دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه

عنوان

بهینه سازی سازه های تحت کمانش با روش ESO

استاد راهنما

دکتر ناصر تقی زادیه

استاد مشاور

دکتر کامبیز کوهستانی

پژوهشگر

میر علیرضا سید میرنسب

بهمن ۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیر و تشکر

از زحمات و راهنمائی های اساتید ارجمند

آقایان دکتر تقی زادیه و دکتر کوهستانی

تقدیم به

پدر، مادر و خواهرم

نام خانوادگی دانشجو: سید میرنسب **نام:** میر علیرضا

عنوان پایان نامه: بهینه سازی سازه های تحت کمانش با روش ESO.

استاد راهنما: دکتر ناصر تقی زادیه

استاد مشاور: دکتر کامبیز کوهستانی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** بهمن ۱۳۸۸ **تعداد صفحه:**۹۸

کلید واژه ها: کمانش، بهینه سازی ابعاد، بهینه سازی تکاملی سازه، عدد حساسیت، نسبت بازتوزیع، الگوی شطرنجی، ستون، قاب، صفحه.

چکیده :

در تحقیق حاضر، یک الگوریتم ساده برای بهینه سازی ابعادی سازه های تحت کمانش ارائه شده است. روش مذکور با عنوان بهینه سازی تکاملی سازه ها (ESO) بیان می شود که با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر سازه و با رعایت اصول طراحی، مصالح سازه را باز توزیع می کند. به طور کلی هدف از انجام این پایان نامه افزایش بار کمانشی سازه و تعیین شکل بهینه آن تحت شرایط مختلف تکیه گاهی و بارگذاری می باشد. افزایش بار کمانشی با فرض ثابت ماندن وزن وحجم سازه انجام می گیرد. بنابراین برای ارضاء این فرض در مرحله بازتوزیع، فقط انتقال مصالح از نقاط غیر کارآمد به نقاط کارآمد صورت می گیرد. در ادامه تحقیق، در مورد صفحات، مسئله الگوی شطرنجی مطرح و روش رفع آن بیان گردیده، و در نمونه های انجام گرفته، اصلاح شده است.

در این تحقیق، مثال هائی ازبهینه سازی سازه های دوبعدی وسه بعدی به کمک برنامه نویسی در نرم افزار MATLAB انجام گرفته، و با نمونه های بدست آمده در سال های گذشته مقایسه شده است. نتایج این تحقیق و مقایسه آنها با جواب های دقیق و نمونه های بدست آمده توسط محققین، نشان می دهند که روش ESO جواب های قابل قبولی برای بهینه سازی سازه های تحت کمانش ارائه می دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه..... ۱

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مروری بر پیشینه بهینه سازی..... ۳

۲-۲- مروری بر پیشینه بهینه سازی کمانش ستونها و قابها..... ٤

۲-۳- مروری بر پیشینه بهینه سازی کمانش صفحات..... ٤

۲-٤- مروری بر پیشینه مشکلات و خطاهای بهینه سازی تکاملی..... ٦

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- روش اجزاء محدود..... ۸

۳-۲- مروری برخمش صفحات..... ۹

۳-۲-۱- تئوری صفحه..... ۱۰

۳-۲-۲- تئوری صفحه کیرشهف ۱۳

۳-۳- آنالیز ناپایداری سازه ها..... ۱٤

۳-۳-۱- مسائل غیر خطی..... ۱٤

۳-۳-۲- کرنش های گرین..... ۱۵

۳-۳-۳- سختی هندسی (تنشی) و رابطه کلی برای آن..... ۱٦

۳-۳-٤- ماتریس سختی هندسی جزء خمشی منشوری..... ۱۸

۳-۳-۵- ماتریس سختی هندسی جزء خمشی صفحه ای..... ۲۰

۳-۳-٦- کمانش..... ۲۳

۳-۳-۷- محاسبه بارکمانشی..... ۲۵

۳-٤- المان بابل فانکشن برای تحلیل کمانش ستون ها و قابها..... ۲٦
۳-٤-۱- معرفی المان بابل فانکشن (BF)..... ۲٦
۳-٤-۲- رفتار BF ها و مقادیر بهینه α , β ۳۰
۳-٥- المان کیرشهوف برای تحلیل کمانش صفحات..... ۳۱
۳-٥-۱-معرفی المان چهارضلعی کیرشهف (DKQ) ۳۱
۳-٥-۲- فرمول بندی المان DKQ ۳۲

فصل چهارم: بهینه سازی تکاملی برای سازه های تحت کمانش

٤-۱- بهینه سازی سازه ها..... ۳۷
٤-۱-۱- هدف از بهینه سازی سازه..... ۳۷
٤-۱-۲- معیارهای بهینه سازی..... ۳۷
٤-۱-۳- مراحل طراحی یک سازه..... ۳۷
٤-۱-٤- روش های بهینه سازی..... ۳۸
٤-۱-٥-روش های بهینه سازی بر اساس هدف بهینه سازی..... ۳۹
٤-۱-٦- بهینه سازی تکاملی سازه ها ٤۰
٤-۲- بهینه سازی تکاملی با معیار بارکمانشی ٤۲
٤-۲-۱- رفتار کمانش خطی یک سازه ٤۲
٤-۲-۲- فرمول بندی اساسی..... ٤۳
٤-۲-۳- مودهای کمانشی و مسائل آن..... ٤٤
٤-۲-٤- اعداد حساسیت و معیار بهینگی برای بار کمانشی ٤٦
٤-۲-٥- اعداد حساسیت و معیارهای بهینگی برای مقادیر ویژه جدا از هم..... ٤٦
٤-۲-٦- اعداد حساسیت برای مقادیر ویژه تکراری و نزدیک به هم..... ٤۹
٤-۲-٦-۱- روش میانگین ٤۹

٤-٢-٦-٢- روش اصلاح یافته..... ٥٠

٤-٢-٧- روند کلی بهینه سازی تکاملی برای سازه های تحت کمانش..... ٥٥

٤-٢-٨- نسبت بازتوزیع..... ٥٨

٤-٣- الگوی شطرنجی و راه حل آن..... ٥٨

فصل پنجم: مثال هائی از بهینه سازی تکاملی سازه های تحت کمانش

٥-١- مقادیرعددی پارامترهای بهینه سازی تکاملی پیشنهادی..... ٦٣

٥-١-١- ستون دو سر مفصلی..... ٦٣

٥-١-٢- ستون دو سر گیردار..... ٧٠

٥-١-٣- قاب پرتال سه عضوی..... ٧٤

٥-١-٤- صفحه مربعی با تکیه گاه های مفصلی..... ٧٨

٥-١-٥- صفحه مربعی با تکیه گاه های گیردار..... ٨٧

٥-٢- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ٩٢

منابع..... ٩٤

فهرست جدول ها

جدول ٥-١- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای ستون با مقطع مستطیلی، و عرض متغیر($p = ١$)..... ٦٥

جدول ٥-٢- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای ستون با مقطع دایره، و شعاع متغیر($p = ٢$)..... ٦٦

جدول ٥-٣- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای ستون با مقطع مستطیلی، و ارتفاع متغیر($p = ٣$)..... ٦٦

جدول ٥-٤- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای ستون دوسرگیردار با مقطع دایره..... ٧٢

جدول ٥-٥- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای قاب پرتال سه عضوی با مقطع دایره..... ٧٥

جدول ٥-٦- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای صفحه مربعی با لبه های مفصلی(حالت١)..... ٧٩

جدول ۵-۷- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای صفحه مربعی با لبه های مفصلی(حالت۲).....۸۳

جدول ۵-۸- نتایج حاصل از بهینه سازی تکاملی برای صفحه مربعی با لبه های گیردار.....۸۸

فهرست شکل ها

شکل ۳-۱- مولفه های چرخش و شیب.....۱۰

شکل ۳-۲- المان صفحه ای با گره ها و درجات آزادی و سطح مقطع صفحه تغییرشکل یافته.....۱۱

شکل ۳-۳- تنش ها و نیروی جانبی توزیع شده در یک المان دیفرانسیلی از صفحه.....۱۲

شکل ۳-٤- جزء خمشی منشوری.....۱۸

شکل ۳-۵- نمودارهای ناپایداری (الف) خطی (ب) غیر خطی.....۲٤

شکل ۳-٦- نیروها و جابجائی های المان بابل فانکشن.....۲۷

شکل ۳-۷- تبدیل مختصات.....۲۹

شکل ۳-۸- منحنی های خطا برای ضرائب طول موثر μ با در نظر گرفتن α , β های مختلف.....۳۱

شکل ۳-۹- هندسه المان DKQ.....۳٤

شکل ٤-۱- الگوی شطرنجی درصفحه بهینه مش بندی شده توسط المان های چهارگرهی.....۵۹

شکل ٤-۲- حذف الگوی شطرنجی در صفحه مربعی مش بندی شده توسط المان های هشت گرهی.....٦۱

شکل ٤-۳- ضرائب وزنی برای روش اصلاحی الگوی شطرنجی.....٦۲

شکل ٤-٤- حذف الگوی شطرنجی در صفحه مربعی مش بندی شده توسط المان های چهار گرهی.....٦۵

شکل ۵-۱- شکل های بهینه ستون دوسرمفصلی با مقطع مستطیلی و عرض متغیر($p = ۱$).....٦۷

شکل ۵-۲- شکل های بهینه ستون دوسرمفصلی با مقطع دایره و شعاع متغیر($p = ۲$).....٦۷

شکل ۵-۳- شکل های بهینه ستون دوسرمفصلی با مقطع مستطیلی و ارتفاع متغیر($p = ۳$).....٦۸

شکل ۵-٤- تاریخچه بهینه سازی برای ستون دوسرمفصلی.....٦۹

شکل ۵-۵- تاریخچه بهینه سازی بدست آمده توسط محققین برای ستون دوسرمفصلی.....۷۰

شکل ۵-٦- منحنی مقدار ویژه بهینه در مقابل پارامتر مساحت مینیمم..... ۷۱

شکل ۵-۷- شکل های بهینه ستون دوسرگیردار با مقطع دایروی..... ۷۲

شکل ۵-۸- تاریخچه بهینه سازی برای ستون دوسرگیردار..... ۷۳

شکل ۵-۹- مدل سازه ای قاب پرتال، نحوه بارگذاری و شماره گذاری المان ها..... ۷٤

شکل ۵-۱۰- شکل های بهینه اعضای قاب پرتال سه عضوی با مقطع دایره..... ۷٦

شکل ۵-۱۱- تاریخچه بهینه سازی برای قاب پرتال سه عضوی با مقطع دایره..... ۷۷

شکل ۵-۱۲- توزیع بهینه ضخامت توسط محققین برای صفحه با لبه های مفصلی..... ۷۹

شکل ۵-۱۳- تاریخچه بهینه سازی صفحه مربعی با تکیه گاه های مفصلی(محققین)..... ۷۹

شکل ۵-۱٤- توزیع بهینه ضخامت برای صفحه با لبه های مفصلی(حالت۱)..... ۸۰

شکل ۵-۱۵- تاریخچه بهینه سازی برای صفحه با لبه های مفصلی(حالت۱)..... ۸۲

شکل ۵-۱٦- توزیع بهینه ضخامت برای صفحه با لبه های مفصلی(حالت۲)..... ۸٤

شکل ۵-۱۷- تاریخچه بهینه سازی برای صفحه با لبه های مفصلی(حالت۲)..... ۸٦

شکل ۵-۱۸- توزیع بهینه ضخامت توسط محققین برای صفحه با لبه های گیردار..... ۸۷

شکل ۵-۱۹- توزیع بهینه ضخامت برای صفحه با لبه های گیردار توسط المان های چهارگرهی..... ۸۹

شکل ۵-۲۰- تاریخچه بهینه سازی برای صفحه با لبه های گیردار..... ۹۱

پیوست

چکیده انگلیسی

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

با نگاهی اجمالی به پیرامون خود، درمی یابیم که طبیعت همواره برای حل مسائل ومشکلات خود ازشیوه بهینه سازی وتکامل تدریجی استفاده می کند. دربسیاری از رشته های علمی نیز می توان از طبیعت و سیر تکاملی آن به عنوان الگوی مناسبی استفاده کرد. علوم سازه ای نیز از دیر باز تحت تاثیر این امر بوده، و تحقیقات گسترده ای در این زمینه صورت گرفته است. همچنین، امروزه به دلیل استفاده روز افزون از سازه ها در مقاصد و شرایط مختلف تجاری، توریستی، مسکونی و... مسئله بهینه سازی آنها مورد توجه خاصی قرار گرفته است. تحقیق در این باره، منجر به پیدایش روش های خاصی از بهینه سازی که پایه های نظری و تجربی دارند، شده است که هر کدام برای خود مزایا و معایبی داشته و همیشه از سوی منتقدان و طرفداران خود مورد کنکاش قرار گرفته اند.

به طور کلی، هدف از بهینه سازی سازه سوق دادن طرح در شرایط معین، در جهتی است که در عین افزایش کارایی سازه، هزینه های مورد نیاز کاهش یابد. این بدان معناست که با صرف انرژی، مصالح ویا زمان کمتر به طرحی هدفمندتر برسیم. بدین منظور در این تحقیق، یک روش نیمه نظری، نیمه تجربی تحت عنوان بهینه سازی تکاملی سازه[۱]یا ESO مورد بررسی قرار می گیرد. در این روش، حرکت تدریجی از سازه اولیه به سمت سازه بهینه صورت می گیرد. بطور کلی ESO بر اساس روند ساده ای استوار است، که با در نظر گرفتن کلیه شرایط حاکم بر سازه، از قبیل شرایط ساختگاهی، تکیه گاهی، بارگذاری و... با حذف تدریجی مصالح غیر لازم از سازه، شکل نهایی آن را با توجه به نیازها و انتظارات از تابع هدف، ارائه و سازه را به سمت بهترین نوع توزیع (معمولا توزیع تنش یا ابعاد) سوق می دهد. این توزیع به نحوی انجام می گیرد که مصالح از نقاط قوی تر با کارآیی

۱- Evolutionary Structural Optimization

کمتر به نقاط ضعیف تر با کارایی بیشتر انتقال یافته، و سازه با توجه به عملکرد مورد نظر، قابلیت بیشتری از خود نشان داده، به ویژه در مورد مسائل کمانشی، بار کمانشی بالاتری نسبت به طراحی اولیه با همان وزن داشته باشد. این روش علاوه بر دارا بودن توانایی بالا در ارائه اشکال بهینه، بسیار ساده و آسان است[۱و۲].

به منظور تحلیل و بهینه سازی کمانشی با استفاده از روش ESO ، آشنائی با برخی مسائل و روش ها الزامی است. در ادامه فهرستی از مطالبی که در فصول آتی بیان خواهند گردید، آورده شده است. درفصل دوم، مروری بر تحقیقات گذشته در مورد بهینه سازی سازه های تحت کمانش خواهیم داشت. در فصل سوم، به بیان مواد و روش های به کار گرفته شده جهت انجام این تحقیق می پردازیم. فصل چهارم، به امر بهینه سازی سازه ها، به ویژه بهینه سازی تکاملی برای سازه های تحت کمانش خطی، و همچنین مسئله الگوی شطرنجی و روش حذف آن اختصاص دارد. نهایتا در فصل پنجم، مثال هائی از بهینه سازی تکاملی سازه های تحت کمانش، ارائه و نتایج آنها با جواب دقیق یا نمونه های انجام شده توسط محققین، مقایسه می گردد.

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مروری بر پیشینه بهینه سازی

در طول دهه های گذشته، امر بهینه سازی سازه ها توسعه قابل توجهی داشته است. در اواخر قرن بیستم، یک روش ساده به نام بهینه سازی تکاملی یا ESO ، برای سازه ها با استفاده از آنالیز المان محدود، توسط خی و استیون [۱و۳] ، معرفی شده است، که بر پایه حذف تدریجی مصالح غیر کار آمد، و یا انتقال تدریجی مصالح از مقاوم ترین بخش سازه، به ضعیف ترین ناحیه آن می باشد. در مقایسه با روش های دیگر بهینه سازی سازه ای، ESO به دلیل سادگی و بازده آن جذاب بوده و قادر به حل مسائل زیادی از طراحی بهینه ابعاد[۱]، شکل[۲] و توپولوژی[۳] برای مسائل استاتیکی، دینامیکی و کمانش می باشد[۷-٤]. همچنین کاربرد روش ESO برای بهینه سازی با معیار سختی[٤] و فرکانس[٥] سازه های صفحه ای توسط چاو [۸] ، خی و استیون [٤] نشان داده شده است.

اگر چه بهینه سازی برای مسائل با قیود کمانشی[٦] پیچیده است(به دلیل اینکه محاسبه بارهای کمانشی نیاز به حل دومسئله مقدار مرزی[۷] استاتیکی و مقدار ویژه[۸] در هر مرحله بهینه سازی دارد)، اما مطالعات زیادی در این باره انجام گرفته است. بهینه سازی سازه های تحت کمانش، ممکن است با مینیمم کردن وزن سازه، تحت شرایط ارضاء بارکمانشی ثابت، و یا با ماکزیمم کردن بار کمانشی، و ثابت نگه داشتن وزن سازه حاصل شود. روش اول، ممکن است با یک دامنه طراحی بزرگتر از سازه بهینه نهائی آغاز شده، و با شرط مینیمم کردن وزن و حذف تدریجی مصالح از سازه انجام پذیرد. روش دوم، با انتقال تدریجی مصالح از قوی ترین مناطق سازه، به ضعیف ترین نواحی آن، بدون افزایش یا کاهش در وزن صورت می گیرد[۱].

۱- Size Optimization
۲- Shape Optimization
۳- Topology Optimization
۴- stiffness Optimization
۵- Frequency Optimization
۶- Buckling Constraints
۷- Boundary Value Problem
۸- Eigen Value Problem

۲-۲- مروری بر پیشینه بهینه سازی کمانش ستونها و قابها

برای یک عضو باریک، ظرفیت تحمل بار، اغلب توسط بار کمانشی تعیین می شود. در ادامه، از میان تحقیقات انجام گرفته در زمینه بهینه سازی کمانشی، چند نمونه ذکر می گردد. ابتدا کلر[۹] ، شکل مقاومترین ستون با تکیه گاههای مفصلی ساده را نشان داد. سپس با کمک تاجبخش [نقل از منبع شماره ۱] ، مقاومترین ستون برای دیگر شرایط مرزی را نیز بدست آورد. اسمیتز [۱۰] ، از اولین کسانی بود که آنالیز المان محدود و روند تکراری برای بهینه سازی شکل ستونها را بکار برد. این روش توسط زیسکووسکی و واتسون [نقل از منبع شماره۱] ، برای بهینه سازی قابها تعمیم یافت. سپس مانی چاراجاه [۵و۱۱] ، خی و استیون[۱] ، روش ESO را برای بهینه کردن مقاومت کمانشی سازه های قابی به کار برده، و نتایج قابل قبولی بدست آوردند.

۲-۳- مروری بر پیشینه بهینه سازی کمانش صفحات

برای ستون ها و سازه های قابی که ترکیبی از تیرها و ستونها هستند، جواب مسئله قبل از کمانش تقریبا مستقل از تغییرات سطح مقطع اعضاء می باشد، که این موضوع محاسبه بار کمانشی در این سازه ها را تا حد زیادی ساده می کند. اما این ساده سازی در مورد صفحات و پوسته ها اتفاق نمی افتد. زیرا اگر توزیع ضخامت صفحه ای متغیر باشد، توزیع برآیند تنش های قبل از کمانش[۱] غیر یکنواخت خواهد بود.یعنی،محاسبه آنها نیازبه تعیین جواب غیربدیهی[۲] مسئله مقدارمرزی (استاتیکی)، قبل از مسئله مقدار ویژه کمانشی دارد. بنابراین، تحقیقات در مورد بهینه سازی کمانشی سازه های صفحه ای بسیار محدود می باشد[٦].

۱- Prebuckling

۲- Nontrivial Solution

پس از مشخص شدن اشتباه اسپیلر و لوی[نقل از منبع شماره٦] ، درتعمیم راه حل کلاسیک کلر[۹] ، توزیع ضخامت جدیدی توسط پندی و شربورن [۱۲] ، برای صفحه مربعی با چهار لبه مفصلی بدست آمد، که نتایج آن حاکی از افزایش بار کمانشی صفحه در حدود ٪۲۸ بار کمانشی همان صفحه با ضخامت یکنواخت و وزن یکسان بود. راه حل کمانشی این صفحه با استفاده از روش رایلی ریتز، با ۲۸۹ جمله از سری سینوسی فوریه، برای تابع تغییر مکان بدست آمد[۱۲]. یک سری مطالعات هم توسط پارسون[۱۳] ، کپی و منسفیلد[نقل از منبع شماره٦] ، برای پیدا کردن ضخامت بهینه صفحه مربعی تحت بارفشاری محوری و لبه های مفصلی انجام شده است. این مطالعات نشان می دهند که برای صفحه با لبه های مفصلی، در حالت بهینه، ضخامت در لبه ها نسبت به مرکز بیشتر به دست می آید و در این صورت بار کمانشی افزایش خواهد یافت.

لوی و سوکولینسکی [نقل از منبع شماره٦] ، شکل های بهینه پیشنهاد شده را بررسی نموده، پروفیل ضخامت جدیدی برای صفحه مربعی با تکیه گاههای ساده پیشنهاد کردند، که مقاومت کمانشی آن را ٪۳۲ افزایش می داد. همچنین پندی و شربورن [۱۲] ، طرح های بهینه ای برای صفحات مربعی با لبه های گیردار، تحت بار لبه ای فشاری در دو لبه روبرو پیشنهاد کردند.آنها یک بار همه لبه ها راگیردار در نظر گرفتند، و بار دیگر برای لبه های بارگذاری شده، تکیه گاه مفصلی و لبه های بارگذاری نشده، تکیه گاه گیردار فرض کردند. فولگادو [١٤] نیز، یک روش برنامه نویسی ریاضی نشان داد که بر پایه مدل سازی المان محدود و تئوری ورق ها بود. وی توزیع بهینه مصالح برای صفحه مستطیلی با تکیه گاههای ساده و نسبت ابعاد ۱/۳۳۳و تحت کمانش را ، بدست آورد. در این تحقیق، با استفاده از روش ESO برای صفحه با دو حالت تکیه گاهی ساده و گیردار، و همچنین قیود مختلف بهینه سازی، نتایجی بدست آمده اند که با نتایج محققین[٦] ، مقایسه خواهند شد.

۲-٤- مروری بر پیشینه مشکلات و خطاهای بهینه سازی تکاملی

با توجه به اینکه روش بهینه سازیESO ، بر پایه محاسبه اعداد حساسیت برای تک تک المان ها می باشدو از طرفی این اعداد از جابجائی های المان مربوطه بدست می آیند، لذا زمانی که بارهای کمانشی چند مود اول سازه تکرار و یا نزدیک به هم باشند، ممکن است تداخلی بین چند مود ایجاد شود. اعداد حساسیت مذکور، برای چنین سازه هائی نمی توانند از فرمول های تعیین شده توسط فاکس و کاپور [۱۵] ، حاصل شوند. بدین منظور، منابع [۱و۵] ، روشی به نام روش میانگین[۱] معرفی می کنند. علیرغم اینکه این روش می تواند به نتایج بهینه همگرا برسد، اما گاها چنین پیش می آید که قبل از ثبات روند بهینه سازی، فاکتور بار کمانشی[۲] در برخی مراحل کاهش می یابد. بنابراین، روش دیگری معرفی شده، که به روش اصلاح شده[۳][۱٦] ، معروف است. در این روش، برای افزایش موثر فاکتور بار کمانشی، یک دسته از معیارهای بهینگی[٤] جدید برای مقادیر ویژه تکراری و یا نزدیک به هم تشکیل می شود که بر پایه اعداد حساسیت چند مقدار ویژه اول است.

از دیگر مشکلات بهینه سازی تکاملی پدیده الگوی شطرنجی[٥] است که بطور متناوب، در بین چند المان ضخیم، یک المان نازک قرار می گیرد. این پدیده توسط سیگموند و پترسون [۱۷] تعیین شد. الگوی شطرنجی به طور معمول می تواند در فرایند های بهینه سازی مختلفی که بر اساس روش المان محدود آنالیز می شوند، حاصل گردد. در عمل شکل ها و توپولوژی های شامل الگوهای شطرنجی غیر قابل قبول و غیر کاربردی می باشند. بنابراین، محققان راه حل هائی برای حذف یا کاهش این پدیده معرفی کرده و تلاشهای خود را به دو بخش مهم اختصاص دادند:

الف) علت ایجاد و تشکیل الگوی شطرنجی ب) تکنیک های حذف الگوهای شطرنجی .

۱- Average Method ۳- Modified Method ٥- Checkerboard Pattern

۲- Buckling Load Factor ٤- Optimal Criteria

برای مشخص کردن مکانیزم تشکیل الگوی شطرنجی، بندزو[۱۸] ، جاگ[۱۹] ، دیاز و سیگموند [۲۰] ، تحقیقات متفاوتی انجام داده اند. جاگ و هابر [۲۱] بیشتر علت تشکیل الگوی شطرنجی را شرح دادند. اگرچه منشا الگوی شطرنجی برای معیارهای بهینه سازی مختلف، بطور کامل قابل فهم نیست اما به نظر می رسد که با تقریب المان محدود نیز متناسب باشد. بندزو [۱۸] یک تکنیک اصلاحی معرفی کرد، اما این روش در بهینه سازی به طور کامل الگوی شطرنجی را حذف نمی کرد.

کوئرین و همکاران [۲۲] نیز، در پی مشاهده الگوهای شطرنجی در سازه بهینه شده توسط روش تکاملی، در صدد حذف خطا ها بر آمدند. آزمایشات عددی انجام شده توسط مانی چاراجاه [٦و۲۳] نیز نشان دادند که استفاده از المان های مرتبه بالا[۱] یعنی المان های هشت گرهی می تواند ایجاد الگوی شطرنجی را به طور قابل توجهی کاهش دهد. در تحقیق حاضر، یک روش اصلاحی با ضرائب وزنی برای المان های چهارگرهی، به منظور حذف الگوی شطرنجی به کار گرفته شده است.

۱- High Order Elements

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- روش اجزاء محدود[۱]

المان محدود[۲٤]،یک جزء از یک محیط پیوسته جزءبندی شده[۲] است. ابعاد آن محدود (کوچک) است، ولی بی نهایت کوچک نیست و معمولا هندسه آن ساده تر از هندسه محیط پیوسته می باشد. روش اجزاء محدود ما را قادر می سازد که مسئله ای با بی نهایت درجه آزادی را به یک مسئله با درجات آزادی محدود تبدیل نماییم، تا بدین وسیله مراحل حل آن ساده تر شود. منظور اصلی از تحلیل یک سازه به کمک اجزاء محدود، تعیین تقریبی تنش ها و تغییرمکان های آن است.

روش کلاسیک تحلیل یک محیط پیوسته بدین قرار است که برای هر المان کوچک از محیط جزء بندی شده، یک تابع تنش یا تغییرمکان(یا مخلوطی از آنها)که معادلات دیفرانسیل تعادل، روابط تنش-کرنش، و شرایط سازگاری را در هر نقطه از محیط پیوسته (شامل شرایط مرزی[۳]) برآورده سازد، فرض می شود[۲٤]. در این تحقیق از تابع فرضی برای تغییر مکان استفاده خواهد شد.

در صفحات، المان ها در طول مرز مشترک خودشان به همدیگر متصل هستند. به منظور ممکن ساختن تحلیل، با استفاده از روش تحلیل ماتریسی، در مورد المان های ساده فرض بر این است که المان های مزبور فقط در گره ها به یکدیگر متصل هستند. قبول این فرض بدان معنی است که شرایط پیوستگی فقط در نقاط گرهی ارضاء خواهد شد. واضح است که آزاد بودن شرایط پیوستگی در لبه المان ها، سازه را به صورتی انعطاف پذیرتر از آنچه هست در می آورد. به هر حال در روش اجزاء محدود تغییر شکل هر کدام از المان ها به یک شکل مشخصی مقید می شود. بنابراین هر چند پیوستگی فقط در نقاط مشخص شده گرهی ارضاء می شود لیکن با انتخاب تغییر شکل مناسب برای

۱- Finite Element Method ۳- Boundary Conditions

۲-Discretized Continuum

اعضاء، پیوستگی در تمام یا لااقل قسمتی از لبه المان های مجاور هم اقناع می گردد. بنابراین تحلیل یک محیط پیوسته با تحلیل یک اسکلت ساختمانی از دو نظر اساسی فرق پیدا می کنند : یکی تقسیم بندی اولیه به المان ها و دیگری تعیین خصوصیات ماتریس سختی المان ها. ایده آلی نمودن توسط المان های محدود، طوریست که عموما دقت حل، با زیاد شدن تعداد المان ها افزایش پیدا می کند. لیکن باید خاطر نشان نمود که همزمان با بالا رفتن تعداد المان ها ، زمان لازم کامپیوتر برای حل نیز افزایش یافته و در نتیجه به هزینه تحلیل افزوده می شود[۲۵].

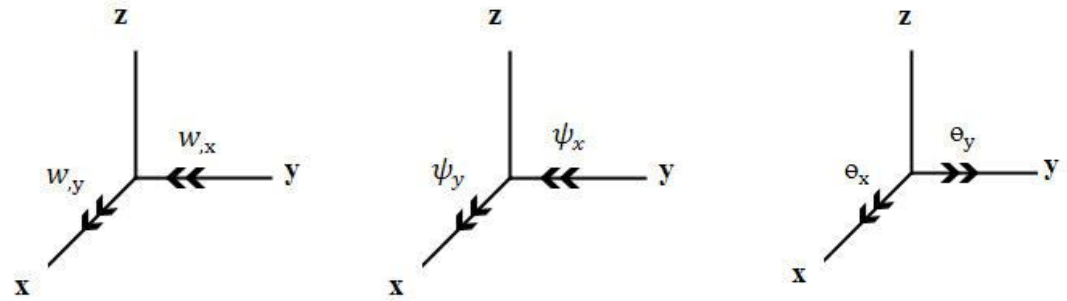
با استفاده از اصل کار مجازی و با مساوی قرار دادن کار انجام شده توسط بارهای گسترده حقیقی با کار مربوط به بارهای گرهی معادل در ضمن یک تغییر مکان مجازی، نیروهای گرهی معادل از نظر استاتیکی را می توان تعیین کرد. انواع مختلف المان ها در دسترس مهندسین قرار دارد که هر کدام از آنها مزایای بخصوص به خود را دارند. در این تحقیق دو نوع المان یکی برای ستون ها و قاب ها و دیگری برای صفحات نازک تحت کمانش معرفی خواهد شد[۲۵].

۳-۲- مروری برخمش صفحات

عبارت صفحه به معنای جسم تختی می باشد که ضخامت آن در مقایسه با ابعاد دیگر کوچک است. به خاطر این دلیل هندسی المان های محدود سه بعدی برای خمش صفحات بکار برده نمی شوند. بسته به تحلیل و تئوری صفحه مورد نظر، فرمول بندی خاصی برای المان مورد نظر لازم می باشد[۲۶]. المانی که در این تحقیق برای صفحات به کار گرفته خواهد شد، از تئوری معروفی به نام تئوری کیرشهف[۲۷و۲۸] تبعیت می کند.

قرارداد

به منظور بیان تئوری صفحه و فرمول بندی المان صفحه ای، لازم است از قبل جهات قراردادی چرخش ها[۱] و شیب ها[۲] تعیین شود. مطابق جهات نشان داده شده در شکل ۳-۱ برای المان واقع در صفحه xy چرخش های θ_x و θ_y مطابق با قانون دست راست می باشند، که جهت مثبت آنها در جهت مثبت محورهای x و y است. شیب ها در سطح صفحه با $w_{,x}$ و $w_{,y}$ نشان داده شده اند، که توسط قانون دست راست جهت آنها به ترتیب در خلاف جهت محور y و موافق با جهت محور x می باشد. در این بخش قرار داد علامت جدیدی را تعیین می کنیم، بدین صورت که θ_x را با ψ_y و θ_y را با $-\psi_x$ جایگزین می کنیم.



شکل ۳-۱) مولفه های چرخش و شیب

۳-۲-۱- تئوری صفحه

یک صفحه با ضخامت t یک سطح میانی در فاصله $\frac{t}{2}$ از سطوح جانبی دارد. برای آنالیز، مطابق شکل۳-۲-الف صفحه xy را در سطح میانی صفحه قرار می دهیم، بنابراین $z = 0$ سطح میانی را نشان می دهد. طبق تئوری اولیه خمش صفحات فرض می شود در خمش یک صفحه همگن سطح میانی سطح خنثی برای صفحه است،یعنی در $z = 0$ داریم $\varepsilon_x = \varepsilon_y = \gamma_{xy} = 0$. اگر بارگذاری غشائی انجام پذیرد ، ممکن است کرنش های مرکز سطح به دلیل تغییر شکل بزرگ جانبی دیگر صفر

۱- Rotations

۲- Slopes