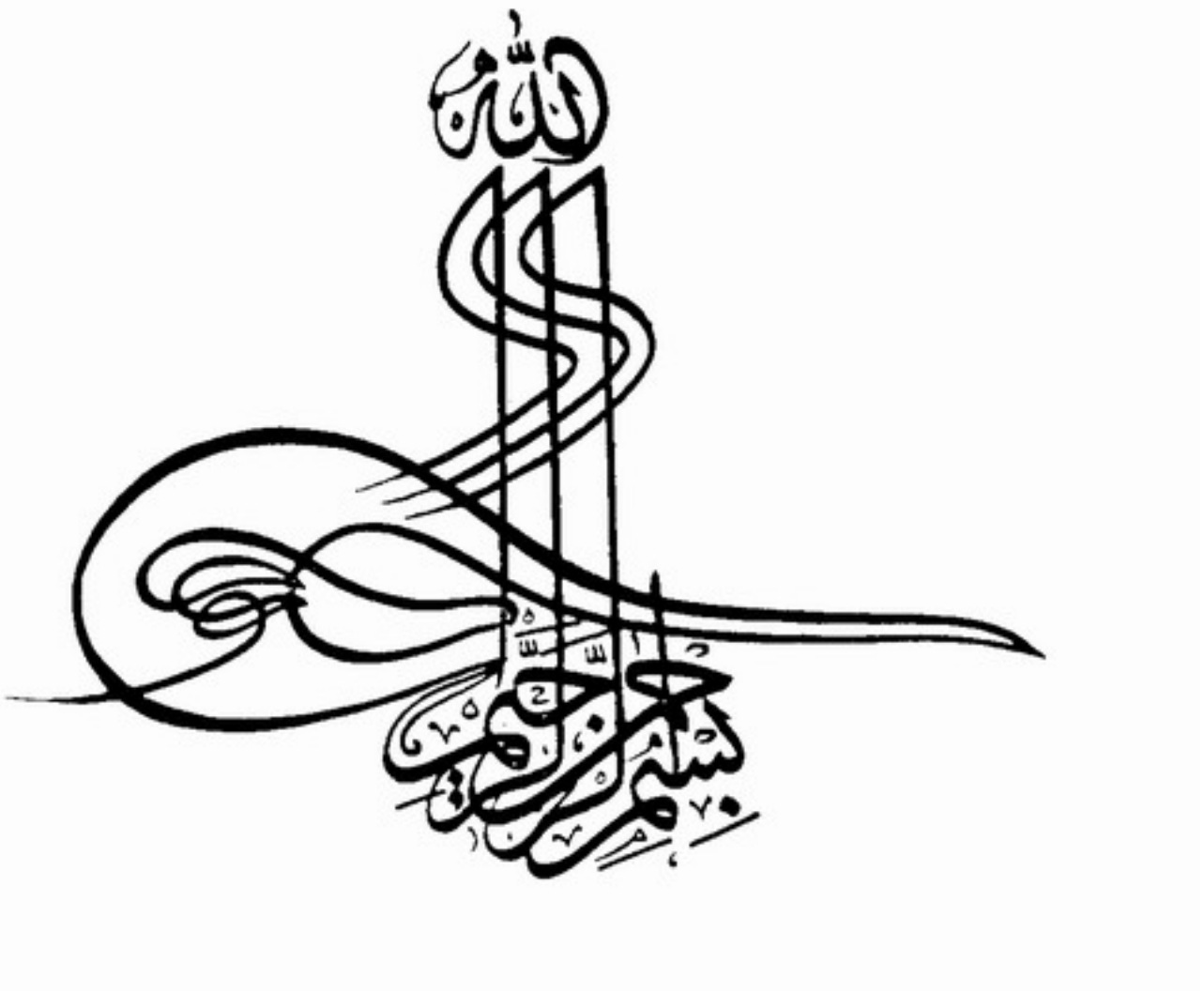
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان

حل عددی و تحلیلی دیسک‌های دوار در حالت ضخامت و چگالی متغیر

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

استاد راهنما

دکتر محمد حسن حجتی

استاد مشاور

دکتر حمیدرضا محمدی دانیالی

نگارش

ساناز جعفری

تیر ۱۳۸۸

چکیده

دیسک‌های دوار به صورت گسترده‌ای در زمینه‌های گوناگون مکانیکی از جمله در روتور توربین‌ها، پمپ‌ها، موتورها، چرخدنده‌ها و بسیاری از دیگر وسایل مکانیکی کاربرد دارند. این بخش‌های مکانیکی اغلب در سرعت‌های دورانی بالا استفاده می‌شوند و توجه گسترده‌ای را به دلیل کاربردهای فراوان در مهندسی به خود معطوف کرده‌اند. بنابراین روش‌های پیش‌بینی توزیع تنش در این دیسک‌ها در شرایط بارگذاری لازمه یک طراحی خوب می باشد.

در این پایان نامه توزیع تنش در دیسک‌های دوار با ضخامت و چگالی متغیر در حالت کشسان و کشسان-مومسان با مدل رفتاری مواد به صورت کشسان–سخت شونده خطی مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته می‌شود. برای انجام این امر از روش‌های تحلیلی و عددی استفاده شده است. تئوری‌های مورد استفاده در حل معادلات غیر خطی حاکم بر دیسک‌ها هموتوپی پرتوربیشن، حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین می‌باشند. به علت مشکلات و محدودیت های روش های دیگر از جمله روش‌های قدیمی پرتوربیشن، از این روش ها برای مدل کردن دیسک های دوار در حالت کشسان و کشسان-مومسان استفاده شده است. در مورد روش عددی، معادلات دیفرانسیل حاکم بر دیسک‌ها به وسیله روش رونگ-کوتا مرتبه ۴ برای نواحی کشسان و کشسان-مومسان حل شده است. در این تحلیل معیار تسلیم ترسکا مورد نظر است و رفتار مواد به صورت کرنش سختی خطی فرض گردیده است. نتایج هر دو روش به صورت تئوری و عددی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و سازگاری بسیار زیادی ما بین نتایج روش‌ها مشاهده شد.

واژه های کلیدی: دیسک های دوار، ضخامت متغیر، چگالی متغیر، کشسان، کشسان – مومسان، روش هموتوپی پرتوربیشن ، روش حساب تغییرات تکراری، روش جداسازی آدومین، روش رونگ-کوتا، بهینه سازی، روش ضریب لاگرانژ.

تقدیم:

به پدرم، که بزرگی رنج هایش را می‌شناسم و می‌دانم که توان جبران ذره ای از فداکاری‌هایش را ندارم.

به مادرم، که به من خواندن و نوشتن آموخت و چگونه مهربان بودن و چگونه دوست داشتن را.

تشکر و قدردانی:

سپاس خدای را که قدرت اندیشیدنم آموخت. بر خود لازم می دانم از استاد گرانقدرم **جناب آقای دکتر محمد حسن حجتی** بخاطر راهنمایی‌های بی‌دریغشان تشکر و قدردانی کنم. هم چنین از زحمات استاد مشاور **آقای دکتر حمیدرضا محمدی دانیالی** تشکر می‌نمایم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه دیسک‌های دوار ۴

۱-۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه روش‌های تحلیلی مورد استفاده ۱۰

۱-۲-۱- روش هموتوپی پرتوربیشن ۱۰

۱-۲-۲- روش حساب تغییرات تکراری ۱۳

۱-۲-۳- روش جداسازی آدومین ۱۴

۱-۳-مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهینه سازی دیسک‌های دوار ۱۵

۱-۴- ساختار پایان نامه ۱۷

فصل دوم: بررسی روش‌های تحلیل و بهینه سازی دیسک‌های دوار ۱۹

۲-۱- فرضیات کلی حاکم بر دیسک‌های دوار ۲۰

۲-۲- روش‌های تحلیلی حل دیسک‌های دوار ۲۱

۲-۲-۱- تحلیل کشسان دیسک دوار با ضخامت ثابت ۲۱

۲-۲-۱-۱- فرضیات و روابط حاکم بر دیسک دوار یکنواخت ۲۱

۲-۲-۱-۲- معادلات حاکم بر تحلیل کشسان ۲۲

۲-۲-۱- ۲-۱- معادله تعادل ۲۲

۲-۲-۱-۲-۲- رابطه‌های کرنش– جابجایی و تنش– کرنش ۲۳

۲-۲-۱-۳- معادله دیفرانسیل حاکم بر دیسک دوار در حالت کشسان ۲۳

۲-۲-۱-۴- حل معادله دیفرانسیل حاکم ۲۴

۲-۲-۲- تحلیل کشسان-مومسان دیسک دوار با ضخامت متغیر ۲۷

۲-۲-۲-۱- حل کشسان ۲۸

۲-۲-۳- تحلیل کشسان-مومسان دیسک دوار غیر همگن با ضخامت متغیر به روش خواص مادی متغیر ۳۰

۲-۲-۳-۱- حل کشسان دیسک دوار غیر همگن با ضخامت متغیر به روش خواص مادی متغیر ۳۱

۲-۲-۳-۲- حل مومسان دیسک دوار غیر همگن با ضخامت متغیر به روش خواص مادی متغیر ۳۳
۲-۳- روش‌های عددی حل دیسک‌های دوار ۳۴
۲-۳-۱- حل کشسان دیسک‌های دوار به روش تفاضلات محدود ۳۵
۲-۳-۲- حل کشسان– مومسان دیسک‌های دوار به روش سری توانی ۳۶
۲-۳-۳- حل کشسان– مومسان دیسک‌های دوار ناهمگن با ضخامت متغیر به روش رونگ-کوتا ۳۷
۲-۳-۳-۱- معادلات و روابط حاکم ۳۷
۲-۳-۳-۲- الگوریتم رونگ–کوتا ۴۰
۲- ۴ – روش‌های بهینه سازی دیسک‌های دوار ۴۱
۲- ۴- ۱- بهینه سازی وزن دیسک دوار غیر یکنواخت ۴۱
۲- ۴-۲- بهینه سازی وزن دیسک دوار ناهمگن ۴۴
۲- ۴-۳- بهینه سازی وزن دیسک دوار ناهمگن تحت مرحله دوم خزشی ۴۶
فصل سوم: تحلیل دیسک های دوار در حالت کشسان با ضخامت متغیر(تحلیلی - عددی) ۴۸
۳-۱- معرفی مفروضات برای تحلیل دیسک‌های دوار ۴۹
۳-۱-۱- مدل منحنی تنش– کرنش ۴۹
۳-۱-۲- معیارهای تسلیم ۵۱
۳-۱-۲-۱- معیار تسلیم ترسکا ۵۱
۳-۱-۲-۲- معیار تسلیم وان میزز ۵۲
۳-۱-۳- روابط تنش– جابجایی و کرنش-جابجایی ۵۳
۳-۱- ۴- مدل‌های هندسی مورد استفاده برای پروفیل تغییر ضخامت و چگالی ۵۳
۳-۱-۵- شرایط مرزی ۵۵
۳-۱-۶- خواص مادی و هندسی دیسک دوار حلقوی ۵۶
۳-۱-۷- مشخصات مدل های بررسی شده در پایان نامه ۵۶

۳-۲- مدل کشسان دیسک دوار ۵۸
۳-۲-۱- کاربرد روش هموتوپی پرتوربیشن در تحلیل کشسان دیسک دوار حلقوی ۵۸
۳-۲-۲- کاربرد روش حساب تغییرات تکراری در تحلیل کشسان دیسک دوار حلقوی ۶۲
۳-۲-۲-۱- حل کشسان با ضخامت و چگالی ثابت به روش حساب تغییرات تکراری ۶۴
۳-۲-۲-۲- حل کشسان با ضخامت و چگالی متغیر به روش حساب تغییرات تکراری ۶۶
۳-۲-۳- کاربرد روش جداسازی آدومین در تحلیل کشسان دیسک دوار حلقوی ۶۷
۳-۲-۳-۱- حل کشسان با ضخامت و چگالی ثابت به روش جداسازی آدومین ۶۸
۳-۲-۳-۲- حل کشسان با ضخامت و چگالی متغیر به روش جداسازی آدومین ۷۰
۳-۳- حل عددی دیسک های دوار ۷۲
۳-۳-۱- اعمال روش رونگ–کوتا بر معادله دیفرانسیل حاکم بر دیسک در حالت کشسان ۷۲
۳-۴- تحلیل مدل کشسان دیسک‌های دوار با استفاده از نتایج به دست آمده از روش‌های تحلیلی و عددی ۷۶
۳-۴-۱- تحلیل با استفاده از روش حساب تغییرات تکراری ۷۶
۳-۴-۲- تحلیل با استفاده از روش هموتوپی پرتوربیشن ۸۲
۳-۴-۳- تحلیل با استفاده از روش جداسازی آدومین ۸۵
۳-۴-۴- تحلیل تنش های شعاعی و محیطی در دیسک‌ها برای مقادیر مختلفی از m,n توسط روش‌های تحلیلی مورد استفاده ۸۸
۳-۵- سرعت زاویه‌ای حد کشسانی ۹۲
۳- ۵- ۱- سرعت زاویه‌ای حد کشسانی برای دیسک با شرایط مرزی آزاد ۹۲
۳-۵-۲- سرعت زاویه‌ای حد کشسانی برای دیسک با شرایط مرزی آزاد و تحت فشار ۹۴
۳-۵-۳- سرعت زاویه‌ای حد کشسانی برای دیسک با شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی ۹۵
فصل چهارم: تحلیل دیسک‌های دوار در حالت کشسان-مومسان با ضخامت متغیر(تحلیلی - عددی) ۹۷
۴-۱- مدل کشسان– مومسان دیسک دوار ۹۸
۴-۱-۱- ناحیه مومسانی I ۹۹

۴-۱-۱-۱- حل ناحیه مومسانی I به روش هموتوپی پرتوربیشن ۱۰۱
۴-۱-۱-۲- حل ناحیه مومسانی I به روش حساب تغییرات تکراری ۱۰۴
۴-۱-۱-۳- حل ناحیه مومسانی I به روش جداسازی آدومین ۱۰۷
۴-۱-۲- ناحیه مومسانی II ۱۰۹
۴-۱-۲-۱- حل ناحیه مومسانی II به روش هموتوپی پرتوربیشن ۱۱۰
۴-۱-۲-۲- حل ناحیه مومسانی II به روش حساب تغییرات تکراری ۱۱۱
۴-۱-۲-۳- حل ناحیه مومسانی II به روش جداسازی آدومین ۱۱۳
۴-۱-۳- ناحیه مومسانی III ۱۱۴
۴-۱-۳-۱- حل ناحیه مومسانی III به روش هموتوپی پرتوربیشن ۱۱۶
۴-۱-۳-۲- حل ناحیه مومسانی III به روش حساب تغییرات تکراری ۱۱۷
۴-۱-۳-۳- حل ناحیه مومسانی III به روش جداسازی آدومین ۱۱۷
۴-۱-۴- ناحیه مومسانی IV ۱۱۷
۴-۱-۴-۱- حل ناحیه مومسانی IV به روش هموتوپی پرتوربیشن ۱۱۸
۴-۱-۴-۲- حل ناحیه مومسانی IV به روش حساب تغییرات تکراری ۱۱۹
۴-۱-۴-۳- حل ناحیه مومسانی IV به روش جداسازی آدومین ۱۱۹
۴-۱-۴- پاسخ کشسان– مومسان دیسک یکنواخت ۱۲۰
۴-۲- تحلیل مدل کشسان– مومسان دیسک دوار ۱۲۱
۴-۲-۱- تحلیل دیسک با شرایط مرزی آزاد ۱۲۱
۴-۲-۲- تحلیل دیسک با شرایط مرزی آزاد و تحت فشار داخلی ۱۲۵
۴-۲-۳- تحلیل دیسک با شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی ۱۳۰
فصل پنجم: بهینه سازی دیسک‌های دوار ۱۳۶
۵-۱- روش ضریب لاگرانژ ۱۳۷
۵-۱-۱- مسائل فقط شامل قیدهای مقداری ۱۳۷

۵-۱-۲-مسائل فقط شامل قیود نامعادله‌ای ۱۳۸
۵-۱-۳-مسائل شامل هر دو قید های مقداری و نامعادله‌ای ۱۳۹
۵-۱- بهینه سازی وزن دیسک دوار حلقوی ۱۴۰
۵-۱-۱- محاسبه وزن دیسک ۱۴۱
۵-۱-۱-۱- محاسبه حجم دیسک حلقوی ۱۴۱
۵-۱-۱-۲- محاسبه وزن مخصوص دیسک حلقوی ۱۴۳
۵-۱-۱-۳- محاسبه وزن دیسک حلقوی ۱۴۳
۵-۱-۲- محاسبه قید اعمالی بر مسئله ۱۴۴
۵-۱-۳- تعریف مسئله بهینه سازی وزن دیسک ۱۴۵
۵-۱-۳-۱- بهینه سازی وزن دیسک تحت قید تنش وان میززی کمتر از تنش تسلیم ماده ۱۴۵
۵-۱-۳-۲- بهینه سازی وزن دیسک تحت قید تنش وان میززی کمتر 0.8 از تنش تسلیم ماده ۱۴۹
۵-۳-۲- بهینه سازی حداکثر تنش وان میززی حاکم بر دیسک ۱۵۰
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۵۳
۶-۱- مروری بر کارهای انجام شده در تحقیق حاضر ۱۵۴
۶-۲- نتایج ۱۵۵
۶-۲-۱- نتایج حاصله از این تحقیق در مورد روش‌های تئوری مورد استفاده ۱۵۵
۶-۲-۲- نتایج حاصله از این تحقیق در مورد تحلیل دیسک‌های دوار ۱۵۷
۶-۳- پیشنهادات برای ادامه کار ۱۶۰
مراجع ۱۶۲
پیوست الف. اساس روش‌های هموتوپی پرتوربیشن، حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین -۱-
پیوست ب: مدل های مختلف منحنی تنش – کرنش -۶-
پیوست پ: حل به روش هموتوپی پرتوربیشن معادلات دیفرانسیل حاکم بر نواحی مومسانی -۹-

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱): دستگاه مختصات حاکم بر دیسک. ۲۰

شکل(۲-۲): پروفیل دیسک دوار و نیروهای وارد بر یک جزء از دیسک دوار [۲۴]. ۲۲

شکل(۲-۳): نحوه توزیع تنش‌ها و جابجایی بی بعد کشسان در دیسک دوار جامد با ضخامت ثابت [۲]. ۲۵

شکل(۲-۴): نحوه توزیع تنش‌ها و جابجایی بی بعد کشسان در دیسک دوار حلقوی با ضخامت ثابت [۶]. ۲۶

شکل(۲-۵): پروفایل های پارابولیک: (الف) $n=0.4, k=1.7$ (ب) $n=0.4, k=0.55$ [۲]. ۲۷

شکل(۲-۶): نحوه توزیع تنش‌ها و جابجایی بی بعد کشسان در دیسک دوار جامد با پروفایل پارابولیک [۲]. ۲۹

شکل(۲-۷): نحوه توزیع تنش‌ها و جابجایی بی بعد کاملاً مومسان در دیسک دوار جامد با پروفایل پارابولیک [۲]. ۲۹

شکل(۲-۸): (الف) دیسک دوار (ب) حلقه در یک دیسک دوار [۲۳، ۲۴، ۷۶]. ۳۱

شکل(۲-۹): روش تصویر کردن [۲۳، ۲۴، ۷۸]. ۳۳

شکل(۲-۱۰): مقایسه‌ای بین سه روش خواص مادی متغیر، رونگ–کوتا، المان محدود برای محاسبه تنش معادل مومسان [۲۴]. ۳۴

شکل(۲-۱۱): نمونه‌ای از سه صحفه در تماس با هم [۷۳، ۷۵]. ۴۲

شکل(۲-۱۲): نتیجه تأثیر روش بهینه سازی اعمال شده بر پروفایل دیسک [۷۳]. ۴۳

شکل(۲-۱۳): روش رسم کره محاطی در بهینه سازی [۷۴]. ۴۴

شکل(۲-۱۴): نتیجه تأثیر روش بهینه سازی اعمال شده بر پروفایل دیسک [۷۴]. ۴۶

شکل(۲-۱۵): نتیجه تأثیر روش بهینه سازی اعمال شده بر پروفایل دیسک [۷۵]. ۴۷

شکل(۳-۱): منحنی ایده آل شده تنش–کرنش [۷۸]. ۵۱

شکل (۳-۲): پروفایل دیسک برای $n=1$ ، $a=0.1m$ ، $h_\circ=0.1m$ ، $b=0.6m$. ۵۴

شکل(۳-۳): نمودار حل عددی دیسک های دوار. ۷۵

شکل (۳-۴): جابجایی شعاعی کشسان دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت یکنواخت و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega=0.58314$. ۷۹

شکل (۳-۵): تنش کشسان دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت یکنواخت و سرعت زاویه‌ای ۸۰

کشسانی $\Omega = 0.58314$.

شکل (۳-۶): تنش شعاعی محاسبه شده توسط روش حساب تغییرات تکراری برای دیسک یکنواخت و غیر یکنواخت در سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۰

شکل (۳-۷): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و رونگ–کوتا برای جابجایی شعاعی در دیسک حلقوی غیر یکنواخت با $n = 0.5, m = 1$ و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۱

شکل (۳-۸): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و رونگ–کوتا برای تنش‌های شعاعی و محیطی در دیسک حلقوی غیر یکنواخت با $n = 0.5, m = 1$ و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۱

شکل (۳-۹): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن برای جابجایی شعاعی کشسان دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت یکنواخت و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۳

شکل (۳-۱۰): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن برای تنش‌های شعاعی و محیطی کشسان دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت یکنواخت و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۳

شکل (۳-۱۱): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن برای جابجایی شعاعی کشسان در دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت با $n = 0.5, m = 1$ و سرعت زاویه-ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۴

شکل (۳-۱۲): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن برای تنش‌های شعاعی و محیطی کشسان در دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت با $n = 0.5, m = 1$ و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۴

شکل (۳-۱۳): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین برای جابجایی شعاعی کشسان دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت یکنواخت و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۶

شکل (۳-۱۴): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین برای تنش‌های شعاعی و محیطی کشسان دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت یکنواخت و سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$. ۸۶

شکل (۳-۱۵): مقایسه ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین برای جابجایی شعاعی کشسان در دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت با $n = 0.5, m = 1$ و سرعت زاویه ای کشسانی $\Omega = 0.58314$ ۸۷

شکل (۳-۱۶): مقایسه‌ای از نتایج روش حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین برای تنش های شعاعی و محیطی کشسان در دیسک دوار حلقوی با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت با $n = 0.5, m = 1$ و ۸۷

سرعت زاویه‌ای کشسانی $\Omega = 0.58314$.

شکل(۳-۱۷): تنش شعاعی کشسان در دیسک حلقوی دوار با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت و سرعت زاویه‌ای $\Omega = 0.58314$ برای $n = 0.5$ و مقادیر مختلفی از m توسط روش‌های حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن. ۸۸

شکل(۳-۱۸): تنش شعاعی کشسان در دیسک حلقوی دوار با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت و سرعت زاویه‌ای $\Omega = 0.58314$ برای $n = 0.5$ و مقادیر مختلفی از m توسط روش‌های حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین. ۸۹

شکل(۳-۱۹): تنش محیطی کشسان در دیسک حلقوی دوار با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت و سرعت زاویه‌ای $\Omega = 0.58314$ برای $m = 1$ و مقادیر مختلفی از n توسط روش‌های حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن. ۸۹

شکل(۳-۲۰): تنش محیطی کشسان در دیسک حلقوی دوار با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت و سرعت زاویه‌ای $\Omega = 0.58314$ برای $m = 1$ و مقادیر مختلفی از n توسط روش های حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین. ۹۰

شکل(۳-۲۱): تنش محیطی کشسان در دیسک حلقوی دوار با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت و سرعت زاویه‌ای $\Omega = 0.58314$ برای $n = 0.5$ و مقادیر مختلفی از m توسط روش‌های حساب تغییرات تکراری و هموتوپی پرتوربیشن. ۹۱

شکل(۳-۲۲): تنش محیطی کشسان در دیسک حلقوی دوار با شرایط مرزی آزاد در حالت غیر یکنواخت و سرعت زاویه‌ای $\Omega = 0.58314$ برای $n = 0.5$ و مقادیر مختلفی از m توسط روش‌های حساب تغییرات تکراری و جداسازی آدومین. ۹۱

شکل(۳-۲۳): تنش‌های کشسان و جابجایی شعاعی برای دیسک غیر یکنواخت با شرایط مرزی آزاد در سرعت زاویه‌ای حد کشسانی $\Omega_1 = 1.5745$. ۹۴

شکل(۳-۲۴): تنش‌های کشسان و جابجایی شعاعی برای دیسک غیر یکنواخت با شرایط مرزی آزاد وتحت فشار در سرعت زاویه‌ای حد کشسانی $\Omega_1 = 1.1365$. ۹۵

شکل(۳-۲۵): تنش‌های کشسان و جابجایی شعاعی برای دیسک غیر یکنواخت با شرایط مرزی آزاد وتحت قید شعاعی در سرعت زاویه‌ای حد کشسانی $\Omega_1 = 2.2049$. ۹۶

شکل (۴-۱): ناحیه مومسانی I به همراه معیار تسلیم در شش ضلعی ترسکا. ۱۰۰

شکل (۴-۲): تنش ها ی شعاعی و محیطی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای دو روش هموتوپی پرتوربیشن و رونگ-کوتا در ناحیه مومسانی I در $\Omega = 2.2405$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۰۴

شکل (۴-۳): تنش ها ی شعاعی و محیطی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای دو روش حساب تغییرات و رونگ-کوتا در ناحیه مومسانی I در $\Omega = 1.8415$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۰۶

شکل (۴-۴): تنش ها ی شعاعی و محیطی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای دو روش جداسازی آدومین و رونگ-کوتا در ناحیه مومسانی I در $\Omega = 2.2045$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۰۸

شکل (۴-۵): ناحیه مومسانی II به همراه معیار تسلیم در شش ضلعی ترسکا. ۱۰۹

شکل (۴-۶): تنش ها ی شعاعی و محیطی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای دو روش هموتوپی پرتوربیشن و رونگ-کوتا در ناحیه مومسانی II در $\Omega = 2.2405$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۱۱

شکل (۴-۷): ناحیه مومسانی III به همراه معیار تسلیم در شش ضلعی ترسکا. ۱۱۵

شکل (۴-۸): تنش ها ی شعاعی و محیطی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای دو روش هموتوپی پرتوربیشن و رونگ-کوتا در ناحیه مومسانی III در $\Omega = 2.2405$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۱۶

شکل (۴-۹): ناحیه مومسانی IV به همراه معیار تسلیم در شش ضلعی ترسکا. ۱۱۷

شکل (۴-۱۰): تنش ها ی شعاعی و محیطی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای دو روش هموتوپی پرتوربیشن و رونگ-کوتا در ناحیه مومسانی IV در $\Omega = 2.2405$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۱۹

شکل (۴-۱۱): تنش‌ها و جابجایی شعاعی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد در $\Omega \geq \Omega_1 = 1.8415$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۲۳

شکل (۴-۱۲): تنش‌ها و جابجایی شعاعی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد در $\Omega \geq \Omega_1 = 1.8415$ برای مقادیر مختلفی از n, m. ۱۲۴

شکل (۴-۱۳): تنش‌ها و جابجایی شعاعی در حالت کاملاً مومسان برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد در $\Omega_2 = 2.0164$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۲۴

شکل (۴-۱۴):گسترش شعاع تداخل کشسان–مومسان با افزایش سرعت زاویه‌ای برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۲۵

شکل (۴-۱۵): تنش‌ها و جابجایی شعاعی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت فشار در $\Omega_2 = 1.5477$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۲۷

شکل (۴-۱۶): تنش‌ها و جابجایی شعاعی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت فشار در $\Omega \geq \Omega_2 = 1.8415$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۲۹

شکل (۴-۱۷): تنش‌ها و جابجایی شعاعی در حالت کاملاً مومسان برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و ۱۲۹

شرایط مرزی آزاد و تحت فشار در $\Omega_3 = 1.9949$ برای $n = 0.5, m = 1$.

شکل (۴-۱۸):گسترش شعاع تداخل کشسان–مومسان با افزایش سرعت زاویه‌ای برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت فشار برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۳۰

شکل (۴-۱۹): تنش‌ها و جابجایی شعاعی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی در سطح داخلی در $\Omega_2 = 2.2012$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۳۱

شکل (۴-۲۰): تنش‌ها و جابجایی شعاعی برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی در سطح داخلی در $\Omega \geq \Omega_2 = 2.4553$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۳۴

شکل (۴-۲۱): تنش‌ها و جابجایی شعاعی در حالت کاملاً مومسان برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی در سطح داخلی در $\Omega_3 = 3.6830$ برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۳۴

شکل (۴-۲۲):گسترش شعاع تداخل کشسان– مومسان با افزایش سرعت زاویه‌ای برای دیسک دوار حلقوی با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی در سطح داخلی برای $n = 0.5, m = 1$. ۱۳۵

شکل(۵-۱): ناحیه R محدود به منحنی y=f(x) ۱۴۱

شکل(۵-۲): ناحیه R محدود به منحنی y=f(x) و y=g(x) ۱۴۲

شکل(۵-۳): تنش معادل وان میززی حاکم بر دیسک حلقوی دوار با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای $m = 1$ و مقادیر مختلفی از n و $\Omega = 1.5346$. ۱۴۶

شکل(۵-۴): تنش معادل وان میززی حاکم بر دیسک حلقوی دوار با ضخامت متغیر و شرایط مرزی آزاد برای $n = 0.5$ و مقادیر مختلفی از m و $\Omega = 1.5346$. ۱۴۷

شکل (۵-۵): پروفایل تغییر ضخامت برای $n = 0.43069, n = 1$ ۱۴۸

شکل (۵-۶) : تنش وان میززی برای $m = 0.88913, n = 0.43069$ ۱۴۸

شکل (۵-۷): پروفایل تغییر ضخامت برای $n = 0.73873, n = 1$ ۱۵۰

شکل (۵-۸) : تنش وان میززی برای $m = 0.85014, n = 0.73873$ ۱۵۰

شکل (۵-۹): پروفایل تغییر ضخامت برای $n = 0.57855, n = 1$ ۱۵۲

شکل (۵-۱۰): تنش وان میززی برای $n = 0.57855, m = 0.60814$ ۱۵۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۳-۱): خواص مواد و پارامترهای هندسی. ۵۶

جدول (۳-۲): مشخصات مدل های بررسی شده. ۵۷

جدول(۳-۲): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد کشسانی برای دیسک با شرایط مرزی آزاد. ۹۳

جدول(۳-۳): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد کشسانی برای دیسک با شرایط مرزی آزاد و تحت فشار. ۹۵

جدول(۳-۴): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد کشسانی برای دیسک با شرایط مرزی آزاد و تحت قید شعاعی. ۹۶

جدول (۴-۱): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد برای دیسک تحت شرایط مرزی آزاد ۱۲۲

جدول (۴-۲): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد برای دیسک با شرایط مرزی آزاد در سطح خارجی و تحت فشار در سطح داخلی ۱۲۶

جدول (۴-۳): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد برای دیسک با شرایط مرزی آزاد در سطح خارجی و تحت فشار در سطح داخلی ۱۲۸

جدول (۴-۴): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد برای دیسک با شرایط مرزی آزاد در سطح خارجی و تحت قید شعاعی در سطح داخلی ۱۳۱

جدول (۴-۵): ثوابت انتگرالی و سرعت زاویه‌ای حد برای دیسک با شرایط مرزی آزاد در سطح خارجی و تحت قید شعاعی در سطح داخلی ۱۳۳

فهرست علائم

r	شعاع دیسک
a	شعاع داخلی دیسک
b	شعاع بیرونی دیسک
c_i	ثابت انتگرالی
E	مدول کشسانی
E_t	مدول تانژنت
$h_\circ$	ضخامت دیسک در $r=b$
$h(r)$	پروفایل تغیر ضخامت دیسک
n,m	پارامترها در تابع تغیر ضخامت و چگالی
u	جابجایی شعاعی
$\bar{u}$	جابجایی شعاعی بی بعد
W	وزن دیسک
$\overline{W}$	وزن دیسک به صورت بی بعد
V	حجم دیسک
$A(u)$	عملگر دیفرانسیلی کلی شامل مجموع جملات دیفرانسیلی در معادله حاکم
r	متغیر مستقل
$f(r)$	تابع تحلیلی معلوم شامل مجموع جملات غیر دیفرانسیلی در روش هموتوپی پرتوربیشن
B	عملگر مرزی
L	قسمت دیفرانسیلی خطی در معادله حاکم
N	قسمت دیفرانسیلی غیرخطی در معادله حاکم
P	پارامتر متغیر از صفر تا یک در روش هموتوپی پرتوربیشن
$H(v,p)$	تابع هموتوپی
$u_\circ$	حدس اولیه
v	جواب فرضی مساله در روش هموتوپی پرتوربیشن
$v_\circ, v_1, v_2, \ldots$	تقریب های حاصل از روش هموتوپی پرتوربیشن در هر گام
p^0	عبارت شامل مجموع جملات ضریب p به توان صفر در روش هموتوپی پرتوربیشن
p^1	عبارت شامل مجموع جملات ضریب p به توان یک در روش هموتوپی پرتوربیشن
p^2	عبارت شامل مجموع جملات ضریب p به توان دو در روش هموتوپی پرتوربیشن
$f(u)$	تابع غیرخطی
a,b,c	پارامترهای ثابت

$g(t)$	تابع تحلیلی معلوم شامل مجموع جملات غیر دیفرانسیلی در روش حساب تغییرات تکراری
u_n	تقریب های حاصل در هر گام در روش حساب تغییرات تکراری ($n = 0,1,2,3,...$)
T	دما در مساله هدایت گرمایی حالت پایدار تک بعدی
x	موقعیت مکانی مورد بررسی در مساله هدایت گرمایی حالت پایدار تک بعدی
s	پارامتر جایگزین x در مساله هدایت گرمایی حالت پایدار تک بعدی
T_n	تقریب های حاصل در هر گام
R	بخش باقیمانده عملگر خطی در آدومین
A_n	چند جمله ای آدومین
L^{-1}	عملگر معکوس

علائم یونانی

μ	ضریب پواسان
$\rho(r)$	تابع تغیرچگالی
$\rho_\circ$	چگالی ثابت
σ_r	تنش شعاعی
σ_θ	تنش محیطی
σ_{EQ}	تنش مومسانی معادل
$\sigma_\circ$	تنش تسلیم ماده
$\overline{\sigma}_r$	تنش شعاعی بی بعد
$\overline{\sigma}_\theta$	تنش محیطی بی بعد
ε_r	کرنش شعاعی
ε_θ	کرنش محیطی
ε_{EQ}	کرنش مومسانی معادل
η	پارامتر سختی
Γ	مرز حوزه Θ
Θ	حوزه
ε	پارامتر ثابت کوچک ($\varepsilon << 1$)
ω	سرعت زاویه ای ثابت دوران
Ω	سرعت زاویه ای بدون بعد
λ	ضریب لاگرانژ
γ	وزن مخصوص
$\sim$	متغیر محدود

فهرست علائم

r	شعاع دیسک
a	شعاع داخلی دیسک
b	شعاع بیرونی دیسک
c_i	ثابت انتگرالی
E	مدول کشسانی
E_t	مدول تانژنت
$h_\circ$	ضخامت دیسک در $r=b$
$h(r)$	پروفایل تغیر ضخامت دیسک
n,m	پارامترها در تابع تغیر ضخامت و چگالی
u	جابجایی شعاعی
$\bar{u}$	جابجایی شعاعی بی بعد
W	وزن دیسک
$\overline{W}$	وزن دیسک به صورت بی بعد
V	حجم دیسک
$A(u)$	عملگر دیفرانسیلی کلی شامل مجموع جملات دیفرانسیلی در معادله حاکم
r	متغیر مستقل
$f(r)$	تابع تحلیلی معلوم شامل مجموع جملات غیر دیفرانسیلی در روش هموتوپی پرتوربیشن
B	عملگر مرزی
L	قسمت دیفرانسیلی خطی در معادله حاکم
N	قسمت دیفرانسیلی غیرخطی در معادله حاکم
P	پارامتر متغیر از صفر تا یک در روش هموتوپی پرتوربیشن
$H(v,p)$	تابع هموتوپی
$u_\circ$	حدس اولیه
v	جواب فرضی مساله در روش هموتوپی پرتوربیشن
$v_\circ, v_1, v_2, \ldots$	تقریب های حاصل از روش هموتوپی پرتوربیشن در هر گام
p^0	عبارت شامل مجموع جملات ضریب p به توان صفر در روش هموتوپی پرتوربیشن
p^1	عبارت شامل مجموع جملات ضریب p به توان یک در روش هموتوپی پرتوربیشن
p^2	عبارت شامل مجموع جملات ضریب p به توان دو در روش هموتوپی پرتوربیشن
$f(u)$	تابع غیرخطی
a,b,c	پارامترهای ثابت

$g(t)$	تابع تحلیلی معلوم شامل مجموع جملات غیر دیفرانسیلی در روش حساب تغییرات تکراری
u_n	تقریب های حاصل در هر گام در روش حساب تغییرات تکراری $(n = 0,1,2,3,...)$
T	دما در مساله هدایت گرمایی حالت پایدار تک بعدی
x	موقعیت مکانی مورد بررسی در مساله هدایت گرمایی حالت پایدار تک بعدی
s	پارامتر جایگزین x در مساله هدایت گرمایی حالت پایدار تک بعدی
T_n	تقریب های حاصل در هر گام
R	بخش باقیمانده عملگر خطی در آدومین
A_n	چند جمله ای آدومین
L^{-1}	عملگر معکوس

علائم یونانی

μ	ضریب پواسان
$\rho(r)$	تابع تغیرچگالی
$\rho_\circ$	چگالی ثابت
σ_r	تنش شعاعی
σ_θ	تنش محیطی
σ_{EQ}	تنش مومسانی معادل
$\sigma_\circ$	تنش تسلیم ماده
$\overline{\sigma}_r$	تنش شعاعی بی بعد
$\overline{\sigma}_\theta$	تنش محیطی بی بعد
ε_r	کرنش شعاعی
ε_θ	کرنش محیطی
ε_{EQ}	کرنش مومسانی معادل
η	پارامتر سختی
Γ	مرز حوزه Θ
Θ	حوزه
ε	پارامتر ثابت کوچک $(\varepsilon << 1)$
ω	سرعت زاویه ای ثابت دوران
Ω	سرعت زاویه ای بدون بعد
λ	ضریب لاگرانژ
γ	وزن مخصوص
$\sim$	متغیر محدود