دانشکده فنی مهندسی
گروه عمران

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران (گرایش سازه)

بهینه‌سازی قاب‌های بتن‌آرمه بر مبنای هزینه

استاد راهنما: دکتر بهروز احمدی ندوشن

استاد مشاور: دکتر نادر عبدلی

پژوهش و نگارش: سید ایمان هاتف

مهرماه ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر گرامی

و

مادر مهربانم

قدردانی

ضمن سپاس از خداوند متعال به جهت توفیق انجام این تحقیق مختصر، بر خود وظیفه می دانم از زحمات بی دریغ استادار جمند جناب آقای دکتر بهروز احمدی که در تمام مراحل این تحقیق مرا یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر نادر عبدلی که مشاوره اینجانب را به عهده داشتند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

چکیده

در روش معمول طراحی سازه‌ها، طراح پس از انتخاب مصالح و مشخصات هندسی سازه، بر اساس تجربه قبلی ابعاد اولیه مقاطع را انتخاب نموده و در صورت ارضای محدودیت‌های هندسی، اجرایی و رفتاری سازه از نظر آیین‌نامه طرح مذکور را به عنوان طرح نهایی معرفی می‌نماید. این طرح لزوماً بهترین و اقتصادی‌ترین نمی‌باشد. در رویکرد دیگری که طراحی بهینه نامیده می‌شود می‌توان با در نظر گرفتن هزینه طرح، رعایت محدودیت‌ها و ملاحظه واقعیت‌های اجرایی به کاهش هزینه‌ها کمک نمود. به این منظور با در نظر گرفتن راه حل‌های ممکن و تشکیل تابع هدف، طرح بهینه به کمک یک الگوریتم مناسب در میان طرح‌های ممکن، جستجو و مشخص می‌گردد.

در این پروژه پس از بررسی منابعی که تاکنون در زمینه بهینه‌سازی اعضا و قاب‌های بتن مسلح به تحقیق پرداخته‌اند، با معرفی دو روش جستجوی مستقیم و همچنین الگوریتم گروه ذرات به جستجوی طرح بهینه تعدادی از قاب‌های دوبعدی بتن مسلح پرداخته شده است. همچنین به منظور ارتقای عملکرد الگوریتم گروه ذرات، از ترکیب این روش با الگوریتم تبرید تدریجی استفاده شده است. متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه به صورت گسسته انتخاب گردیده و جزئیات کامل طراحی اعم از تطابق ابعاد و آرماتورهای واقع در یک امتداد، طراحی برشی، ضوابط لاغری ستون‌ها، ضوابط شکل‌پذیری معمولی و متوسط و قیود آئین نامه ای و اجرایی نیز در طرح سازه مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه، مدل‌سازی و انجام محاسبات طراحی سازه بر اساس جدیدترین ویرایش موجود از آیین نامه بتن آمریکا (ACI 318M-08) صورت گرفته است.

با توجه نتایج به دست آمده در اثر رعایت ضوابط قاب خمشی معمولی و متوسط و تعبیه آرماتور فشاری در تیرها نسبت آرماتور کششی مورد نیاز تا مقدار ۰/۷ درصد کاهش یافته است. همچنین نسبت عمق به عرض بهینه مقاطع تیرها با در نظر گرفتن جزئیات طراحی به مقادیر بین ۲ الی ۲/۷ محدود شده است.

کلمات کلیدی: بهینه سازی، قاب بتن مسلح، هزینه، روش جستجوی مستقیم، الگوریتم گروه ذرات.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-تاریخچه بهینه سازی سازه های بتن مسلّح ۳

۱-۳-مسئله بهینه سازی ۴

۱-۳-۱- متغیرهای طراحی ۴

۱-۳-۲- قیود ۵

۱-۳-۳- تابع هدف ۵

۱-۴- انواع روش‌های بهینه سازی سازه‌ها ۶

۱-۵- ساختار کلی پایان‌نامه ۱۰

۲- تحلیل و طراحی قاب‌های بتن مسلح ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- مقاومت‌های خمشی و فشاری اعضاء بتن مسلّح بر اساس آیین‌نامه ACI ۱۲

۲-۲-۱-ظرفیت خمشی ۱۴

۲-۲-۲-آرماتور کششی حداکثر ۱۶

۲-۲-۳-حداقل آرماتور کششی ۱۶

۲-۲-۴-حداقل فاصله آزاد بین آرماتورها ۱۶

۲-۲-۵-حداکثر فاصله آرماتورها ۱۷

۲-۳-مقاومت برشی اعضای بتن‌آرمه ۱۷

۲-۴-کنترل لاغری و اثرات آن در اعضای فشاری ۱۸

۲-۵-طول مهاری آرماتورها ۲۰

۲-۶-شکل پذیری ۲۲
۲-۶-۱-قاب‌های خمشی معمولی ۲۲
۲-۶-۲-قاب‌های خمشی متوسط ۲۳
۲-۷-در نظر گرفتن اثر $P.\Delta$ ۲۴
۲-۸-پیشینه مطالعات انجام شده ۲۵
۳-ترکیب روش جستجوی مستقیم و رگرسیون ۳۷
۳-۱-مقدمه ۳۸
۳-۲-تشکیل مجموعه مقاطع ۳۸
۳-۳-تعریف حل پیوسته ۴۱
۳-۴-در نظر گرفتن سختی اصلاح شده ۴۴
۳-۵-تعریف حل گسسته ۴۷
۳-۶-در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به قاب ۴۸
۳-۷-روند بهینه‌سازی قاب ۴۹
۳-۸-مثال‌های عددی ۵۰
۳-۸-۱-قاب سه دهانه سه طبقه ۵۰
۳-۸-۲-قاب دو دهانه شش طبقه ۵۳
۳-۸-۳-قاب دو دهانه شش طبقه با دهانه‌های نامتقارن ۵۷
۳-۹-بررسی تأثیر قیود معماری ۶۰
۳-۹-۱-تعیین ارتفاع حداکثر برای تیرها ۶۱
۳-۹-۲-اعمال محدودیت نسبت عمق به عرض حداکثر برای تیرها ۶۳
۴-الگوریتم گروه ذرات ۶۶

۴-۱-مقدمه ۶۷
۴-۲-الگوریتم گروه ذرات ۶۷
۴-۳-همگرایی الگوریتم PSO ۷۱
۴-۴-معیار توقف در الگوریتم‌های بهینه‌سازی ۷۲
۴-۵-مقایسه الگوریتم گروه ذرات با سایر الگوریتم‌های جستجو ۷۳
۴-۶-استفاده از شکل‌های دیگر روش PSO ۷۳
۴-۷-تعریف همسایگی جهت بهبود همگرایی PSO ۷۴
۴-۸-در نظر گرفتن قیود در بهینه سازی سازه‌ها ۷۷
۴-۸-۱-قوانین مقایسه ای مطلوبیت ریشه گرفته از بهینه سازی چندهدفه ۷۸
۴-۸-۲-روش‌های جریمه ۷۸
۴-۹-انتخاب پارامترهای الگوریتم گروه ذرات ۸۲
۴-۱۰-کنترل بردارهای طراحی تخلف کرده جهت کنترل همگرایی ۸۴
۴-۱۱-استفاده از سایر روش‌های بهینه سازی تصادفی جهت ارتقای الگوریتم گروه ذرات ۸۵
۴-۱۱-۱-الگوریتم تبرید تدریجی ۸۶
۴-۱۱-۲-ساختار کلی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ۸۶
۴-۱۱-۳-ترکیب الگوریتم تبرید تدریجی و گروه ذرات ۸۸
۵-بهینه‌سازی قاب‌های بتن مسلح با استفاده از الگوریتم گروه ذرات ۹۰
۵-۱-مقدمه ۹۱
۵-۲-تعریف مسئله ۹۱
۵-۳-روند حل مسئله ۹۴
۵-۳-۱-کنترل تیرها ۹۵

۵-۳-۲-کنترل ستون‌ها ۹۵
۵-۳-۳-کنترل ضوابط قاب ۹۶
۵-۴-قیود طراحی ۹۷
۵-۴-۱-قیود مربوط به آرماتورهای طولی و خمش ۹۷
۵-۴-۲-کرنش حداقل آرماتور کششی ۹۸
۵-۴-۳-فاصله آرماتورها ۹۸
۵-۴-۴-قیود مربوط به برش ۹۹
۵-۴-۵-قیود مربوط به شکل پذیری ۹۹
۵-۴-۶-قیود اجرایی ۱۰۰
۵-۴-۷-قیود مربوط به قاب ۱۰۰
۵-۵-سایر جزئیات طراحی ۱۰۱
۵-۶-مثال‌های عددی ۱۰۲
۵-۶-۱-بررسی عملکرد الگوریتم ۱۰۲
۵-۶-۲-قاب سه دهانه سه طبقه ۱۰۶
۵-۶-۳-قاب دو دهانه شش طبقه ۱۱۰
۵-۶-۴-قاب دو دهانه شش طبقه با دهانه‌های نامتقارن ۱۱۵
۵-۶-۵-بررسی تأثیر در نظر گرفتن قیود قاب خمشی متوسط ۱۱۸
۶-جمع‌بندی و نتیجه گیری ۱۲۱
۶-۱-مقدمه ۱۲۲
۶-۲-جمع‌بندی و نتیجه گیری ۱۲۳
۶-۳-پیشنهادات ۱۲۶
فهرست منابع و مراجع ۱۲۷

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- شکل کلی منحنی اندرکنش تقریبی ۲۷

شکل ۲-۲- رگرسیون پارامترهای تشکیل منحنی اندرکنش ۲۸

شکل ۲-۳- رگرسیون پارامترهای ناحیه I ۲۹

شکل ۲-۴- رگرسیون پارامترهای ناحیه II ۲۹

شکل ۲-۵- رگرسیون پارامترهای ناحیه III ۲۹

شکل ۲-۶- رگرسیون رابطه ممان مقاوم تیر نسبت به N ۳۰

شکل ۲-۷- تقریب منحنی اندرکنش ستون در مطالعه کمپ و همکاران ۳۱

شکل ۲-۸- مقطع فرض شده در مطالعه کوئلو کوئلو و همکاران ۳۲

شکل ۲-۱۰- الگوی مقطع در مطالعه گویندراج و راماسامی ۳۴

شکل ۲-۱۱- حرکت الگو در طول عضو ۳۵

۳-۱- الگوی کلی مقطع تیر و ستون در تشکیل مجموعه مقاطع ۳۹

شکل ۳-۲- منحنی اندرکنش خمش و نیروی محوری معادل ۴۱

شکل ۳-۳- رابطه بین e_{min} و e_b با N ۴۲

شکل ۳-۴- رگرسیون پارامتر ناحیه I ۴۳

شکل ۳-۵- رگرسیون پارامترهای نواحی II و III ۴۳

شکل ۳-۶- رگرسیون سختی محوری و خمشی تیرها و ستون‌ها ۴۶

شکل ۳-۷- فلوچارت مراحل پیوسته و گسسته الگوریتم ۴۸

شکل ۳-۸- فلوچارت طراحی جستجوی مستقیم قاب ۵۰

شکل ۳-۹- سازه سه طبقه با دو تیپ بندی مختلف ۵۱

شکل ۳-۱۰- سازه ۶ طبقه با دو نوع تیپ‌بندی مختلف ۵۴

شکل ۳-۱۱- قاب دو دهانه شش طبقه با دهانه‌های نامتقارن ۵۷

۴-۱- تعیین موقعیت و سرعت جدید ذره i ۶۹
شکل ۴-۲- الگوریتم گروه ذرات ساده ۷۰
شکل ۴-۳- همسایگی جغرافیایی ۷۵
شکل ۴-۴- نحوه ارتباط در همسایگی به شیوه شبکه های اجتماعی ۷۶
شکل ۴-۵- ذره در موقعیت امکان‌ناپذیر و ذره در موقعیت امکان‌پذیر ۸۵
شکل ۴-۶- الگوریتم تبرید تدریجی ۸۷
شکل ۵-۱- الگوی کلی مقطع تیر و ستون ۹۲
شکل ۵-۲- جانمایی نقاط متناظر با بار نهایی و مقاومت مقطع در منحنی اندرکنش ستون ۹۶
شکل ۵-۳- قاب یک ساختمان اداری ۱۰۳
شکل ۵-۴- منحنی همگرایی الگوریتم ترکیبی گروه ذرات و تبرید تدریجی ۱۰۶
شکل ۵-۵- منحنی همگرایی الگوریتم گروه ذرات بدون استفاده از الگوریتم تبرید تدریجی ۱۰۶
شکل ۵-۶- قاب سه دهانه سه طبقه با دو تیپ بندی مختلف ۱۰۷
شکل ۵-۷- سازه ۶ طبقه با دو نوع تیپ‌بندی مختلف ۱۱۱
شکل ۵-۸- قاب دو دهانه شش طبقه با دهانه‌های نامتقارن ۱۱۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱- روابط منحنی‌های مرزی در منحنی اندرکنش معادل ۲۸

جدول ۳-۱- روابط رگرسیون سختی اعضا ۴۶

جدول ۳-۲- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۹ ب ۵۱

جدول ۳-۳- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۹ ب ۵۲

جدول ۳-۴- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی ۵۳

جدول ۳-۵- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۰ الف ۵۵

جدول ۳-۶- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ الف ۵۵

جدول ۳-۷- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل۳- ۱۰ ب ۵۵

جدول ۳-۸- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ ب ۵۶

جدول ۳-۹- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی ۵۷

جدول ۳-۱۰- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۱ الف ۵۸

جدول ۳-۱۱- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۱ الف ۵۸

جدول ۳-۱۲- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۱ ب ۵۹

جدول ۳-۱۳- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل۳- ۱۱ ب ۵۹

جدول ۳-۱۴- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی ۶۰

جدول ۳-۱۵- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با ارتفاع حداکثر تیرها ۶۵۰ میلی‌متر ۶۱

جدول ۳-۱۶- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با ارتفاع حداکثر تیرها ۶۵۰ میلی‌متر ۶۱

جدول ۳-۱۷- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با ارتفاع حداکثر تیرها ۶۰۰ میلی‌متر ۶۱

جدول ۳-۱۸- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با ارتفاع حداکثر تیرها ۶۰۰ میلی‌متر..... ۶۲
جدول ۳-۱۹- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با ارتفاع حداکثر تیرها ۵۵۰ میلی‌متر..... ۶۲
جدول ۳-۲۰- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با ارتفاع حداکثر تیرها ۵۵۰ میلی‌متر..... ۶۲
جدول ۳-۲۱- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با نسبت حداکثر عمق به عرض ۲/۵..... ۶۳
جدول ۳-۲۲- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با نسبت حداکثر عمق به عرض ۲/۵..... ۶۳
جدول ۳-۲۳- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل۳- ۱۰ الف با نسبت حداکثر عمق به عرض ۲ ..... ۶۴
جدول ۳-۲۴- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۳-۱۰ الف با نسبت حداکثر عمق به عرض ۲..... ۶۴
جدول ۳-۲۵- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی..... ۶۵
جدول ۵-۱- قیمت‌های مورد استفاده بر اساس فهرست بهای واحد رشته ابنیه سال ۱۳۸۸ ..... ۹۴
جدول ۵-۲- بارگذاری زلزله..... ۱۰۴
جدول ۵-۳- مقاطع بهینه تیپ تیرها با استفاده از جستجوی مستقیم..... ۱۰۴
جدول ۵-۴- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها با استفاده از جستجوی مستقیم..... ۱۰۴
جدول ۵-۵- مقاطع بهینه تیپ تیرها با استفاده از PSO..... ۱۰۴
جدول ۵-۶- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها با استفاده از PSO..... ۱۰۵
جدول ۵-۷- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی ۱۰۵
جدول ۵-۸- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۵-۶- ب..... ۱۰۸

جدول ۵-۹- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۵-۶- ب..... ۱۰۸
جدول ۵-۱۰- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی..... ۱۱۰
جدول ۵-۱۱- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۵-۷-الف..... ۱۱۲
جدول ۵-۱۲- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۵-۷- الف..... ۱۱۲
جدول ۵-۱۳- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۵-۷- ب..... ۱۱۳
جدول ۵-۱۴- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۵-۷- ب..... ۱۱۳
جدول ۵-۱۵- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی..... ۱۱۴
جدول ۵-۱۶- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۵-۸ الف..... ۱۱۶
جدول ۵-۱۷- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۵-۸ الف..... ۱۱۶
جدول ۵-۱۸- مقاطع بهینه تیپ تیرها در قاب شکل ۵-۸ ب..... ۱۱۷
جدول ۵-۱۹- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در قاب شکل ۵-۸ ب..... ۱۱۷
جدول ۵-۲۰- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت تیپ‌بندی..... ۱۱۸
جدول ۵-۲۱- مقاطع بهینه تیپ تیرها در حالت قاب خمشی معمولی..... ۱۱۹
جدول ۵-۲۲- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در حالت قاب خمشی معمولی..... ۱۱۹
جدول ۵-۲۳- مقاطع بهینه تیپ تیرها در حالت قاب خمشی متوسط..... ۱۱۹
جدول ۵-۲۴- مقاطع بهینه تیپ ستون‌ها در حالت قاب خمشی متوسط..... ۱۲۰
جدول ۵-۲۵- تفکیک هزینه بتن، فولاد و قالب بندی در هر حالت طراحی قاب خمشی..... ۱۲۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در بینش مهندسی برپایی هر سازه دامنه وسیعی را از تعیین ویژگی‌های عملکرد سازه قبل از طرّاحی، تا تأمین این عملکرد بعد از اجرا شامل می‌شود و هر اقدامی برای کاهش هزینه طرّاحی، تولید اجزاء، اجرا و کنترل کیفیت اجرا، کاهش وزن سازه، افزایش عمر یا کارایی سازه ، کاهش احتمال خطرپذیری و کاهش هزینه نگهداری آن گامی در جهت بهینه سازی سازه است.

چون به عدد و رقم درآوردن تمام این عوامل مشکل و گاهی ناممکن است، در عمل دامنه استفاده از رویّه‌های بهینه‌سازی اغلب محدودتر است. در سازه های همگن مانند ساختمان‌های فلزی سبک‌ترین طرح به عنوان اقتصادی‌ترین طرح فرض می‌شود. امّا به علّت ساخت ساختمان‌های بتن مسلّح از مصالح مختلف، کمینه ساختن قیمت تمام شده، هدف واقع‌بینانه تری در بهینه سازی این گونه سازه‌ها است[۱].

روند طراحی سازه را می‌توان به چهار مرحله تقسیم نمود:

الف) تنظیم ویژگی‌های عملکرد: این قسمت اولین مرحله هر روند طرّاحی است. گاهی بخشی از این ویژگی‌ها کاملاً مشخص نیست و این نگرش طرّاح است که بخش‌هایی از کاربری و عملکرد یک سیستم را در قالب روابط ارائه می‌دهد. مثلاً پیش بینی فضای مورد نیاز یک ساختمان صنعتی یا فرض تعداد گذرگاه‌های یک پل از این جمله است و این بخش قبل از آنکه مهندس به روند طرّاحی وارد شود مدّ نظر قرار می‌گیرد.

ب) مرحله طرّاحی کلی: اصلی‌ترین بخش یک روند طرّاحی شاخصه‌هایی چون مهارت، خلّاقیت و قضاوت مهندسی یک طرّاح است. در این مرحله طرح کلی سیستم برای ایفای کاربری مورد نیاز تنظیم می‌گردد. از گزینه‌هایی که طراح در این مرحله می‌آزماید، می‌توان به انتخاب شکل کلّی، نوع سازه و مصالح آن اشاره کرد. غالباً این مرحله از طرّاحی را نمی‌توان با رایانه انجام داد ولی می‌توان از این ابزار در قالب

تحقیق سازمان یافته‌ای برای پیدا کردن شایسته‌ترین انتخاب از مجموعه انتخاب‌های رقیب استفاده کرد.

پ) طرّاحی بهینه: در میان مجموعه طرح‌ها ممکن است چندین طرح ویژگی‌های کاربری مورد نیاز را داشته باشد. به طور مثال ستون‌های بتن مسلّح با ابعاد متفاوت و درصدهای مختلف و توزیع‌های متنوع آرماتورها وجود دارد که با وجود ارضای تمام نیازها، مشخصات متفاوتی از لحاظ معیارهایی نظیر وزن و هزینه سازه را در بر دارند. در این مرحله استفاده از رایانه برای یافتن طرح بهینه مورد نیاز است.

ت) تعیین جزئیات طرح: بعد از اتمام مرحله بهینه سازی طرح به دست آمده از نظر جزئیات طراحی کنترل شده و در صورت نیاز تصحیح می‌شود، در مرحله نهایی نیاز به قضاوت و تجربه مهندسی و شرکت وی در روند تصمیم گیری است که افزودن این امر به روند رایانه ای، امکان‌پذیر بوده ولی طرح بهینه را محدودتر می‌سازد.

۱-۲- تاریخچه بهینه سازی سازه های بتن مسلّح

ابداع و گستردگی سازه های بتن مسلّح خود مبتنی بر یک ایده بهینه بوده و شاید در کنار این ترکیب از فولاد و بتن، مصالح مشابهی را بتوان یافت که برای کاربری‌های متنوع ترکیبی بهتر از قیمت کم، باربری بالا و مقاومت در برابر آتش و دوام در برابر خوردگی و فرسایش را دارا باشد. استفاده عملی از سازه های بتن مسلّح به حدود ۱۴۰ سال پیش و ایده های اصلی در بهینه سازی سازه‌ها به زمان گالیله در ۳۵۰ سال پیش برمی گردد. ولی روش‌های طرح بهینه به شکل مدرن آن را ماکسول[1] در سال ۱۸۶۹ ارائه داد [۲]. با پیشرفت رایانه‌ها بود که بهینه‌سازی در عرصه های مختلف از جمله طرّاحی سازه ریشه دواند. بنابراین بهینه سازی سازه های بتن مسلّح فقط چهار دهه قدمت دارد و نسبتاً جدید می‌باشد.

1 - Maxwell

۱-۳- مسئله بهینه سازی

یک مسئله بهینه سازی که شامل تابع هدف، متغیرهای طراحی و محدودیت‌های طراحی می‌باشد را می‌توان به شکل مجموعه ای از معادلات و یا نامعادلات بیان کرد. هدف در این‌گونه مسئله‌ها یافتن بردار متغیر طراحی $\{\vec{x}\}$ است به گونه ای که شرایط زیر برقرار باشد :

$$\text{Minimize: } f(\{\vec{x}\}) \quad (۱-۱)$$

$$H_i(\{\vec{x}\}) = 0, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (۱-۲)$$

$$G_j(\{\vec{x}\}) \leq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (۱-۳)$$

$$\{\vec{x_l}\} \leq \{\vec{x}\} \leq \{\vec{x_u}\} \quad (۱-۴)$$

در روابط فوق، $f(\{\vec{x}\})$ تابع هدف مسئله ، $g(\{\vec{x}\})$ و $h(\{\vec{x}\})$ به ترتیب بیانگر محدودیت‌های نامساوی و مساوی مسئله می‌باشند [۳].

به طور کلی مسئله های بهینه سازی را می‌توان به دو گروه مقید و نامقید تقسیم نمود. در بهینه سازی سازه‌ها به دلیل وجود متغیرهای متعددی برای محدود نمودن تنش‌ها، تغیر شکل‌ها ، در نظر گرفتن محدودیت‌های ابعاد اجرایی و غیره، غالباً با مسائل مقید سر و کار داریم. برای تبدیل مسئله مقید به یک مسئله بدون قید روش‌های مختلفی وجود دارد که یک روش رایج آن استفاده از تابع جریمه است که در تابع هدف اعمال می‌شود. عملکرد این تابع به این صورت است که متناسب با میزان یا درجه نقض هر قید تابع هدف را به گونه‌ای افزایش می‌دهد که عملاً برازندگی طرح متناظر با آن به هیچ وجه از مقدار بهینه کلی بهتر نخواهد بود.

۱-۳-۱- متغیرهای طراحی

هر سیستم متشکل از پاره ای پارامترها است که برخی از آن‌ها مقادیر ثابتی هستند و برخی دیگر متغیر. پارامترهای متغیر مثل ابعاد مقطع یک عضو بتنی را که در حین طراحی می‌توانند تغییر نمایند متغیرهای طراحی گویند.

متغیرهـای طراحـی را مـی‌تـوان بـه دو دسـته متغیرهـای پیوسـته و متغیرهـای گسسـته تقسـیم نمـود. متغیرهـای طراحـی پیوسـته، بـه طـور پیوسـته تغییـر مـی‌کننـد. بـرای مثـال، ارتفـاع و عـرض یـک تیـر بتنـی تـا زمـانی کـه هـر مقـدار عـددی بـه خـود بگیرنـد (در حالـت عـادی) بـه عنـوان متغیرهـای طراحـی پیوسـته در نظـر گرفتـه مـی‌شـوند. متغیرهـای طراحـی گسسته در مقـدارهای گسسـته یـا از قبـل تعیـین شـده ای موجـود هسـتند. بـرای مثـال، بـرای اینکه طرح یک تیر بتنی اجرایـی باشـد لازم اسـت کـه ابعـاد آن ضـریبی از ۵۰ میلـی‌متـر طـرح گردد.

۱-۳-۲- قیود

هر بردار متغیرهای طراحی، معرف طرحی از سازه است. اگر یک طرح در کلیه نقاط فضای قابل قبول طراحی صدق کند، طرح را عملی گویند. به مجموعه ضابطه‌هایی که باید به منظور تهیه یک طرح مورد قبول برآورده شوند، محدودیت‌ها یا قیدهای طراحی می‌گویند. هر محدودیت به صورت تابعی از یک یا چند متغیر طراحی بیان می‌شود. بعضی از محدودیت‌ها، مقادیر حداکثر و حداقل متغیرهای طراحی را مشخص می‌کنند و بعضی دیگر به صورت رابطه خطی یا غیرخطی، تابعی از یک یا چند متغیر طراحی می‌باشند. به طور کلی محدودیت‌ها به دو دسته محدودیت‌های مساوی[1] و محدودیت‌های نامساوی[2] تقسیم می‌شوند[۳]. قیدهایی که محدودیتی را در رفتار و کار سیستم ارائه می‌کنند، محدودیت‌های رفتاری و قیدهایی که محدودیت‌های فیزیکی را برای متغیرهای طراحی ارائه می‌کنند، محدودیت‌های هندسی یا جانبی می‌نامند.

۱-۳-۳- تابع هدف

روش‌هـای معمـول طراحـی تنهـا طـرح قابـل قبـولی را کـه ممکـن اسـت بهینـه نباشـد ارائه می‌دهند. اما در بهینه سازی فقط قابـل قبـول بـودن یـک طـرح کـافی نیسـت بلکـه هـدف،

1- Equality Constraints
2 - Inequality Constraints

یافتن بهترین طرح بر اساس معیاری مناسب از بین کلیه طرح‌های قابل قبول موجود می‌باشد. معیار سنجش طرح‌های قابل قبول و انتخاب بهترین آن‌ها و یا به عبارت دیگر معیاری که طرح، نسبت به آن بهینه می‌شود به صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان گردیده و به عنوان تابع معیار و یا تابع هدف معرفی می‌گردد. انتخاب تابع هدف به طبیعت مسئله بستگی دارد.

۱-۴- انواع روش‌های بهینه سازی سازه‌ها

در طراحی سازه‌ها به روش معمول ابتدا سازه بر اساس نیروهای وارده بر آن تحلیل شده و نیروها در اجزای مختلف تشکیل دهنده سازه تعیین می‌گردد. در مرحله بعدی، با توجه به نیروهای موجود در عضوها، مقاطع مناسب برای اجزای مختلف سازه انتخاب می‌شوند. در نهایت، سازه از نظر وزن، هزینه و یا هر معیار دیگری ارزش مشخصی خواهد داشت که در اکثر موارد بهینه نیست، بدین معنی که با توجه به نیروهای موجود در اعضاء، مقاطع با قید حداقل شدن وزن سازه یا هزینه آن تعیین نشده‌اند. در یک مسئله بهینه سازی سازه‌ها، تابع وزن یا هزینه می‌تواند به عنوان تابع هدف معرفی شود که تحت تأثیر قیودی مانند محدوده ای از تنش‌ها و یا تغییر مکان‌ها در نقاط مختلف سازه، خواهد بود[۴].

در یک تقسیم بندی می‌توان مسائل مربوط به بهینه سازی سازه‌ها را در محدوده مسائل برنامه ریزی ریاضی در نظر گرفت. روش‌های برنامه ریزی ریاضی به گروه های مختلفی از جمله، روش‌های مبتنی بر گرادیان و روش‌های جستجوی مستقیم تقسیم بندی می‌شوند. در روش‌های مبتنی بر گرادیان مشتق‌های تابع هدف و محدودیت‌ها را به همراه مقادیر این توابع برای یافتن طرح بهینه بکار می‌گیرند. البته وجود بهینه های محلی مانع از دستیابی روش‌های گرادیانی به بهینه فراگیر می‌گردند. در این موارد از گروه دیگر روش‌های برنامه ریزی ریاضی استفاده می‌شود. این روش‌ها بر پایه گرادیان