دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

روش احجام محدود توسعه یافته برای تحلیل ورق ها

از

علیرضا کبودان

استاد راهنما

دکتر نصرت ا... فلاح

اسفند ۱۳۹۲

دانشکده فنی

گروه عمران

(گرایش سازه)

روش احجام محدود توسعه یافته برای تحلیل ورق ها

از

علیرضا کبودان

استاد راهنما

دکتر نصرت الله فلاح

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم:

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

تشکر

اکنون که توفیق انجام این رساله را یافته ام، شایسته است از تمام عزیزانی که مرا در این راه یاری نموده اند سپاسگزاری کنم.

بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از استاد گرامی جناب آقای دکتر نصرت ا... فلاح که ارائه این تحقیق مرهون تشویق و راهنمایی های صبورانه ایشان است، همچنین جناب آقای مهندس میلاد ابراهیم نژاد، دانشجوی دکتری سازه دانشگاه گیلان که با توصیه ها و مساعدت خود مرا در انجام این رساله راهنمایی نمودند و همچنین اعضای کمیته دفاع از پایان نامه و تمامی اساتیدی که از محضر ایشان کسب فیض نموده ام، دوستان عزیزم که از یاریشان بهره ها برده ام ابراز می دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

تقدیم ..... ب

تشکر ..... پ

فهرست مطالب ..... ت

فهرست اشکال ..... ح

فهرست جداول ..... س

چکیده فارسی ..... ظ

چکیده انگلیسی ..... ع

فصل۱ : مقدمه ای بر ورق ها ۱

۱-۱- آشنایی با مفاهیم کلی ورق ها ۲

۱-۲- هدف از انجام این پایان نامه ۵

۱-۳- معرفی فصل های پایان نامه ۶

فصل۲ : بررسی روش احجام محدود و مروری بر کارهای پیشین ۷

۲-۱- خلاصه ای از مطالب فصل دوم ۸

۲-۲- مروری بر روند شکل گیری تئوری ورق ها ۸

۲-۳- مروری بر کارهای پیشین انجام شده با روش احجام محدود در مسائل مکانیک جامداتی ۱۰

۲-۴- معرفی روش های احجام محدود ۱۵

۲-۴-۱- روش $CC\text{-}FV$ ۱۵

۲-۴-۲- روش $CV\text{-}FV$ ۱۶

۲-۵- روش های ساخت توابع شکل در روش احجام محدود کلاسیک $CC\text{-}FV$ ۱۶

۲-۵-۱- استفاده از دستگاه مختصات محلی غیرمتعامد ۱۶

۲-۵-۲- استفاده از المان موقتی در دستگاه مختصات طبیعی ۱۹

۲-۶- معادلات حاکم بر روش احجام محدود ۲۰

۲-۷- توابع وزن در اجزای محدود ۲۲

۲-۸- توابع وزن در روش احجام محدود ۲۳

فصل۳ : توابع شکل حداقل مربعات متحرک ۲۴

۳-۱- خصوصیات توابع شکل مورد استفاده در روش های عددی ۲۵
۳-۱-۱- توابع شکل مورد استفاده در روش احجام محدود توسعه یافته ۲۶
۳-۱-۱-۱- دامنه پایه ۲۶
۳-۱-۱-۲- فرمول بندی توابع شکل حداقل مربعات متحرک ۲۸
۳-۱-۱-۳- انتخاب تابع وزن ۳۳
۳-۲- خصوصیات توابع شکل حداقل مربعات متحرک ۳۸
۳-۲-۱- سازگاری ۳۸
۳-۲-۲- بازتولید ۳۸
۳-۲-۳- خاصیت پیکربندی واحد ۳۹
۳-۲-۴- عدم ارضا خاصیت تابع دلتای کرونکر ۳۹
۳-۳- مقایسه توابع شکل مورد استفاده در روش اجزای محدود و روش حداقل مربعات متحرک ۴۲
۳-۴- دلیل استفاده از توابع شکل حداقل مربعات متحرک در روش احجام محدود کلاسیک ۴۳
فصل۴ : تئوری های رایج در تحلیل تیر ها و ورق ها ۴۵
۴-۱-تئوری های رایج در تحلیل تیرها ۴۶
۴-۱-۱-تئوری اولر-برنولی ۴۶
۴-۱-۲- تئوری تیموشنکو ۴۹
۴-۲- تئوری تغییر شکل در ورق ها ۴۹
۴-۳- مرور و بررسی تئوری های مختلف در تحلیل ورق ها ۵۰
۴-۳-۱- ورق های کیرشهف (تئوری کلاسیک ورق ها) ۵۱
۴-۳-۲- ورق های میندلین ۵۵
۴-۳-۳- تئوری مرتبه سوم تغییر شکل برشی ۵۸
فصل۵ : روش احجام محدود توسعه یافته در تحلیل مسائل مکانیک جامداتی ۶۰
۵-۱- فرمول بندی روش احجام محدود توسعه یافته در مسائل یک بعدی (تیرهای تیموشنکو) ۶۱
۵-۱-۱ تشکیل معادلات تعادل برای المان های داخلی ۶۱
۵-۱-۲- اعمال شرایط مرزی ۶۳
۵-۲- فرمول بندی روش احجام محدود توسعه یافته در مسائل دو بعدی (شامل مسائل تنش صفحه ای و تحلیل ورق ها با استفاده از تئوری $FSDT$): ۶۵
۵-۲-۱- فرمول بندی در مسائل تنش صفحه ای ۶۷

۵-۲-۲- اعمال شرایط مرزی ۶۸
۵-۲-۳- فرمول بندی روش احجام محدود توسعه یافته در تحلیل ورق ها..... ۶۹
۵-۳-۴- نحوه اعمال شرایط مرزی..... ۷۲
فصل۶ : بررسی نتایج حاصله از روش احجام محدود توسعه یافته در تحلیل مسائل مکانیک جامداتی ۷۵
۶-۱- شبیه سازی عددی..... ۷۶
۶-۲- فرایند حل در روش احجام محدود توسعه یافته ۷۷
۶-۳- بررسی نتایج حاصله از به کارگیری روش احجام محدود توسعه یافته در تحلیل تیرهای تیموشنکو ۸۲
۶-۳-۱- آنالیز تیرهای تیموشنکو ۸۲
الف) تحلیل استاتیکی تیرها..... ۸۲
مثال ۶-۳-۱-۱- تیر دو سر گیردار..... ۸۲
مثال ۶-۳-۱-۲- تیر با شرایط تکیه گاهی و بارگذاری های متفاوت ۹۲
ب) تحلیل ارتعاش آزاد تیرها ۹۶
مثال ۶-۳-۱-۳- تیر دو سر مفصل ۹۶
مثال ۶-۳-۱-۴- ارتعاش آزاد تیر های با شرای تکیه گاهی متفاوت..... ۱۰۵
ج) محاسبه بار کمانشی تیر ها..... ۱۰۹
مثال ۶-۳-۱-۵- محاسبه بار کمانشی تیر یک انتها مفصل و انتهای دیگر هدایت شونده..... ۱۰۹
مثال ۶-۳-۱-۶- محاسبه بار کمانشی تیر های با شرایط تکیه گاهی مختلف تحت اثر نیروی محوری ۱۱۵
۶-۳-۲- مسائل تنش صفحه ای..... ۱۱۸
مثال ۶-۳-۲-۱- تیر طره تحت اثر بار سطحی در انتهای آزاد آن ۱۱۸
مثال ۶-۳-۲-۲- ورق تحت بار کششی در دو انتها ۱۲۲
۶-۳-۳- آنالیز ورق ها ۱۲۴
الف) تحلیل استاتیکی ورق ها ۱۲۴
مثال ۶-۳-۳-۱ - ورق های مربعی شکل ۱۲۴
مثال ۶-۳-۳-۲ - ورق دایره ای شکل تحت اثر بار یکنواخت گسترده ۱۶۲
مثال ۶-۳-۳-۳ - ورق منحنی شکل با زاویه ۶۰ درجه ۱۶۹
مثال ۶-۳-۳-۴ - ورق های به شکل متوازی الاضلاع..... ۱۷۱
ب)ورق چهار طرف مفصل ۱۷۳

مثال ۶-۳-۳-۵- ورق طره ای ذوزنقه ای شکل با ضخامت های مختلف ۱۷۵

ب) ارتعاش آزاد ورق ها ۱۷۸

مثال ۶-۳-۳-۶- ارتعاش آزاد ورق های مربعی شکل ۱۷۹

مثال ۶-۳-۳-۷- ارتعاش آزاد ورق های دایره ای شکل ۱۸۹

مثال ۶-۳-۳-۸- ارتعاش آزاد ورق ذوزنقه ای شکل ۱۹۱

مثال ۶-۳-۳-۹- ارتعاش آزاد ورق مثلث قائم الزاویه ای شکل ۱۹۳

مثال ۶-۳-۳-۱۰- ارتعاش آزاد ورق شش وجهی منظم ۱۹۶

مثال ۶-۳-۳-۱۱- ارتعاش آزاد ورقی با شکل پیچیده ۱۹۸

ج) تحلیل کمانشی ورق ها ۲۰۱

مثال ۶-۳-۳-۱۲-محاسبه بار کمانشی ورق مربعی با شرایط تکیه گاهی متفاوت تحت اثر نیروهای درون صفحه ای ۲۰۱

مثال ۶-۳-۳-۱۳- بار کمانشی ورق لوزی شکل چهار طرف مفصل ۲۰۷

فصل۷ : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای ادامه کار.....۲۰۹

۷-۱- مقدمه ۲۱۰

۷-۲- نتیجه گیری ۲۱۰

۷-۳- پیشنهادات برای توسعه آتی روش ۲۱۱

مراجع ۲۱۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱. نیروهای داخلی در المانی از ورق های مختلف مطابق طبقه بندی بر اساس ضخامت آنها.....۳
شکل ۲-۱. حجم کنترل در روش $CC\text{-}FV$ برای المان های چند وجهی.....۱۵
شکل ۲-۲. حجم کنترل در روش $CC\text{-}FV$ برای المان های مثلثی ۱۵
شکل ۲-۳. حجم کنترل در روش $CV\text{-}FV$.....۱۶
شکل ۲-۴. حجم کنترل در روش FV ۱۷
شکل ۲-۵. حجم های کنترل مجاور ۱۸
شکل ۲-۶. المان موقتی در دستگاه مختصات طبیعی.....۱۹
شکل ۲-۷. توابع وزن برای $a)$ روش اجزای محدود و $b)$ روش احجام محدود ۲۲
شکل ۳-۱. دامنه های تأثیر دایره ای و مستطیلی شکل ۲۶
شکل ۳-۲. مثلث خیام پاسکال در حالت دوبعدی ۲۹
شکل ۳-۳. مثلث خیام پاسکال در حالت سه بعدی ۲۹
شکل ۳-۴. تابع تقریب $u_h(x)$ و پارامترهای گرهی u_i در تقریب حداقل مربعات متحرک ۳۰
شکل ۳-۵. توابع وزن، $W1$=اسپیلاین درجه ۳، $W2$=اسپیلاین درجه ۴، $W3$=تابع نمایی ۳۶
شکل ۳-۶. مشتق مرتبه اول توابع وزن، $W1$=اسپیلاین درجه ۳، $W2$=اسپیلاین درجه ۴، $W3$=تابع نمایی.....۳۷
شکل ۳-۷. مشتق مرتبه دوم توابع وزن، $W1$=اسپیلاین درجه ۳، $W2$=اسپیلاین درجه ۴، $W3$=تابع نمایی ۳۷
شکل ۳-۸. توابع شکل حداقل مربعات متحرک برای نقطه $[0.5,0.5]$ در ناحیه $x,y\epsilon[0,1]$ توسط ۱۲۲۵ نقطه در دامنه مسأله.....۴۰
شکل ۳-۹. مشتق اول توابع شکل حداقل مربعات متحرک نسبت به x برای نقطه $[0.5,0.5]$ در ناحیه $x,y\epsilon[0,1]$ توسط ۱۲۲۵ نقطه در دامنه مسأله ۴۱
شکل ۳-۱۰. مشتق اول توابع شکل حداقل مربعات متحرک نسبت به y برای نقطه $[0.5,0.5]$ در ناحیه $x,y\epsilon[0,1]$ توسط ۱۲۲۵ نقطه در دامنه مسأله ۴۱
شکل ۴-۱. تیر اولر-برنولی و فرضیات آن ۴۶
شکل ۴-۲. تنش و لنگر خمشی در مقطع تیر ۴۷
شکل ۴-۳. المانی از تیر تیموشنکو به طول dx.....۴۸
شکل ۴-۴. تغییر شکل یک ورق نازک - صفحه میانی با رنگ قرمز و بردار نرمال بر صفحه میانی با رنگ آبی نشان داده شده است. ۵۱
شکل ۴-۵. ورق تحت اثر نیروهای عمود بر آن ۵۲
شکل ۴-۶. تنش های موجود در مقطع عرضی یک المان از ورق ۵۴
شکل ۴-۷. نیرو های داخلی موجود در مقطع عرضی یک المان از ورق.....۵۴
شکل ۴-۸. مقطع عرضی ورق در تئوری میندلین ۵۶
شکل ۵-۱. درجات آزادی در گره های محاسباتی و حجم های کنترل یک تیر تیموشنکو.....۶۱

شکل ۵-۲. نیروهای داخلی در یک حجم کنترل در روش $CC\text{-}FV$ تحت اثر بار های خارجی ۶۲
شکل ۵-۳. شعاع تأثیر برای گوس پوینت نشان داده شده با رنگ قرمز (تمام گره های محاسباتی واقع در دامنه تأثیر در ساخت توابع شکل دخیل می باشند) ۶۳
شکل ۵-۴. گره های مرزی در دو انتهای تیر برای اعمال شرایط مرزی که با رنگ قرمز مشخص شده اند. ۶۳
شکل ۵-۵. مش بندی با المان های چندوجهی در روش احجام محدود $(CC\text{-}FV)$ ۶۵
شکل ۵-۶. دامنه پشتیبانی برای گوس پوینت مورد مطالعه (مراکز سلول هایی که در ساخت تابع شکل دخیل هستند با رنگ سبز نشان داده شده اند.) ۶۶
شکل ۵-۷. دامنه تأثیر برای یک سلول مرزی (سلول هایی که با رنگ سبز مشخص شده اند در دامنه تأثیر این سلول مرزی قرار دارند.) ۶۶
شکل ۵-۸. حجم کنترل P و تنش های وارده بر وجه ۱ ..... ۶۷
شکل ۵-۹. المان مرزی B برای اعمال شرایط مرزی ۶۸
شکل ۵-۱۰. جهت های مثبت قراردادی لنگرها، نیروها محوری و برشی و چرخش های مقطع ۶۹
شکل ۵-۱۱. سلول های مرزی واقع برروی مرزها برای اعمال شرایط مرزی ۷۲
شکل ۵-۱۲. نحوه اعمال شرایط مرزی ۷۳
شکل ۶-۱. روند ساخت شبیه سازی عددی ۷۷
شکل ۶-۲. نمودار مقایسه ای روند کار در روش های اجزای محدود و احجام محدود توسعه یافته ۷۸
شکل ۶-۳. مرحله ساخت توابع شکل حداقل مربعات متحرک در روند شبیه سازی عددی توسط روش احجام محدود توسعه یافته ۸۰
شکل ۶-۴. مشخصات تیر بررسی شده در مثال ۶-۳-۱-۱ ..... ۸۲
شکل ۶-۵. درصد خطای به دست آمده در تیر مثال ۶-۳-۱-۱ با استفاده ار روش های احجام محدود توسعه یافته، کلاسیک و اجزای محدود ۸۴
شکل ۶-۶. خیز تیر دو سر گیردار مثال ۶-۳-۱-۱ تحت اثر بار گسترده در طول تیر با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته توسط ۱۷ گره محاسباتی ۸۵
شکل ۶-۷. مقادیر نیروهای برشی به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای تیر مثال ۸۷
شکل ۶-۸. مقادیر لنگر های خمشی به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای تیر مثال ۸۷
شکل ۶-۹. درصد خطای ایجاد شده در بیشینه خیز تیر دو سر گیردار تحت بار متمرکز در مرکز با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۸۹
شکل ۶-۱۰. مقادیر نیرو های برشی به دست آمده برای تیر مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار متمرکز در وسط تیر با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته در طول تیر توسط ۱۷ گره محاسباتی ۹۰
شکل ۶-۱۱. مقادیر لنگر خمشی به دست آمده برای تیر مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار متمرکز در وسط تیر با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته در طول تیر توسط ۱۷ گره محاسباتی ۹۱
شکل ۶-۱۲. تیر با شرایط تکیه گاهی و نیرویی مختلف ۹۲
شکل ۶-۱۳. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر دو سر مفصل تحت اثر بار گسترده با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۹۴

شکل ۶-۱۴. بیشینه خیز به دست آمده در تیر SC تحت اثر بار متمرکز در وسط با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۹۵
شکل ۶-۱۵. بیشینه خیز به دست آمده در تیر SSL تحت اثر بار گسترده با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۹۵
شکل ۶-۱۶. درصد خطای به وجود آمده با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود در تخمین λ برای مود اول تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲.....۱۰۱
شکل ۶-۱۷. درصد خطای محاسباتی با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود در تخمین λ برای مود ششم تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲.....۱۰۲
شکل ۶-۱۸. شکل مود اول ارتعاشی تیر مثال ۶-۳-۱-۳ توسط ۲۷ گره محاسباتی ۱۰۳
شکل ۶-۱۹. شکل مود دوم ارتعاشی تیر مثال ۶-۳-۱-۳ توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۰۳
شکل ۶-۲۰. شکل مود سوم ارتعاشی تیر مثال ۶-۳-۱-۳ توسط ۲۷ گره محاسباتی ۱۰۳
شکل ۶-۲۱. شکل مود چهارم ارتعاشی تیر مثال ۶-۳-۱-۳ توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۰۴
شکل ۶-۲۲. نمودار مقایسه ای درصد خطای محاسبه شده با استفاده از دو روش احجام محدود توسعه یافته و روش اجزای محدود در تیر یکسر گیردار یکسر آزاد با نسبت ارتفاع به طول ۰,۱.....۱۰۷
شکل ۶-۲۳. شکل اولین مود ارتعاشی یک تیر طره ای با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته توسط ۲۷ گره محاسباتی ۱۰۸
شکل ۶-۲۴. شکل دومین مود ارتعاشی یک تیر طره ای با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۰۸
شکل ۶-۲۵. تیر یکسر مفصل - یکسر هدایت شونده تحت اثر بار محوری ۱۰۹
شکل ۶-۲۶. روند تغییرات درصد خطا در محاسبه بار کمانشی تیر یکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول ۰,۰۰۲ با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود.....۱۱۲
شکل ۶-۲۷. شکل اول مود کمانشی تیر یکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول ۰,۰۰۲ توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۱۳
شکل ۶-۲۸. شکل دوم مود کمانشی تیر یکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول ۰,۰۰۲ توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۱۳
شکل ۶-۲۹. شکل سوم مود کمانشی تیر یکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول ۰,۰۰۲ توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۱۴
شکل ۶-۳۰. شکل چهارم مود کمانشی تیر یکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول ۰,۰۰۲ توسط ۲۷ گره محاسباتی.....۱۱۴
شکل ۶-۳۱. مقایسه درصد خطای ایجاد شده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته هنگام انتخاب ضریب بدون بعد شعاع دامنه تأثیر نامناسب با روش اجزای محدود در تیر دو سر گیردار با نسبت ارتفاع به طول ۰,۰۰۲ .....۱۱۷
شکل ۶-۳۲. تیر طره تحت اثر بار سطحی با توزیع سهمی شکل در ارتفاع مقطع تیر ۱۱۸
شکل ۶-۳۳. توزیع تنش برشی در ارتفاع مقطع در $x=L/2$ با استفاده از روش های گوناگون عددی (المان های دو خطی در روش FEM و مقدار $alfa$=۳,۵ برای روش های EFG و $RPIM$) ۱۲۰

شکل ۶-۳۴. منحنی تغییرات U_Y بر روی محور مرکزی تیر ($Y=0$) مثال ۶-۳-۲-۱ ..... ۱۲۱
شکل ۶-۳۵. ورق مستطیلی تحت اثر نیروی کششی ۱۲۲
شکل ۶-۳۶. استفاده از خاصیت تقارن در مدل کردن ورق تحت کشش ۱۲۲
شکل ۶-۳۷. کانتور رنگی مقادیر تغییر مکان ورق در راستای x ۱۲۳
شکل ۶-۳۸ .کانتور رنگی مقادیر تغییر مکان ورق در راستای y..... ۱۲۳
شکل ۶-۳۹. مشخصات هندسی و مصالح ورق مثال ۶-۳-۳-۱ ..... ۱۲۵
شکل ۶-۴۰. شبکه ۱۵×۱۵ برای ورق مربعی شکل با المان های چهاروجهی ۱۲۵
شکل ۶-۴۱. نقاط A، B و O مورد استفاده در جداول ۶-۳۴ و ۶-۳۵ ..... ۱۲۷
شکل ۶-۴۲. درصد خطای محاسباتی جا بجایی قائم در مرکز ورق مربعی چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ به ازای مقادیر مختلف ضریب بدون بعد شعاع دامنه تأثیر ۱۲۹
شکل ۶-۴۳. تغییر شکل ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ توسط نرم افزار متلب با ۲۸۵ گره محاسباتی در دامنه مسأله ۱۳۰
شکل ۶-۴۴. کانتور رنگی خیز ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ (سمت راست = انسیس (المان $SHELL181$) و سمت چپ = متلب)..... ۱۳۰
شکل ۶-۴۵. کانتور رنگی چرخش حول محور Y برای ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ (سمت راست = انسیس (المان $SHELL181$) و سمت چپ = متلب)..... ۱۳۱
شکل ۶-۴۶. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله در بیشینه خیز ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از توابع خطی و درجه دو به ازای $alfa$=۱,۸..... ۱۳۲
شکل ۶-۴۷. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله در بیشینه خیز ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از توابع خطی و درجه دو به ازای $alfa$=۲,۷..... ۱۳۲
شکل ۶-۴۸. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله در بیشینه خیز ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از توابع خطی و درجه دو به ازای $alfa$=۳..... ۱۳۳
شکل ۶-۴۹. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله در بیشینه خیز ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از توابع خطی و درجه دو به ازای $alfa$=۳,۳..... ۱۳۴
شکل ۶-۵۰. درصد خطای به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته در محاسبه بیشینه خیز ورق چهارطرف مفصل برای نسبت های مختلف ضخامت به طول..... ۱۳۶
شکل ۶-۵۱. انواع مش بندی های مورد استفاده با توزیع منظم و نامنظم برای ورق مربعی شکل ۱۳۷
شکل ۶-۵۲. درصد خطای محاسبه شده در تخمین نیروی برشی در نقطه B (شکل ۶-۴۱) برای ورق..... ۱۳۹
شکل ۶-۵۳. مقادیر Q_x بر روی محور مرکزی ورق مثال ۶-۳-۳-۱ در جهت x..... ۱۴۰
شکل ۶-۵۴. مقادیر M_x بر روی محور مرکزی ورق مثال ۶-۳-۳-۱ در جهت x ۱۴۰
شکل ۶-۵۵. مقادیر Q_y بر روی تکیه گاه ورق مثال ۶-۳-۳-۱ در جهت x..... ۱۴۱
شکل ۶-۵۶. شکل ۶-۵۷. مقادیر M_{xy} بر روی تکیه گاه ورق مثال ۶-۳-۳-۱ در جهت x..... ۱۴۱
شکل ۶-۵۸. درصد خطای محاسباتی در جا بجایی قائم مرکز ورق مربعی چهارطرف گیردار به ازای تعداد گره های محاسباتی والمان های مختلف..... ۱۴۳

شکل ۶-۵۹. کانتور رنگی خیز ورق مربعی چهارطرف گیردار با استفاده ار نرم افزار متلب توسط ۲۸۵ گره محاسباتی در دامنه مسأله ۱۴۳
شکل ۶-۶۰ .کانتور رنگی خیز ورق مربعی چهارطرف گیردار توسط ۲۸۵ گره محاسباتی (سمت راست = انسیس (المان *SHELL181*) و سمت چپ = متلب) ۱۴۴
شکل ۶-۶۱ .کانتور رنگی چرخش حول محور Y ورق مربعی چهار طرف گیردار توسط ۲۸۵ گره محاسباتی (سمت راست = انسیس (المان *SHELL181*) و سمت چپ = متلب) ۱۴۴
شکل ۶-۶۲. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله در بیشینه خیز ورق چهار طرف گیردار با استفاده از توابع پایه خطی و درجه دو به ازای *alfa*=۱,۸ ..... ۱۴۵
شکل ۶-۶۳. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله در بیشینه خیز ورق چهار طرف گیردار با استفاده از توابع خطی پایه و درجه دو به ازای *alfa*=۳,۳ ..... ۱۴۶
شکل ۶-۶۴. درصد خطا در محاسبه نیروی برشی در نقطه B (شکل ۶-۴۱) با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و کلاسیک برای ورق چهار طرف گیردار ۱۴۹
شکل ۶-۶۵. مقادیر Q_x بر روی محور مرکزی ورق چهارطرف گیردار در جهت x ۱۵۰
شکل ۶-۶۶. مقادیر M_x بر روی محور مرکزی ورق چهارطرف گیردار در جهت x ۱۵۰
شکل ۶-۶۷. مقادیر Q_y بر روی تکیه گاه ورق چهارطرف گیردار در جهت x ۱۵۱
شکل ۶-۶۸. مقادیر M_y بر روی تکیه گاه ورق چهارطرف گیردار در جهت x ۱۵۱
شکل ۶-۶۹. ورق های با شرایط تکیه گاهی مختلف ۱۵۳
شکل ۶-۷۰. روند همگرایی خیز نقطه B (شکل ۶-۶۹) ورق مربعی شکل *CFFF* با افزایش تعداد گره های محاسباتی برای مقادیر مختلف ضریب بدون بعد دامنه تأثیر ۱۵۵
شکل ۶-۷۱. روند همگرایی خیز نقطه B (شکل ۶-۶۹) در ورق مربعی شکل *C-F-SL-F* با افزایش تعداد گره های محاسباتی برای مقادیر مختلف ضریب بدون بعد دامنه تأثیر ۱۵۵
شکل ۶-۷۲. درصد خطا در محاسبه خیز نقطه B (شکل ۶-۶۹) در ورق *SFSF* ۱۵۷
شکل ۶-۷۳. روند همگرایی خیز نقطه B (شکل ۶-۶۹) ورق مربعی شکل *CFCC* با افزایش تعداد گره های محاسباتی برای مقادیر مختلف ضریب بدون بعد دامنه تأثیر ۱۵۷
شکل ۶-۷۴. ورق مربعی چهار طرف گیردار تحت بار متمرکز در مرکز ورق ۱۵۸
شکل ۶-۷۵. نسبت خیز مرکز ورق مربعی چهارطرف گیردار به دست آمده با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و کلاسیک به خیز متناظر آن با استفاده از انسیس با ۱۰۰۰۰ المان (*SHELL181*) ۱۵۹
شکل ۶-۷۶. مقادیر Q_x بر روی محور مرکزی ورق چهارطرف گیردار تحت اثر بار متمرکز در جهت x ۱۶۰
شکل ۶-۷۷. مقادیر M_x بر روی محور مرکزی ورق چهارطرف گیردار تحت اثر بار متمرکز در جهت x ۱۶۰
شکل ۶-۷۸. مقادیر Q_y بر روی تکیه گاه ورق چهارطرف گیردار تحت اثر بار متمرکز در جهت x ۱۶۱
شکل ۶-۷۹. مقادیر M_y بر روی تکیه گاه ورق چهارطرف گیردار تحت اثر بار متمرکز در جهت x ۱۶۱
شکل ۶-۸۰. مشخصات هندسی و مصالح ورق دایره ای شکل مثال ۶-۳-۳-۲ ..... ۱۶۲
شکل ۶-۸۱. کانتور رنگی تغییر شکل ورق دایره ای مثال ۶-۳-۳-۲ ..... ۱۶۳
شکل ۶-۸۲. مش بندی های به کار رفته در دو روش احجام محدود توسعه یافته و کلاسیک برای ورق دایره ای ۱۶۳

شکل ۶-۸۳. نمودا رخیز ورق دایره ای مثال ۶-۳-۳-۲ در راستای قطر آن ۱۶۴
شکل ۶-۸۴. نمودار درصد خطا در تخمین بیشینه خیز ورق ۶-۳-۳-۲ ..... ۱۶۴
شکل ۶-۸۵. نمودار لنگر خمشی شعاعی و خمشی در امتداد قطر ورق مثال ۶-۳-۳-۲ ..... ۱۶۵
شکل ۶-۸۶. درصد خطای محاسباتی در تخمین لنگر در مرکز ورق مثال ۶-۳-۳-۲ ..... ۱۶۶
شکل ۶-۸۷. درصد خطای محاسباتی در تخمین بیشینه خیز ورق مثال ۶-۳-۳-۲ ..... ۱۶۶
شکل ۶-۸۸. انواع مش بندی های مورد استفاده در روش احجام محدود توسعه یافته برای ورق دایره ای ۱۶۷
شکل ۶-۸۹. خطای محاسباتی ورق دایره ای گیردار برای مش بندی های مختلف نشان داده شده شکل ۶-۸۸ ..... ۱۶۸
شکل ۶-۹۰. ورق مثال ۶-۳-۳-۳ تحت اثر بار متمرکز با مقدار واحد در نقطه B ۱۶۹
شکل ۶-۹۱. مش بندی های ۷×۶ و ۱۵×۱۲ مورد استفاده در مثال ۶-۳-۳-۳ ..... ۱۶۹
شکل ۶-۹۲. تغییر شکل عرضی ورق مثال ۶-۳-۳-۳ در طول محور AB ۱۷۰
شکل ۶-۹۳. ورق طره ای متوازی الاضلاع شکل مثال ۶-۳-۳-۴ تحت اثر بار گسترده یکنواخت q ۱۷۱
شکل ۶-۹۴. ورق متوازی الاضلاع چهار طرف مفصل تحت بار گسترده یکنواخت ۱۷۳
شکل ۶-۹۵. مش بندی ورق متوازی الاضلاع شکل با المان های مثلثی ۱۷۳
شکل ۶-۹۶. ورق ذوزنقه متوازی مثال ۶-۳-۳-۵ (وجه دو متری گیردار و سه وجه دیگر آزاد می باشند) ۱۷۵
شکل ۶-۹۷. روند همگرایی نتایج جدول ۶-۶۹ برای ضخامت های مختلف ورق مثال ۶-۳-۳-۵ ..... ۱۷۶
شکل ۶-۹۸. ورق چهارطرف مفصل ذورنقه ای شکل ۱۷۷
شکل ۶-۹۹. خیز ورق ذوزنقه ای شکل ۶-۹۸ در راستای محور مرکزی در جهت x ۱۷۷
شکل ۶-۱۰۰. نحوه توزیع لنگر ورق شکل ۶-۹۸ در راستای محور مرکزی در جهت x ۱۷۸
شکل ۶-۱۰۱. روند همگرایی β برای مود اول ورق چهار طرف مفصل $(t=0.01)$ با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۱۸۳
شکل ۶-۱۰۲. روند همگرایی β برای مود چهارم ورق چهار طرف مفصل $(t=0.01)$ با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۱۸۳
شکل ۶-۱۰۳. روند همگرایی β برای مود اول ورق چهار طرف گیردار $(t=0.001)$ با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۱۸۴
شکل ۶-۱۰۴. روند همگرایی β برای مود چهارم ورق چهار طرف گیردار $(t=0.001)$ با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود ۱۸۴
شکل ۶-۱۰۵. کانتور رنگی تغییر شکل در ۵ مود اول ارتعاشی برای ورق چهارطرف مفصل $(t=0.01)$ ۱۸۶
شکل ۶-۱۰۶. تغییر شکل در ۳ مود اول ارتعاشی برای ورق $CFCF$ ۱۸۸
شکل ۶-۱۰۷. تغییر شکل ورق دایره ای مثال ۶-۳-۳-۷ در ۵ مود اول ۱۹۰
شکل ۶-۱۰۸. ورق ذورنقه ای شکل مثال ۶-۳-۳-۸ (وجه پایینی گیردار و بقیه اضلاع آزاد می باشند.) ۱۹۱
شکل ۶-۱۰۹. کانتور رنگی تغییر شکل در ۵ مود اول ارتعاشی برای ورق مثال ۶-۳-۳-۸ ..... ۱۹۲
شکل ۶-۱۱۰. مشخصات ورق مثال ۶-۳-۳-۹ (ضلع پایین گیردار و دو ضلع دیگر آزاد می باشند.) ۱۹۳
شکل ۶-۱۱۱. کانتور رنگی تغییر شکل در ۵ مود اول ارتعاشی برای مثال ۶-۳-۳-۹ ..... ۱۹۵
شکل ۶-۱۱۲. ورق تحلیل شده در مثال ۶-۳-۳-۱۰ ..... ۱۹۶

شکل ۶-۱۱۳. تغییر شکل ورق مثال ۶-۳-۳-۱۰ برای ۳ مود اول ۱۹۷
شکل ۶-۱۱۴. ورق تحلیل شده در مثال ۶-۳-۳-۱۱ ..... ۱۹۸
شکل ۶-۱۱۵. نسبت فرکانس ارتعاش آزاد به دست آمده در مود اول با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود نسبت به مقدار متناظر آن با استفاده از انسیس با ۶۰۳۲ المان برای مثال ۶-۳-۳-۱۱ ..... ۱۹۹
شکل ۶-۱۱۶. نسبت فرکانس ارتعاش آزاد به دست آمده در مود چهارم با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و اجزای محدود نسبت به مقدار متناظر آن با استفاده از انسیس با ۶۰۳۲ المان برای مثال ۶-۳-۳-۱۱ ..... ۲۰۰
شکل ۶-۱۱۷. ورق چهارطرف مفصل تحت نیروی درون صفحه ای N_y ۲۰۱
شکل ۶-۱۱۸. ضریب بار کمانشی به دست آمده با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته، کلاسیک و اجزای محدود برای ورق شکل ۶-۱۱۷ ..... ۲۰۳
شکل ۶-۱۱۹. ورق های مستطیلی با شرایط تکیه گاهی مختلف تحت نیروی درون صفحه ای N_y ۲۰۳
شکل ۶-۱۲۰. ورق های مربعی شکل تحت اثر نیرو های درون صفحه ای ۲۰۵
شکل ۶-۱۲۱. ورق مثال ۶-۳-۳-۱۳ ..... ۲۰۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۶-۱. مقایسه فرایند حل در روش های احجام مدود توسعه یافته و اجزای محدود ۷۹
جدول ۶-۲. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر دو سر گیردار مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار گسترده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته و توابع پایه درجه یک ۸۳
جدول ۶-۳. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر دو سر گیردار مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار گسترده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته و توابع پایه درجه دو..... ۸۳
جدول ۶-۴. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر دو سر گیردار مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار گسترده با استفاده از روش احجام محدود کلاسیک ۸۴
جدول ۶-۵.درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر دو سر گیردار مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار گسترده با استفاده از روش اجزای محدود ۸۴
جدول ۶-۶. مقادیر تحلیلی و عددی نیرو های برشی و لنگر خمشی مثال ۶-۳-۱-۱ در طول تیر تحت بار گسترده با استفاده از ۱۷ گره محاسباتی در دامنه مسأله ۸۶
جدول ۶-۷. درصد خطاهای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر های نازک دو سر گیردار تحت بار گسترده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۸۸
جدول ۶-۸. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز تیر مثال ۶-۳-۱-۱ تحت بار متمرکز در مرکز با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۸۸
جدول ۶-۹. مقادیر تحلیلی و عددی نیرو های برشی و لنگر خمشی تیر مثال ۶-۳-۱-۱ در طول تیر تحت بار متمرکز با استفاده از ۱۷ گره محاسباتی ۹۰
جدول ۶-۱۰. جواب تحلیلی بیشینه خیز تیر های با شرایط مرزی و نیرویی مختلف ۹۲
جدول ۶-۱۱. درصد خطای ایجاد شده درمحاسبه بیشینه خیز تیر SS و CF تحت بار گسترده و متمرکز با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۹۳
جدول ۶-۱۲. درصد خطای ایجاد شده درمحاسبه بیشینه خیز تیر SS و CF تحت بار گسترده و متمرکز با استفاده از روش اجزای محدود ۹۳
جدول ۶-۱۳. مقادیر تحلیلی λ برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ ..... ۹۷
جدول ۶-۱۴. مقادیر λ به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ و ضریب بی بعد شعاع دامنه تأثیری برابر با ۱,۵..... ۹۷
جدول ۶-۱۵. مقادیر λ به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ و ضریب بی بعد شعاع دامنه تأثیری برابر با ۲,۱..... ۹۸
جدول ۶-۱۶. مقادیر λ به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ و ضریب بی بعد شعاع دامنه تأثیری برابر با ۲,۷..... ۹۸
جدول ۶-۱۷. مقادیر λ برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ با استفاده از FEM ۹۹

جدول ۶-۱۸. درصد خطای به دست آمده برای λ به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای یک تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ و ضریب بی بعد شعاع دامنه تأثیری برابر با ۱,۵ ..... ۱۰۰
جدول ۶-۱۹. درصد خطای به دست آمده برای λ یک تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۰۲ با استفاده از روش اجزای محدود ۱۰۰
جدول ۶-۲۰. مقادیر تحلیلی λ برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۰۱ توسط ۶۷ گره محاسباتی ۱۰۴
جدول ۶-۲۱. مقادیر تحلیلی λ برای تیر دو سر مفصل با نسبت ارتفاع به طول برابر ۰,۱ توسط ۶۷ گره محاسباتی ۱۰۵
جدول ۶-۲۲. مقادیر تحلیلی λ برای شش مود اول تیری با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲ و شرایط انتهایی مختلف.. ۱۰۵
جدول ۶-۲۳. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه λ برای شش مود اول تیری با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲ و شرایط انتهایی مختلف با استفاده از روش احجام محدودتوسعه یافته توسط ۳۷ گره محاسباتی ۱۰۶
جدول ۶-۲۴. درصد خطای ایجاد شده برای λ در شش مود اول تیری با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲ و شرایط انتهایی مختلف با استفاده از روش اجزای محدود توسط ۳۷ المان ۱۰۶
جدول ۶-۲۵. مقادیر طول مؤثر برای تیر های با شرایط تکیه گاهی مختلف (L کل طول تیر می باشد.)..... ۱۱۰
جدول ۶-۲۶. درصد خطای حاصله از به کارگیری روش احجام محدود توسعه یافته در محاسبه بار کمانشی تیریکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲ ..... ۱۱۰
جدول ۶-۲۷. درصد خطای حاصله از به کارگیری روش احجام محدود توسعه یافته در محاسبه بار کمانشی تیریکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۱ ..... ۱۱۱
جدول ۶-۲۸. درصد خطای حاصله از به کارگیری روش احجام محدود توسعه یافته در محاسبه بار کمانشی تیریکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۱ ..... ۱۱۱
جدول ۶-۲۹. درصد خطای حاصله از به کارگیری روش اجزای محدود در محاسبه بار کمانشی تیریکسر مفصل یکسر هدایت شونده با نسبت های مختلف ارتفاع به طول تیر ۱۱۱
جدول ۶-۳۰. درصد خطای حاصله از به کارگیری روش احجام محدود توسعه یافته در تعیین بار کمانشی تیری با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲ و شرایط تکیه گاهی مختلف..... ۱۱۵
جدول ۶-۳۱. درصد خطای حاصله از به کارگیری روش اجزای محدود در تعیین بار کمانشی تیری با نسبت ارتفاع به طول برابر با ۰,۰۰۲ و شرایط انتهایی مختلف ۱۱۶
جدول ۶-۳۲. خطای به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته در محاسبه $U_y\big|_{x=L,\,y=0}$ ۱۱۹
جدول ۶-۳۳ : جابجایی قائم در مرکز ورق مستطیلی نازک با شرایط تکیه گاهی متفاوت ۱۲۶
جدول ۶-۳۴. قدرمطلق لنگر خمشی در ورق های نازک مربعی با شرایط تکیه گاهی مختلف..... ۱۲۶
جدول ۶-۳۵. قدرمطلق نیروهای برشی در ورق های نازک مربعی با شرایط تکیه گاهی مختلف..... ۱۲۷
جدول ۶-۳۶ . درصد خطای محاسباتی جابجایی قائم در مرکز ورق مربعی چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۱۲۸
جدول ۶-۳۷. درصد خطای محاسباتی جابجایی قائم مرکز ورق مربعی چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از روش احجام محدود کلاسیک..... ۱۲۸
جدول ۶-۳۸. درصد خطای ایجاد شده در محاسبه بیشینه خیز ورق چهار طرف مفصل مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از توابع پایه درجه دو ۱۳۱

جدول ۶-۳۹. مقدار خیز ورق مربعی شکل چهار طرف مفصل تحت بار گسترده یکنواخت برای نسبت های مختلف طول به ضخامت ورق ۱۳۵
جدول ۶-۴۰. درصد خطای به دست آمده در محاسبه بیشینه خیز ورق چهارطرف مفصل با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای نسبت های مختلف ضخامت به طول ۱۳۵
جدول ۶-۴۱. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهارطرف مفصل با المان های چندوجهی با توزیع نا منظم. ۱۳۷
جدول ۶-۴۲. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهارطرف مفصل با المان های مثلثی با توزیع نا منظم ۱۳۸
جدول ۶-۴۳. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهارطرف مفصل با المان های مثلثی با توزیع منظم..... ۱۳۸
جدول ۶-۴۴. درصد خطای محاسباتی در تعیین نیروی برشی در نقطه B (شکل ۶-۴۱) برای ورق مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۱۳۹
جدول ۶-۴۵. درصد خطای محاسباتی در تعیین نیروی برشی در نقطه B (شکل ۶-۴۱) برای ورق مثال ۶-۳-۳-۱ با استفاده از روش احجام محدود کلاسیک..... ۱۳۹
جدول ۶-۴۶. درصد خطای محاسباتی در جابجایی قائم مرکز ورق مربعی چهارطرف گیردار با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۱۴۲
جدول ۶-۴۷. درصد خطا در جابجایی قائم مرکز ورق مربعی چهار طرف گیردار با استفاده از روش احجام محدود کلاسیک ۱۴۲
جدول ۶-۴۸. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهار طرف گیردار با استفاده از توابع پایه درجه دو..... ۱۴۵
جدول ۶-۴۹. درصد خطای به دست آمده در محاسبه بیشینه خیز در ورق مربعی چهار طرف گیردار با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای نسبت های مختلف ضخامت به طول ورق ۱۴۷
جدول ۶-۵۰. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهارطرف گیردار با المان های چندوجهی با توزیع نا منظم. ۱۴۷
جدول ۶-۵۱. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهارطرف گیردار با المان های مثلثی با توزیع نا منظم ۱۴۷
جدول ۶-۵۲. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق مربعی چهارطرف گیردار با المان های مثلثی با توزیع منظم..... ۱۴۸
جدول ۶-۵۳. درصد خطای محاسباتی در تعیین نیروی برشی در نقطه B (شکل ۶-۴۱) برای ورق مربعی چهار طرف گیردار با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۱۴۸
جدول ۶-۵۴. درصد خطای محاسباتی در تعیین نیروی برشی در نقطه B (شکل ۶-۴۱) برای ورق مربعی چهار طرف گیردار با استفاده از روش احجام محدود کلاسیک ۱۴۹
جدول ۶-۵۵. خطا در محاسبه جابجایی قائم در مرکز ورق مربعی دوطرف مفصل-دوطرف گیردار با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۱۵۲
جدول ۶-۵۶. نسبت جابجایی قائم در نقطه B (شکل ۶-۶۹) ورق مربعی شکل $CFFF$ با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته به خیز به دست آمده با انسیس و ۱۰۰۰۰۰ المان (المان $SHELL181$) ۱۵۴
جدول ۶-۵۷. نسبت جابجایی قائم در نقطه B (شکل ۶-۶۹) ورق مربعی شکل $C\text{-}F\text{-}SL\text{-}F$ با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته به خیز به دست آمده با انسیس و ۱۰۰۰۰۰ المان (المان $SHELL181$) ۱۵۴
جدول ۶-۵۸. درصد خطای محاسباتی در جابجایی قائم در نقطه B (شکل ۶-۶۹) ورق مربعی شکل $SFSF$ با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته ۱۵۶

جدول ۶-۵۹. نسبت جابجایی قائم در نقطه B (شکل ۶-۶۹) ورق مربعی شکل $CFCC$ با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته به خیز به دست آمده با انسیس و ۱۰۰۰۰۰ المان (المان $SHELL181$) ۱۵۶
جدول ۶-۶۰. نسبت خیز به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته در مرکز ورق مربعی چهارطرف گیردارتحت بار متمرکز در مرکز به خیز متناظر آن با استفاده از انسیس با ۱۰۰۰۰ المان ($SHELL181$) ۱۵۸
جدول ۶-۶۱. نسبت خیز به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود کلاسیک در مرکز ورق مربعی چهارطرف گیردارتحت بار متمرکز در مرکز به خیز متناظر آن با استفاده از انسیس با ۱۰۰۰۰ المان ($SHELL181$) ۱۵۹
جدول ۶-۶۲. درصد خطا در تخمین بیشینه خیز ورق دایره ای مثال ۶-۳-۳-۲ تحت اثر بار گسترده یکنواخت با استفاده از توابع پایه درجه یک و دو ۱۶۲
جدول ۶-۶۳. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق دایره ای گیردار با استفاده از المان های مثلثی با توزیع منظم (a در شکل ۶-۸۸) ۱۶۷
جدول ۶-۶۴. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق دایره ای گیردار با استفاده از المان های مثلثی با توزیع نامنظم (b در شکل ۶-۸۸) ۱۶۷
جدول ۶-۶۵. درصد خطا در محاسبه بیشینه خیز ورق دایره ای گیردار با استفاده از المان های چندوجهی (c در شکل ۶-۸۸) ۱۶۸
جدول ۶-۶۶. خیز نقاط ۱ تا ۶ نشان داده شده در شکل ۶-۹۳ به دست آمده با استفاده از روش های عددی مختلف ۱۷۲
جدول ۶-۶۷. خطای نسبی روش احجام محدود توسعه یافته و کلاسیک نسبت به انسیس با ۱۰۰۰۰ المان ($SHELL181$) ۱۷۲
جدول ۶-۶۸. ضریب λ به دست آمده برای ورق شکل ۶-۹۴ با استفاده از روش های احجام محدود توسعه یافته و کلاسیک ۱۷۴
جدول ۶-۶۹. نسبت بیشینه خیز به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته به بیشینه خیز به دست آمده توسط برنامه انسیس با ۱۰۰۰۰ المان ($SHELL181$) ۱۷۶
جدول ۶-۷۰. ضرایب نرمالیزه شده $\beta = \omega a^2 \sqrt{\frac{\rho t}{D}}$ به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای چهار مود اول در ورق چهارطرف مفصل ($t=0.01$) ۱۸۰
جدول ۶-۷۱. ضرایب نرمالیزه شده $\beta = \omega a^2 \sqrt{\frac{\rho t}{D}}$ به دست آمده با استفاده از روش احجام محدود توسعه یافته برای چهار مود اول در ورق چهارطرف گیردار ($t=0.001$) ۱۸۱
جدول ۶-۷۲. ضرایب نرمالیزه شده $\beta = \omega a^2 \sqrt{\frac{\rho t}{D}}$ به دست آمده با استفاده از روش اجزای محدود برای چهار مود اول در ورق چهارطرف مفصل ($t=0.01$) ۱۸۲
جدول ۶-۷۳. ضرایب نرمالیزه شده $\beta = \omega a^2 \sqrt{\frac{\rho t}{D}}$ به دست آمده با استفاده از روش اجزای محدود برای چهار مود اول در ورق چهارطرف گیردار ($t=0.001$) ۱۸۲