۱۳۷۸ /۱۱/ ۹

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
دبیرخانه مدارک

وزارت فرهنگ و آموزش عالی

دانشگاه علوم و فنون مازندران

پایان نامه

مقطع کارشناسی ارشد

رشته: مهندسی عمران - سازه

عنوان: طراحی بهینهٔ سازه های فضاکار

استاد راهنما و مشاور: دکتر عیسی سلاجقه

نگارش: مهدی مریدی

۱۴۹۸۴

تابستان ۱۳۷۸

۲۷۵/۴

به یاد آن زمانی که مرزخانه ما به قد همت وپهنای روح آرش بود
به یاد آن زمانی که رد پای شفق نشان عابری از کوچه سیاوش بود
به یاد آن زمانی که زیر سایه مهر حریم آینه ها بی غبار وبی خش بود

تقدیم به پدر ، مادر ، همسر ،روح مادر بزرگ
و تاریخ پرشکوه موتنم.

۲۷۵۱۴

سپاسنامه

خوشبختی ازآن اوست که به دیگران خوشبختی بخشد.

برایم جای بسی خوشبختی است که این کار تحقیقاتی به یاری یزدان پاک ومشاورهٔ بسیار ارزشمند استاد گرانقدرآقای پروفسور عیسی سلاجقه به نتیجه رسیده و ما حاصل آن در این مجموعه گردآوری شده است.

جا دارد در همین فرصت به عنوان یک شهروند کرمانی از زحمات شبانه روزی وبی دریغ ایشان در راه ارتقاء سطح علمی دانشگاه کرمان که مایه افتخار ومباهات همهٔ همشهریان است کمال تشکر وقدردانی را به عمل آورم.

همچنین از کلیهٔ مسئولین واساتید محترم دانشگاه علوم وفنون مازندران که با فراهم آوردن امکانات لازم راه را برای ادامهٔ تحصیلم در مقطع کار شناسی ارشد هموار کردند،سپاسگزاری می نمایم.

لازم است از بخش مرجع کتابخانه دانشکده فنی کرمان ودوست ارجمندم آقای مهندس شکیبی نیز جهت همکاری دائم ومؤثر شان تشکر لازم را به عمل آورم.

ودر پایان چنانچه موفقیتی حاصل شده باشد سهم خود را ناچیز دانسته وهمگی آن را مدیون موهای سفید پدری مسئول ، چروکهای دست مادری دلسوز وهمراهی های همسری مهربان بوده و با تمام وجودبه همهٔ احساس پاکشان درود می فرستم.

چکیده

امروزه استفاده از سازه های فضاکار برای دهانه های بزرگ به صورت یک ضرورت در آمده است .گرچه کارخانه های سوله سازی نیز به این منظور سازه های را جهت پوشاندن ساختمانهای صنعتی ارائه داده است، لیکن برای دهانه های بیش از ۶۰ متر تنها استفاده از سازه های فضا کار عملی می باشد.با توجه به هزینه روزافزون مصالح ، لازم است جدیدترین تکنولوژیها در اختیار گرفته شود تا طراحیهابا رعایت کامل ضوابط آئین نامه های با رگذاری وساختمانی کاملا اقتصادی صورت بگیرد.

در این رابطه تئوری های بهینه سازی می تواند به راحتی مورد استفاده قرار گیردوفرایند طراحی نیز همچون تحلیل سازه کاملا کامپیوتری شود.استفاده از این تکنولوژی این مزیت را نیز دارد که علاوه بر رعایت کلیه محدودیتهای آئین نامه ای سبک ترین یا ارزان ترین طرح را می توان بدست آورد.

این پایان نامه ،نتیجه یک کار تحقیقاتی است که طی آن یک برنامه کامپیوتری به زبان فرترن جهت طراحی بهینه انواع خرپاها وشبکه های دو لایه فضا کار تهیه شده وبه این منظور وزن ویا حجم سازه بعنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است که باید کمینه(حداقل) گردد.

محدودیتهای اصلی حاکم بر مسئله بهینه سازی مذکور در این پایان نامه شامل کنترلهای مربوط به تنشها ، لاغری وتغییر شکل سازه مطابق با ضوابط آئین نامه AISC می باشد.

از آنجایی که شکل یک سازه از عوامل مؤثر در کاهش ویا افزایش وزن آن می باشد.در این پایان نامه علاوه بر بهینه سازی سطح مقطع اعضا به بهینه یابی شکل سازه نیز توجه شده است. به نحوی که مختصات گره ها ویا ارتفاع شبکه دو لایه نیز در کنار ابعاد مقطع عرضی اعضاء به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده اند.

همچنین کاهش تعداد تحلیلهای لازم جهت کمینه کردن وزن ، یکی از اهداف اصلی این پایان نامه می باشد.برای رسیدن به این هدف از اصول تقریب سازی برای محاسبه نیروها ، تغییر مکانها ودر نتیجه توابع محدودیت (قیدها) استفاده شده است.

باجایگذاری توابع تقریبی استفاده مکرر از تحلیل سازه،لازم نمی باشد ودر نتیجه زمان بسیار کمتری برای بهینه سازی مصرف می شود.در برنامه نوشته شده جهت بالابردن کیفیت تقریب ، از بازه های متحرک (MOVE LIMITS) برای متغیرهای طراحی استفاده شده است.

در ضمن جهت بررسی کارائی برنامه نوشته شده تعدادی خرپا وشبکه دو لایه به عنوان مثال ،بهینه یابی شکل وسطح مقطع شده اند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول – بهینه سازی وبرنامهٔ DOT

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲- کاربرد های بهینه سازی درمهندسی ۳

۱-۳- بیان یک مسئلهٔ بهینه سازی وتعاریف ۳

۱-۳-۱-بردار طراحی ۴

۱-۳-۲-قیدهای طراحی ۴

۱-۳-۳-سطح قید ۴

۱-۳-۴- تابع هدف ۶

۱-۳-۵-سطوح تابع هدف ۶

۱-۴-دسته بندی مسائل بهینه سازی ۷

۱-۵-روشهای بهینه سازی ۸

۱-۵-۱-معرفی برنامه ریزی خطی ۱۰

۱-۵-۲-روش جهات امکان پذیر ۱۱

۱-۶- برنامهٔ بهینه سازی DOT ۱۴

۱-۷- برنامهٔDOT وبهینه یابی سازه ای ۱۵

۱-۷-۱- بردار طراحی ۱۵

۱-۷-۲- تابع هدف f(x) ۱۶

۱-۷-۳- قیدها g(x) ۱۶

۱-۸-مثالهای مربوطه ۱۷

فصل دوم-تحلیل کامپیوتری سازه ها

۲-۱-مقدمه ۲۸

۲-۲-تحلیل ماتریسی وروشهای آن ۲۹

۲-۲-۱-ماتریس سختی ۲۹

۲-۲-۲-سرهم بندی ماتریس سختی ۳۰

۲-۲-۳-اعمال شرایط مرزی..... ۳۱
۲-۲-۴- بردار بارهای خارجی..... ۳۱
۲-۲-۵-حل معادلات وتحلیل سازه..... ۳۱
۳-۲-برنامهٔ کامپیوتری ANALYSIS وخصوصیات مربوطه..... ۳۲

فصل سوم – بهینه سازه ای -ادغام برنامه بهینه سازی وتحلیل کامپیوتری

۳-۱-مقدمه..... ۳۷
۳-۲-اجزاء مورد نیاز..... ۳۸
۳-۳- تعریف مسئلهٔ بهینه یابی سازه ای ۴۰
۳-۳-۱- متغیر های طراحی وتابع هدف..... ۴۰
۳-۳-۲-توابع محدودیت (قید ها)..... ۴۰
۳-۳-۲-۱-محدودیت تنش..... ۴۰
۳-۳-۲-۲-محدودیت کمانش..... ۴۱
۳-۳-۲-۳-محدودیت تغییر مکان..... ۴۱
۳-۳-۲-۴-محدودیت های لاغری..... ۴۱
۳-۳-۳-فرمولاسیون استاندارد طراحی بهینه سازه ها..... ۴۲
۳-۴- روشهای حل بهینه یابی سازه ها..... ۴۲

فصل چهارم –تقریب سازی وروشهای آن

۴-۱-مقدمه..... ۴۵
۴-۲-تحلیل حساسیت..... ۴۶
۴-۲-۱-روش تفاضلات محدود..... ۴۶
۴-۲-۲-روش دقیق..... ۴۷
۴-۳- روشهای تقریب سازی طرح بهینه..... ۴۹
۴-۳-۱- تقریب سازی یک نقطه ای..... ۴۹
۴-۳-۱-۱-تقریب خطی ۵۰
۴-۳-۱-۲-تقریب معکوس..... ۵۱
۴-۳-۲-تقریب سازی دونقطه ای ۵۲

۴-۳-۲-۱- تقریب معکوس اصلاح شده..... ۵۲
۴-۳-۲-۲- تقریب توانی..... ۵۳
۴-۳-۳-سایر روشهای تقریب سازی..... ۵۴

فصل پنجم-طراحی بهینه خرپاهای دو بعدی وسه بعدی

۵-۱-مقدمه..... ۵۶
۵-۲-بهینه سازی از روش مستقیم -برنامه ADOT..... ۵۷
۱-۵-۲-زیر بنا ونحوه عمل برنامه ADOT ۵۷
۵-۳-محاسبه تقریبی نیروها وتغییر مکانها..... ۵۹
۵-۳-۱- محاسبه مشتقات -برنامه ROUND ۵۹
۵-۳-۲-محاسبه تقریبی نیروها وبرنامه APPROX ۶۱
۵-۳-۳-محاسبه تقریبی تغییر مکانها وبرنامهAPPROX..... ۶۱
۵-۴-بهینه سازی با استفاده از تقریب سازی و برنامه DESIGN ۶۲
۵-۴-۱-زیر بنا ونحوه عمل برنامه DESIGN ۶۴
۵-۵-بهینه سازی شکل سازه ها..... ۶۶
۵-۶-مثالهای حل شده..... ۶۷

فصل ششم- معرفی سازه های فضاکار وتولید داده ها

۶-۱-مقدمه..... ۸۳
۶-۲- شبکه های تحت یک لایه ای ۸۴
۶-۳-شبکه های دو لایه..... ۸۶
۶-۳-۱-تقسیم بندی شبکه های دو لایه ای..... ۸۷
۶-۴-تکیه گاهها در شبکه های دو لایه ای..... ۹۱
۶-۵-گره ها..... ۹۲
۶-۶-مثالهایی از شبکه های دو لایه ای اجرا شده..... ۹۴
۶-۷-شبکه های سه لایه..... ۹۴
۶-۸-گنبدها ۹۵
۶-۹-سازه های استوانه ای ۹۷

۶-۱۰-انواع دیگر سازه های فضا کار..... ۹۸
۶-۱۱-تولید داده ها در سازه های فضاکار..... ۹۸
فصل هفتم – طراحی بهینه سازه های فضاکار
۷-۱-مقدمه..... ۱۰۱
۷-۲-برنامه های نوشته شده ونحوهٔ عملکرد آنها..... ۱۰۲
۷-۳-متغیر های طراحی..... ۱۰۲
۷-۴-توابع محدودیت (قیدها)..... ۱۰۳
۷-۴-۱-قیدهای تنشی..... ۱۰۳
۷-۴-۲-قید های لاغری ۱۰۴
۷-۴-۳-قید های تغییر شکلی..... ۱۰۵
۷-۵-بهینه یابی ارتفاع وراه حل های موجود..... ۱۰۵
۷-۵-۱-راه حل سعی وخطا جهت محاسبهٔ محدودهٔ ارتفاع بهینه..... ۱۰۵
۷-۵-۲-معرفی ارتفاع شبکه دو لایه به عنوان متغیر طراحی و
محاسبه ارتفاع بهینه..... ۱۰۶
۷-۶-مثالهای حل شده..... ۱۰۷
فهرست مراجع ۱۲۶
پیوست
ضمیمهٔ ۱- برنامهٔ کامپیوتریDOT..... ۱۳۱
ضمیمهٔ ۲- برنامهٔ کامپیوتری تحلیل سازه..... ۱۳۸
ضمیمهٔ ۳- برنامه های بهینه سازی ADOT وDESIGN..... ۱۴۸
ضمیمهٔ ۴- تولید داده های در سازه های فضاکار..... ۱۶۲
ضمیمهٔ ۵ -برنامه های بهینه سازی SPACE وGRID..... ۱۷۹

فهرست جداول

جدول (۱-۱) مشخصات مربوط به مثال (۱-۲)..... ۲۱

جدول (۱-۲) نتایج مثال (۱-۲)..... ۲۱

جدول (۱-۳) محاسبات مربوط به تحلیل ماتریسی مثال (۱-۲)..... ۲۳

جدول (۱-۴) نتایج مربوط به مثال (۱-۳)..... ۲۶

جدول (۵-۱)حالات بار گذاری مثال (۵-۱)..... ۶۷

جدول (۵-۲) خواص مصالح مثال (۵-۳)..... ۷۲

جدول (۵-۳) نتایج بهینه شده مثال (۵-۳)..... ۷۲

جدول (۵-۴) مقادیر حجم بهینه شده در هر آنالیز مثال (۵-۳)..... ۷۳

جدول (۵-۵) بارگذاری مربوط به مثال (۵-۴)..... ۷۴

جدول (۵-۶) خواص مصالح مثال (۵-۴)..... ۷۴

جدول (۵-۷) نتایج بهینه شده مثال(۵-۴)..... ۷۵

جدول (۵-۸) مقادیر حجم بهینه شده در هر آنالیز مثال (۵-۴)..... ۷۶

جدول (۵-۹) مقادیر اولیه و نتایج بهینه شده مثال(۵-۵)..... ۷۷

جدول (۵-۱۰) مقادیر حجم سازه در هر آنالیز مثال (۵-۵) ۷۸

جدول (۵-۱۱) خواص مصالح مثال (۵-۶)..... ۷۹

جدول (۵-۱۲) مشخصات اعضاء خرپای مثال (۵-۶)..... ۸۰

جدول (۵-۱۳) مختصات گره های خرپای مثال (۵-۶)..... ۸۰

جدول (۵-۱۴) حالات بارگذاری مثال (۵-۶)..... ۸۰

جدول (۵-۱۵) نتایج بهینه سازی مثال(۵-۶)..... ۸۱

جدول (۵-۱۶) مقادیر وزن بهینه شده در هر آنالیز مثال (۵-۶)..... ۸۱

جدول (۷-۱)خواص مصالح مثال (۷-۱)..... ۱۰۷

جدول (۷-۲) نتایج مربوط به مثال(۷-۱)..... ۱۱۰

جدول (۷-۳)تکرار عملیات بهینه سازی ۱۱۰

جدول (۷-۴) نتایج بهینه سازی مثال (۷-۱)
با اعمال محدودیتهای تغییر مکانی..... ۱۱۱
جدول (۷-۵) مقادیر وزن بهینه شده در
هر آنالیز (وضعیت ا لف) مثال (۷-۱)..... ۱۱۲
جدول (۷-۶) مقادیر وزن بهینه شده در هر
آنالیز (وضعیت ب) مثال (۷-۱)..... ۱۱۲
جدول(۷-۷)مقادیر وزن بهینه شده به
ازاء ارتفاع مربوطه در مثال (۷-۱)..... ۱۱۳
جدول (۷-۸) نتایج بهینه یابی وارتفاع مثال (۷-۱)..... ۱۱۴
جدول (۷-۹) مقادیر وزن بهینه شده در هر آنالیز مربوط به مثال(۷-۱)..... ۱۱۴
جدول (۷-۱۰) نتایج بهینه سازی مثال (۷-۲)..... ۱۱۷
جدول (۷-۱۱) مقادیر وزن در هر آنالیز برای حالت اول مثال (۷-۲)..... ۱۱۸
جدول (۷-۱۲) مقادیر وزن بهینه شده ازاء ارتفاع مربوط در مثال (۷-۲)..... ۱۱۸
جدول (۷-۱۳) مقادیر وزن در هر آنالیز بهینه یابی با ارتفاع مثال (۷-۲)..... ۱۱۹
جدول (۷-۱۴) مقادیر وزن در هر آنالیز حالت (ا لف-۳)..... ۱۱۹
جدول (۷-۱۵) مقادیر وزن در هر آنالیز حالت (ب-۳)..... ۱۱۹
جدول (۷-۱۶) نتایج بهینه سازی مثال (۷-۳)..... ۱۲۲
جدول (۷-۱۷) تغییرات وزن بهینه در هر
آنالیز برای حالت اول مثال (۷-۳)..... ۱۲۳
جدول (۷-۱۸) تغییرات وزن بهینه در هر
آنالیز برای حالت دوم مثال(۷-۳)..... ۱۲۳
جدول (۷-۱۹) بارگذاری مربوط به مثال (۷-۴)..... ۱۲۴
جدول (۷-۲۰) نتایج بهینه شده مثال (۷-۴)..... ۱۲۵

فهرست اشکال

شکل (۱-۱)سطوح قید در یک فضای طراحی دو بعدی..... ۵

شکل (۱-۲) سطوح تابع هدف..... ۷

شکل (۱-۳)روش تکراری بهینه سازی در فضای طراحی دو بعدی..... ۹

شکل(۱-۴) مفهوم هندسی رابطه(۱-۹)..... ۱۲

شکل(۱-۵) ستون ومقطع مربوط به مثال(۱-۱)..... ۱۷

شکل (۱-۶) بهینه سازی ترسیمی مثال(۱-۱)..... ۲۰

شکل (۱-۷) خرپای مثال (۱-۳)..... ۲۲

شکل (۲-۱) تبدیل ماتریس سختی به ماتریس نواری..... ۳۳

شکل(۲-۲) تأثیر شماره گذاری روی ابعاد ماتریس سختی..... ۳۴

شکل(۳-۱)فلو چارت کلی برنامه بهینه یابی سازه ای..... ۳۹

شکل(۴-۱) نمودار تقریب سازی خطی..... ۵۱

شکل(۵-۱) فلوچارت کلی برنامهٔ ADOT ۵۸

شکل (۵-۲) فلوچارت کلی برنامهٔDESIGH..... ۶۵

شکل (۵-۳) خرپای مثال (۵-۱)..... ۷۲

شکل (۵-۴) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی موبوط به مثال (۵-۳)..... ۷۳

شکل (۵-۵) خرپای مثال (۵-۴)..... ۷۴

شکل (۵-۶) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی مربوط به مثال (۵-۴)..... ۷۶

شکل (۵-۷) اشکال اولیه وبهینه شده خرپای مثال (۵-۴)..... ۷۸

شکل (۵-۸) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی مربوط به مثال(۵-۵)..... ۷۸

شکل (۵-۹) خرپای مثال (۵-۶)..... ۷۹

شکل (۵-۱۰) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی مربوط به مثال(۵-۶)..... ۸۱

شکل (۶-۱) شبکه دو طرفه مستطیلی..... ۸۴

شکل(۶-۲) شبکه دو طرفه قطری..... ۸۴

شکل (۶-۳)انواع شبکه های سه طرفه وچهار طرفه..... ۸۵
شکل (۶-۴) انواع شبکه های دو لایه ای..... ۸۹
شکل (۶-۵) تکیه گاههای شبکه های دو لایه ای وانواع آنها..... ۹۱
شکل (۶-۶) یکی از انواع گره های MERO ۹۳
شکل (۶-۷) انواعی از گنبدها..... ۹۶
شکل (۶-۸) انواعی از سازه های استوانه ای..... ۹۷
شکل (۷-۱) سطح مقطع اعضاء شبکه های دو لایه..... ۱۰۲
شکل (۷-۲) شبکه دو لایه مثال (۷-۱)..... ۱۰۸
شکل (۷-۳) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی..... ۱۱۰
شکل (۷-۴) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی برای مثال (۷-۱)..... ۱۱۲
شکل (۷-۵) نمدار تغییرات وزن با ارتفاع شبکه دو لایه مثال (۷-۱)..... ۱۱۳
شکل (۷-۶) شبکه دو لایه مثال (۷-۲)..... ۱۱۵
شکل (۷-۷) نمودار تکرا عملیات بهینه سازی مربوط به حالت اول مثال (۷-۲)... ۱۱۸
شکل (۷-۸) نمودار تغیرات وزن با ارتفاع شبکه دو لایه مثال (۷-۲)..... ۱۱۸
شکل (۷-۹) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی با ارتفاع مثال (۷-۲)..... ۱۱۹
شکل (۷-۱۰) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی برای حالت سوم مثال(۷-۲)..... ۱۲۰
شکل (۷-۱۱) شبکهٔ دو لایه ای مثال (۷-۳)..... ۱۲۱
شکل (۷-۱۲) نمودار تکرار عملیات بهینه سازی مربوط به مثال (۷-۳)..... ۱۲۳

مقدمه

بهینه سازی فرایندی است که طی آن تعدادی متغیر به گونه ای محاسبه می شوند، که تابع مشخصی از این متغیرها به نام تابع هدف هم زمان با برآورده شدن تعدادی شرایط محدود کننده حداقل مقدار ممکن را داشته باشد.

در مهندسی عمران تاکنون جهت طراحی انواع سازه ها از بهینه سازی استفاده های زیادی شده است که ذیلا شرح مختصری ارائه خواهد شد.

گذشتهٔ روشهای بهینه سازی را می توان درروزگار نیوتن (۱)،لاگرانژ (۲)وکوشی(۳) ردیابی کرد. بسط روشهای بهینه سازی حساب دیفرانسیل با کارهای نیوتن ولایبینز(۴) ممکن گشت.

حساب تغییرات توسط لاگرانژ واولر(۵) بنیانگذاری شدو یک روش بهینه سازی برای مسائل مقید ، که شامل افزودن مضارب مجهول می باشد به نام یابنده آن ، لاگرانژ نام گذاری شد.

با وجودکارهای انجام شده توسط این افراد، تا قرن بیستم پیشرفت بسیار اندکی در این زمینه حاصل شد.در این قرن کامپیوتر ها به کار گیری روشهای بهینه سازی را ممکن ساخته وتحقیقات بیشتر برای روشها جدید را برانگیخت. پیشرفتهای بعدی به روشهای بهینه سازی ابعاد گسترده ای داد.

توسعه اصلی در زمینهٔ روشهای عددی بهینه سازی نامقید در دههٔ ۱۹۶۰ میلادی (چهل سال پیش) صورت گرفت. بسط روش سیمپلکس در ۱۹۴۷ توسط دنتزیگ (۶) برای مسائل برنامه ریزی خطی وارائه اصل بهینگی در ۱۹۵۷ توسط بلمن(۷) برای مسائل برنامه ریزی پویا ، راه را برای توسعه روشهای بهینه سازی مقید گشود.

1-Newton 2-Langrage
3-Cauchy 4-Leibnitz
5-Euler 6-Dantzig
7-Belman

طرح بهینه سازه ها با پیشرفت تدریجی کامپیوتر ها ونیز ارائه روشهای مفید جهت حل مسائل برنامه ریزی خطی (۱) از سوی محققان سبب گردید تا این علم نوپا به طور قابل ملاحظه ای توسعه یابد[۱].

در سالهای پس از ۱۹۶۰ تحقیقات زیادی در زمینه بهینه سازی سازه ها انجام گرفت اما هیچ یک شکل کاربردی نداشت. زیرا فقط مسائلی که تعداد متغیرهای طراحی(۲) آنها بسیار محدود بود، با روشهای موجود قابل حل بودند. همچنین برای رسیدن به جواب بهینه تکرارهای زیادی لازم بود. در حالیکه کامپیوترهای آن زمان سرعت کافی نداشتند.با توجه به پیچیدگی روابط حاکم بر تحلیل سازه ها ، پرداختن به بهینه سازی آنها همواره با مشکل مواجه بود، که با به کار گیری روشهای اجزای محدود وتحلیل ماتریسی سازه ها ، حل مسئله بهینه سازی ممکن شد.

ازآنجا که تحلیل مکرر سازه در خلال محاسبات بهینه مخصوصاً برای ساز هایی با درجه نامعینی بالا بسیار پر حجم ووقتگیر می باشد ، در سالهای اخیر جهت کاهش تعداد تحلیلهای لازم ،تحقیقات زیادی در زمینه محاسبات تقریبی نیروها ،تغییر شکلها ،فرکانسها وغیره (آنچه از عملیات تحلیل سازه بدست می آید) [۲۷-۲۶و۲۴-۱۳و۷-۲] و بهبوده این تقریب سازیها [۱۲-۸] صورت گرفته است.

بدین ترتیب بهینه یابی سازه ها شکل کاربردی به خود گرفته وبه صورت یکی از شاخه های بسیار مهم ومفید علوم مهندسی در آمد. سلاجقه [۳۳-۳۲و۱۵-۱۴] وگراندهی(۳) [۲۱-۲۰] با استفاده از تقریب سازی خطی نتایج رضایتبخشی برای طرح بهینه سازه ها با محدودیت فرکانس بدست آوردند. همچنین (میورا (۴)واسمیت(۵))[۲۲] در سال ۱۹۷۶ ، هانگ(۶) درسال ۱۹۸۸ و (هانسن و (۷) واندرپلاتس(۸))[۲۳] در سال ۱۹۹۰روشهایی برای بهینه سازی خرپا ها ارائه داده اند.

1-Linear Programing
2-Design Variable
3-Grandhi
4-Miura
5-Schmit
6-Huang
7-Hansen
8-Vanderplaats