌ی هر پارامتر است. این طول به شمار مقدارهای گسسته آن متغیر خاص و سامانه کدگذاری بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$2^n = N \quad (3-1)$$

در رابطه فوق 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 رشته‌های تعریف شده بایستی ۴ بیتی باشند. در کدگذاری دودویی کروموزوم معادل پارامتر ۰ به صورت ۰۰۰۰ و کروموزوم معادل پارامتر اعشاری ۱۵ به صورت ۱۱۱۱ خواهد بود. در واقع ۰۰۰۰ و ۱۱۱۱ مقادیر کد شده کمینه و بیشینه می باشند.

با توجه به اینکه یک رشته n بیتی، اعداد ۰ تا $2^n - 1$ را کد می‌نماید؛ لذا مقدار عددی هر زیررشته برابر است با:

$$\sum_{k=0}^{k=n_i-1} 2^k S_k \quad (3-2)$$

که هر بیت S می تواند اعداد ۰ و ۱ را اختیار نماید و به صورت رشته زیر نمایش داده می‌شود:

$$S_{n-1} \dots S_3 S_2 S_1 S_0$$

البته شیوه‌های کدگذاری دیگری مانند کدگذاری جایگشتی، مقدار و درختی نیز موجود می‌باشد.

۲-۶ شایستگی هر کروموزوم

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 بهینه‌یابی نامقید تبدیل می‌نماید. در ادامه با کمک مقادیر تابع هدف اصلاح شده تابع شایستگی تعریف می گردد. سپس با توجه به تابع شایستگی، به هر کروموزوم یک مقدار شایستگی اختصاص می یابد. 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. بنابراین در ادامه به بررسی توابع فوق الذکر پرداخته می‌شود.

۳-۷ تابع پنالتی

تابع پنالتی یا جریمه ، همان طور که از نامش مشخص است، مقداری است که به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود؛ این جریمه به دلیل نقض قیود می باشد. در واقع به واسطه تعریف تصادفی متغیر یا متغیرهای طراحی قیود مسئله نقض می شود، بنابراین کروموزوم ناقض قیود جریمه می شود. طبیعی است که هر کروموزومی 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.

محققین و دست اندرکاران GA، روابط متعددی را برای تابع پنالتی و نحوه محاسبه مقدار جریمه ارائه نموده اند که در ذیل به بررسی یکی از شیوه های متداول که در این تحقیق نیز از آن استفاده گردیده، پرداخته شده است.

۱. راجیو و کریشنامورتی^۱ تابع پنالتی را به شرح زیر پیشنهاد می نمایند [۲۳].

$$f_{Penalty} = F(X) * K * C \quad (3-3)$$

که

$$C = \sum_{q=1}^Q \max[0, g_q(X)] \quad (3-4)$$

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.

¹. S.Rajeev & C.S.Krishnamoorthy

در گام بعدی برای رسیدن به مقدار شایستگی هر کروموزوم می بایست تابع هدف اصلاح شده و در پی آن تابع شایستگی را محاسبه شود.

۳-۸ تابع شایستگی^۱

تابع شایستگی معمولاً براساس تابع هدف اصلاح شده تعریف می شود و بایستی مقدار آن مثبت باشد. تابع هدف اصلاح شده نیز عموماً براساس مقادیر تابع جریمه و تابع هدف تنظیم می شود. محققین GA روابط متنوع و گوناگونی را برای تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی ارائه داده اند که در این قسمت به بررسی روش مورد استفاده می پردازیم.

راجیو و کریشنا مورتی، تابع هدف اصلاح شده و تابع شایستگی را بشرح زیر پیشنهاد می نمایند [۲۳]:

$$f(X) = F(X) + f_{Penalty} \quad (۳-۵)$$

$$R(X) = [f_{\max}(X) + f_{\min}(X)] - f(X) \quad (۳-۶)$$

در روابط فوق

$f(X)$: تابع هدف اصلاح شده

$R(X)$: تابع شایستگی

$f_{Penalty}$: تابع جریمه

$F(X)$: تابع هدف

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

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

است.

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

^۱ . Fitness Function

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.

۳-۹ انتخاب^۱

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

روش های متنوعی در GA برای انتخاب کروموزومهای شایسته وجود دارد، اما هدف اصلی در همه ی آن ها انتخاب کروموزوم هایی (طرح هایی) با میزان شایستگی بالا از جمعیت جاری و تکثیر آن ها، طی قرارگیری در مکانی به نام استخر تولید مثل^۲ است. کروموزوم های با مقدار شایستگی بالاتر، از شانس بیشتری برای حضور در استخر تولید مثل برخوردار خواهند بود. عکس این مطلب نیز صادق است، یعنی کروموزومهایی با مقدار شایستگی کمتر، احتمال کمتری برای انتقال در استخر تولید مثل خواهند داشت. نحوه انتخاب در روش های مختلف ، متفاوت است ؛ اما معیار تمامی روش های انتخاب، میزان شایستگی برای هر کروموزوم می باشد. یعنی هر کروموزومی که شایستگی بیشتری دارد، بالطبع شانس بیشتری برای حضور در استخر تولید مثل پیدا می کند. مهم ترین و رایج ترین روش هایی که برای انتخاب کروموزوم ها و قرار دادن آن ها در استخر تولید مثل وجود دارد عبارتند از:

^۱ . Selection(Reproduction)

^۲ . Mating Pool

۱. روش چرخ گردان^۱

۲. روش رتبه بندی^۲

۳. روش حالت پایدار^۳

۴. روش مسابقه^۴

۵. روش میانگین

۶. مفهوم برگزیده^۵ (شایسته سالاری)

۷. نمونه برداری تصادفی کلی

در این قسمت به بررسی روش های مورد استفاده می پردازیم.

۳-۹-۱ روش چرخ گردان

یکی از روش های متداول در فرآیند انتخاب، روش چرخ گردان است. 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 [۲۱]:

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (۷-۳)$$

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

حال اگر درصد احتمال این مقادیر را 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 بین صفر و یک، کروموزومی با قطاع بزرگ تر یا شایستگی

^۱ . Roulette Wheel

^۲ . Rank

^۳ . Steady State

^۴ . Tournament

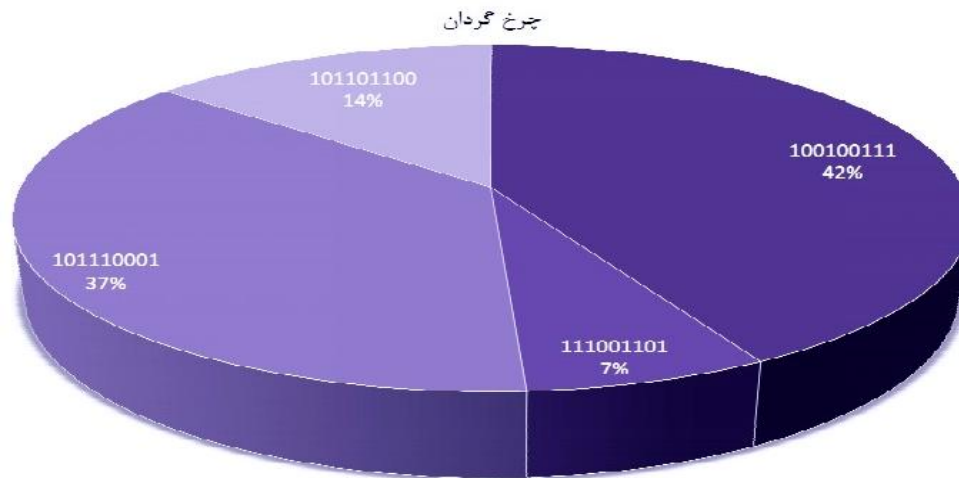
^۵ . Elitism

بیشتر، شانس بیشتری برای حضور در جمعیت بعد می یابد. انتظار می رود که مکانیزم چرخ گردان به تعداد $F_i/\bar{F}$ کپی از رشته i ام را تولید نماید. مقدار میانگین شایستگی های یک جمعیت از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\bar{F} = \sum_{j=1}^n F_j / n \quad (8-3)$$

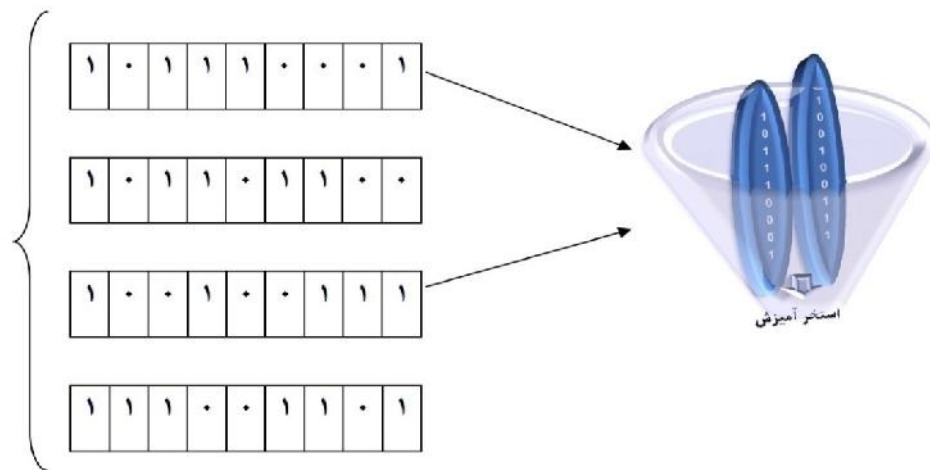
برای اجرای این روش، می بایست در ابتدا مجموع مقادیر تابع شایستگی برای رشته های جمعیت مورد نظر را بدست آورد. آن گاه براساس رابطه (3-7) مقدار P_i برای هر کروموزوم محاسبه می شود. در ادامه مقدار $\bar{P}_j$ بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\bar{P}_j = \sum_{i=1}^m P_i \quad j = 1, \dots, n \quad (9-3)$$



شکل ۳-۲ مدلی از چرخ گردان

که در آن n تعداد اعضای جمعیت و m شماره جمعیت یا کروموزوم موردنظر در جمعیت حاضر است. حال به تعداد اعضای جمعیت، اعداد تصادفی یکنواخت در محدوده صفر و یک تولید می شود. اگر عدد تصادفی تولید شده کوچکتر یا مساوی با $\bar{P}_j$ نظیر کروموزوم z ام باشد؛ آن کروموزوم برای تکثیر انتخاب می شود و در استخر تولید مثل قرار می گیرد.



شکل ۳-۳ قرارگیری کروموزوم های منتخب در استخر آمیزش

۳-۹-۲ روش رتبه بندی

در روش چرخ گردان، اگر مقادیر شایستگی رشته ها، خیلی با هم تفاوت داشته باشند، فرآیند انتخاب دچار مشکل می شود. مثلاً اگر بهترین شایستگی ۸۵ در صد باشد، در حدود ۸۵ در صد از شکل را اشغال خواهد کرد، بنابراین سایر کروموزوم ها شانس کمتری برای انتخاب شدن خواهند داشت.

در روش رتبه بندی ابتدا جمعیت را بر اساس مقادیر شایستگی رتبه بندی می شوند. سپس انتخاب کروموزوم ها براساس 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).

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

$$P_i = \frac{m}{\sum_{j=1}^n j} \quad (۱۰-۳)$$

که n تعداد اعضای جمعیت و m شماره رشته موردنظر در جمعیت حاضر است. به عبارت دیگر m برابر i است.

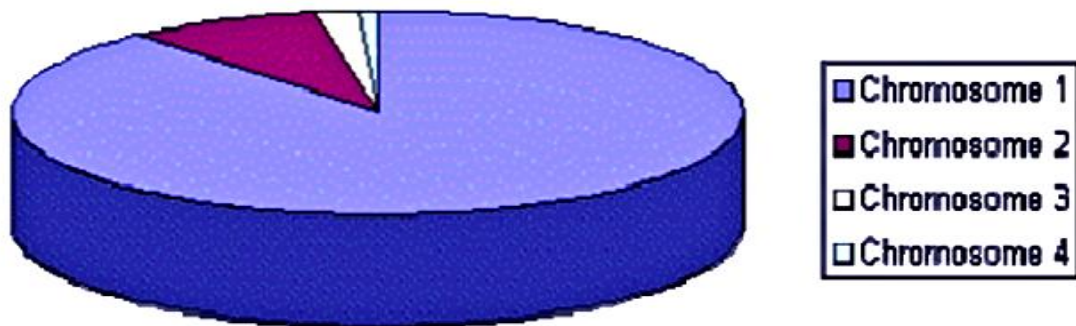
در ادامه همانند روش چرخ گردان مقادیر تجمعی P_i بر اساس رابطه (۳-۱۱) بشرح زیر محاسبه می شود:

$$(\bar{P}_j) = \sum_{i=1}^m P_i \quad j=1, \dots, n$$

سپس با تولید اعداد تصادفی یکنواخت در محدوده صفر تا یک و مقایسه آن با مقادیر تجمعی $\bar{P}_i$ برای هر

کروموزوم ، رشته منتخب مشخص و در استخر تولید مثل کپی می شود.

روش رتبه بندی و روش چرخ گردان در اشکال (۳-۴) و (۳-۵) مقایسه شده است.



شکل ۳-۴ موقعیت کروموزومها بر اساس روش چرخ گردان



شکل ۳-۵ موقعیت کروموزومها پس از مرتب سازی بر اساس روش رتبه بندی

همان طور که در شکل (۳-۴) ملاحظه می شود؛ کروموزوم یک به دلیل شایستگی بالا، قسمت اعظم دایره را در روش چرخ گردان به خود اختصاص داده است و احتمال انتخاب آن در جمعیت بعدی بسیار زیاد است. در حالی که کروموزوم چهار با دارا بودن قطاع بسیار کوچکی از دایره، شانس اندکی (تقریباً برابر صفر) برای حضور در حوضچه پیوند دارد. 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. همان طور که در شکل (۳-۵) دیده می شود؛ نسبت قطاع دایره برای کروموزوم یک و چهار 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 است.

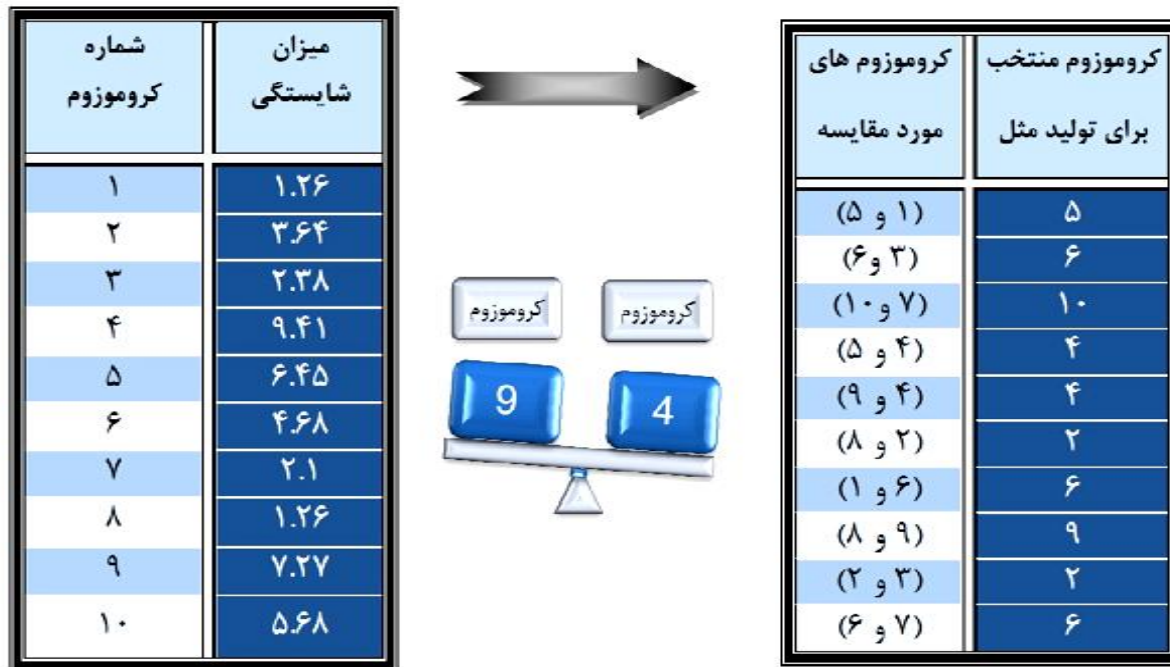
ضعف روش رتبه بندی تنها در آن است که به آهستگی همگرا^۱ می شود. زیرا بهترین کروموزوم ها تفاوت چندانی با هم ندارند و همین امر باعث همگرایی آهسته آن می شود. لذا برای جمعیت های بزرگ توصیه نمی شود [۲۱].

۳-۹-۳ روش رقابتی

در روش چرخ گردان الگوریتم گاهی با مشکلاتی از قبیل کندی و همگرایی ناگهانی به خاطر کوچک شدن سریع فضای جستجو مواجه می شود. روش رتبه بندی نیز به دلیل آهستگی همگرایی و مشکلاتی از این قبیل، برای جمعیت های بزرگ زیاد مناسب نیست. برای گریز از این معایب، معمولاً از روش دیگری به نام روش رقابتی استفاده می شود. این روش نخستین بار توسط گلدبرگ و دب در سال ۱۹۹۱ ارائه شده است.

در 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. سرانجام در این رقابت یکی از کروموزوم ها به پیروزی رسیده و به عنوان والد جدید انتخاب می شود. این فرآیند تا انتخاب همه ی والدا در جمعیت جدید، تکرار می شود. به عبارت دیگر، عملیات فوق به تعداد اعضای جمعیت تکرار می شود.

^۱ . Slow Convergence



شکل ۳-۶ روش رقابتی

۳-۹-۴ مفهوم برگزیده (شایسته سالاری)

استراتژی نخبه گرایی یا مفهوم برگزیده، نخستین بار توسط فردی به نامدی جانگ^۱ در سال ۱۹۷۵ مطرح شد. بر اساس این روش بهترین کروموزومها (یک کروموزوم) بر مبنای شایستگی در جمعیت جدید بدون آن که 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 اطمینان حاصل می گردد 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 می شود. استراتژی نخبه گرایی تأثیر بسزایی در همگرایی الگوریتم داشته و استفاده از آن در مقالات گوناگون، بررسی و توصیه شده است [۲۰].

^۱ . Kenneth De Jong

۳-۱۰ عملگرهای GA

در بخش پیشین چگونگی انتخاب کروموزومها مورد بررسی قرار گرفت. حال به بررسی روشهای مختلف برای تولید فرزندان پرداخته می شود. عملگرهای وراثتی متعددی برای تولید رشته های بهتر وجود دارد که هدف این عملگرها جستجوی فضای طراحی و تا حد امکان حفظ اطلاعات نهفته در رشته هاست. این والدها بهترین موارد انتخاب شده توسط عملگرهای فاز انتخاب هستند و نباید از دست بروند. مهمترین عملگرهای GA عبارتند از:

۱. عمل جفت گیری یا ادغام
۲. عمل معکوس کردن^۱
۳. عمل حذف و کپی کردن^۲
۴. عمل حذف و تولید مجدد^۳
۵. عمل جداسازی^۴
۶. عمل نقل مکان^۵
۷. عمل بخش بندی^۶
۸. عمل غالب شدن یا تسلط^۷
۹. عمل ادغام و معکوس سازی^۸
۱۰. روش تکثیر میانی
۱۱. عملگرهای بیتی^۹

^۱ . Inversion
^۲ . Deletion And Duplication
^۳ . Deletion And Regeneration
^۴ . Segregation
^۵ . Migration
^۶ . Sharing
^۷ . Dominance
^۸ . Cross Over And Inversion
^۹ . Bite-Wise Operator

۱۲. عملگر جهش^۱

معمولاً در یک الگوریتم ژنتیک ساده^۲ تنها از دو عملگر اصلی زیر پس از فرآیند انتخاب استفاده می شود:

۱. ادغام

۲. جهش

عملگر ادغام

در مرحله انتخاب جمعیتی از بهترین کروموزوم ها شکل می گیرد. در فرآیند ادغام، هدف تولید رشته های بهتر و جدید (تولید فرزندان) می باشد. فرآیند ادغام، با هدف تعویض ویژگی طرح ها در میان اعضای جمعیت، به قصد بهبود شایستگی نسل بعد انجام می شود. عملگر ادغام یک عملگر ترکیبی است که شامل سه مرحله است. در مرحله اول یک جفت رشته به صورت تصادفی انتخاب می شود. در مرحله دوم یک زیررشته، از کروموزوم ها به طور تصادفی در طول رشته انتخاب خواهد شد. بایستی توجه داشت که طول زیر رشته در هر دو کروموزوم، ثابت باشد. در سومین مرحله زیررشته منتخب در دو رشته والد جابه جا می شود. روش های مختلف و متنوعی برای عمل ادغام وجود دارد. بر اساس نظریه دب^۳ نمی توان گفت که کدام یک از روش های ادغام بهتر است. در هر حال مشهورترین روش های ادغام به شرح زیر می باشند:

۱. روش ادغام تک نقطه ای

۲. روش ادغام دو نقطه ای

۳. روش ادغام چند نقطه ای

۴. روش ادغام یکنواخت

۵. روش ادغام متغیر

^۱ . Mutation

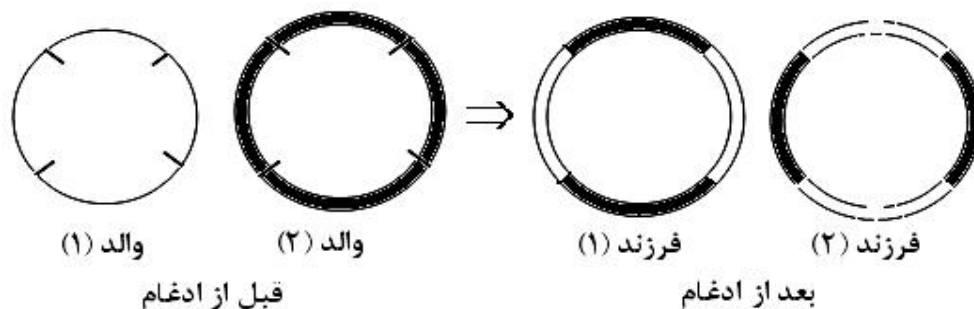
^۲ . Simple Genetic Algorithm

^۳ . Deb

اساس فرایند ادغام در تمامی روش‌های فوق بر اساس ترکیب سازی جدید ژن‌ها است، بر این اساس جهت روشن سازی نحوه‌ی عملکرد این فرایند به بررسی دو روش ادغام چند نقطه‌ای و ادغام یکنواخت می‌پردازیم (روش یک نقطه‌ای و دو نقطه‌ای حالت ساده‌تر روش چند نقطه‌ای می‌باشد).

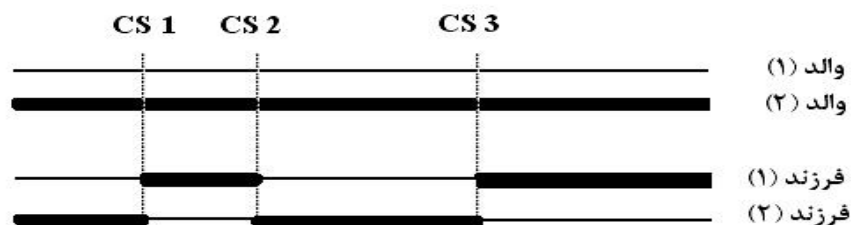
۳-۱۰-۱ روش ادغام چند نقطه‌ای^۱

در این روش چند مکان برای انجام عمل ادغام در طول رشته انتخاب می‌شود. تعداد این مکان‌ها ممکن است، زوج و یا فرد باشد. در حالتی که تعداد زوج باشد، رشته‌ها به صورت یک حلقه ای که بدون ابتدا و انتها است، خواهند بود. این مکان‌ها به صورت تصادفی در اطراف دایره انتخاب می شوند؛ سپس در نهایت، اطلاعات بین این مکان‌ها جابه‌جا می‌شوند. شکل (۳-۷) نحوه ادغام چهار نقطه ای را نشان می دهد.



شکل ۳-۷ روش ادغام چند نقطه‌ای (حالتی که تعداد مکان‌ها زوج باشد)

اما اگر تعداد مکان‌های فرد باشد؛ عمل ادغام به صورت شکل (۳-۸) انجام می شود [۲۱].

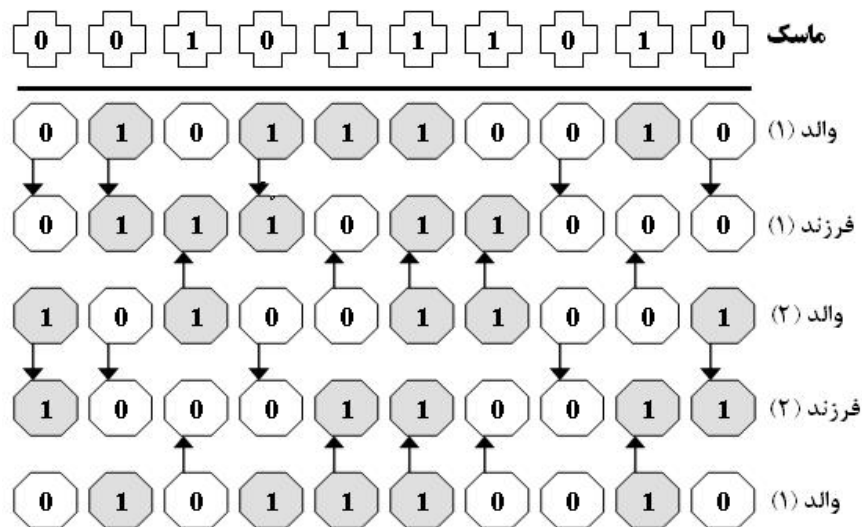


شکل ۳-۸ روش ادغام چند نقطه‌ای (حالتی که تعداد مکان‌ها فرد باشد)

^۱ . Multi-Point Cross Over

۳-۱۰-۲ روش ادغام یکنواخت^۱

این روش حالت پیشرفته ادغام چند نقطه‌ای است. در این روش هر بیت بر اساس یک احتمال پنجاه در صدی از والد هایش انتخاب شده و جابجا می شوند. برای این منظور از یک الگوی ادغام تصادفی به نام ماسک^۲ استفاده می شود. طول رشته ماسک، برابر طول کروموزوم‌های جمعیت است. هنگامی که در ماسک مقدار بیت هم ارز، صفر (0) باشد، ژن از والد اول و اگر مقدار یک (1) باشد، ژن از والد دوم کپی می شود. روش ادغام چند نقطه ایی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳-۹ روش ادغام یکنواخت

۳-۱۰-۳ نرخ ادغام^۳

در انجام فرآیند ادغام با تعریف ثابتی به نام نرخ ادغام (پیوند)، شانس حضور کروموزوم در فرآیند ادغام بررسی می شود. نرخ ادغام بیانگر احتمال ادغام است که آن را با P_c نشان می دهند و مقدار آن بین 0 و 1 است. با

^۱ . Uniform Cross Over

^۲ . Mask

^۳ . Cross Over Rate

فرض احتمال ادغام P_C می توان گفت که $100 * P_C$ درصد از رشته های موجود در استخر تولیدمثل در عملیات ادغام به کار رفته اند و $100 * (1 - P_C)$ درصد از جمعیت باقی می مانند.

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 کم تر 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 [۲۰].

۳-۱۰-۴ عمل معکوس سازی

در این عمل یک رشته از داخل جمعیت انتخاب شده و به صورت تصادفی دو نقطه از آن انتخاب می شود. سپس همه ی بیت های بین این دو نقطه معکوس می گردد. لازم به ذکر است که در این روش تنها به یک والد نیاز است. این معکوس سازی را می توان به دو صورت انجام داد [۲۳]:

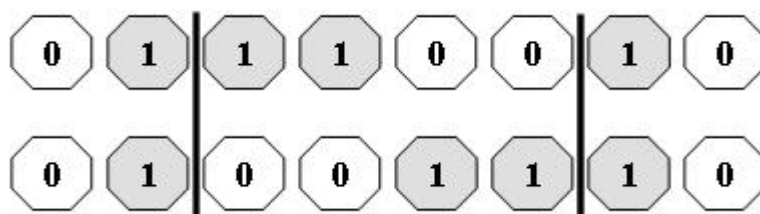
۱- در این حالت هر بیت معکوس می شود. یعنی اگر صفر است تبدیل به یک می شود و

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.

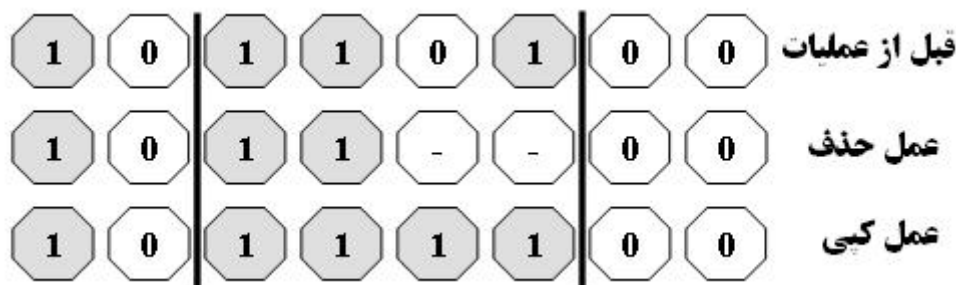
در هر حال، انجام عمل معکوس سازی نیز همانند فرآیند ادغام بر اساس ثابتی به نام نرخ معکوس سازی انجام می شود. این نرخ بیانگر احتمال معکوس سازی برای هر کروموزوم است. شیوه ی اعمال نرخ معکوس سازی همانند روش ادغام می باشد. لازم به ذکر است که عملیات فوق نیازمند تنها یک والد است.



شکل ۳-۱۰ عمل معکوس سازی

۳-۱۰-۵ عمل حذف و کپی

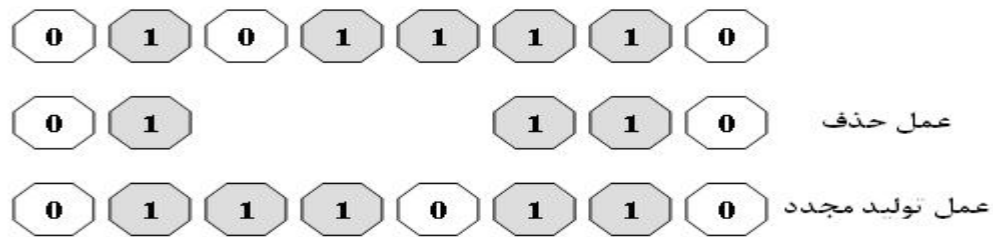
در این عمل یک رشته از داخل جمعیت متناسب با نرخ عملیات انتخاب شده و به صورت تصادفی دو نقطه از آن برگزیده می شود. سپس نصف بیت های زیررشته مورد نظر حذف شده و بیت های قبلی آن ها کپی می شود. لازم به ذکر است که این عملیات نیز تنها نیازمند یک والد است. شکل (۳-۱۱) عملیات حذف و کپی را بر روی یک رشته نشان می دهد.



شکل ۳-۱۱ عمل حذف و کپی بیت های پیشین

۳-۱۰-۶ عمل حذف و تولید مجدد

در این عمل ژن های بین دو نقطه از رشته منتخب حذف شده و به صورت تصادفی مجدداً تولید می شوند. انتخاب رشته منتخب نیز بر اساس نرخ ثابتی همانند نرخ ادغام انجام می شود. چگونگی اعمال این اپراتور در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است [۲۰].



شکل ۳-۱۲ عمل حذف و تولید مجدد

۳-۱۱ جهش

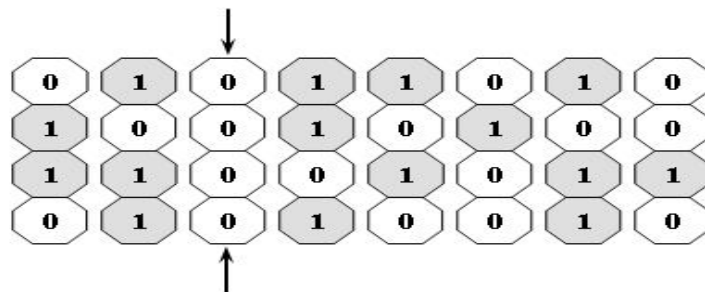
از دیگر مراحل رایج در عملیات GA که تکامل جمعیت برای نسل بعد را به دنبال خواهد داشت، استفاده از اپراتور جهش است. پس از عمل ادغام رشته‌ها، نوبت به عمل جهش یا موتاسیون می‌رسد. نقش جهش در الگوریتم ژنتیک، بازگرداندن مواد ژنتیکی گم شده و یا پیدا نشده به داخل جمعیت است. بدین سان با استعانت از اپراتور جهش از همگرایی زودرس الگوریتم ژنتیک و کسب جواب‌های بهینه محلی جلوگیری می‌شود. به عبارت دیگر در یک کلام می‌توان گفت اپراتور جهش، سبب جستجوی بهتر فضای طراحی می‌شود.

۳-۱۱-۱ عمل جهش در کدگذاری دودویی

عمل جهش یک بیت، شامل تبدیل عدد صفر (0) به یک (1) و بالعکس است که بر اساس یک احتمال کوچک مثل P_m به صورت بیت به بیت صورت می‌گیرد. عمل جهش به این ترتیب است که یک عدد تصادفی بین صفر (0) تا یک (1) تولید می‌شود؛ اگر عدد تولید شده کوچک‌تر از P_m باشد مقدار خروجی را برابر درست و گرنه برابر غلط در نظر گرفته می‌شود. اگر برای هر بیت مقدار خروجی درست باشد، بیت تغییر می‌کند و گرنه بیت بدون تغییر باقی خواهد ماند.

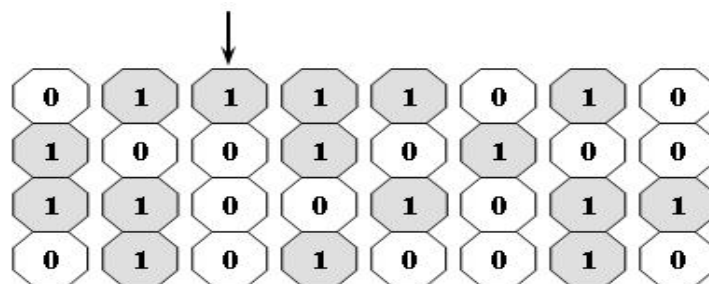
بیت های یک رشته بصورت مستقل جهش می‌یابند، به این معنا که جهش یک بیت بر روی احتمال جهش سایر بیت ها تأثیر نمی‌گذارد. این عمل در یک الگوریتم ژنتیک ساده به منزله‌ی یک عملگر ثانویه و به منظور حفظ

اطلاعاتی که در حال 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. این عملگر همچنین تضمین می کند که بدون توجه به پراکندگی جمعیت اولیه ، احتمال جستجوی هر نقطه از فضای مسئله هیچگاه صفر نشود. از دیگر مزایای عملگر جهش ، متفاوت و متمایز نمودن کروموزوم ها در یک جمعیت است. به عبارت دیگر با استعانت از عملگر جهش می توان تحرک شگرفی در یک جمعیت ایجاد نمود. به عنوان مثال اگر جمعیت زیر را در نظر موجود باشد:



شکل ۳-۱۳ نیاز جمعیت به بیت ۱

همان طور که ملاحظه می شود، همه ی بیت های ستون سوم جمعیت حاضر صفر است. اگر راه حل بهینه نیاز به یک در این موقعیت داشته باشد، در این صورت هیچکدام از عملیات ادغام و تولید مثل قادر به این کار نخواهد بود. اما عمل جهش این کار را برای ما انجام خواهد داد و جمعیت پس از این عمل با توجه به یک احتمال مشخص به صورت زیر در می آید [۲۰]:



شکل ۳-۱۴ تاثیر عملگر جهش

۳-۱۲ شرط توقف الگوریتم

برخی از شرطهای متداول توقف عملیات GA عبارتند از:

۱. رسیدن به جواب: 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: یعنی الگوریتم GA پس از n بار تکرار با همان کروموزومهای 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.
 ۳. روش آماری: اگر انحراف از معیار مقادیر شایستگی جمعیت به یک مقدار مشخصی رسید، الگوریتم متوقف می شود. تعداد تکرارها: در صورت محقق نشدن شرایط فوق، شرط توقف براساس تعداد تکرار بنا می شود.
- در هر صورت باید اذعان داشت که ممکن است GA نیز، همانند دیگر روشهای بهینه سازی، به جواب بهینه نرسد و یا در نقطه کمینه نسبی گرفتار شود. در هر صورت اگر الگوریتم به یک حل بهینه همگرا نشود، می بایست پارامترهای آن را تغییر داده و مجدداً الگوریتم را اجرا شود. این پارامترها نقش بسزایی در رسیدن به جواب بهینه دارند. در پایان نامه حاضر الگوریتمی ارائه شده است که تأثیر پارامترهای GA را بطور چشمگیری (بارزی) کاهش می دهد و کاربر را از اجرای مجدد برنامه با پارامترهای جدید بی نیاز می سازد.

۳-۱۳ روش جستجوی جزیره‌ای یا چند منظوره (M.S.M)

در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M)، جمعیت GA به بخش های مختلف (جزایر متنوع) تقسیم می شود. هر بخش دارای محیطی متفاوت و ساختاری منحصر بفرد است. ویژگی ها و ساختار هر بخش بر اساس آزمودن عملگرهای مختلف GA و انتخاب بهترین، شکل گرفته است. در مسایلی که به دلیل زیاد بودن تعداد متغیرهای طراحی و بزرگ بودن فضای کاوش، تأثیر پارامترهای GA نقشی اساسی ایفا می نمایند و استفاده از

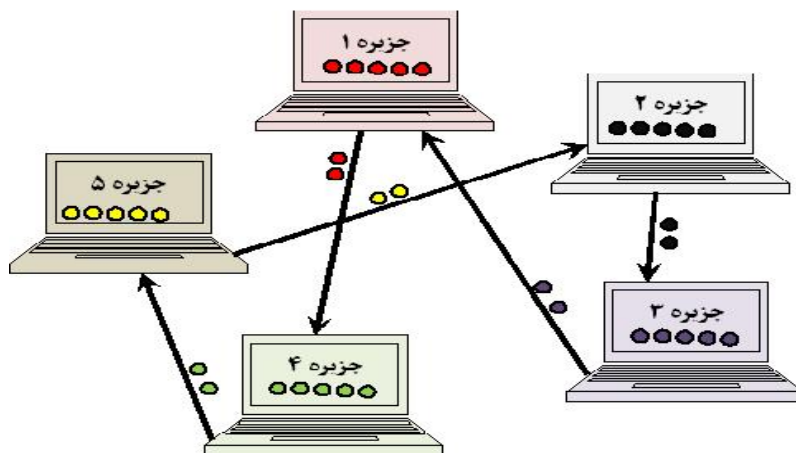
روش های متداول GA منتهی به جواب بهینه نمی شود ، روش جزیره ای به طور مؤثر و هوشمندی فضای طراحی را مورد کاوش و در نهایت بهترین جواب های ممکن را ارائه می دهد. در این روش یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت کوچکتر تقسیم می شود و الگوریتم ژنتیک مرسوم با عملگرها و پارامترها متفاوتی ، برای هر کدام از زیر جمعیت ها به طور جداگانه به کار گرفته می شود. هر کدام از این جمعیت ها به عنوان یک جزیره نامیده می شود. بهترین کروموزوم های هر جزیره پس از طی چند نسل مشخص ، بطور تناوبی به جزایر دیگر منتقل می شود. این مطلب در شکل (۳-۱۵) نشان داده شده است.

در فرآیند انتقال دو پارامتر بشرح زیر تعریف می شود:

۱. وقفه مهاجرت: بیانگر تعداد نسل ها بین هر انتقال می باشد.

۲. نرخ مهاجرت^۱: 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^۲ 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 مشخص می شوند. این مطلب در شکل (۳-۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۵ روش جستجوی چند منظوره

^۱ . Migration Rate

^۲ . Random Destinations

بهترین‌های هر جزیره برای مهاجرت انتخاب می‌شوند. عملگر مهاجرت، بهترین‌های یک زیرجمعیت را به جزیره دیگری می‌فرستد، که شامل محیط و اعضای با ساختار بسیار متفاوتی است. پس از فرآیند مهاجرت، الگوریتم ژنتیک جمعیت‌های مهاجر^۱ را با باقیمانده اعضای جمعیت ترکیب می‌کند و به سوی حصول جمعیتی با برازش بالاتر گام برمی‌دارد.

بنابراین در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) به سبب آنکه یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت تبدیل می‌شود؛ تعداد اعضای هر زیرجمعیت کم‌تر و همگرایی سریع‌تر^۲ حاصل می‌شود. در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) به سبب وجود مکانیزم مهاجرت، جواب‌ها در خلال فرآیند کاوش از تنوع خاصی برخوردارند. بنابراین روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) فضای طراحی را بطور کامل‌تری مورد کاوش قرار می‌دهد. از سوی دیگر در روش جستجوی چند منظوره (M.S.M) به دلیل خصوصیات مجزای فضای هر جزیره، می‌توان از تمامی روش‌های 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 می‌شود و در ادامه بهترین نتایج، فی مابین دیگر جزایر به اشتراک گذاشته و جمعیت‌های جدیدی در اختیار هر جزیره جهت پرورش قرار می‌گیرد. این خصوصیات بطور دسته جمعی سبب کاهش تأثیر پارامترها و روابط حاکم بر عملیات GA می‌شود. سرعت همگرایی الگوریتم را بطور شگرفی افزایش می‌دهد [۲۰].

در این پایان‌نامه روش جزیره ای با چهار جزیره مورد استفاده قرار گرفته است که مشروح پارامترهای هر جزیره در جای خود مورد بحث قرار خواهد گرفت.

^۱ . Immigrants

^۲ . Quick Convergence

فصل چهارم

تحلیل و طراحی قاب‌های شیب‌دار

غیرمنشوری

۴-۱ پیشگفتار

بر روی قابهای شیبدار غیر منشوری در چند ساله اخیر کارهای فراوانی از نظر ساخت و تولید به انجام رسیده است، حال آن که از جهت بهینه سازی و همچنین تحلیل پایداری در آنها ظرفیت مطالعات و تحقیقات بیشتر وجود دارد. استفاده از ضرایب دست بالای اطمینان 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 به دست 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. هر چند باید توجه داشت که رسیدن به سبک ترین سازه ممکن است با ضرورت های ویژه تولید (طراحی قطعات گونه بندی شده) تا حدی در تعارض باشد از آن جا 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 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 قابهای شیبدار با ممان اینرسی متغیر به ذکر روش ها و فرمول بندی های مربوطه پرداخته شده است.

۴-۲ انواع سازه‌های شیبدار

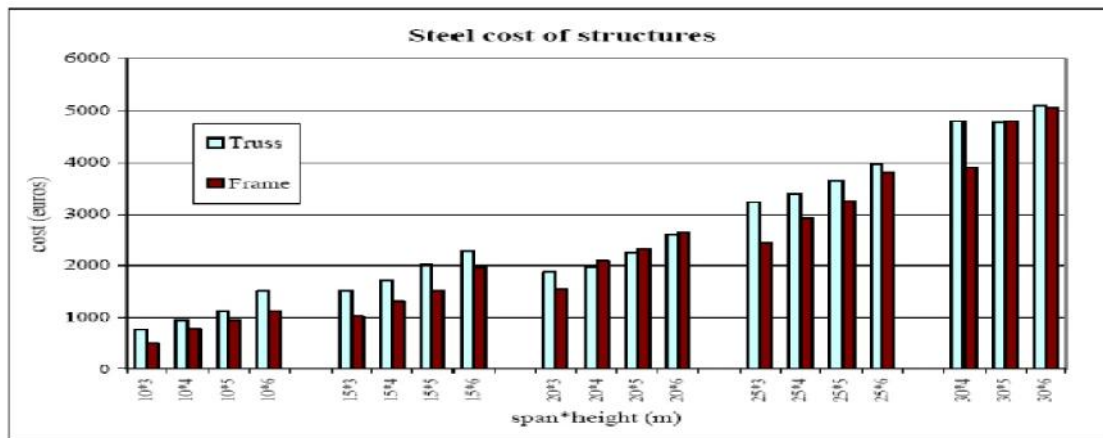
تقاضای بسیار زیاد سالن‌های صنعتی در طی سالیان گذشته باعث تاسیس کارخانجات و کارگاه‌های بیشمار در اطرافمان شده است. اصولاً سازه‌های شیبدار به پنج دسته تقسیم می‌گردند که عمده تفاوت این سیستم‌ها مربوط به سیستم سقف و نحوهٔ مقابله با نیروهای ثقلی و بارهای زنده در آنها است. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آنها را به گروه‌های زیر تقسیم نمود:

- ۱ - ساختمان‌های با سقف خrpایی
- ۲ - ساختمان‌های دارای شاه‌تیر مشبک
- ۳ - سازه‌های با قاب شیبدار صلب
- ۴ - سازه‌های با ستون‌ها و تیرهای خrpایی
- ۵ - سازه‌های ترکیبی با سازه‌های فضا کار

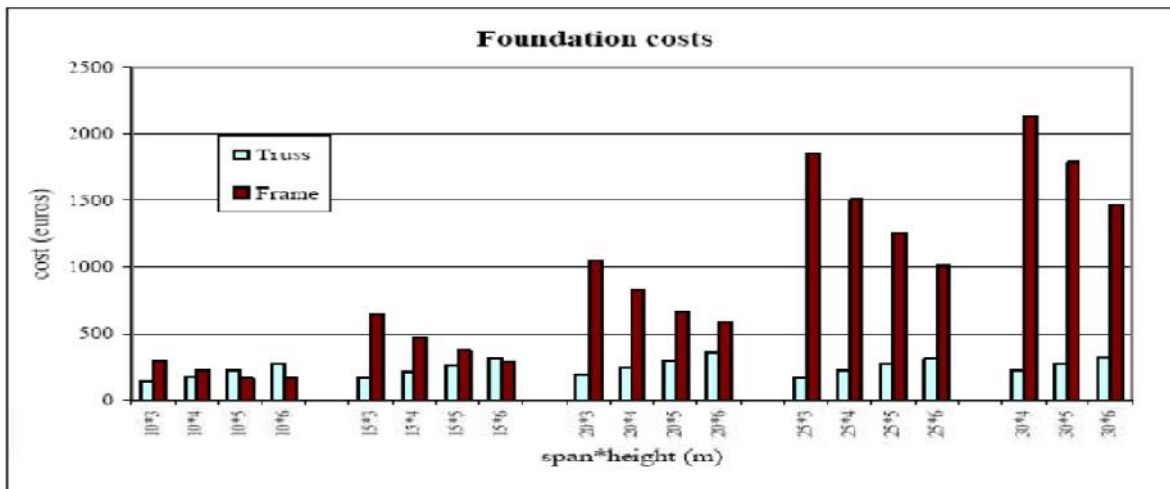
در این میان سیستم‌های سازه‌ای ۱ و ۳ از مقبولیت بیشتری در بین طراحان برخوردار است و تحقیقات متعددی بر روی اقتصادی‌تر بودن هر یک از این سیستم‌ها صورت گرفته است. در سال‌های اخیر تمایل شدیدی به استفاده از سیستم قاب صلب دیده می‌شود زیرا گذشته از کارکردهای مناسب سازه‌های آن هزینه‌های ساخت آنها نیز کم‌تر است تا حدی که در سال‌های اخیر بیش از ۹۰ درصد سازه‌های صنعتی به این سوگرایش پیدا کرده است و تا حدی می‌توان ابراز نمود که این گرایش بدون ملاحظات اقتصادی بوده است.

در سال ۲۰۰۴ مونتر و همکارانش در تحقیقی جامع به مقایسه سازه‌های خrpایی و سیستم‌های قاب صلب پرداختند و نتایج بسیار درخور توجه و قابل اعتنا ارائه نمودند. آنها با بررسی سازه‌های با دهانه‌های متنوع و ارتفاع‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که در مواقعی که تنها هزینه ساخت تعیین‌کننده باشد و هزینه‌های پی‌سازی مد نظر نباشد برای سازه‌های تا دهانه ۳۰ متر قاب‌های صلب نتایج بهتری را نشان می‌دهند ولی در مواردی که هزینه پی‌سازی نیز تعیین‌کننده باشد شرایط تغییر خواهد کرد. برای دهانه‌های بیش از ۲۰ متر

به دلیل وجود نیروهای برشی ولنگرهای خمشی بزرگتر، سازه نیازمند به سیستم پی قوی تر شده و در نتیجه سیستم خرابایی بهینه خواهد شد. تحقیقات آنها نشان داد که هزینه پی سازی در ساختمانهای با قاب صلب در حدود ۴۳ درصد کل هزینه ساخت است در حالی که این مقدار در سازههای خرابایی در حدود ۱۷ درصد است.



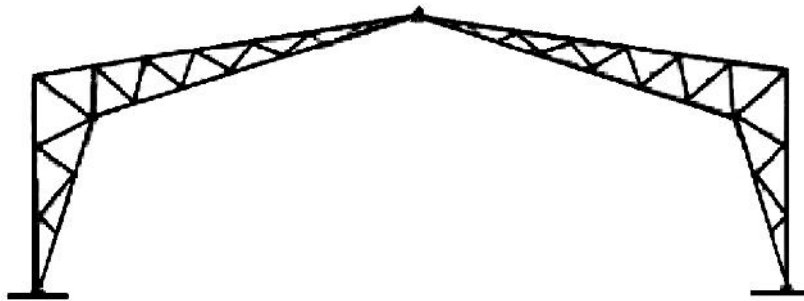
شکل ۴- ۱ مقایسه میزان هزینه فولاد مصرفی در سیستم قاب صلب و خرابایی



شکل ۴- ۲ مقایسه میزان هزینههای پی سازی در سیستم قاب صلب و خرابایی

اما نکته حائز اهمیت در مورد تحقیق فوق عدم بررسی سازه های با قاب صلب دارای مقطع متغیر است در حقیقت نتایج فوق الذکر براساس مقایسه بین سیستم های مختلف با مقاطع یکنواخت منشوری بوده است [۸]. تحقیقات به عمل آمده توسط موسسه Buildings steel worldwide [۱۳] در سال ۲۰۰۷ بر روی این سازههای صنعتی نشان داده است به علت توزیع بهینه مصالح در نقاط مورد نیاز با توجه به وجود نیروهای خمشی برشی و

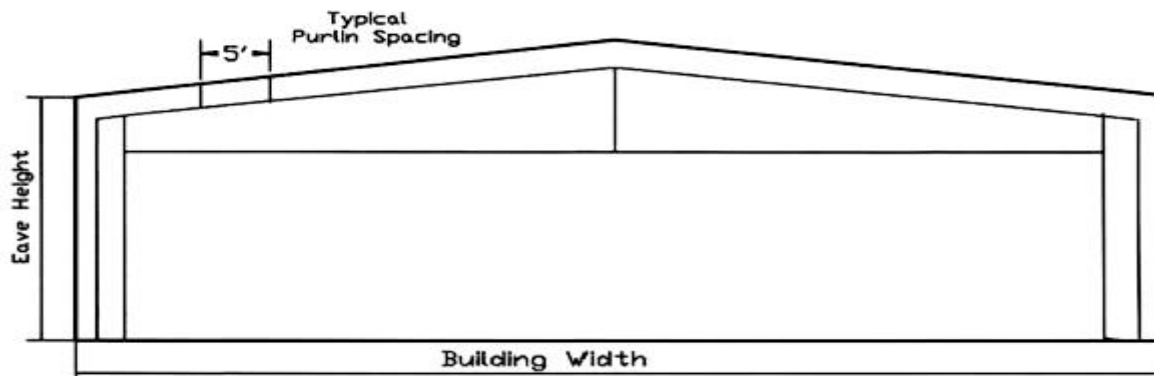
محوری در هر نقطه می توان با اطمینان بیان نمود در سازه های با دهانه کمتر از ۲۰ متر استفاده از قاب های شیبدار با مقطع ثابت و در مورد سازه های متعارف و با عرض دهانه ۲۰ تا حدود ۴۵ متر سازه های قاب صلب با مقطع متغیر بهینه خواهد بود. در دهانه های بزرگ تر از این میزان نیز استفاده از ستونک های میانی توصیه می گردد و یا در صورت عدم امکان معماری و کاربری برای استفاده از ستون میانی برای دهانه های ۴۵ تا ۷۰ متر بنا بر راهنمای انیستیتو فولاد استرالیا استفاده از سیستم های قاب های شیبدار با مقطع متغیر که از ستون ها و تیرهای خرابایی ساخته شده اند (شکل ۳-۴) اقتصادی خواهد بود.



شکل ۳-۴ نمایی از قاب با تیرها و ستون های خرابایی

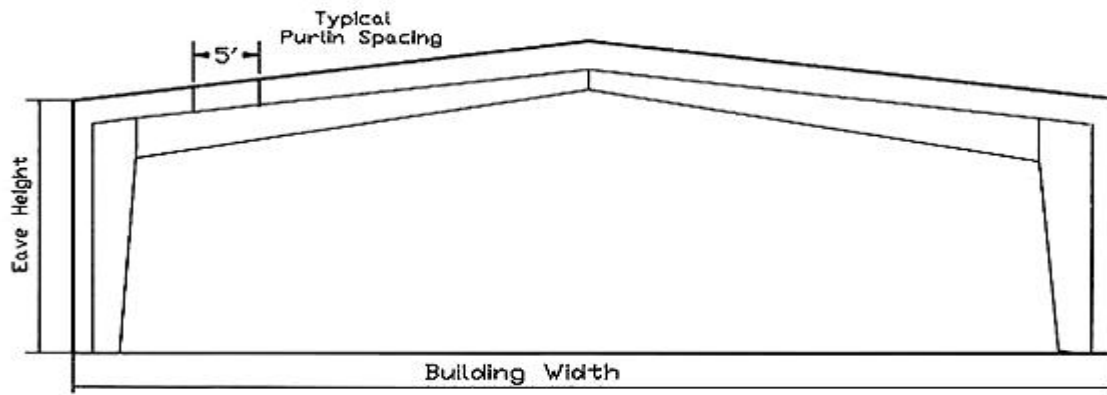
۴-۲-۱ انواع سازه های شیبدار با قاب صلب

سازه با قاب صلب ستون های با مقطع ثابت و تیرهای شیبدار: 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].



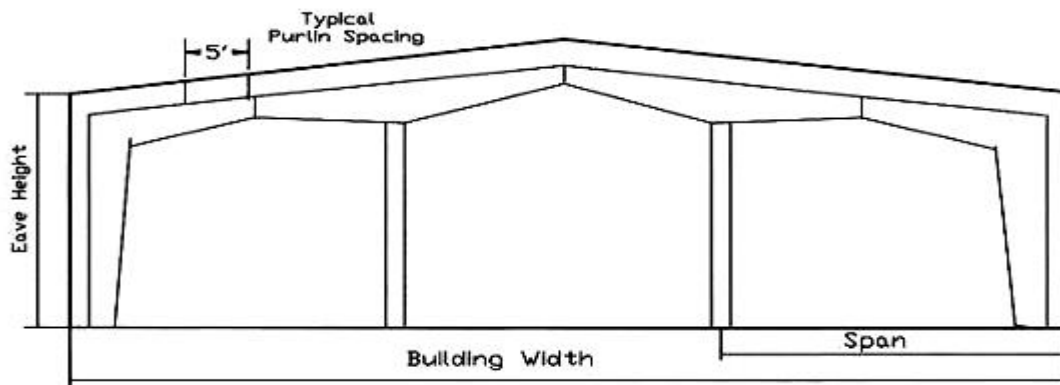
شکل ۴-۴ قاب شیبدار منشوری

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



شکل ۴-۵ قاب شیبدار غیرمنشوری

سازه های با قاب صلب و تیرهای 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 ۴-۶ قاب شیبدار غیرمنشوری چند دهانه

قاب های با شیب منفرد جهت اضافه شدن به سازه های موجود استفاده می گردد که به آن لنتو^۱ 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.

^۱ Lean To



شکل ۴-۷ قاب شیبدار یک سویه یا لنتو

۴-۳ 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 عبارتند 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 برحسب طول عضو برابر ۲ می باشد.

(۲) مدل سازی قاب شیبدار برای تحلیل براساس 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، براساس 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 تحقیق از تغییر مکان قاب در جهت عمود بر صفحه قاب صرف نظر می گردد. نیروی باد و نیروی ثقلی براساس سطح بارگیر هر قاب محاسبه و در تحلیل لحاظ می شود.

(۴) قیدهای در نظر گرفته شده برای طراحی عبارت اند از :

- قیدهای تغییر مکان گرهی

- قیدهای مقاومت اعضا

- قید ابعادی مقاطع

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

(۶) طراحی قاب براساس روش تنش مجاز و برطبق آیین نامه فولاد آمریکا AISC [۲۵] می باشد.

۴-۴ 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 قابهای 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 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.

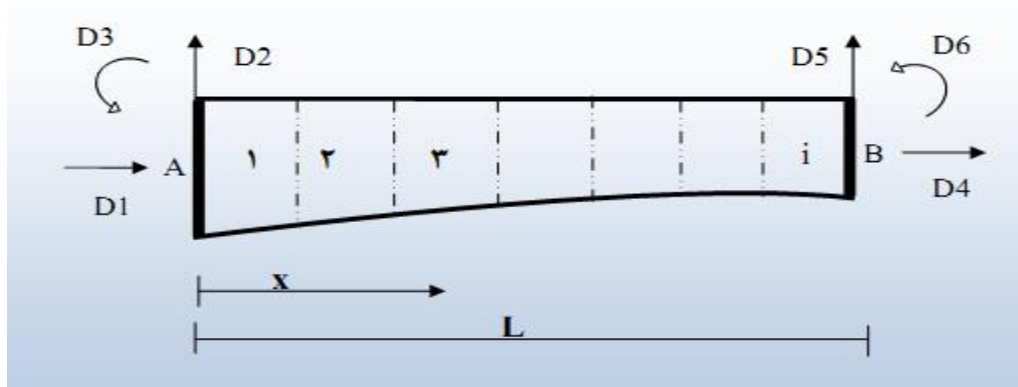
یک روش جانشین برای ساده سازی مسئله تحلیل عضو با مقطع متغیر تقسیم اعضای تیر منشوری به چند عضو با مقطع ثابت می باشد چنین روشی علی رغم این که باعث ساده سازی روش تحلیلی مسئله و محاسبات آن خواهد شد در عین حال باعث بروز خطاهای اجتناب ناپذیر خواهد بود و دقت مسئله را پایین خواهد آورد. مضافاً با توجه به این که 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 توجیه 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

اعضاء به مقاطع کوچک منشوری به علت افزایش درجات آزادی، علاوه برافزایش 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 [۱۲]. در این حالت روابط دقیق بین نیروها و جابه جایی های دو انتهای عضو به دست 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 ی به دست آوردن ماتریس سختی عضو می باشد که در حالت عضو غیر منشوری به دلیل 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 از بهترین روش های ممکن برای رسیدن به جواب دقیق مسئله خواهد بود. اما 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 صرف نظر از آنکه دارای اعضای منشوری یا غیر منشوری است قابل کاربرد است. ماتریس سختی یک عضو در مختصات سه بعدی یک ماتریس 12×12 می باشد در صورتی که عضو به صورت دو بعدی در نظر گرفته شود همچنان که در این تحقیق نیز به همین نحو عمل خواهد شد ماتریس سختی عضو یک ماتریس 6×6 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 ماتریس ارائه شده در

مرجع [۲۵] استفاده شده است که در ادامه به آن می پردازیم. شایان ذکر است مقایسه نتایج روش استفاده شده با نتایج روش دقیق و نتایج مدل sap2000 در فصل ۶ جهت راستی آزمایی روش مرجع [۲۵] ارائه گردیده است. تحلیل قابهای شیبدار به روش سختی مبتنی برتشکیل ماتریس سختی سازه و حل معادله تعادل $KU=P$ می باشد که در آن K نشان گر ماتریس سختی سازه است که از سرهم بندی ماتریسهای سختی تک تک اعضای سازه بدست می آید. P نشان گر بردار نیروهای گرهی است که از جمع بارهای وارد برگره ها و نیز نیروهای گرهی معادل بارهای دهانه ای بدست می آید. U نیز بردار جابه جایی 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. تعداد تقسیمات به ابعاد سطح مقطع و میزان دقت مورد نیاز برای محاسبات بستگی دارد بطور معمول در صورتی که تغییرات ابعادی مقطع شدید 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 کافی باشد نتایج تحلیل حاصله از $n, (n+1)$ تقسیم متوالی، می بایست بسیار نزدیک به یکدیگر باشند. جهت تشکیل درایه های ماتریس سختی عضو غیر منشوری شکل شماره (۴-۸) مورد ملاحظه قرار می گیرد.



شکل ۴- ۸ درجات آزادی در یک عضو غیر منشوری

در شکل فوق شماره هر نقطه با i طول هر قطعه با Δx مشخص می گردد. روش عددی محاسبه ی درایه های ماتریس سختی اعضای غیر منشوری همانند روش های محاسبه اعضای منشوری است با این تفاوت که به جای محاسبه ی توابع انتگرالی، آنها را به مجموع تبدیل نموده و سپس این مجموع ها محاسبه می گردند. فرض شود هدف محاسبه ی درایه های ستون اول ماتریس سختی یک عضو غیر منشوری مطابق شکل فوق باشد. برای این کار، نخست عضو به n قسمت برابر تقسیم می شود و سپس به درجه آزادی شماره ی یک به اندازه ی ((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 [۲۶].

$$D1 = \int_0^L \frac{S_{11}}{AE} dx = \sum_{i=1}^n \frac{S_{11}}{A_i E} \Delta x = 1$$

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

$$S_{14} = S_{41} = -S_{11} = -S_{44} \quad (۱-۴)$$

$$S_{12} = S_{21} = S_{13} = S_{31} = S_{15} = S_{51} = S_{16} = S_{61} = 0$$

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 سایر درایه ها نیز به طور مشابه به دست می آید. باید افزود به جای x مقدار طول وسط قطعه ی کلی i ام از سر عضو، که برابر با $(i-0.5)\Delta x$ است، قرارداده می شود. برای تسهیل در فرایند تحلیل از عبارات کمکی زیر بهره گرفته می شود.

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

$$K_2 = -\frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \left(\frac{i-0.5}{I_i} \right)$$

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

$$K_4 = -\frac{\Delta x^2}{E} \sum_{i=1}^n \left(\frac{n-i-0.5}{I_i} \right)$$

$$K_5 = \frac{\Delta x^3}{E} \sum_{i=1}^n \frac{(n-i+0.5)^2}{I_i}$$

(۲-۴)

در ادامه، سایر درجات آزادی یک به یک آزاد شده و تغییر مکان یکه به آنها اعمال می‌شود. برای هر حالت تغییر مکان برحسب درایه ماتریس سختی نوشته شده و علامت تابع از انتگرال به سیگما تبدیل می‌گردد. به این ترتیب با استفاده از تغییر مکان‌های معلوم، درایه‌های ماتریس سختی ستون به ستون بدست می‌آید.

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

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

$$D_2 = K_3 \cdot S_{22} + k_2 S_{32} = 1$$

(۳-۴)

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

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

$$D_3 = K_2 \cdot S_{22} + K_1 S_{32} = 0$$

(۴-۴)

$$\begin{cases} D_2 = k_3 \cdot S_{22} + k_2 S_{32} = 1 \\ D_3 = k_2 \cdot S_{22} + k_1 S_{32} = 0 \end{cases}$$

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

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

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

$$S_{42} = 0$$

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

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

$$D_4 = k_3.S_{23} + k_2.S_{33} = 0 \quad (5-4)$$

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

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

$$D_5 = k_2.S_{23} + k_1.S_{33} = \quad (6-4)$$

$$\begin{cases} k_3.S_{23} + k_2.S_{33} = 0 \\ k_2.S_{23} + k_1.S_{33} = 1 \end{cases}$$

$$S_{23} = \frac{-k_2}{k_1 k_3 - k_2^2}$$

$$S_{33} = \frac{-k_2}{k_1 k_3 - k_2^2}$$

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

$$S_{43} = 0$$

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:

$$\begin{aligned}
 [S_{11}] &= [-S_{14}] = [-s_{41}] = [s_{44}] = \frac{E}{\left[\Delta x \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i} \right]} \\
 [s_{22}] &= [-s_{52}] = [-s_{25}] = [s_{55}] = -\frac{K_1}{[k_1 k_3 - k_2^2]} \\
 [s_{32}] &= [s_{23}] = [-s_{35}] = [-s_{53}] = \frac{-k_2}{[k_1 k_3 - k_2^2]} \\
 [s_{33}] &= \frac{k_3}{[k_1 k_3 - k_2^2]} \\
 [s_{26}] &= [s_{62}] = [-s_{56}] = [-s_{65}] = \frac{k_4}{[k_1 k_5 - k_4^2]} \\
 [s_{36}] &= [s_{63}] = \frac{[Lk_4 - k_5]}{[k_1 k_5 - k_4^2]} \\
 [S_{66}] &= \frac{K_5}{[k_1 k_5 - k_4^2]} \quad (۷-۴)
 \end{aligned}$$

شایان ذکر است ماتریس سختی فوق را می‌توان فارغ از نوع و شکل سطح مقطع برای تمامی اعضای غیر منشوری بهره برد. اما در اکثر روش‌هایی که ماتریس سختی دقیق اعضا را بدست می‌آورند، در درایه‌های ماتریس سختی ضرابی وجود دارد که بنا به شکل و نوع سطح مقطع متغیر است. این محدودیت‌ها سبب گردیده که مطلوبیت روش‌های دقیق نسبت به روش‌های تقریبی کم‌تر گردد.

۴-۵ کلیات طراحی اعضا با استفاده از روش تنش‌های مجاز

نکته‌ای که در ابتدا باید به آن اشاره کرد آن است که، به علت شیبدار بودن این قاب‌ها تمامی اعضای آن همزمان تحت نیروهای محوری برشی ولنگرهای خمشی قرار می‌گیرند. به همین جهت در قاب‌های شیبدار غیر منشوری، هم تیرها و هم ستون‌ها 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 بردارنده ضوابط طراحی برای اعضای با مقطع متغیر نمی‌باشد.

هدف از طراحی سازه، بررسی محدودیت‌هایی است که در طراحی اعضای با مقطع متغیر مطرح می‌باشند. محدودیت‌هایی که در طراحی حکم فرماست به سه دسته قابل تقسیم هستند:

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

علاوه بر این‌ها می‌توان برای متغیرهای طراحی نیز مرز قائل شد که به قیود مرزی موسومند. این قیود به سلیقه‌ی طراح و نیز ابعاد پروفیل‌های موجود در بازار بستگی دارند و از لحاظ فنی محدودیتی برای آنها وجود ندارد. (در این پایان نامه جهت واقعی سازی نتایج برنامه قید ابعادی ورق موجود در بازار نیز لحاظ گشته است.) جهت اقناع سه قید یاد شده باید از روش آیین‌نامه‌ای معتبر بهره گرفته شود. نوعاً مقاطعی که در قاب‌های شیبدار فولادی به کار می‌روند با توجه به ابعاد آنها و نیز نوع ساختشان تیر ورق محسوب شده و ضوابط مربوط به این نوع اعضا، با این فرض که شرایط مربوط به غیر فشرده بودن را ارضا می‌نمایند در آنها منظور شده است و نکته مهم‌تر این که اعضای بکار رفته دارای ارتفاع جان متغیر می‌باشند و بدین منظور از آیین نامه AISC استفاده شده است. برای اقناع شرایط آیین‌نامه فرض بر این است که اعضای I شکل متقارن بوده و بال‌ها دارای سطح مقطع مساوی و ثابت است و ارتفاع مقطع در انتهای کوچک‌تر عضو d_0 و در انتهای بزرگ‌تر آن d_1 می‌باشد و با معادله خطی زیر در طول عضوی به طول یک (برحسب سانتی متر) تغییر می‌یابد:

$$d_x = d_0 \left(1 + g \frac{x}{l}\right) \quad (۸-۴)$$

dx ارتفاع مقطع در فاصله x از انتهای کوچک‌تر عضو می‌باشد.

g در رابطه فوق ضریب تغییر مقطع نامیده شده و عبارت است از:

$$g = \frac{[d_1 - d_0]}{d_0} \quad (۹-۴)$$

g نباید از کوچکترین دو مقدار $(0.2681/d_0, 6)$ تجاوز نماید.

محدودیت فوق بیان گر 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 اقناع قیود آیین نامه در آن نقطه، در حقیقت وجود این محدودیت به نوعی جهت جلوگیری از تجاوز قیود در سایر نقاط طولی عضو می باشد.

۴-۵-۱ تنش مجاز فشاری

در مقطع ناخالص اعضای با مقطع متغیر که تحت فشار محوری قراردارند، تنش فشاری محوری برحسب کیلوگرم برسانتی متر مربع نباید از مقادیر زیر تجاوز کند:

F_{ay} تنش مجاز فشاری برای عضو با ضریب تغییر γ که تحت فشار محوری قراردارد.

$$F_{ag} = \frac{(1.0 - \frac{s^2}{2c_c^2})}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3s}{8c_c} - \frac{s^3}{8c_c^3} \right]} F_y \quad S \leq C_c \quad (10-4)$$

$$F_{ag} = \frac{(12p^2 E)}{[23s^2]} \quad S \geq C_c \quad (11-4)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{(2p^2 E)}{[F_y]}} \quad (12-4)$$

E مدول الاستیسیته و F تنش تسلیم فولاد می باشد

S ضریب لاغری موثر می باشد و مساوی است با :

$$S = \text{Max}\left(\frac{kgi}{rox}, \frac{kl}{roy}\right) \quad (13-4)$$

برابر است با ضریب لاغری حول محور قوی $\frac{kgi}{rox}$

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

در آن l طول واقعی مهار نشده عضو برحسب سانتی متر

R_{ox} برابر است با شعاع ژیراسیون حول محور قوی مقطع در انتهای کوچک عضو برحسب سانتی متر.

R_{oy} برابر است با شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف تر مقطع در انتهای کوچک عضو برحسب سانتی متر.

K_y 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 آن جا 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 [۲۷].

۴-۵-۲ برآورد ضریب طول موثر (K_y)

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

برنولی – اوایلر پرداخت که در مرجع [۲۸] آمده است. همچنین مرجع [۲۹] نیز براساس فرضیات تیر غیر

منشوری اوایلر – تیموشنکو، به حل معادلات دیفرانسیل درجه دوم آن براساس قضیه چبیشف^۱ پرداخته است.

آیین نامه آمریکا AISC نیز، گرافهایی را معرفی نموده است که براساس آن ضریب طول موثر ستونها را

می توان در دو حالت با حرکت جانبی مقید و غیر مقید به وسیله درون یابی به ازای γ های مختلف و ضرایب

تعریف شده GT, GB تعیین نمود.

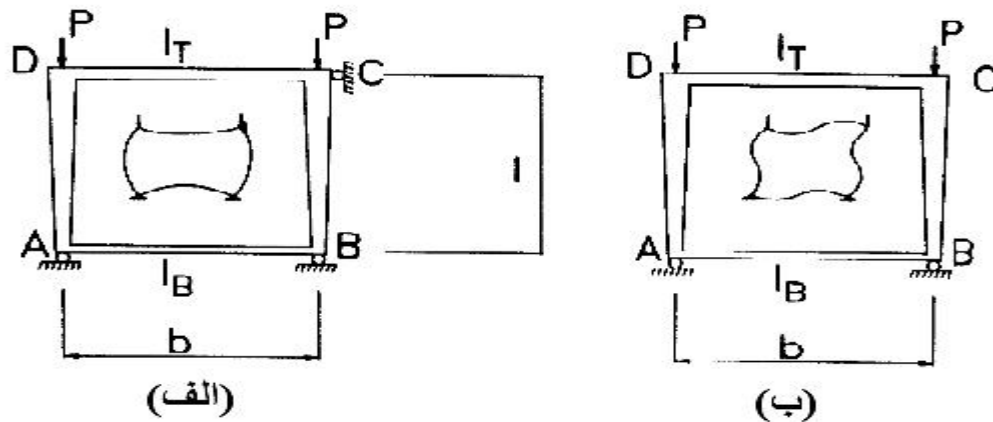
در مرجع [۳۳] نیز، ضریب طول موثر ستونهای سوله ای آزاد در برابر حرکت جانبی با تکیه گاه مفصلی را با روش

انرژی و با کمک حل دقیق معادله دیفرانسیل تغییر شکل تعیین نموده و گرافهایی برای استفاده ارائه کرده

است که به دلایل ذکر شده در بالا و همچنین جامع نبودن، قابلیت استفاده در این تحقیق را دارا نیست.

^۱ Chebyshev's theorem

از طرف دیگر می توان از روش ارائه شده در مرجع [۳۰]، که اساس نمودارهای 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 (۴-۹))



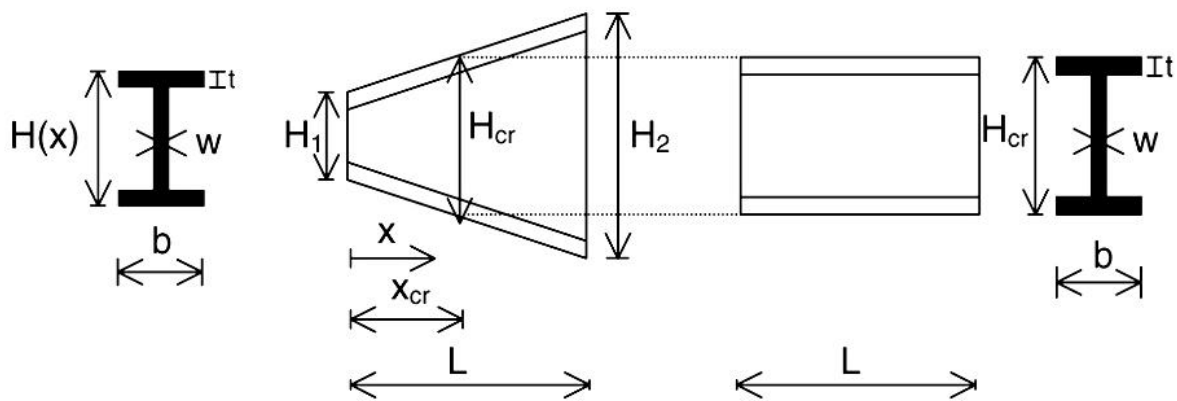
شکل ۴-۹ مدلی برای تعیین ضریب طول کمانش

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 براساس آن ضریب طول موثر بدست آید [۱۲]. جهت اجتناب از مشکلات فوق در این پایان نامه از روش ارائه شده در مرجع [۳۱] 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 براساس شرایط مرزی اعضا و ضریب تغییر مقطع γ در آنها براساس 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 دوبعدی غیر منشوری اشاره شده در مرجع [۲۸] می باشد. میزان اختلاف بار بحرانی در روش تقریبی مذکور با آنچه براساس روش دقیق تحلیلی بدست می آید در حدود ۱۰.۶۴ 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

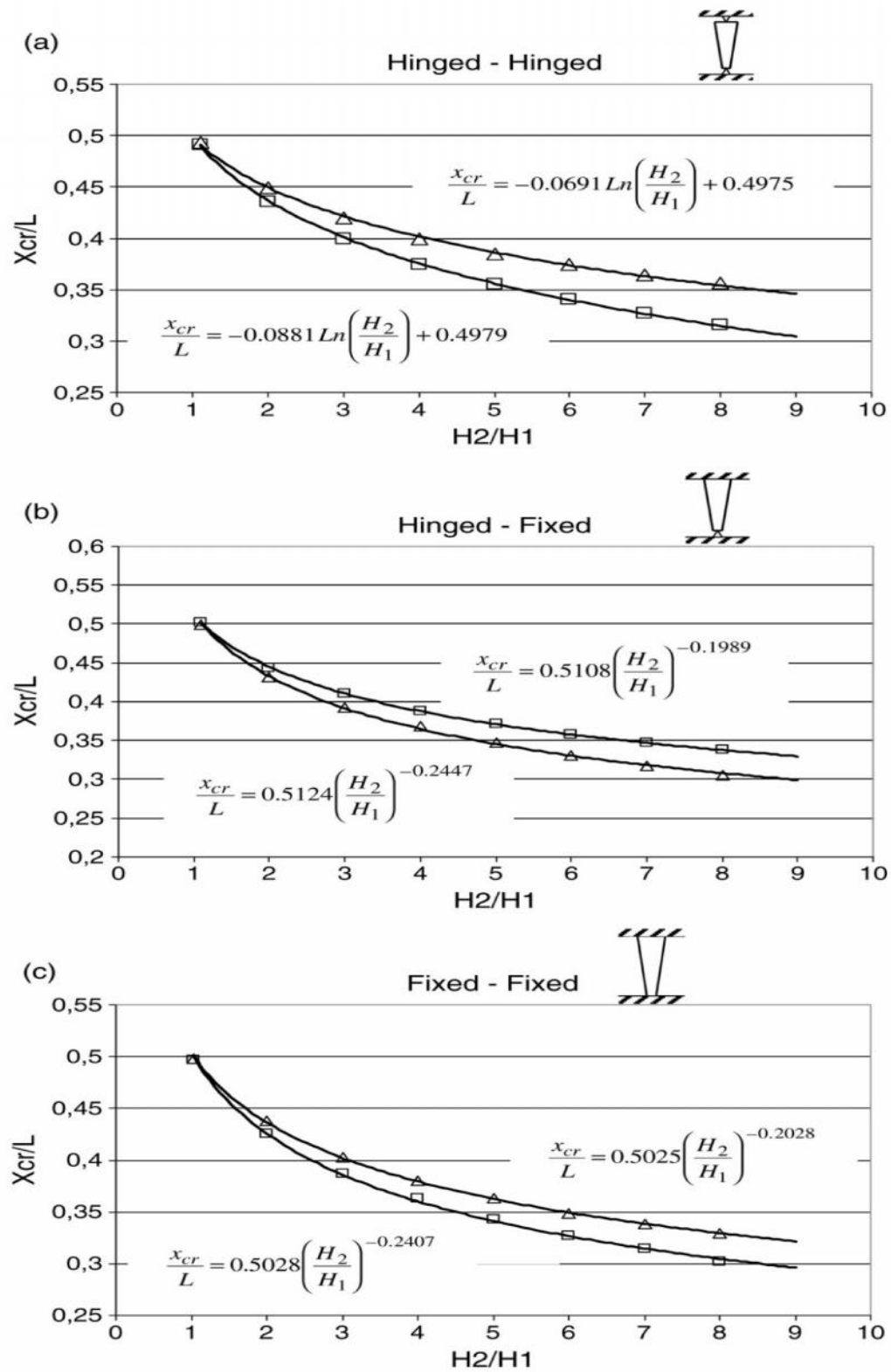
ارائه شده در آیین نامه آمریکا و مرجع [۱۲] با آنچه براساس حل دقیق مسئله بدست می آید دارای اختلاف بیشتری نسبت به روش پیشنهادی مرجع است.

روش ارائه شده مبتنی بر تئوری برنولی- اویلر و روشهای مطرح شده در مراجع [۳۲] و [۲۸] براساس تعیین بار بحرانی یک ستون غیر منشوری با تغییرات خطی در ارتفاع جان می باشد. (بقیه پارامترهای 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 گرافهایی بی بعد، جهت معادل سازی بار بحرانی کمانش برای المان های غیر منشوری و قابهای دوبعدی با مقاطع I شکل با المان های منشوری ارائه شده است، که این امر موجب کاهش بسیار زیاد حجم محاسبات خواهد گردید.

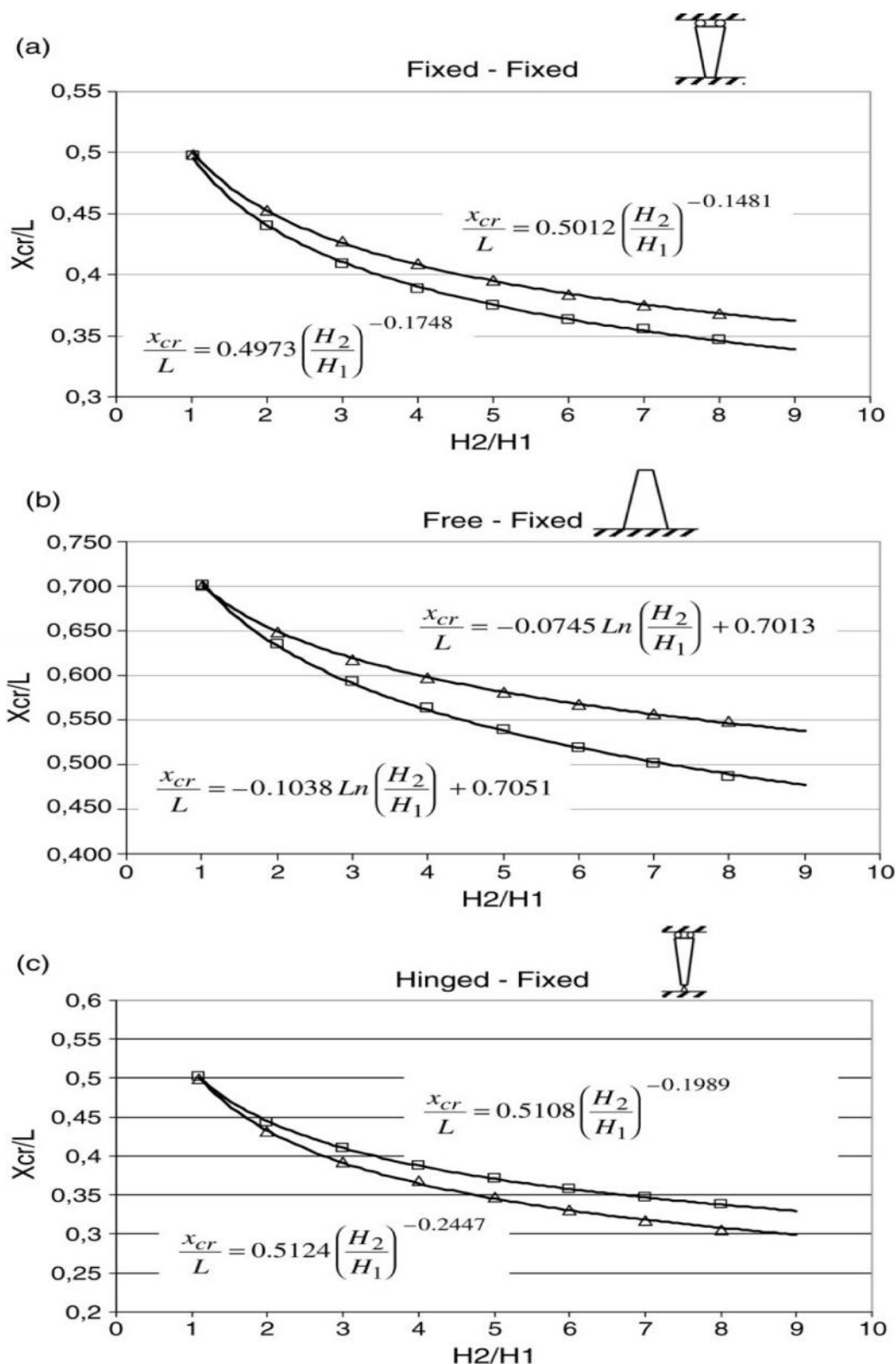


شکل ۴-۱۰ تغییرات سطح مقطع عضو غیرمنشوری در طول عضو

بنابراین بار بحرانی کمانش توسط روش دقیق مرجع [۲۸] برای نسبت های معین 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 (۴-۱۱) و (۴-۱۲)) با توجه به نسبت تغییر مقطع و شرایط مرزی ارائه شده است [۳۱].



شکل ۴- ۱۱ نمودار بدون بعد اعضا غیرمنشوری خطی در حالت بدون حرکت جانبی



شکل ۴-۱۲ نمودار بدون بعد اعضای غیرمنشوری خطی در حالت بدون حرکت جانبی

که از این گرافها نسبت $\frac{X_{cr}}{L}$ حاصل شده و با قراردادی مقدار فوق در فرمول زیر مقدار H_{cr} محاسبه می گردد.

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

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

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

$$K_g = \sqrt{\frac{Ep^2 I_{ox}}{P_{cr} L^2}} \quad (۱۶-۳)$$

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

w 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_g ضریب طول موثر کمانش برای یک عضو غیر منشوری

در این روش، دو مقدار برای بار بحرانی حاصل می گردد که مربوط به حد بالا و پایین گرافهاست. در مرجع [۱۴] از حد بالا استفاده شده که نهایتاً منتج به بار بحرانی بزرگ تر می گردد. در این تحقیق، برای محاسبه K_g طبق توصیه مرجع [۳۱] از میانگین حد بالا و پایین که منتج به بار بحرانی کوچک تر و در نهایت ضریب ایمنی بالاتر می گردد، استفاده شده است.

۴-۵-۳ تنش های مجاز خمشی

روش بکار گرفته شده در AISC برای تعیین تنش مجاز خمشی اعضای غیر منشوری براین اساس استوار است که تیر دارای مقطع متغیر را با یک تیر منشوری با طولی متفاوت و سطح مقطعی برابر با سطح مقطع انتهای کوچک تر 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 [۲۷]. تنش های کششی و فشاری ناشی از لنگر خمشی در تارهای انتهایی عضو خمشی با ضریب تغییر مقطع γ برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{bg} = B\sqrt{F_{sg}^2 + F_{wg}^2} \quad F_{bg} \leq \frac{F_y}{3} \end{array} \right. \quad (۱۷-۳)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{bg} = \frac{2}{3} \left[1 - \frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sg}^2 + F_{wg}^2}} \right] F_y \leq 0.6F_y \quad F_{bg} \geq \frac{F_y}{3} \end{array} \right. \quad (۱۸-۳)$$

$$F_{sg} = \left[\frac{84 \cdot 10^4}{\left(\frac{h_s L_b d_0}{A_f} \right)} \right] \quad (۱۹-۳)$$

$$F_{wg} = \left[\frac{12 \cdot 10^6}{\left(\frac{h_w L_b}{r_{T_0}} \right)} \right] \quad (۲۰-۳)$$

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

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

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

A_f : مساحت بال فشاری برحسب سانتی متر مربع

r_{To} : شعاع ژیراسیون مقطع در انتهای کوچک تر نسبت به محور مار برجان است که شامل بال فشاری و یک سوم از مقطع جان تحت فشار می باشد.

d_0 : عمق مقطع در انتهای کوچک تر قطعه مهار نشده

B : ضریبی است که اثر تغییرات لنگر را در طول عضو غیر منشوری لحاظ می نماید. مقدار آن مبتنی بر در نظر گیری تاثیر قیدهای جانبی ناشی از قطعات مجاور است و در تیرهایی که بال آن ها در فواصل معین توسط پرلین ها (لاپه ها) در برابر حرکت جانبی مقید می شود، مطرح است. به دلیل پیچیدگی نحوه اعمال این تاثیر و نیز کوچک بودن آن، از در نظر گرفتن این عوامل در مقدار B صرف نظر شده است. به هر حال باید توجه داشت در تیرهای 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 کوچک تر عضو و یا انتهای کوچک تر قطعه مورد نظر از عضو مربوطه صفر باشد B از رابطه زیر بدست می آید:

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

در رابطه فوق ضریب g 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.

۴-۵-۴ تنش مجاز برشی

حداکثر تنش مجاز برشی برروی سطح مقطع موثر برای تحمل برش، یعنی جان مقطع، برابر $0.4F_y$ 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_y 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 γ درنماد تنش مجاز برشی، بیان گر این نکته است که متغیر بودن ارتفاع جان تاثیری در برآورد مقدار آن ندارد.

$$G \equiv \frac{f_v}{f_v} - 1 \leq 0.0 \quad (۲۴-۴)$$

$$f_v = \frac{V}{ht_w} \quad (۲۵-۴)$$

$$F_v = 0.4F_y \quad \frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}} \quad (۲۶-۴)$$

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \leq 0.4F_y \quad \frac{h}{t_w} \geq \frac{3185}{\sqrt{F_y}} \quad (۲۷-۴)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} C_v = \frac{315 \cdot 10^4 kv}{F_y \left(\frac{h}{tw}\right)^2} & c_n \leq 0.8 \\ C_v = \frac{1600}{\left(\frac{h}{tw}\right)} \sqrt{\frac{kv}{F_y}} & c_n \geq 0.8 \end{array} \right. \quad (۲۸-۴)$$

$$(۲۹-۴)$$

Kv نیز به کمک یکی از روابط زیر بسته به مقدار (a/h) بدست می آید:

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

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 بالهای مقطع) بر حسب cm

۴-۵-۵ اندرکنش نیروی فشاری و خمشی

اعضای دارای مقطع متغیر در قابهای صنعتی معمولاً به طور همزمان تحت تاثیر نیروی محوری و لنگر خمشی قرار می گیرند براین اساس برای اندرکنش نیروی فشاری و خمشی که در اعضای تیر وستون مطرح است دو رابطه زیر در هر مقطع عضو باید کنترل شود .

$$\left\{ \begin{array}{l} G1 = \left[\frac{f_{ao}}{F_{ag}} \right] + \frac{c_m}{\left(1 - \frac{f_{ao}}{F_{eg}}\right)} \left[\frac{f_{b1}}{F_{by}} \right] - 1 \leq 0.0 \quad (31-4) \\ G2 = \left[\frac{f_a}{0.6F_y} \right] + \left[\frac{f_b}{F_{bg}} \right] - 1 \leq 0.0 \quad (32-4) \end{array} \right.$$

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

$$G_3 = \left[\frac{f_{ao}}{F_{ag}} \right] + \left[\frac{f_{b1}}{F_{bg}} \right] - 1 \leq 0.0 \quad (33-4)$$

در روابط فوق F_{eg} تنش اوایلر، با احتساب یک ضریب اطمینان بر مبنای طول موثر عضو غیر منشوری در صفحه خمش مربوطه است و عبارت است از:

$$F_{eg} = \frac{12p^2 E}{23 \left(\frac{kgL_b}{r_{bo}} \right)} \quad (34-4)$$

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 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

f_{b1} : تنش خمشی در انتهای بزرگتر عضو و یا انتهای بزرگتر قطعه مهار نشده بر حسب مورد هر کدام که صادق باشد، بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع.

F_{ag} : تنش فشاری مجاز وقتی که عضو تحت اثر لنگر خمشی نباشد، بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

F_{by} : تنش خمشی مجاز، وقتی که عضو تحت اثر نیروی محوری نباشد بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع.

r_{bo} : شعاع ژیراسیون در انتهای کوچک.

C_m : ضریب است که بنا به شرایط زیر محاسبه می شود:

۱- در صورتی که عضو در دو انتها خود تحت لنگرهای قرار داشته باشد که انحنای یک طرفه ایجاد نمایند و

تنشهای خمشی در دو انتهای آن تقریباً مساوی باشند، خواهیم داشت :

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

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

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

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

می توان در روابط بالا به جای f_{b1}, f_a از f_b, f_a استفاده نمود.

۴-۵-۶ قیدهای مربوط به ابعاد عضو

آیین نامه برای تامین پایداری مقطع، محدودیتهایی را برای نسبت‌های عرض به ضخامت در جان و بال در نظر گرفته است. این محدودیت‌ها با فرض آن که عضو شرایط غیر فشرده بودن را ارضاء نماید می‌توانند با قیدهای زیر بیان شوند :

$$G1 \equiv \frac{bf}{2t_f} \frac{\sqrt{Fy}}{795} - 1 \leq 0 \quad (37-4)$$

$$G2 \equiv \frac{h_{\max}}{t_w} \frac{\sqrt{Fy}}{6370} - 1 \leq 0 \quad (38-4)$$

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 تنش‌های مجاز در صورتی در یک عضو غیر منشوری صادق است که مقدار ضریب تغییر مقطع g ، محدود به کوچک‌ترین دو مقدار $(\frac{L}{40}$ و 0.268) باشد. از این رو قید G_3 به شکل زیر باید در نظر گرفته شود:

$$G_3 \equiv \frac{g}{\min(6, 0.268 \frac{L}{do})} - 1 \leq 0 \quad (39-4)$$

و همچنین برای کنترل کمانش عمودی جان خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{ll} G4 = \frac{h}{t_w} \cdot \frac{Fy(Fy+1160)}{985 \cdot 10^3} - 1 \leq 0 & (40-4) \quad \text{فاصله قطعات سخت کننده جان بیش از ۱/۵ متر} \\ G4 = \frac{h}{t_w} \cdot \frac{\sqrt{Fy}}{16770} - 1 \leq 0 & (41-4) \quad \text{فاصله قطعات سخت کننده جان کم‌تر از ۱/۵ متر} \end{array} \right.$$

فصل پنجم

فرضیات و راهنمای اجرای نرم افزار

۵-۱ پیشگفتار

با توجه به فرمول بندی های معرفی شده در فصول پیشین، برنامه ای کامپیوتری به زبان Visual Basic 6.0.8 به منظور طراحی بهینه قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی، تدوین شده است. در این برنامه کاربر می بایست اطلاعات لازم جهت معرفی طرح مورد نظر خود را به برنامه وارد نماید. برنامه براساس الگوریتم ژنتیک شروع به ساخت طرح های اولیه از سازه و سپس، 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. در حالت کلی هر یک از اعضای قاب دارای پنج پارامتر طراحی است، همچنین دو پارامتر بهینه سازی دیگر، به میزان نیروی پیش تنیدگی در محل تکیه گاه و بالای ستون ها اختصاص یافته است. 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 براساس 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 صوت ایده آل قیدهای تنش باید در تمام نقاط یک عضو غیر منشوری کنترل گردد، اما در قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی قیدهای تنش در نقاط انتهایی اعضا بحرانی هستند. بنابراین این قیود تنها در نقاط انتهایی و ابتدایی ستون ها و تیرها و در صورت نیاز یک قطعه میانی در تیرها کنترل می گردند. هر چند در صورت صلاحدید کاربر، این اعضا می توانند به قطعات بیشتری نیز تقسیم

گردند. (این عمل موجب افزایش زمان اجرای برنامه خواهد گردید) در تحقیقات انجام گرفته در مرجع [۱۲] نشان داده شده است که با فرایند فوق‌الذکر، قیدهای تنش در تمام طول عضو ارضا خواهند شد.

۵-۲ فرضیات و ورودی های برنامه

در یک نگاه کلی ورودی های مورد نیاز در این برنامه که توسط کاربران باید تعریف شوند عبارتند از:

- ۱- مشخصات هندسی گره‌های سازه
- ۲- مشخصات مصالح مصرفی
- ۳- گستره‌ی مقاطع مجاز برنامه
- ۴- بارهای وارده به سازه؛ اعم از بارهای گسترده، بارهای نقطه‌ای و بارهای گرهی و همچنین ممان متمرکز
- ۵- پارامترهای بهینه سازی در الگوریتم ژنتیک
- ۶- نیروهای پیش‌تنیدگی

۵-۲-۱ مشخصات هندسی گره‌های سازه

برای ایجاد یک مدل جدید، کاربر می‌بایست مشخصات هندسی تمامی گره‌های سازه را برای برنامه تعریف نماید. گره‌ها می‌توانند، تنها در نقاط تقاطع تیر و ستون و یا در نقاط میانی اعضا نیز، در نظر گرفته شوند (شکل (۵-۱)).

شکل ۵-۱ پنجره مربوط به اطلاعات گره های سازه

براساس روش تحلیلی ارائه شده در فصل چهارم، 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. خاطرنشان می شود با توجه به نتایج تعداد تقسیمات متوالی ده و یازده بخشی اعضا، تعداد تقسیمات ۱۰ بخشی مناسب به نظر می رسد. در ادامه، کاربر 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 فاصله بین تکیه گاه های جانبی اعضا را تعیین نمایند (شکل (۵-۲)).

۵-۲-۲ خصوصیات مصالح مصرفی

کاربر می بایست با طی مسیر Define | Define Material خصوصیات فیزیکی مصالح مصرفی، از جمله مدول الاستیسیته و چگالی را برای برنامه تعریف نماید (شکل (۵-۳)). همچنین تنش حد جاری شدن فولاد، به علت

استفاده از فولاد ST37 در اکثر پروژه های اجرایی به صورت پیش فرض برابر $2.4 \times 10^3 \frac{kg}{cm^2}$ در نظر گرفته شده است. هر چند در صورت استفاده از انواع فولادهای دیگر، مقدار فوق قابلیت تغییر را داراست.

Elements Of Structure					
Input Of Informations					
Number Element	The Number Of Start Point For	The Number Of End Point For	Number Material	Lb	Connection

Input Value Element Number Current: Clear

OK Cancel

شکل ۵-۲ پنجره اطلاعات همبندی اعضا

Material Property Data

Material Name:

Input Of Informations

Moduluse Of Elasticity (kg/cm²) :

The Value Density Of Element (kg/cm³) :

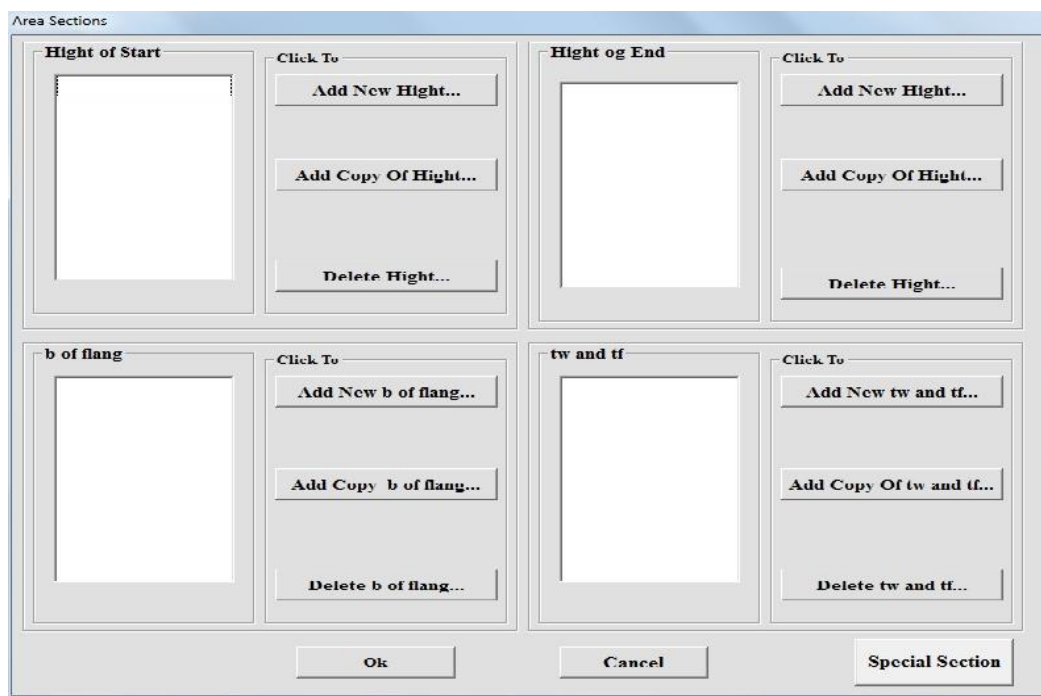
OK Cancel

شکل ۵-۳ پنجره خصوصیات مصالح

۵-۲-۳ گستره ی مقاطع مجاز برنامه

لیستی از مقاطع ورق های موجود و معمول در بازار به صورت پیش فرض به برنامه معرفی شده است. هر چند کاربر می تواند به صورت دلخواه تمام یا تعدادی از مقاطع پیش فرض برنامه را حذف، یا در صورت ورود مقطع

جدید به بازار و یا انجام یک پروژه صرفاً تحقیقاتی، لیست جدیدی از مقاطع را وارد نماید(شکل(۴-۵)). این عمل با طی مسیر Define | Area Sections در برنامه، قابل انجام است.



شکل ۵-۴ پنجره ورود اطلاعات مقاطع

این برنامه دارای قابلیت دیگری به نام ورود مقاطع ویژه نیز می باشد. این قابلیت، که دسترسی به آن با دکمه Special Section در شکل (۴-۵) میسر است، این امکان را به کاربر می دهد که یک عضو با مقاطع خاص را وارد برنامه نماید. البته این امر در بهینه سازی توصیه نمی گردد و کاربرد آن بیشتر به تحلیل یک سازه خاص و یا کنترل طراحی های دستی کاربر محدود می گردد(شکل(۵-۵)).

Number Element	Hight of Start	Hight of End	b of Flang	Flang Thickness	Web Thickness

Input Special Section Number Curent: Clear

OK CANCEL

شکل ۵-۵ پنجره مقاطع ویژه

پارامترهای ابعادی اعضا درحین 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 اقناع شروط خاتمه ی الگوریتم (که در این برنامه تعداد نسل های معرفی شده توسط کاربر است) ترکیبی از این پارامترهای ابعادی که بیشترین انطباق را با تابع هدف دارد تعیین می گردد. به بیان دیگر ترکیبی از ابعاد مقاطع که کمترین وزن سازه ای را تولید نماید و در عین حال، هیچ کدام از قیود تنش و جابه جایی مسئله را نقض ننماید به عنوان ترکیب بهینه به کاربر معرفی می گردد. پارامترهای ابعادی اعضا به پنج دسته ذیل تقسیم می شوند :

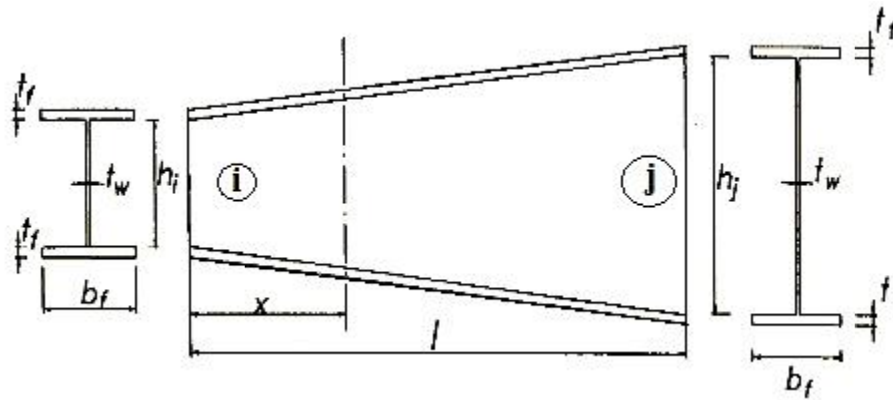
۱ - ارتفاع جان درلبه کوچکتر عضو H_i

۲ - ارتفاع جان درلبه بزرگ تر عضو H_j

۳ - عرض بالا مقطع b_f

۴ - ضخامت بال مقطع t_f

۵ - ضخامت جان مقطع t_w



شکل ۵- ۶ مشخصات ابعادی اعضا

۵-۲-۴ بارهای وارده به اعضا و ترکیبات بار

بارگذاری صورت پذیرفته در این تحقیق برپایه ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران [۳۴] استوار است. براین اساس، نیروهای پیش بینی شده در برنامه عبارت اند از:

بار زنده (بار برف)

بار مرده

بار باد

شایان ذکر است به صورت کلی براساس آیین نامه، در ساختمان های صنعتی در نظر گرفتن اثرات همزمان نیروهای ناشی از باد و زلزله ضروری نیست. از سویی دیگر تجربیات گذشته نشان داده است که در سازه های صنعتی اثرات نیروهای ناشی از زلزله بحرانی نبوده و غالباً نیروهای ناشی از وزش باد (به علت وجود سطوح بادگیر 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 نیروهای مذکور وارده بر سازه را براساس مبحث ششم آیین نامه محاسبه نماید و سپس مقادیر این بارهای گسترده را برحسب $\frac{kg}{cm}$ 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. این عمل می تواند به صورت کلی و یا برای تک تک اعضا انجام پذیرد (شکل (۵-۷)).

Input The Data Of Load

put Informations for distributed force in global coordinate

ac Value Applied distributed dead Load (kg/cm): 0

he Value Applied distributed live Load (kg/cm): 0

he Value Applied distributed wind Load over face to wind column (kg/cm): 0

he Value Applied distributed wind Load over face to wind beam (kg/cm): 0

he Value Applied distributed wind Load over back to wind beam (kg/cm): 0

he Value Applied distributed wind Load over back to wind column (kg/cm): 0

Number of Element	Dead Load	Live Load	Wind Load
	0	0	0

Help Clear Input Value Element OK Cancel

شکل ۵-۷ پنجره بارهای گسترده

علاوه بر بارهای گسترده، این برنامه قابلیت بررسی حالاتی که ممکن است نیروی متمرکز براعضا وارد گردد و یا این که در گره ها، نیرو و یا ممان متمرکز وارد گردد را نیز داراست (شکل های (۵-۸) و (۵-۹)).

برای وارد کردن بارهای گسترده، بارهای نقطه ای و بار یا ممان متمرکز گرهی کاربر می بایست به ترتیب مسیرهای Define | Distributed Load و Define | Point Load و Define | Joint Load and Moment راطی کند.

شکل ۵-۸ پنجره بارهای نقطه‌ای

شکل ۵-۹ پنجره بارها و ممان‌های گرهی

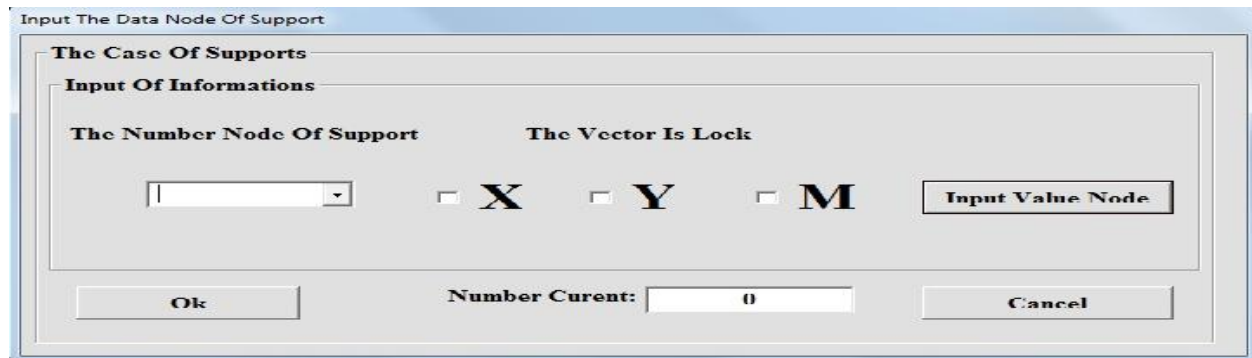
لازم به ذکر است هر یک از اجزای سازه باید براساس ترکیب باری که بیشترین اثر را در آن عضو ایجاد می‌کند، طراحی گردند. لذا براساس آیین نامه ترکیبات بار ذیل، در برنامه به صورت پیش فرض لحاظ گردیده است.

1. $D + S$ (۱-۵)
2. $0.75(D \pm w)$ (۲-۵)
3. $0.75(D + S \pm 0.5W)$ (۳-۵)
4. $0.75(D + 0.5S \pm W)$ (۴-۵)

D ، L ، S و W به ترتیب بار مرده، بارزنده، بار برف و بار باد هستند.

۵-۲-۵ شرایط تکیه گاهی

از جمله اطلاعات دیگر، تعیین نقاط تکیه گاه و نوع اتصال آن است. کاربر این کار را با توجه به جابه جایی ها و دوران های مقید شده در تکیه گاه و از مسیر Define| Support Case انجام می دهد. (شکل (۵-۱۰)).



شکل ۵-۱۰ پنجره تعیین شرایط تکیه گاهی

۵-۲-۶ پارامترهای بهینه سازی

فرایند بهینه سازی در این پایان نامه براساس روش جزیره ای ارائه شده در مرجع [۲۰] می باشد. براساس 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 ها محسوب می شود)، اجرای برنامه فقط یک بار و در چند حالت مختلف با مقادیر پارامترهای 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 صلاحیت کاربر جهت مهاجرت به جزایر دیگر منتخب می گردند. در این روش جمعیت GA بطور مساوی بین چهار جزیره تقسیم می شود. البته در صورتی که 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. شیوه هر جزیره با جزایر دیگر، اندکی متفاوت است. انتخاب هر یک از متدهای موجود در جزایر براساس آزمودن کلیه روش ها و عملگرهای GA صورت گرفته است [۲۰].

اطلاعاتی همچون تعداد اعضای جمعیت، مقدار ثابت K برای تابع هدف اصلاح شده و میزان تکرار و نسل سازی به عنوان ورودی های عمومی 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)^۱ می باشند. باید توجه داشت که نرخ مهاجرت عددی در محدوده صفر تا صد (بر حسب درصد) است بعد از معرفی اطلاعات عمومی الگوریتم کاربر موظف است اطلاعات مربوط به هر یک از جزایر را معرفی نماید (شکل (۵-۱۱)). منوی Define| Parameter of GA مسیر انجام این عمل می باشد.

The screenshot shows two overlapping windows from a software application. The top window is titled "Data Parameters Of GA" and contains two main sections. The left section, "Information Of Genetic Algorithm", includes "Public Parameters GA" with input fields for "The Number Of Generation", "PopSize", and "Constant K", followed by a horizontal separator, and then "Migration Rate (Percent) :" and "Migration Interval:". The right section, "Parameters Of Islands", lists "Island (1)" through "Island (4)", each with a checkbox and a "Help Island" button. The bottom window is titled "Island (1)" and contains "Data Of Island (1)" with a field for "The Number Population Selection For Tournament", and "Data Of Parameters GA" with fields for "Cross Over Rate" and "Mutation Rate". Both windows have "Ok" and "Cancel" buttons at the bottom.

شکل ۵- ۱۱ پنجره اطلاعات اصلی GA و یکی از جزایر

در نهایت زمانی که شرط خاتمه الگوریتم اقماع 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(نسل آخر) را به عنوان طرح بهینه معرفی خواهد نمود.

^۱ . Multi Search Algorithm

۵-۲-۷ نیروهای پیش تنیدگی

نیروهای پیش تنیدگی که به عنوان پارامترهای بهینه سازی مطرح می باشند، در دو محل وارد می گردند. انتخاب این دو محل که یکی در تکیه گاه و دیگری در بالای ستون هاست، از بین مثال های بیشماری با حالات، جهت ها و محل های متفاوت به عنوان بهترین و موثرترین حالات ممکن انجام پذیرفته است.

نیروی پیش تنیدگی در این تحقیق به عنوان بار مرده متمرکز در ترکیبات بار وارد می گردد. تعیین میزان نیروی پیش تنیدگی بهینه در هر کدام از محل های اعمال نیرو بر عهده نرم افزار است. کاربر می بایست لیستی از نیروهای پیش تنیدگی را وارد نماید. لازم به ذکر است که لیستی از نیروها به عنوان پیش فرض در برنامه موجود است و کاربر می تواند برحسب نیاز به لیست مذکور مقادیر جدید اضافه و یا از آن کم کند (شکل ۵-۱۲). مسیر انجام این کار منوی Define| Prestressing force می باشد.

The image shows a software window titled "Formprestressing" with a sub-header "Prestressing Force". It contains two main sections: "Support" and "Top of Column". Each section has a vertical list of values (400, 450, 500, 550, 600, 650) with checkboxes. Below each list is a "delet" button. At the bottom of each section is an "Add New Force" button next to an empty text input field. At the bottom of the window are "Ok" and "Cancel" buttons.

شکل ۵-۱۲ پنجره ورود اطلاعات نیروهای پیش تنیدگی

فصل ششم

صحت سنجی و ارزیابی نتایج نرم افزار

۶-۱ پیشگفتار

بررسی نتایج و صحت سنجی در این تحقیق در سه مرحله کلی انجام پذیرفته است. در مرحله اول می بایست از درستی نتایج تحلیل و آنالیز سازه توسط نرم افزار، اطمینان کامل حاصل می شد. مرحله دوم به بررسی طراحی های انجام پذیرفته توسط نرم افزار و راستی آزمایی آن ها اختصاص یافت. نهایتاً در مرحله سوم و پس از حصول اطمینان از دو مرحله ذکر شده، می توان به سراغ صحت سنجی نتایج بهینه یابی رفت. درواقع عدم دقت کافی در دو مرحله نخست یا همان نتایج تحلیل و طراحی سازه، عملکرد الگوریتم ژنتیک را بی ثمر یا کم اثر خواهد نمود.

برای صحت سنجی نتایج تحلیل سازه مثال های بیشماری از سازه های متفاوت با تعداد اعضا و ابعاد و اندازه های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله با نتایج تحلیل دستی و همچنین نتایج مدل های مشابه ساخته شده در نرم افزار SAP2000 مقایسه گردید.

نتایج طراحی های انجام پذیرفته توسط نرم افزار نیز با نتایج مثال های دستی حل شده مطابقت داده شد. شایان ذکر است در این بخش، نرم افزار SAP2000 به دلیل روند متفاوت طراحی، نمی تواند کمک قابل ملاحظه ای به صحت سنجی نماید و بهترین گزینه، مثال های حل شده در مراجع می باشد.

برای اطمینان از مرحله سوم یعنی قسمت بهینه یابی نرم افزار نیز، چندین مثال از مقاطعی که می توان به صورت تئوریک بهینه مطلق را در آن ها یافت، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نرم افزار با نتایج بهینه مطلق مقایسه گردید.

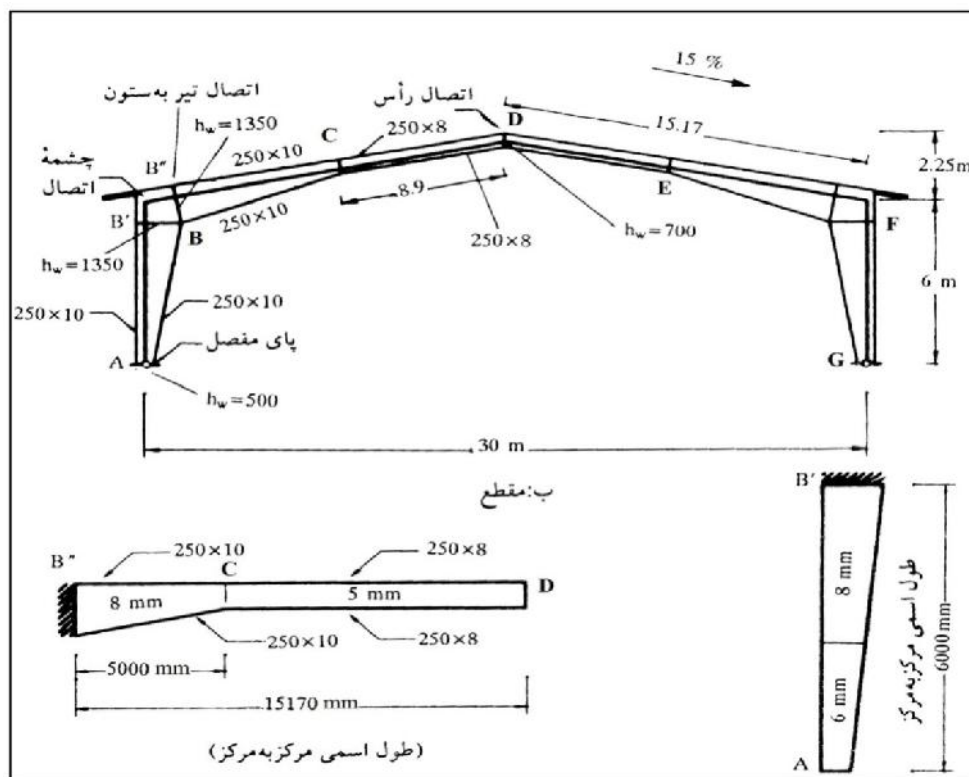
در قسمت های بعد تعدادی از مثال های صحت سنجی در هر سه مرحله ی فوق الذکر، آمده است.

۲-۶ صحت سنجی تحلیل سازه

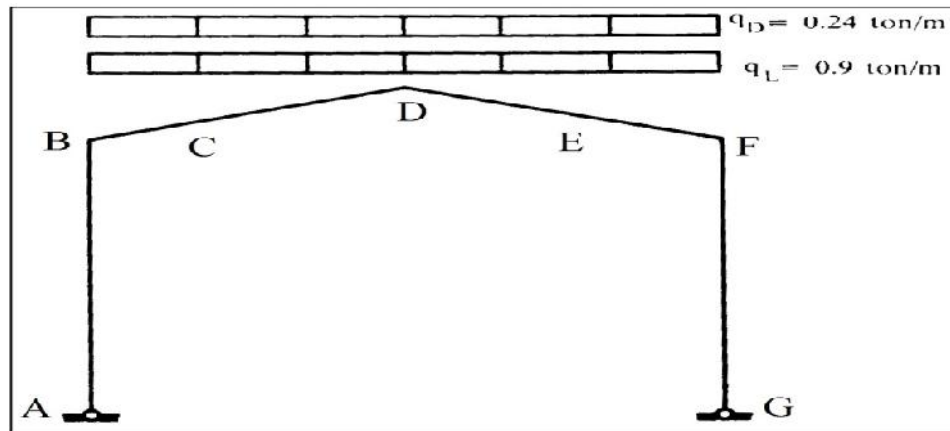
از بین تعداد زیادی از مثال های حل شده برای صحت سنجی مرحله اول یا همان تحلیل سازه به ذکر دو نمونه زیر بسنده می کنیم.

۲-۶-۱ مثال اول صحت سنجی تحلیل سازه

اولین نمونه به مدل کردن مثال حل شده در مرجع [۳۷] که به بررسی یک قاب شیبدار پرداخته و در آن نتایج تحلیل دستی برای انواع بارگذاری آمده است، و مقایسه نتایج حاصله، اختصاص دارد. شکل های (۱-۶) و (۲-۶) هندسه و بارگذاری سازه را نشان می دهد. در کلیه ی مثال های این بخش، مدول الاستیسیته $2.1E6 \text{ kg/cm}^2$ و چگالی 0.00785 kg/cm^3 در نظر گرفته شده است.



شکل ۶-۱ مشخصات هندسی و مقاطع سازه مثال اول تحلیل



شکل ۶-۲ بارهای وارده بر سازه مثال اول تحلیل

همان گونه که در شکل (۶-۱) ملاحظه می کنید، سازه‌ی مورد نظر قاب شیب‌داری است که دارای اعضای منشوری و غیر منشوری می باشد و از این رو می تواند محک خوبی برای صحت سنجی باشد. نمونه‌ای مشابه، در نرم افزار مدل گردید و نتایج بسیار نزدیکی به نتایج تحلیل دستی مرجع [۳۷] حاصل گردید. نتایج حاصله از ترکیب بحرانی بارهای وارده و مقایسه میزان اختلاف به درصد، در جدول (۶-۱) آمده است.

جدول ۶-۱ مقایسه نتایج برنامه و تحلیل دستی مثال اول تحلیل سازه

عضو AB	P_A	V_A	M_A	P_B	V_B	M_B
نتایج برنامه	16941.7	-13046.5	0	-16941.7	13046.48	-7827888
نتایج تحلیل دستی	17100	-13680	0	-17100	13680	-8261000
مقایسه نتایج (درصد)	-0.934381	-4.85595	0	-0.93462	-4.85587	-5.53294

عضو BC	P_B	V_B	M_B	P_C	V_C	M_C
نتایج برنامه	15415	14818.9	7827888	-14569.7	-9182	-2060538
نتایج تحلیل دستی	16070	14890	8261000	-15210	-9237	-2160000
مقایسه نتایج (درصد)	-4.249108	-0.47979	-5.53294	-4.39474	-0.599	-4.82699

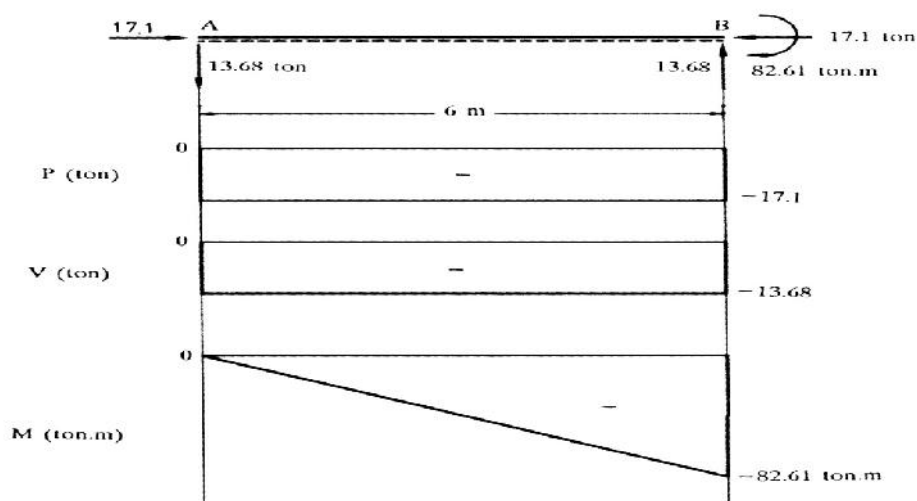
عضو CD	P_C	V_C	M_C	P_D	V_D	M_D
نتایج برنامه	14569.73	9181.97	2060538	-12878.7	2091.9	1524159
نتایج تحلیل دستی	15210	9237	2160000	-13500	2050	1467000
مقایسه نتایج (درصد)	-4.394522	-0.59933	-4.82699	-4.82465	2.002964	3.750199

عضو DE	P_D	V_D	M_D	P_E	V_E	M_E
نتایج برنامه	12925	2091.9	-1524159	-14616.7	9495.13	-2077200
نتایج تحلیل دستی	13500	2050	-1467000	-15210	9237	-2160000
مقایسه نتایج (درصد)	-4.448743	2.002964	3.750218	-4.05906	2.718552	-3.98612

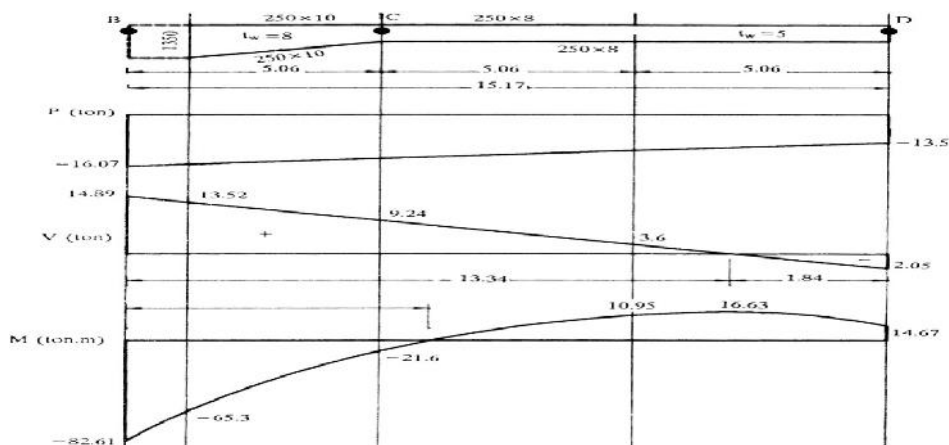
عضو EF	P_E	V_E	M_E	P_F	V_F	M_F
نتایج برنامه	14616.7	-9495.13	2077200	15462.2	15132.07	8302887
نتایج تحلیل دستی	15210	-9237	2160000	16070	14890	8261000
مقایسه نتایج (درصد)	-4.059056	2.718552	-3.98612	-3.93088	1.599715	0.504492

عضو FG	P_F	V_F	M_F	P_G	V_G	M_G
نتایج برنامه	16941.7	13046.48	7827887	-16941.7	-13046.5	0
نتایج تحلیل دستی	17100	13680	8261000	-17100	-13680	0
مقایسه نتایج (درصد)	-0.934381	-4.85587	-5.53295	-0.93438	-4.85571	0

همان طور که از مقایسه‌ی نتایج برمی‌آید، نتایج خروجی نرم افزار و تحلیل دستی با درصد اختلاف ناچیز و قابل اغماضی (حداکثر ۵.۵۳ درصد) بر هم منطبق می‌باشد. شکل‌های (۳-۶) و (۴-۶) دیاگرام‌های نیروی محوری، برش و خمش اعضای سازه را نشان می‌دهد.



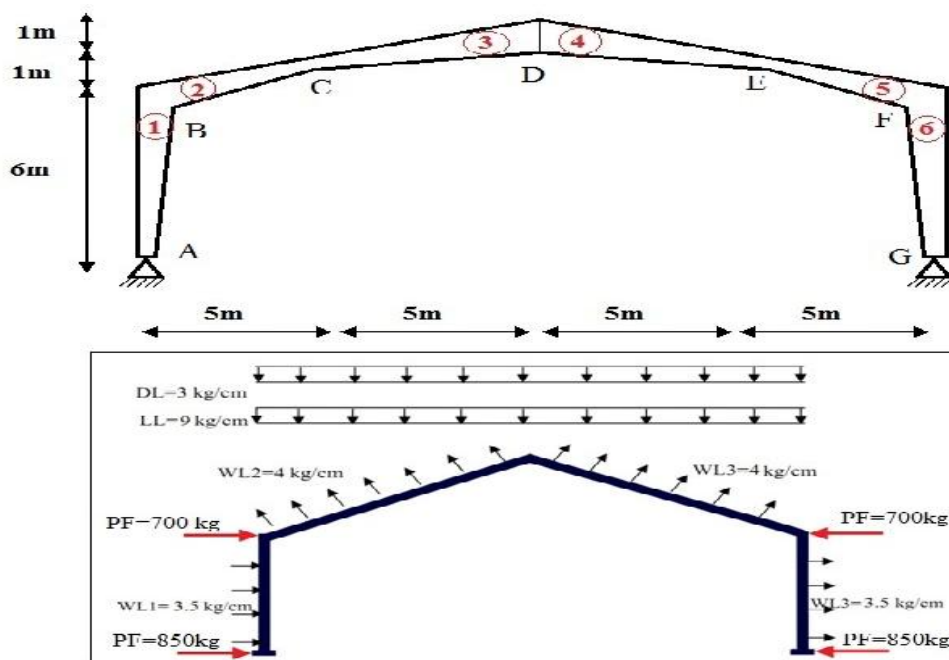
شکل ۶-۳ دیاگرام‌های نیروی محوری، برش و ممان ستون مثال اول تحلیل سازه



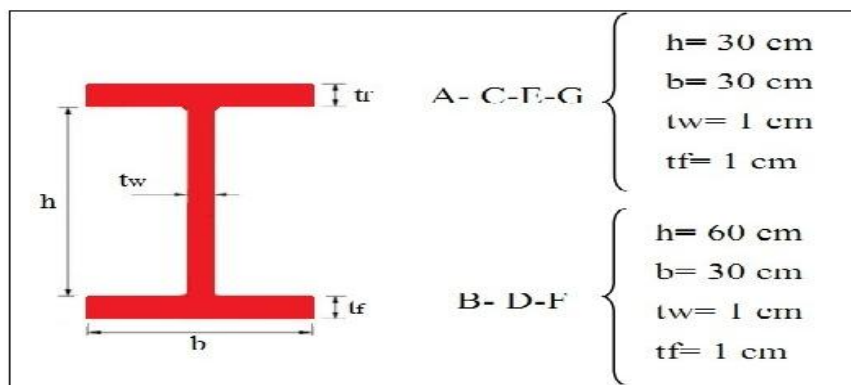
شکل ۴-۶ دیاگرام های نیروی محوری، برش و ممان تیر مثال اول تحلیل سازه

۶-۲-۲ مثال دوم صحت سنجی تحلیل سازه

یکی دیگر از مثال های صحت سنجی تحلیل سازه، بررسی یک قاب شیبدار با مقاطع غیرمنشوری تحت اثر بار و نیروهای پیش تنیدگی و مقایسه نتایج آن با مدل ساخته شده در نرم افزار SAP2000 می باشد. مشخصات هندسی و بارگذاری سازه در شکل (۴-۵) و مشخصات ابعادی اعضا در محل گره ها در شکل (۴-۶) آمده است.



شکل ۴-۵ مشخصات هندسی و بارگذاری سازه در مثال دوم تحلیل سازه



شکل ۶-۶ مشخصات ابعادی اعضا در محل گره های مثال دوم تحلیل

نتایج حاصله از ترکیب بار بحرانی مدل سازی در نرم افزار این تحقیق و مدل SAP2000 و مقایسه آن، به تفکیک

اعضا در جدول (۶-۲) مندرج می باشد.

جدول ۶-۲ مقایسه نتایج برنامه و تحلیل دستی مثال دوم تحلیل سازه

عضو AB	P _A	V _A	M _A	P _B	V _B	M _B
نتایج برنامه	11749.997	-5130.04	0	-11750	5130.037	-3078023
نتایج مدل SAP	12000	-5413.81	0	-12000	5413.81	-3248285
مقایسه نتایج (درصد)	-2.127686	-5.5316	0	-2.12769	-5.5316	-5.53154

عضو BC	P _B	V _B	M _B	P _C	V _C	M _C
نتایج برنامه	8021.18	10378.45	3078023	-6844.48	-4494.97	673974.3
نتایج مدل SAP	8348.48	10567	3248285	-7171.7	-4684.4	640314
مقایسه نتایج (درصد)	-4.080447	-1.81675	-5.53154	-4.78079	-4.21427	4.994304

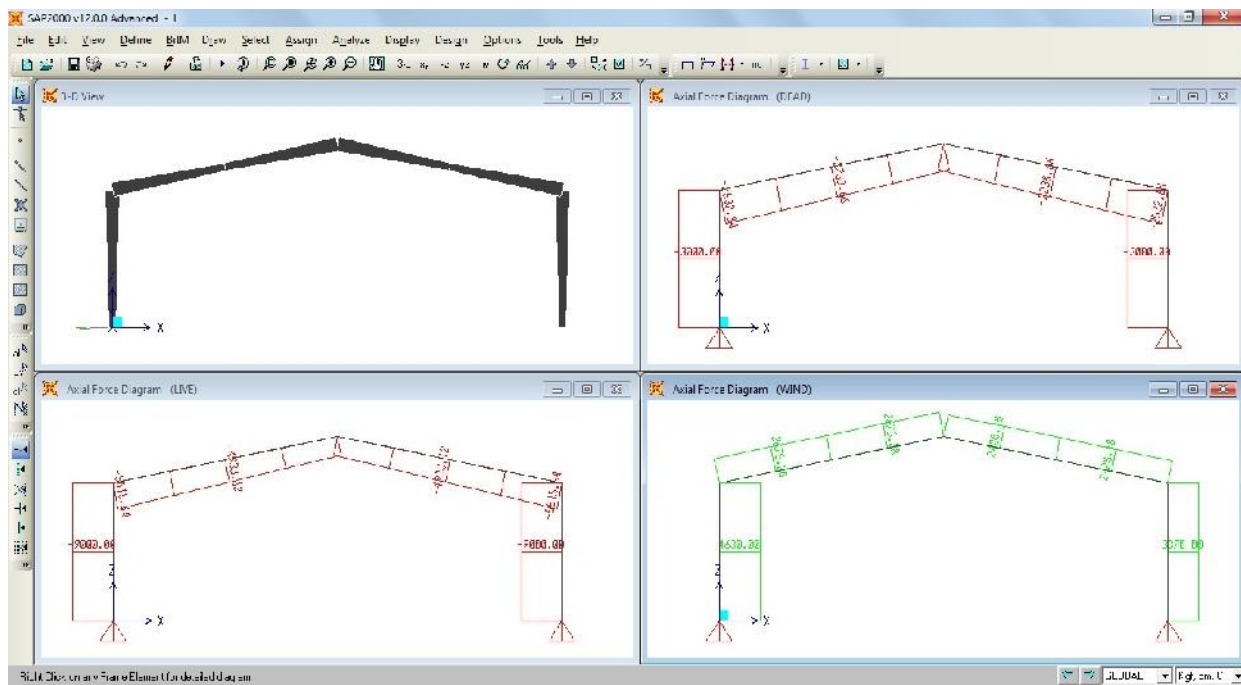
عضو CD	P _C	V _C	M _C	P _D	V _D	M _D
نتایج برنامه	6844.489	4495	-673974	-5667.79	1238.51	1505969
نتایج مدل SAP	7171.7	4684.4	-640334	-5995.08	1199.02	1528953
مقایسه نتایج (درصد)	-4.780649	-4.21357	4.991337	-5.77456	3.188509	-1.52619

عضو DE	P _D	V _D	M _D	P _E	V _E	M _E
نتایج برنامه	5765.85	1142.21	-1505969	-6942.54	4985.27	613969.8
نتایج مدل SAP	5995.08	1199.02	-1528953	-7171.77	4684.47	640314
مقایسه نتایج (درصد)	-3.97565	-4.97369	-1.52619	-3.30182	6.033776	-4.2908

عضو EF	P_E	V_E	M_E	P_F	V_F	M_F
نتایج برنامه	6942.54	-4985.26	-615128	-8119.24	10868.75	-3478024
نتایج مدل SAP	7171.78	-4684.47	-640334	-8348.4	10567.95	-3348285
مقایسه نتایج (درصد)	-3.301962	6.033587	-4.09764	-2.82243	2.767568	3.730245

عضو FG	P_F	V_F	M_F	P_G	V_G	M_G
نتایج برنامه	12250	5130.04	3078024	-12250	-5130.04	0
نتایج مدل SAP	12000	5413.8	3248285	-12000	-5413.81	0
مقایسه نتایج (درصد)	2.0408163	-5.53134	-5.5315	2.040816	-5.53154	0

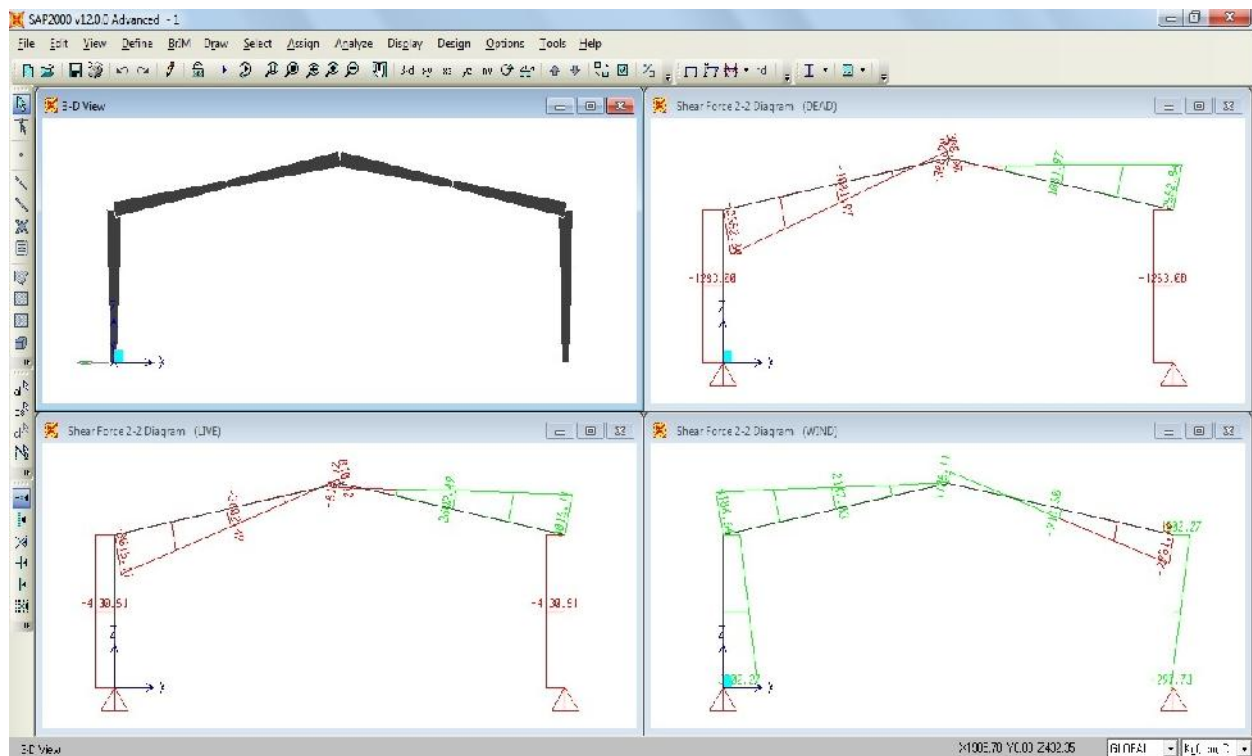
نتایج، حاکی از انطباق قابل قبول خروجی‌های نرم افزار بر خروجی‌های SAP2000 است. به نحوی که حداکثر اختلاف بین دو خروجی مشابه ۶.۰۳۳ درصد و آن هم به دلیل روند تحلیل متفاوت بین دو نرم افزار بوده و قابل اغماض است. شایان ذکر است مقایسه نتایج تحلیل جداگانه‌ی بارهای وارده بر سازه و همچنین جابه‌جایی‌های سازه نیز، انجام پذیرفت که نتایج حاصله به نحو مناسبی بر خروجی‌های SAP منطبق بود. شکل‌های (۶-۷)، (۶-۸) و (۶-۹) به ترتیب دیاگرام‌های نیروی محوری، برش و خمش به تفکیک بارهای مرده، زنده و باد می‌باشند.



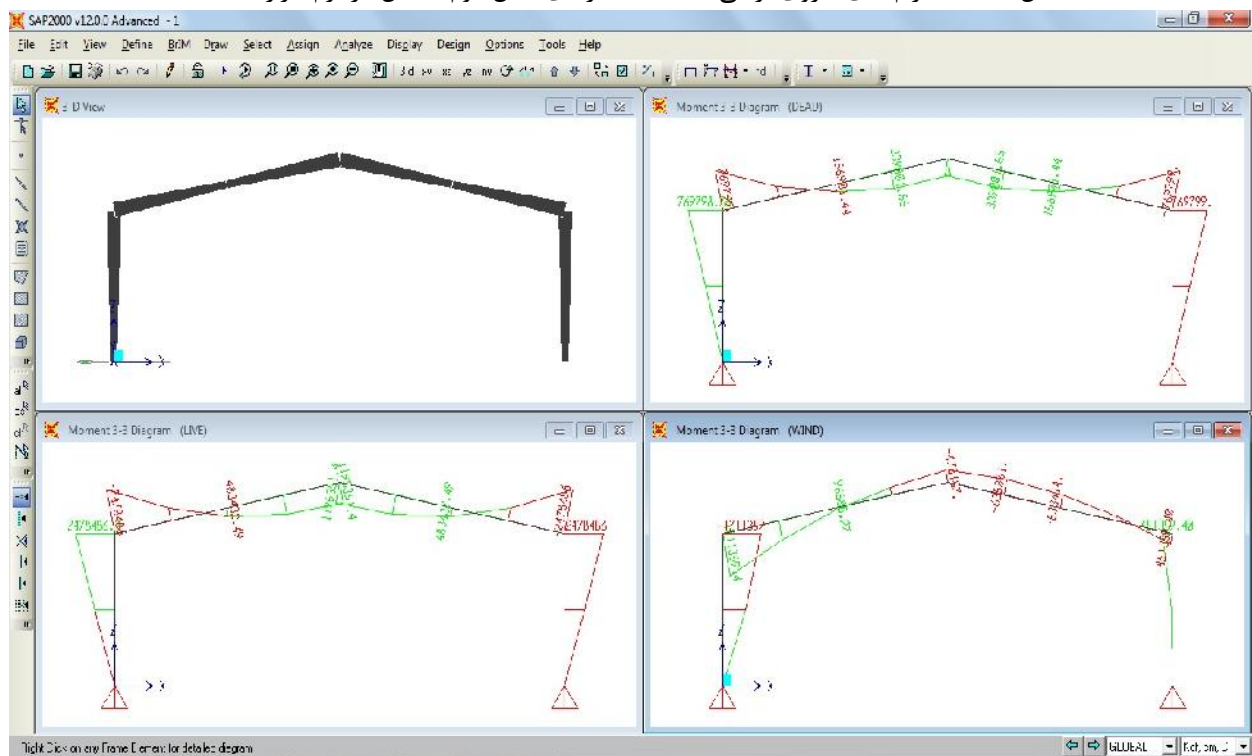
شکل ۶-۷ دیاگرام‌های نیروی محوری به تفکیک بارهای مثال دوم تحلیل در نرم افزار SAP

بهینه یابی قابهای شیبدار صنعتی توسط پیش تنیدگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

فصل ششم: صحت سنجی و ارزیابی نتایج برنامه



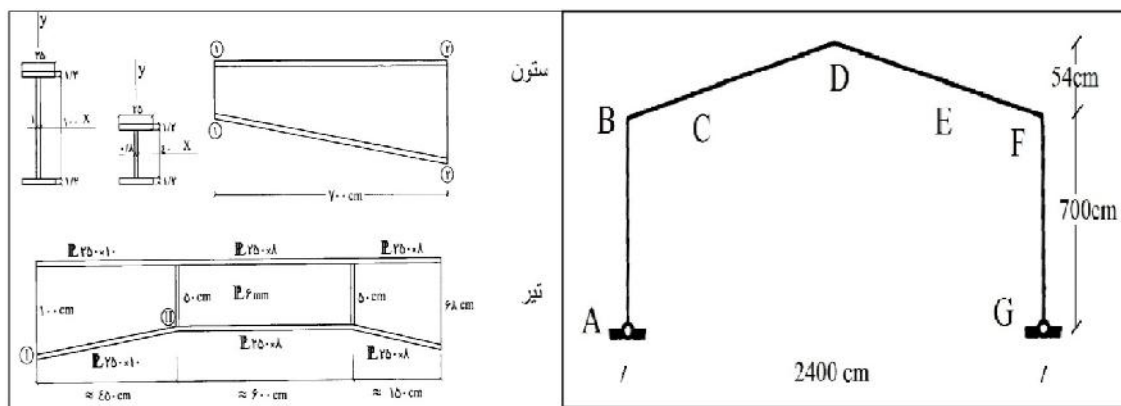
شکل ۶-۸ دیاگرام های نیروی برشی به تفکیک بارهای مثال دوم تحلیل در نرم افزار SAP



شکل ۶-۹ دیاگرام های خمش به تفکیک بارهای مثال دوم تحلیل در نرم افزار SAP

۳-۶ صحت سنجی طراحی و کنترل های اعضای سازه

همان طور که پیش تر نیز اشاره گردید، مرحله دوم کنترل نتایج به بررسی صحت طراحی های انجام شده اختصاص دارد. برای انجام این کار، مثال های متعددی مورد بررسی قرار گرفت و طی آن ها به مقایسه کنترل های انجام شده توسط نرم افزار و حل دستی پرداخته شد. از بین مثال های تحت بررسی به شرح مثال حل شده در مرجع [۲۷]، می پردازیم. برای بررسی این مثال، نمونه ای با بارهای وارده و مشخصات هندسی مشابه در نرم افزار صورت مدل شد که حدس های اولیه مرجع مذکور به عنوان مقاطع در نرم افزار وارد گردید. شکل (۶-۱۰) مشخصات هندسی سازه و مقاطع آن را نشان می دهد.



شکل ۶-۱۰ مشخصات هندسی و مقاطع سازه مثال طراحی و کنترل

بار های وارده به سازه به شرح ذیل می باشد:

$$DL=45\text{kg/m}^2 \rightarrow 2.7\text{kg/cm}$$

$$LL=150\text{kg/m}^2 \rightarrow 9\text{kg/cm}$$

$$WL=83\text{kg/m}^2 \rightarrow 4.9\text{kg/cm}$$

به صورت فشاری بر سطوح قائم

نیروهای طراحی لحاظ شده برای ستون و تیر در مرجع [۲۷] و مقایسه آن ها با خروجی های نرم افزار در جداول (۳-۶) و (۴-۶) آمده است.

جدول ۳-۶ نیروهای طراحی ستون در برنامه و مرجع [۲۷] و مقایسه آن ها

ستون	P	V	M
نتایج برنامه	14040	8148	5704085
نتایج مرجع	14000	7900	5400000
مقایسه نتایج (درصد)	0.2849003	3.043692	5.331004

جدول ۶-۴ نیروهای طراحی تیر در برنامه و مرجع [۲۷] و مقایسه آنها

تیر	قسمت منشوری		قسمت غیر منشوری	
	P	M	P	M
نتایج برنامه	9136	1546503	9536	5704085
نتایج مدل SAP	9000	1520000	9000	5400000
مقایسه نتایج (درصد)	1.488616	1.7137374	5.620805	5.331004

با توجه به نیروهای طراحی متفاوت منظور شده، طبیعتاً می‌بایست انتظار اختلافی متناسب با تفاوت مذکور را داشته باشیم. نتایج کنترل‌ها در نرم افزار و مرجع ذکر شده به صورت نسبت تنش در جداول (۵-۶) برای ستون و جدول (۶-۶) برای تیر آمده است.

جدول ۵-۶ مقایسه نتایج کنترل های ستون

ستون	کنترل اندرکنش تنش های خمشی و فشاری	کنترل برش در مقطع کوچک تر	کنترل برش در مقطع بزرگ تر	کنترل کمانش موضعی بال فشاری	کنترل کمانش عمودی جان	کنترل کمانش خمشی جان
نتایج برنامه	1.01	240/960	81.48/582.041	10.4/11.4	100/337	100/168
نتایج مرجع	0.971	233/960	79/581.3	10.4/11.4	100/337	100/168
مقایسه نتایج (درصد)	3.861386139	2.8	2.292	0	0	0

جدول ۶-۶ مقایسه نتایج کنترل های ستون

تیر	کنترل اندرکنش تنش های خمشی و فشاری قسمت غیر منشوری	کنترل اندرکنش تنش های خمشی و فشاری قسمت منشوری	کنترل برش در مقطع بزرگ تر	کنترل کمانش موضعی بال فشاری	کنترل کمانش عمودی جان	کنترل کمانش خمشی جان
نتایج برنامه	1.08	1.03	140.4/582.04	15.6/16.27	100/337	100/168
نتایج مرجع	1.03	1	140/581.3	15.6/16.27	100/337	100/168
مقایسه نتایج (درصد)	4.62962963	2.9126	0.161687	0	0	0

همان‌طور که مشاهده می‌گردد تفاوت بین نتایج، بسیار کم و تنها مربوط به اختلاف مقادیر نیروهای طراحی منظور شده و همچنین تفاوت روش یافتن ضریب طول موثر (K_y) می‌باشد. لذا از درستی مرحله دوم نیز اطمینان حاصل می‌گردد.

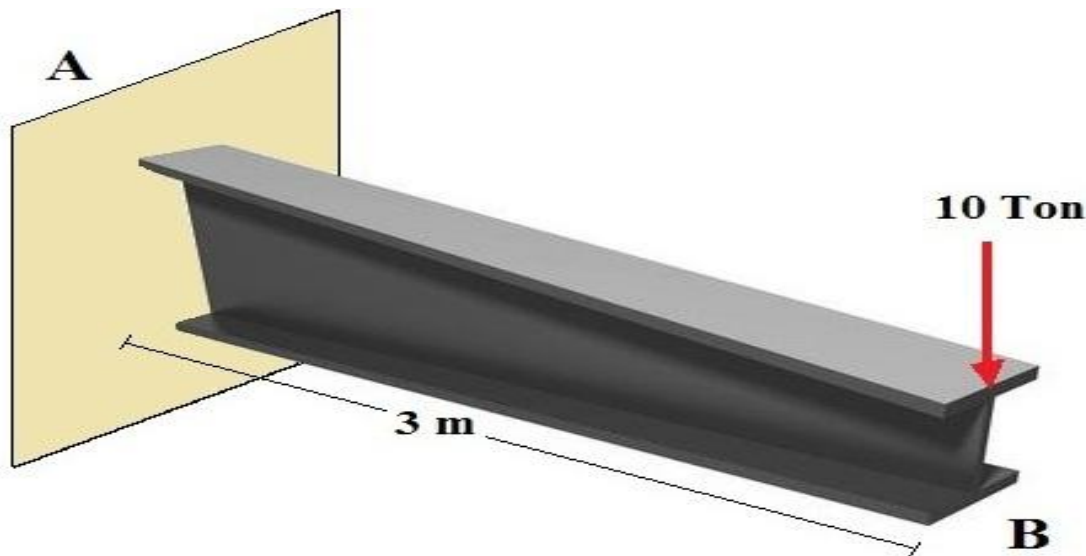
۴-۶ صحت سنجی بهینه یابی

جهت بررسی کارایی الگوریتم برنامه در دستیابی به مقاطع حداقل در فرایند بهینه سازی، یک تیر کنسول مطابق با شرایط هندسی، مرزی و بار گذاری نشان داده شده در شکل (۶-۱۱)، توسط برنامه مورد بهینه سازی قرار گرفته است. پارامترهای الگوریتم ژنتیک که برای بقیه ی مثال های این بخش نیز به کار رفته، در جداول (۶-۷) و (۶-۸) مندرج گردیده است. با توجه به این که با در نظر گرفتن اساس مقطع تثوریک مورد نیاز، تقریباً بهینه ی مطلق قابل دستیابی می باشد، لذا این نمونه می تواند به عنوان یک مثال خوب برای بررسی قدرت نرم افزار در دستیابی به بهینه ی مناسب تلقی گردد. با توجه به بارگذاری موجود اساس مقطع مورد نیاز در برتکیه گاه تیر کنسول فوق (با فرض بهره برداری از حداکثر ظرفیت خمشی مقطع) برابر است با:

$$M_{\max} = 30 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$S \geq 30 \times 10^5 / 1440$$

$$S \geq 2083.33 \text{ cm}^3$$



شکل ۶-۱۱ هندسه و بارگذاری سازه مثال بهینه سازی

نتایج حاصله از اجرای برنامه به صورت ابعاد مقطع در شکل (۶-۱۲) به تفکیک دو نقطه ی A (تکیه گاه) و B (انتهای تیر) آمده است.

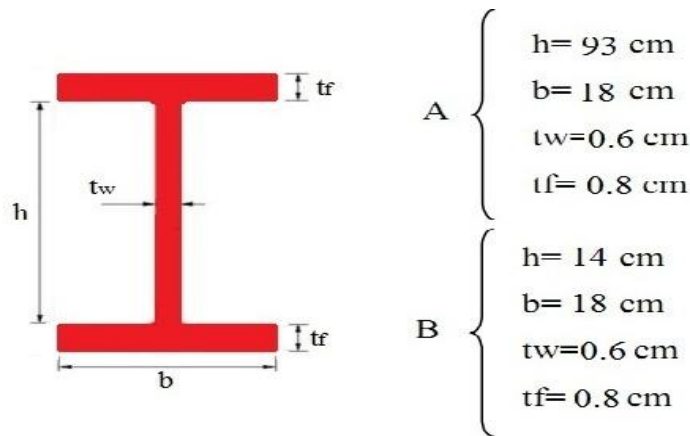
جدول ۶-۷ پارامترهای الگوریتم ژنتیک عمومی

Parameter	Size
Migration_Rate	5
Migration_Interval	100
Pop size _Total	80
Pop size Islands	20
Number _Generation	40000
K _Constant	10

جدول ۶-۸ پارامترهای الگوریتم ژنتیک مربوط به جزایر

Number of Island	Parameter	Explanation
1	Method _Selection	Method Tournament
	Number of Tournament	4
	Rate Of Cross Over	0.85
	Cross Over	Two point
	Rate Of Mutation	0.001
2	Method _Selection	Method Tournament
	Number of Tournament	3
	Rate Of Cross Over	0.8
	Cross Over	Cross Over Is Uniform
	RM Max Mutation	0.01
	RM Min Mutation	0.001
	Rate Of Mutation	Mutation Is Linear (Decreased)
3	Method _Selection	Roulette _Wheel
	Rate Of Cross Over	0.7
	Cross Over	Cross Over Is Single Sight
	RM Max Mutation	0.01
	RM Min Mutation	0.001
	Rate Of Mutation	Mutation Is Linear (Decreased)
4	Method _Selection	Method Rank
	Rate Of Cross Over	0.9
	Cross Over	Cross Over Is Single Sight
	RM Max Mutation	0.05
	RM Min Mutation	0.005
	Rate Of Mutation	Mutation Is Linear (Decreased)

لذا انتظار می رود خروجی نرم افزار در بر تکیه گاه، ابعاد مقطعی با اساس مقطع منطبق با مقدار ذکر شده و در انتهای تیر ابعاد مقطعی با حداقل های ممکن باشد.



شکل ۶- ۱۲ ابعاد بهینه خروجی از برنامه در مثال طراحی

اساس مقطع عضو بهینه در بر تکیه گاه عدد ۲۲۲۲.۵۴ می باشد که با اساس مقطع تئوریک حدود ۶ درصد اختلاف دارد. با توجه به اختلاف هر چند ناچیز مذکور، پارامترهای عضو معرفی شده اعم از ارتفاع سطح مقطع در قسمت بزرگ تر سازه، ارتفاع در قسمت کوچک تر، ضخامت بال، ضخامت جان و عرض بال هر کدام به تناوب (با ثابت نگاه داشتن سایر پارامترها) به میزان یک واحد (واحد ورودی هر یک از پارامترهای اولیه مقاطع به برنامه) کاهش داده شد و سازه جدید به واسطه ی قابلیت Special Section نرم افزار، مجدداً مدل گردیده است تا نتایج پایداری تیر کنسولی جدید بررسی شود. نتایج حاصله، در جدول (۶-۹) آمده است.

با توجه به نتایج جدول فوق می توان دریافت، با کاهش هر یک از پارامترهای ابعادی مقطع به میزان یک واحد (منظور از یک واحد واحد لیست اندازه های ورودی به برنامه می باشد)، حداقل یکی از شروط پایداری سازه نقض خواهد گردید. لذا با توجه به این که لیست گسسته ای از مقاطع (آن هم به لحاظ محدودیت های اجرایی) به برنامه معرفی گردیده، ابعاد مقطع معرفی شده در بر تکیه گاه از طرف نرم افزار، با وجود اختلاف ۶ درصدی اساس مقطع آن با اساس مقطع تئوریک، بهینه ترین حالت ممکن بوده و هیچ کدام از ابعاد، قابلیت کاهش ندارند.

جدول ۶- ۹ نتایج حاصل از تغییر ابعاد مقطع و کنترل های انجام پذیرفته

ابعاد مورد بررسی	کنترل نسبت تنش	کنترل برش	کنترل کمانش موضعی بال فشاری	کنترل کمانش عمودی جان	کنترل کمانش خمشی جان
HA=93 HB=14 bf=18 Tf=0.8 Tw=0.6	0.9997 $\leq$ 1	176.18 $\leq$ 242.26	11.25 $\leq$ 11.51	155 $\leq$ 337	155 $\leq$ 168
HA=92 HB=14 bf=18 Tf=0.8 Tw=0.6	1.015 $\leq$ 1	178.06 $\leq$ 247.56	11.25 $\leq$ 11.54	153.33 $\leq$ 337	153.3 $\leq$ 168
HA=93 HB=14 bf=17 Tf=0.8 Tw=0.6	1.05 $\leq$ 1	176.18 $\leq$ 242.26	10.625 $\leq$ 11.51	155 $\leq$ 337	155 $\leq$ 168
HA=93 HB=14 bf=18 Tf=0.7 Tw=0.6	1.0936 $\leq$ 1	176.55 $\leq$ 242.26	12.857 $\leq$ 11.51	155 $\leq$ 337	155 $\leq$ 168
HA=93 HB=14 bf=18 Tf=0.8 Tw=0.5	1.0675 $\leq$ 1	211.41 $\leq$ 168.23	11.25 $\leq$ 11.51	186 $\leq$ 337	186 $\leq$ 168

با توجه به مقدار لنگر و برش صفر در انتهای تیر کنسول (در لبه آزاد تیر)، S مورد نیاز در آن قسمت، براساس
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, $0.268L/d_0$) تجاوز نماید لذا جهت طراحی چنین تیر کنسولی ۲ حالت
امکان پذیر خواهد بود :

$$1.g = \min(6 > \frac{0.268L}{d_0}) \rightarrow g_{\min} = \frac{0.268L}{d_0}$$

$$2.g = \min(6 < \frac{0.268L}{d_0}) \rightarrow g_{\min} = 6$$

با توجه به دو حالت فوق می توان دریافت حداکثر ضریب تغییر مقطع ممکن برای اعضای غیر منشوری برابر ۶ خواهد بود از آن جا که در چنین تیر کنسولی طراحی بهینه متمایل به تغییرات حداکثری مقطع در طول عضو است، لذا طرح بهینه این کنسول باید دارای ۷ ای برابر ۶ باشد در نتیجه در صورتی که برنامه توانایی شناسایی بهینه مطلق را داشته باشد رابطه زیر در آن باید صادق باشد.

$$g = \frac{(d_L - d_0)}{d_0} \rightarrow d_0 = \frac{d_L}{7}$$

به عبارت دیگر اگر برنامه قدرت کافی برای بهینه یابی را دارا باشد، می بایست در صورت معرفی $d_L = 93$ که با توجه به اساس مقطع مورد نیاز بدست آمده است، مقدار $d_0 = 13.285$ را در میان طرح های تصادفی تشکیل شده به عنوان طرح بهینه معرفی نماید که با توجه به نتایج برنامه حاضر مشاهده می شود (به علت معرفی لیست مقاطع گسسته به برنامه) $d_0 = 14$ انتخاب گردیده است.

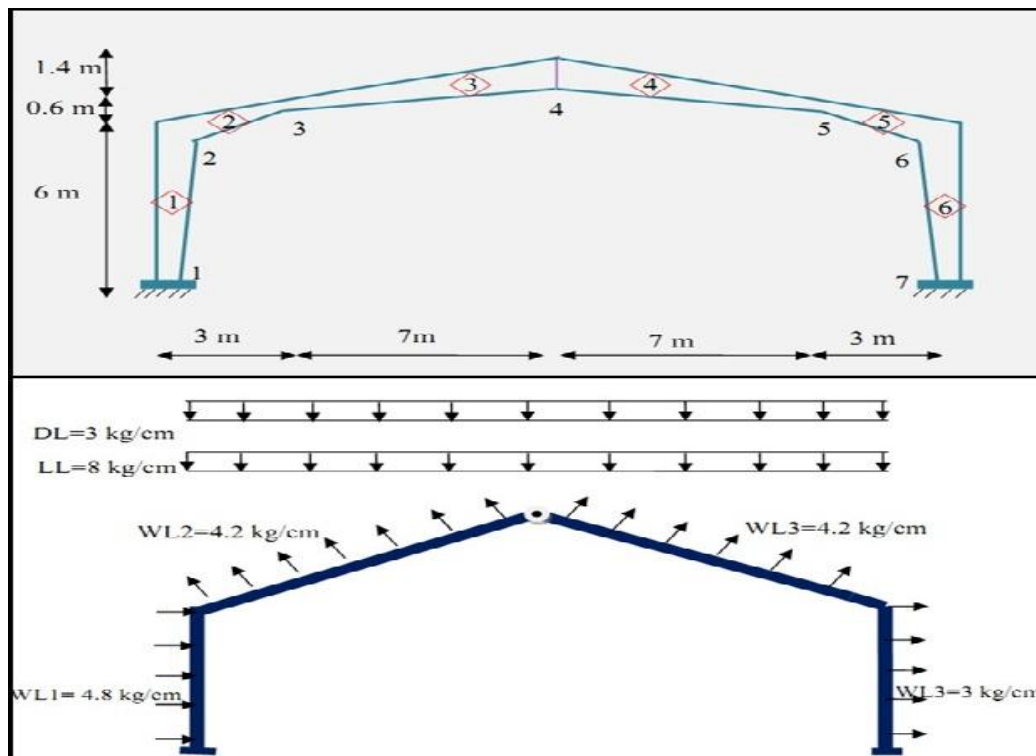
از مطالب فوق برداشت می شود که الگوریتم ژنتیک جزیره ای مقطعی را به عنوان مقطع بهینه معرفی نموده است که از حداکثر ظرفیت آن در طراحی سازه بهره گرفته شده است به عبارت دیگر می توان بیان نمود که هیچ کدام از متغیر های عضو قابلیت و ظرفیت کاهش را ندارند.

۶-۵ مثال های بهینه سازی

اکنون که از صحت انجام فعالیت نرم افزار در هر سه مرحله اطمینان کافی حاصل گردید به حل مثال های بهینه سازی و بررسی تاثیر نیروی پیش تنیدگی در بهینه یابی قاب های شیبدار غیر منشوری می پردازیم. لازم به ذکر است مسئله بهینه سازی در این تحقیق یافتن وزن بهینه سازه به واسطه معرفی مقاطع بهینه و همچنین یافتن مقدار بهینه نیروی پیش تنیدگی با توجه به قیود تغییر مکان های گرهی سازه، مقاومت و نسبت تنش اعضا و محدودیت های ابعادی اعضا می باشد.

۶-۵-۱ مثال اول بهینه سازی

در این نمونه به مدل سازی مثال انجام شده در مرجع [۱۲] پرداخته شده است. هدف، بهینه سازی وزن سازه است. مشخصات هندسی و بارگذاری سازه مورد نظر در شکل (۶-۱۳) آمده 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 بندهای تیر نیز برابر ۲۰۰ سانتی متر انتخاب شده است. نمونه ای مشابه در سه مرحله متفاوت از لحاظ نحوه ی اعمال نیروی پیش تنیدگی در نرم افزار مدل گردید. در مرحله اول به نرم افزار اجازه داده شد تنها پیش تنیدگی را در پای ستون یا همان تکیه گاه اعمال نماید. در مرحله دوم پیش تنیدگی صرفاً در بالای ستون انجام پذیرفت. و نهایتاً در مرحله سوم در هر دو نقطه ی تکیه گاه و بالای ستون پیش تنیدگی اعمال گردید. نتایج حاصله از مدل سازی هرکدام از مراحل و مقایسه خروجی ها با نتایج مرجع [۱۲] در جداول (۶-۱۰)، (۶-۱۱)، (۶-۱۲) و (۶-۱۳) آمده است.



شکل ۶-۱۳ هندسه و بارگذاری سازه در مثال اول بهینه سازی

جدول ۶- ۱۰ طرح بهینه ارائه شده در مرجع [۱۲] در مثال اول بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح اولیه	طرح بهینه به روش SQP
ارتفاع جان در گره ۱ و ۷	۱۰	۱۵۰	۶۰	۸۳.۲۷
ارتفاع جان در گره ۲ و ۶ از عضو ۱ و ۶	۱۰	۱۵۰	۹۰	۸۳.۷۴
عرض بال در عضو ۱ و ۶	۱۰	۵۰	۲۵	۲۹.۵۳
ضخامت جان عضو ۱ و ۶	۰.۵	۵	۰.۸	۰.۵۰۵
ضخامت بال عضو ۱ و ۶	۰.۵	۵	۱.۵	۰.۹۱۵
ارتفاع جان در گره ۲ و ۶ از عضو ۲ و ۵	۱۰	۱۵۰	۹۰	۱۱۶.۴۹
ارتفاع جان در گره ۳ و ۵	۱۰	۱۵۰	۵۰	۶۰.۶۷
عرض بال در عضو ۲ و ۳ و ۴ و ۵	۱۰	۵۰	۲۰	۱۲.۲۴
ضخامت جان در عضو ۲ و ۳ و ۴ و ۵	۰.۵	۵	۰.۸	۰.۶۹۸
ضخامت بال در عضو ۲ و ۳ و ۴ و ۵	۰.۵	۵	۱.۵	۰.۵۱۸
ارتفاع جان در گره ۴	۱۰	۱۵۰	۵۰	۱۰.۷
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب		۳۷۵۷۵۱	۲۱۴۷۰۳	
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم		۲۹۴۹.۶۴۵۳۵	۱۶۸۵.۴۱۸۵۵	

همان طور که مشاهده خواهد شد، پیش تنیدگی باعث دستیابی به نتایج بهتری گردیده است به نحوی که، تحت اثر نیروی پیش تنیدگی ابعادی کوچک تر و نهایتاً وزنی کم تر را می توان برای سازه در نظر گرفت. البته لازم به ذکر است که ابعاد مندرج در مرجع ذکر شده به واسطه نرم افزار مدل گردید و مشاهده گردید که در پاره ای از موارد دارای نقض قیود می باشد.

در بین حالات مختلف اعمال نیروی پیش تنیدگی نیز تفاوت معناداری مشاهده می گردد. کم ترین تاثیر را پیش تنیدگی در تکیه گاه دارا می باشد که اختلاف وزن آن با نمونه ی مرجع [۱۲] حدود ۸۰ کیلوگرم است. پیش تنیدگی در بالای ستون با اختلافی بالغ بر ۱۱۰ کیلوگرم وضعیت بهتری را ایجاد نموده است و نهایتاً بهترین حالت مربوط به اعمال هم زمان پیش تنیدگی در بالای ستون و تکیه گاه می باشد که اختلاف وزنی حدود ۱۵۰ کیلوگرم با نمونه مرجع مذکور را داراست.

جدول ۶- ۱۱ طرح بهینه ارائه شده توسط نرم‌افزار به واسطه اعمال پیش تنیدگی در تکیه‌گاه در مثال اول بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در تکیه‌گاه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۸
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۶۷
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۵۳
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۶
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۷
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۵
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۴۴
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۸۳
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۱
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۶۷
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۵۸
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۰
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۶۶
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۵۲
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۳۱
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۴
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی (kg)			۷۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۲۰۴۲۳۹.۴۹
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۱۶۰۳.۲۸

جدول ۶- ۱۲ طرح بهینه ارائه شده توسط نرم‌افزار به واسطه اعمال پیش تنیدگی در بالای ستون در مثال اول بهینه سازی

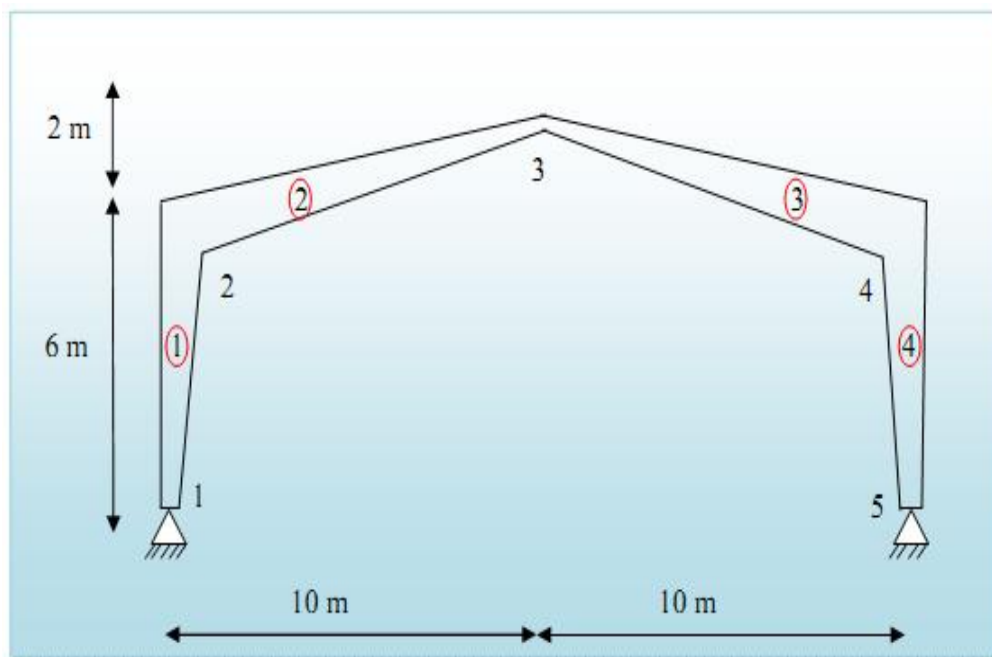
شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در بالای ستون
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۲
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۶۵
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۳
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۷۸
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۳۲
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۰
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۲.۵
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۵۵
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۶۷
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۲
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۶۶
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۶
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۲
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۵
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۶۹
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۶۶
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۵
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۸
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۵
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی (kg)			۹۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۲۰۰۱۹۳.۶۳
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۱۵۷۱.۵۲

جدول ۶- ۱۳ طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی در هردو نقطه (بالای ستون و تکیه گاه) در مثال اول بهینه سازی

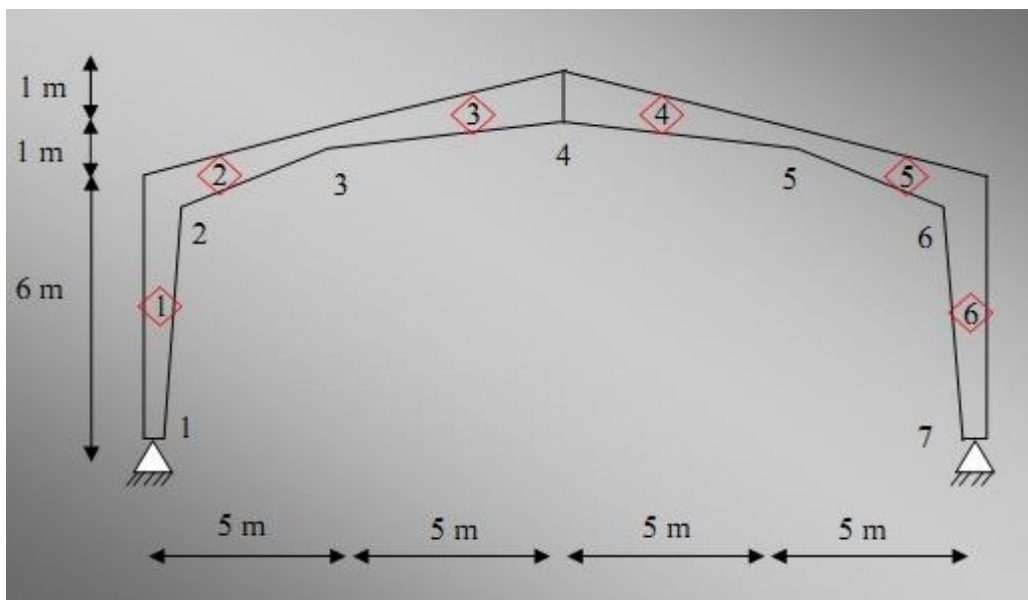
شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی در هر دو نقطه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۴۶
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۵۴
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۴
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۸۳
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۴
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۲۱
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۵۳
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۲
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۵۳
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۵
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۲
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۷
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۷۸
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۷۶
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۳۲
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی در تکیه گاه (kg)			۸۰۰
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی در بالای ستون (kg)			۱۳۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۱۹۵۰۸۷.۳۸۸
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۱۵۳۱.۴۳۶

۶-۵-۲ مثال دوم بهینه سازی

این مثال به مدل کردن نمونه‌ای دیگر از مرجع [۱۲] مطابق با هندسه و توپولوژی نشان داده شده در شکل (۶-۶).
(۱۴) اختصاص دارد. بارگذاری سازه، ترکیبات بار و فواصل مهاربندی همانند مثال قبل می‌باشد. نمونه مذکور با توپولوژی های متفاوت در نرم افزار مدل گردید. یکی از نمونه های برتر از نظر بهینگی وزن، نمونه‌ای بود که در وسط هر کدام از تیرهای شکل (۶-۱۴) اجازه‌ی تغییر مقطع به نرم افزار داده شده و نهایتاً توپولوژی سازه، مطابق با شکل (۶-۱۵) خواهد گردید. نتایج مدل مذکور و همچنین طرح بهینه ارائه شده توسط مرجع نام‌برده در جداول (۶-۱۴)، (۶-۱۵)، (۶-۱۶) و (۶-۱۷) مندرج گردیده است.



شکل ۶-۱۴ توپولوژی و هندسه سازه مثال دوم بهینه سازی مربوط به مرجع [۱۲]



شکل ۶-۱۵ توپولوژی و هندسه سازه منظور شده برای مثال دوم بهینه سازی

جدول ۶-۱۴ طرح بهینه ارائه شده در مرجع [۱۲] در مثال دوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (cm)	حد بالا (cm)	طرح اولیه	طرح بهینه به روش SQP
ارتفاع جان در گره ۱ و ۵	۱۰	۱۵۰	۵۰	۱۶.۱۵
ارتفاع جان در گره ۲ و ۴ از عضو ۱ و ۴	۱۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۰۲.۵۶
عرض بال در عضو ۱ و ۴	۱۰	۵۰	۲۰	۲۷.۹۶
ضخامت جان عضو ۱ و ۴	۰.۵	۵	۰.۸	۰.۶۱۶
ضخامت بال عضو ۱ و ۴	۰.۵	۵	۱.۷	۰.۸۷۸
ارتفاع جان در گره ۲ و ۴ از عضو ۲ و ۳	۱۰	۱۵۰	۱۰۰	۱۲۵.۰۳
ارتفاع جان در گره ۳	۱۰	۱۵۰	۵۰	۱۷.۲۰
عرض بال در عضو ۲ و ۳	۱۰	۵۰	۲۰	۱۲.۰۱
ضخامت جان در عضو ۲ و ۳	۰.۵	۵	۰.۸	۰.۷۱۵
ضخامت بال در عضو ۲ و ۳	۰.۵	۵	۱.۵	۰.۶۳
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب	۳۹۸۳۵۷			
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم	۳۱۲۷.۱۰۲			
	۲۴۲۵۲۴			
	۱۹۰۳.۸۱۳			

جدول ۶- ۱۵ طرح بهینه نرم‌افزار به‌واسطه اعمال پیش تنیدگی در تکیه‌گاه در مثال دوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در تکیه‌گاه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۲
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۸۸
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۱۸
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۳
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۹۵
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۶
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۴۰
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۶۵
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۰
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۲.۵
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۹۵
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۳۹
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۴
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۸
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۹۷
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۸
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۸۲
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۲
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۲
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی (kg)			۶۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۲۲۹۳۲۹.۳
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۱۸۰۰.۲۳۵

جدول ۶- ۱۶ طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش تنیدگی در بالای ستون در مثال دوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در بالای ستون
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۵۳
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۶۴
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۵۳
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۴
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۲
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۶۷
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۵۴
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۴
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۶۶
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۵۳
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۰
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۲
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۴۷
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۳۱
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۳۲
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۸۹
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۵
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۲
میزان نیروی پیش‌تنیدگی اعمالی (kg)			۱۴۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۲۲۸۵۱۲.۳۵۷
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۱۷۹۳.۸۲۲

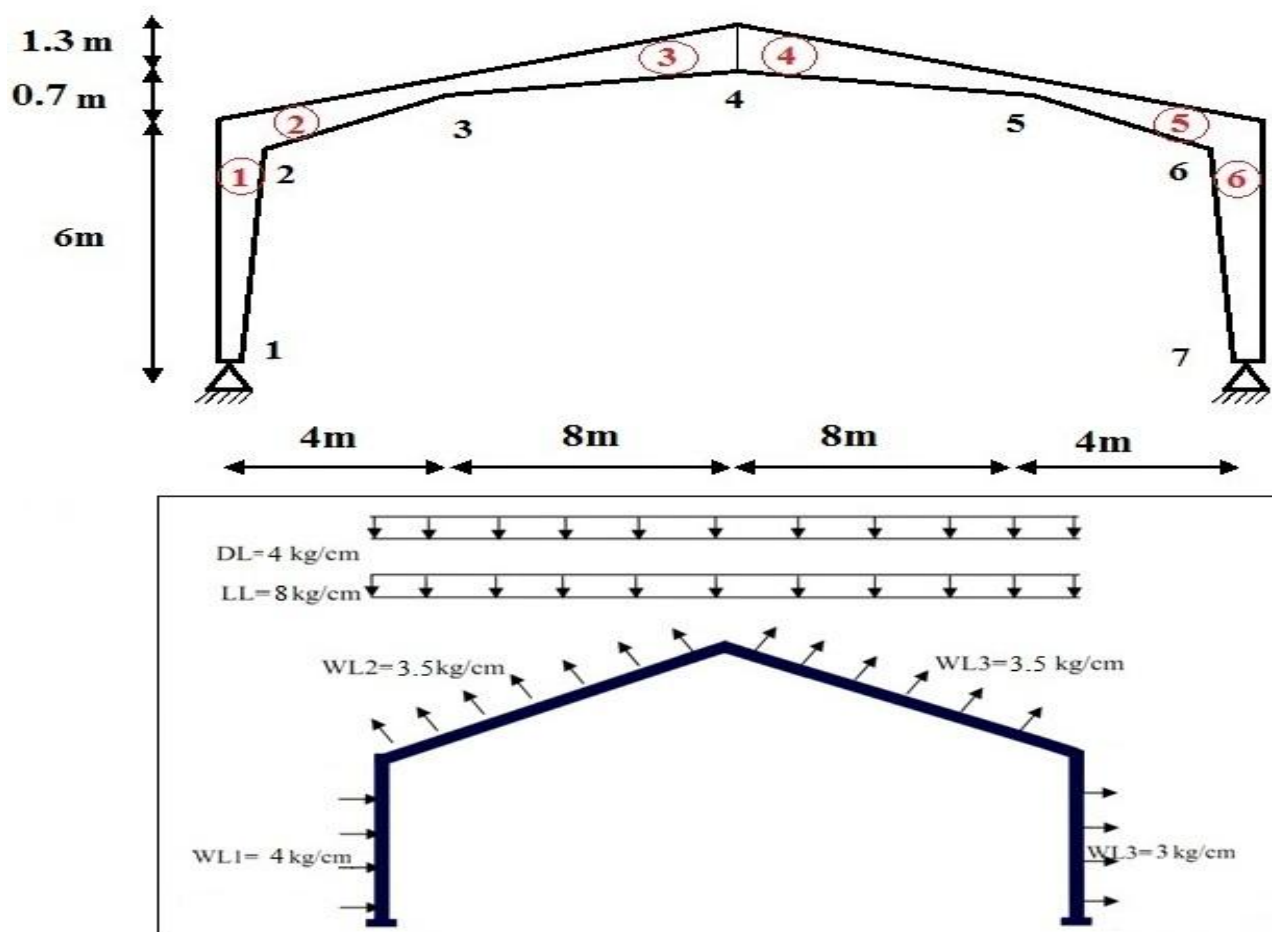
جدول ۶- ۱۷ طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی در هر دو نقطه (بالای ستون و تکیه گاه) در مثال دوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی در هر دو نقطه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۴۰
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۵۳
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۲
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱.۵
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۷۸
۱۲	۱۰	۱۰۰	۱۲
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۵۴
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۶۷
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۲
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۵۳
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۹
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۲
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۲
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۹۲
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۵۴
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۳۹
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۲
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۵
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی در تکیه گاه (kg)			۷۵۰
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی در بالای ستون (kg)			۱۳۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۱۹۵۰۸۷.۳۸۸
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۱۷۳۲.۷۷

۳-۵-۶ مثال سوم بهینه سازی

در این مثال ابتدا یک قاب شیب‌دار با مقطع متغیر بدون اعمال نیروی پیش تنیدگی بهینه می‌گردد. سپس مطابق با روال مثال‌های قبل در سه مرحله، به بررسی تاثیر نیروی پیش تنیدگی در روند بهینه سازی پرداخته می‌شود. شرایط هندسی و بارگذاری سازه در شکل (۶-۱۶) آمده است.

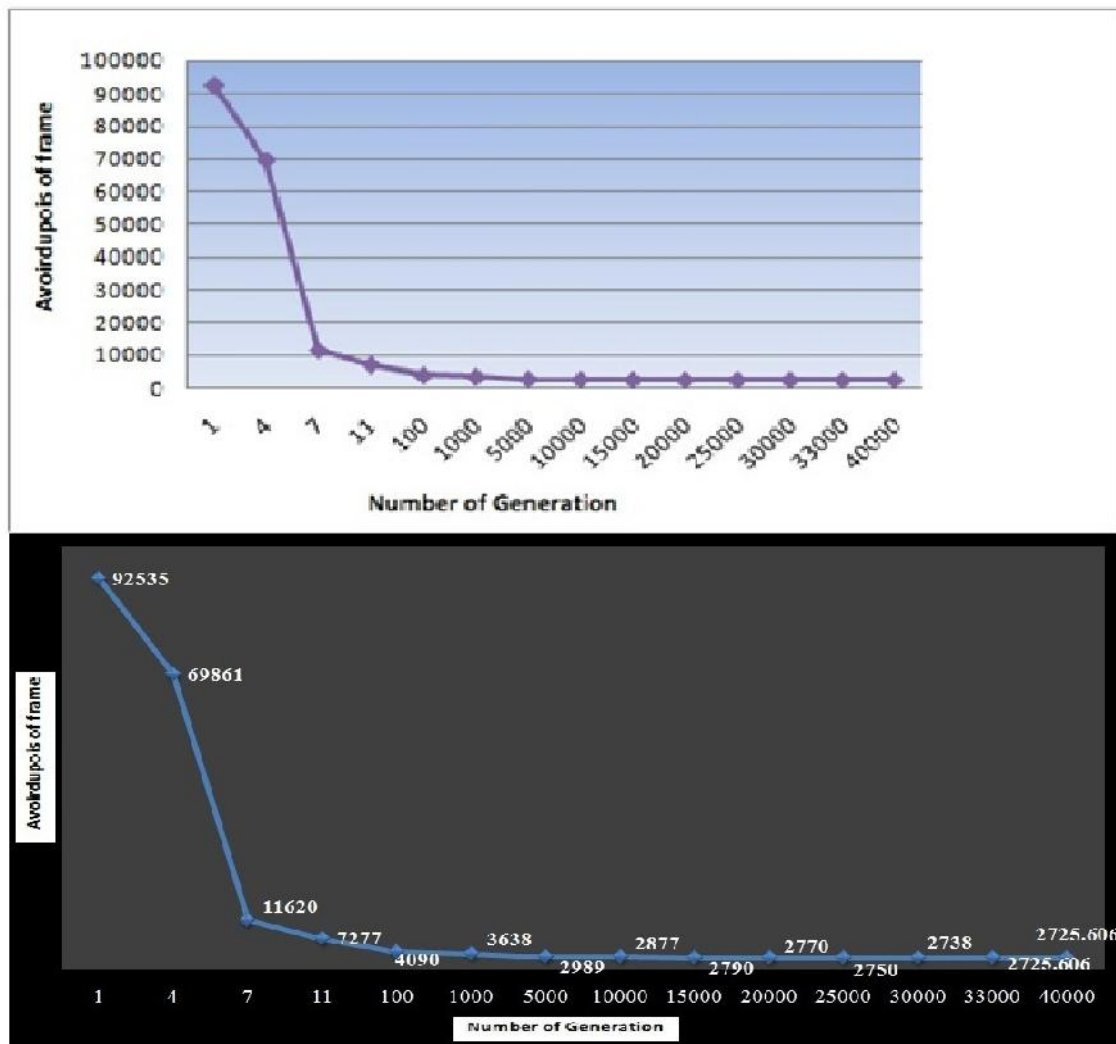
جزئیات و مشخصات مورد نیاز دیگر از قبیل ترکیبات بار، فواصل مهاربندی و پارامترهای الگوریتم ژنتیک، همانند مثال‌های قبل می‌باشد.



شکل ۶- ۱۶ هندسه و بارگذاری سازه در مثال سوم بهینه‌سازی

نتایج حاصل از هر کدام از چهار مرحله‌ی ذکرشده، به تفکیک در جداول (۶-۱۸)، (۶-۱۹)، (۶-۲۰) و (۶-۲۱) مندرج گردیده است.

گراف تغییرات وزنی در طول فرایند بهینه سازی برای مثال حل شده مرحله اول (بدون اعمال پیش تنیدگی) در شکل (۶-۱۷) نمایش داده شده است. پس از گذشت حدود ۱۱ نسل اول، الگوریتم به سمت هدف معین در دستیابی به پاسخ بهینه گام بر می دارد. این فرایند تا حدود نسل ۳۳۰۰۰ ادامه پیدا می کند و از آن پس، مقادیر ثابت می گردد. روال ذکر شده تقریباً برای تمامی مثال های قبلی نیز به صورت مشابه رخ داده است.



شکل ۶-۱۷ گراف تغییرات وزنی در فرایند بهینه سازی

جدول ۶- ۱۸ طرح بهینه نرم‌افزار بدون اعمال پیش تنیدگی در مثال سوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در تکیه‌گاه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۵۵
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۹۷
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۴
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱.۵
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۵۶
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۰۰
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۷
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۲۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۹۷
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۴
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۰۰
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۳۲
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۴۴
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۹۷
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۲.۵
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۹۵
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۳۲
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۳۲
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۵
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۳۴۷۲۱۰.۹۵
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۲۷۲۵.۶۰۶

جدول ۶- ۱۹ طرح بهینه نرم افزار به واسطه اعمال پیش تنیدگی در تکیه‌گاه در مثال سوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در تکیه‌گاه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۶
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۹۵
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۱.۵
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۱
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۹۵
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۷
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۸
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۹۵
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۸۹
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۱
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۱۱
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۷۵
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۳۲
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۸۴
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۳
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۷
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۵
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی (kg)			۱۴۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۳۴۰۷۰۶.۶۲
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۲۶۷۴.۵۴۷

جدول ۶- ۲۰ طرح بهینه نرم‌افزار با اعمال پیش تنیدگی در بالای ستون در مثال سوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی، فقط در بالای ستون
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۸
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۱۰۰
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۱۹
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۲
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۸۷
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۵۵
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۳۲
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۵
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۴
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۹۷
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۹۷
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۱
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۶
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۵۵
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۹۷
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۵
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۹۴
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۳۲
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۰
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۲
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی (kg)			۱۱۰۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۳۱۱۵۵۷.۳۲
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۲۴۴۵.۷۲۵

جدول ۶- ۲۱ طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی در هردو نقطه (بالای ستون و تکیه گاه) در مثال سوم بهینه سازی

شرح متغیر	حد پایین (CM)	حد بالا (CM)	طرح بهینه نرم افزار با اعمال پیش تنیدگی در هر دو نقطه
ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۳
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۵۳
عرض بال در عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۰.۴
ضخامت بال عضو ۱	۰.۴	۳.۵	۲.۵
ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۸۲
۱۲	۱۰	۱۰۰	۱۲
عرض بال در عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۰.۸
ضخامت بال عضو ۲	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۶
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۹۸
عرض بال در عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۳
ضخامت جان عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۳	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۷۸
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۵۵
عرض بال در عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۱۵
ضخامت جان عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۴	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۹۱
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۳۱
عرض بال در عضو ۵	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۵	۰.۴	۳.۵	۱.۲
ارتفاع جان در گره ۶ از عضو ۶	۱۰	۳.۵	۹۵
ارتفاع جان در گره ۷ از عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۱۵
عرض بال در عضو ۶	۱۰	۱۰۰	۲۱
ضخامت جان عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۰.۶
ضخامت بال عضو ۶	۰.۴	۳.۵	۱.۲
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی در تکیه گاه (kg)			۵۰۰
میزان نیروی پیش تنیدگی اعمالی در بالای ستون (kg)			۱۳۵۰
حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتیمتر مکعب			۳۰۷۰۸۶۸.۴۱
وزن کل سازه بر حسب کیلوگرم			۲۴۱۶.۷۶۷

فصل هفتم

نتایج و پیشنهادات

۷-۱ نتیجه گیری

در این تحقیق با تدوین نرم افزاری نسبتاً جامع جهت تحلیل، طراحی و بهینه سازی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک به بررسی تاثیر اعمال نیروی پیش تنیدگی در سازه های مذکور پرداخته شده است. جهت بهینه سازی، از روش الگوریتم ژنتیک جزیره ای که در مرجع [۲۰] ارائه شده، بهره گرفته شده است. برای تحلیل قاب غیر منشوری، از روش ارائه شده در مرجع [۲۶] و جهت تحلیل پایداری سازه از روش ارائه شده در مرجع [۳۱] استفاده گردیده است. طراحی سازه نیز براساس روش تنش مجاز آیین نامه AISC صورت گرفته است.

صحت سنجی و ارزش یابی نتایج در سه مرحله انجام پذیرفته است. در مرحله ی نخست، جهت صحت سنجی نتایج تحلیل سازه که از ارکان اساسی در بهینه سازی قاب های غیر منشوری می باشد، نتایج تحلیل دستی یک قاب شیبدار در مرجع [۳۱] با خروجی های مدل مشابه در نرم افزار مقایسه گردید. بیشترین اختلاف مشاهده شده در حدود ۵.۵ درصد می باشد.

همچنین جهت بررسی بیشتر دقت نتایج تحلیل سازه، مقادیر نیروهای درونی و تغییر شکل های یک قاب غیر منشوری فولادی با اعمال نیروهای پیش تنیدگی 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 ۶ درصد در بین آنها است. مرحله ی دوم صحت سنجی و راستی آزمایی، به بررسی طراحی های انجام پذیرفته توسط نرم افزار و کنترل های انجام شده اختصاص یافته است. جهت صحت سنجی طراحی سازه طرح مثال قاب شیبدار غیر منشوری در

مرجع [۲۷] بررسی شده است. نتایج طراحی توسط برنامه ارائه شده با حداکثر اختلاف ۵.۵ درصدی منطبق بر مرجع می باشد. شایان ذکر است اختلاف مذکور نیز، به دلیل تفاوت اندک نیروها و لنگرهای طراحی و همچنین تفاوت عملکرد دو نمونه در یافتن ضریب طول موثر می باشد.

در مرحله ی سوم صحت سنجی، بهینه سازی نرم افزار بررسی شده است. جهت ارزش سنجی الگوریتم بهینه سازی حاضر، طرح بهینه ی یک تیر کنسول غیر منشوری تحت یک بار متمرکز در انتهای آزاد آن 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 نشان گر قدرت بالای الگوریتم در شناسایی بهینه مطلق است.

شایان ذکر است موارد فوق، تنها مواردی را شامل می گردد که در متن پایان نامه آمده است. در خصوص اطمینان از نتایج و راستی آزمایی، مثال های متعدد دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفته است که همگی حاکی از صحت نتایج نرم افزار بوده اند.

پس از اطمینان از درستی خروجی های نرم افزار در هر سه مرحله، با حل مثال های بی شمار مبادرت به بررسی تاثیر اعمال نیروی پیش تنیدگی در قاب های شیب دار غیر منشوری گردیده است. اطمینان از درستی انتخاب محل های اعمال پیش تنیدگی نیز با حل مثال های زیادی حاصل گردیده است. از مجموع تمامی مثال های حل شده سه نمونه در متن پایان نامه آمده است.

در دو نمونه، بهینه سازی قاب شیب دار غیر منشوری فولادی توسط نرم افزار، با نتایج الگوریتم SQP ارائه شده در مرجع [۱۲] مقایسه شده است. بررسی تاثیر پیش تنیدگی در نمونه های حل شده در سه مرحله انجام پذیرفته است. سه مرحله ی ذکر شده شامل اعمال نیروی پیش تنیدگی در تکیه گاه، اعمال نیروی پیش تنیدگی در بالای ستون (محل تلاقی با تیر) و نهایتاً تلفیق این دو حالت، یعنی اعمال پیش تنیدگی در هر دو نقطه می باشد. نتایج حاکی از کاهش حجم فولاد مصرفی و به تبع آن وزن کم تر سازه در هر سه حالت ذکر شده، نسبت به نتایج مرجع می باشد. تفاوت دو مثال حل شده در این است که در مثال دوم توپولوژی سازه نیز تغییر پیدا کرده است.

میزان کاهش هرکدام از مراحل نیز، تفاوت معناداری را نشان می‌دهد. در هر دو مثال، حالت پیش‌تنیدگی تلفیقی (اعمال نیروی پیش‌تنیدگی در هر دو نقطه)، نتایج بهتری را ارائه نمود. از بین پیش‌تنیدگی در پای ستون یا همان تکیه‌گاه و پیش‌تنیدگی در بالای ستون نتایج بهتر به پیش‌تنیدگی در بالای ستون باز می‌گردد. در مراحل مذکور، در کم‌ترین حالت ۵۵ درصد و در بهترین حالت ۱۰ درصد بهبود نتایج را شاهد هستیم.

در نمونه ای دیگر یک قاب با دهانه‌ی بزرگ‌تر در چهار حالت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. در حالت اول قاب بدون اعمال نیروی پیش‌تنیدگی توسط نرم‌افزار، بهینه گردید. در مراحل بعد سه حالت ذکر شده در بالا یعنی اعمال نیروی پیش‌تنیدگی در پای ستون، بالای ستون و نهایتاً حالت تلفیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله در این نمونه نیز مشابه نتایج دو نمونه‌ی قبل بود. بدین معنا که کم‌ترین وزن در حالت تلفیقی حاصل گردید. پیش‌تنیدگی در بالای ستون حالت بهینه‌ی بعدی بود. در بین دو حالت باقی‌مانده نیز حالت اعمال پیش‌تنیدگی در تکیه‌گاه دارای وزن کم‌تری نسبت به حالت بدون پیش‌تنیدگی بود.

برای اطمینان از حاکم بودن ترتیب ذکر شده از لحاظ بهینگی در همه‌ی موارد، مثال‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفت. بهینه بودن حالت تلفیقی نکته‌ای بود که تقریباً در همه‌ی مثال‌ها حاکم بود. از بین دو حالت دیگر نیز، در بیش از حدود ۷۵ درصد موارد اعمال نیروی پیش‌تنیدگی در بالای ستون، نتایج بهتری را نسبت به پیش‌تنیدگی در تکیه‌گاه حاصل نمود.

در این خصوص می‌توان این فرضیه را به ذهن متبادر نمود که برتری حالت پیش‌تنیدگی در بالای ستون نسبت به حالت پیش‌تنیدگی در تکیه‌گاه، به این دلیل است که این روش، سازه را به دو شکل (مثلث در بالا و مربع در پایین) تقسیم می‌کند و این عمل درجه‌ی نامعینی سازه را بیشتر و نهایتاً نتایج بهتری را حاصل می‌نماید.

نکته‌ی قابل توجه دیگر در این مثال و مثال‌های متعدد حل شده توسط نرم‌افزار، افزایش تاثیر نیروی پیش‌تنیدگی به تبع افزایش طول دهانه‌ی قاب می‌باشد. یعنی میزان کاهش وزن سازه، به واسطه‌ی اعمال نیروی پیش‌تنیدگی در دهانه‌های بزرگ‌تر، بیشتر می‌باشد. در این مثال کاهش وزن سازه در بهینه ترین حالت به

۱۲.۸ درصد نیز رسیده است. بر این اساس می توان عنوان کرد استفاده از روش پیش تنیدگی در سازه های با دهانه های بزرگ تر اقتصادی تر است.

با توجه به این که با داشتن میزان نیروی پیش تنیدگی، بدست آوردن مقطع کابل مورد نیاز برای اعمال نیروی پیش تنیدگی کار بسیار آسانی می باشد، لذا اقتصادی بودن یا نبودن روش پیش تنیدگی در هر سازه، با یک مقایسه ی ساده بین قیمت میزان فولاد کاهش یافته و تجهیزات پیش تنیدگی از قبیل کابل، بست و همچنین هزینه ی اجرای روش به راحتی قابل تشخیص خواهد بود.

از سویی دیگر با دقت در نمودار تغییرات وزنی قابها در طی نسل های متوالی و نرخ کاهش وزن (که در فصل ششم بدان پرداخته شده است) می توان به کارآمد بودن روش الگوریتم ژنتیک جزیره ای در یافتن پاسخ مطلوب پی برد.

۷-۲ پیشنهادات

- پیشنهاد می شود در گام بعدی، بهینه سازی قابهای شیبدار غیرمنشوری در حالت سه بعدی مورد تحقیق قرار گیرد. شایان ذکر است تحلیل سه بعدی سازه در سازه های با جرثقیل های ثقیفی به جهت تحمل بخشی از نیروهای 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.
- با توجه به پوشش برخی قاب های صنعتی با خرپا، اعمال پیش تنیدگی کمک بسیار شایانی در بهینه کردن ابعاد خرپاها خواهد نمود.
- افزودن قابلیت یافتن محل بهینه ی تغییر مقطع به نرم افزار می تواند گام مثبتی در بهینگی هرچه بیشتر نتایج محسوب گردد.

- به عنوان یک پروژه جانبی پیشنهاد می گردد اثرات ناشی از بارگذاری دینامیکی در قابهای شیبدار غیر منشوری جهت مدل سازی نیروهای ناشی از وجود جرثقیل های سقفی د ر آنها مورد بررسی قرار گیرد.
- در 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.
- جهت بررسی و بهبود نتایج پیشنهاد می گردد برای طراحی سازه از روش های دیگری همچون LRFD و یا طراحی پلاستیک سازه نیز استفاده شود.

مراجع

۱. ترویتسکی، ام اس.، (۱۳۷۹)، "نظریه و تحلیل پلهای پیش تنیده فولادی"، عربزاده، چاپ اول، دانشگاه تربیت

مدرس.

2. Ferjencik, P. and Tochacek, M., (1966), "*Prestressed Metal Structures*," Bratislava, SVTL.
3. Francis, A. J., (1980), "*Introducing Structures*," Pergamon Press, New York.
4. Masullo, A. and Nunziata, V., (2006) "*Prestressed steel structures: historical and technological analysis*," Studio Nunziata, Palma Campania, Napoli, Italy.
5. Park, S., Kim, T., Kim, K., and Hong, S., (2010) "*Flexural behavior of steel I-beam prestressed with externally unbounded tendons*," Department of Construction and Environment System Engineering, Sungkyunkwan University, Republic of Korea.
6. Hojat Adeli, Kamal C Sarma, (2006), "*Cost Optimization of Structures Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, and Parallel Computing*". John Wiley & Sons Ltd, England.
7. Khan MR, (1984), "Optimality Criterion Techniques to frames having general cross sectional relationships". AIAA J.22, pp.669-676.
8. 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.
9. Tan, T.K.H. 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.
10. 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.
11. saka m.p. (1997) "*Optimum design of steel frames with tapered members*". Computers & structures, Vol 63, No 4, PP 797-811

۱۲. حسین زاده. ر، ۱۳۸۰، پایان نامه کارشناسی ارشد، "طرح بهینه‌ی قاب‌های شیب‌دار فولادی"، دانشکده فنی

مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.

13. www.worldwidesteelbuildings.com, PO Box 588 Peculiar MO 64078, 800-825-316 Office, 816-779-6441 KC Line, 816-779-7361 Fax.

۱۴. نوریان. ا، ۱۳۸۸، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بهینه‌یابی ابعادی قاب‌های شیب‌دار غیر منشوری فولادی با

استفاده از الگوریتم ژنتیک"، دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود

۱۵. اصغری، ج.، (۱۳۸۶)، "روش‌های مختلف ترمیم و مقاوم سازی سازه‌ها"، سایت سازه ۸۰۸.

16. Björklund, A. and Höglind, J., (2005), "Strengthening of steel structures with bonded prestressed laminates," Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

17. Szilard, R., (1955), "Strengthening Steel Structures by Means of Prestressing," The Engineering Journal, pp 1379-1381.

18. Nunziata, V., (1999) "Prestressed steel structures," Studio Tecnico di Ingegneria Civile, Palma Campania (NA).

19. Johnson, P.P., and Buckby, R. J., (1979), "Composite Structures of Steel and Concrete," Granada, London, 2, pp 284-289.

۲۰. طالب پور. ح، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد، "بهینه‌یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌های خرابایی با

استفاده از الگوریتم ژنتیک"، دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود

۲۱. علیرضا م. (۱۳۸۶). "مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک و کاربردهای آن". چاپ دوم، شرکت ناقوس

اندیشه، تهران.

۲۲. کلات جاری و. ر. (۱۳۸۰)، رساله دکتری. "بهینه‌یابی خراباها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش

جبری نیروها". دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

23. 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.

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

25. AISC "manual of steel construction allowable stress design" American institute of steel construction, Inc, Chicago, 2010, 1th edition.

۲۶. رضایی پژند م، (۱۳۸۷). "نگره ماتریسی تحلیل سازه‌ها". چاپ دوم، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲۷. ازهری م، میرقادری س ر، (۱۳۸۷). "طراحی سازه های فولادی". جلد دوم، چاپ سوم، انتشارات ارکان دانش اصفهان

28. Karabalis DL, Beskos DE. 1983 "Static, dynamic and stability analysis of structures composed of tapered beams". *Computers and Structures* 16:731–48.

29. 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

30. Lee , GC , morel, ML. and ketter R.L, 1972 "design of tapered members", *WRC(welding research council)*, bulletin No 173.

31. Nikitas Bazeos, Dimitris L. Karabalis, 2006 "Efficient computation of buckling loads for plane steel frames with tapered members", *Engineering Structures* 28:771–775.

32. Gallagher RH, Lee CH. 1970 Matrix dynamic and instability analysis with non – uniform elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 2:265–75.

۳۳. صفوی. ع ا، ۱۳۸۵، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ضریب طول موثر ستون‌های مقطع متغیر در قاب‌های شیب‌دار"، دانشگاه تربیت مدرس

۳۴. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۶). "مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان" چاپ دوم، نشر توسعه ایران.

۳۵. ج ام گر (۱۳۶۶). "توزیع لنگر"، اخوان لیل آبادی م ر، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۳۶. میرقادری س ر، مترجم، "آیین نامه سازه های فولادی AISC" جهاد دانشگاهی واحد اصفهان، ۱۳۷۷

۳۷. طاحونی ش، (۱۳۷۷). "طراحی سازه های فولادی بر مبنای آیین نامه فولاد ایران"، چاپ نهم، نشر علم و ادب تهران

Abstract

This research offers innovative approach in order to optimize the weight of the tapered frame by using prestressing force. The places of applied prestressing force has been determined in the bottom and top of column. The prestressed cables is one of the practical methods of applying force.

Steel tapered frame has been optimized using Genetics algorithm on the basis of AISC code. In this regard analysis, design and optimization process performed by a code written in visual basic software.

Each member of frame has 5 optimized design parameters including height of web at the ends of member, Thickness of web, Thickness of flange and width of flange. In addition to latter, optimal prestressing force in top and bottom of column is provided by the code.

The results of the code in each step including analysis, design and optimization have been verified by comparison with analytical solution and SAP2000 software results.

The obtained results indicate the effect of applying prestressing force in tapered frames. The effectiveness of this method is dependent on the location of applied force and the span of the frame.