بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه

تعیین رفتار تیرهای I شکل فولادی دارای قوس افقی در حین اجرا

نگارش

سعید رشیدی

استاد راهنما

دکتر شهریار طاووسی تفرشی

استاد مشاور

دکتر جعفر عسگری مارنانی

تابستان ۱۳۹۲

این پایان نامه را تقدیم می‌کنیم

خانواده عزیزم

تشکر

از جناب آقایان دکتر طاووسی، دکتر عسگری مارنانی و دکتر سهیل منجمی‌نژاد، که در کلیه مراحل انجام پایان‌نامه با راهنمایی‌های بی‌دریغ خود مرا یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

از پدر مهربانم و مادر دلسوزم که قوت قلب و مشوق من در تمام مراحل زندگی بوده اند صمیمانه تشکر می‌کنم.

از جناب آقایان مهندس یاشار حمید زاده، امیر احمد نژاد صائین، پرویز کریمی و علیرضا صبوری، عباس بیات که خط به خط این پایان نامه را مورد بررسی قرار دادند و نظرات دلسوزانه خود را ابراز داشتند، کمال تشکر را دارم.

معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، ما دانشجویان و اعضاء هیأت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

۱- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلایند.

۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانبداری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

٤- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.

۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

٦- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.

۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب سعید رشیدی دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۸۹۰٦٦۸۸۱۱۰۰ در رشته مهندسی عمران، گرایش سازه که در تاریخ ۱۳۹۲/۰٦/۱۸ از پایان‌نامه خود تحت عنوان " تعیین رفتار تیرهای I شکل فولادی دارای قوس افقی در حین اجرا " با کسب نمره ۱۷/۵ ودرجه عالی دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می‌شوم:

۱- این پایان‌نامه حاصل تحقیق وپژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی وپژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب ، مقاله و...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه‌های موجود، نام منبع مورد استفاده وسایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده‌ام.

۲- این پایان‌نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره‌برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و .... از این پایان‌نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

٤- چنان‌چه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط ومقررات رفتار نموده ودر صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

سعید رشیدی

تاریخ و امضاء

بسمه تعالی

در تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۱۸

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای سعید رشیدی از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره ۱۷/۵ بحروف هفده و نیم و با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

فهرست مطالب

فصل اول معرفی پژوهش ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- زمینه ۸

۱-۲-۱- پل های تیر ورق I شکل دارای انحنای افقی ۸

۱-۲-۲- ساخت پل ۹

۱-۲-۳- روش های تحلیل و آنالیز تیر ورق های I شکل خمیده ۲۰

۱-۲- محتوا ۲٤

۱-۳- سازمان‌دهی پایان نامه ۲۵

فصل دوم مروری بر ادبیات و تحقیقات گذشته ۲۷

۲-۱- مقدمه ۲۷

۲-۲- توسعه مشخصات راهنما برای پل های افقی خمیده بزرگ راه ۲۷

۲-۲-۱- کنسرسیوم تیم تحقیقاتی دانشگاه ۲۷

۲-۲-۲- پروژه تحقیقاتی پل‌های فولادی خمیده ۲۹

۲-۲-۳- تیرورقهای خمیده در حین بلندکردن ۳۰

۲-۲-٤- آزمایشات تمام مقیاس و آزمایشات در محل ۳۲

۲-۳- مدل سازی کامپیوتری پل ها با تیر ورق های I شکل خمیده ۳۹

۲-۳-۱- ترکیب کردن گزینه‌های مدل سازی کامپیوتری ٤٠

۲-۳-۲- روش بار **V** ٤١

۲-۳-۳- روش های اصلاح در مقایسه با پل تحت نظارت ٤٤

۲-۳-٤- سطح مقایسات تحلیلی ٤٦

۲-۳-٥- روش $\boldsymbol{MR}$ برای تیرورق‌های جعبه‌ای خمیده ٤٧

۲-٤- محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای ٤٧

۲-٤-۱- مشخصات طراحی پل AASHTO LRFD ٤٧

۲-٤-۲- مشخصات ساخت پل AASHTO LRFD ٥٠

۲-٤-۳- راهنمای نصب پل‌های فولادی AASHTO/ NSBA ٥٠

۲-٤-٤- محدودیت‌های ارجع TXDOT برای طراحی، ساخت و نصب پل فولادی ٥١

۲-٤-٥- ترکیب ۳٤٥ گزارش NCHRP ٥٢

۲-٥- فعالیت‌های اخیر ٥٣

۲-٥-۱- مطالعات میدانی در استین تگزاس در ۸۸ پل ٥٣

۲-٥-۲- مطالعات میدانی در سان‌انجلو در تگزاس – آزمایش نصب هِرشفیلد ٦٢

۲-٥-۳- مطالعات پارامتریک محاسباتی ٦٨

۲-٥-٤- مدل اجزاءمحدود پارامتریک ٦٩

۲-٥-٥- مقادیر ویژه کمانش ٧٣

۲-٥-٦- تیرورق‌های منشوری ٧٥

۲-٦- نتیجه گیری ٩٠

فصل سوّم رفتارتیرورق‌های خمیده I شکل درحین بلندکردن ۹۱

۳-۱- مقدمه: ۹۱

۳-۲- دوران جسم طلب ۹۲

۳-۳- پیچش سطح مقطعی ۱۱۱

۳-۳-۱- لنگر پیچشی روی سطح مقطع باز ۱۱۱

۳-۳-۲- محاسبات دیاگرام لنگر پیچشی ۱۱۷

۳-٤- محاسبه جا به جایی ها و تنش های طولی: ۱۳٦

۳-۵- صفحه گسترده **UT**: ۱٤۱

۳-۵-۱- مقدمه و هدف ۱٤۱

۳-۵-۲- ورق ورودی تیرورق ۱٤۳

۳-۵-۳- **G.C** و موقعیت ایده‌ال ورق بلندکننده ۱۵۰

۳-۵-٤- صفحه رفتاری محاسبه شده ۱۵۳

۳-۵-۵- تغیر شکل تیرورق و دیاگرام‌های پیچشی ۱۵۸

۳-٦- صحت سنجی توسط **UT LIFT** ۱٦۰

۳-۷- مثال UT LIFT ۱٦٤

۳-۸- نتیجه گیری: ۱٦۸

فصل چهارم برنامه‌های تحلیل سه بعدی اجزای محدود برای تیرورق‌های I شکل خمیده در حال ساخت ۱۷۱

٤-۱- مقدمه ۱۷۱

٤-٢- اطلاعات کلی ١٧١

٤-٢-١- تحلیل اجزاء محدود ١٧٢

٤-٢-٢- پیش پردازنده ١٧٥

٤-٢-٣- پردازشگر ١٧٦

٤-٢-٤- پس پردازش‌گر ١٧٦

٤-٣- تاریخچه ABAQUS ١٨٣

٤-٤- بخش‌های ABAQUS ١٨٤

٤-٥- مبانی نرم افزار ABAQUS ١٨٤

٤-٥-١- پیش پردازش (ABAQUS/CAE) ١٨٤

٤-٥-٢- پردازش (STANDARD/EXPLICIT) ١٨٥

٤-٥-٣- مرحله پس پردازش (ABAQUS/CAE) ١٨٥

٤-٦- مدل سازی با نرم افزار ABAQUS ١٨٥

٤-٦-١- تیرورق ١٨٧

٤-٦-٢- مشخصات مصالح ١٨٨

٤-٦-٣- فولاد ١٨٨

٤-٦-٤- سوار کردن قطعات ١٨٩

٤-٦-٥- مشخصات ماژول **STEP** در مدل‌های شبیه سازی شده ١٨٩

٤-٦-٦- تعریف شرایط مرزی و بارگذاری در ماژول المان محدود ١٩٠

٤-٦-٧- مش بندی ١٩١

٤-٦-٨- ضوابط طراحی تئوری‌های تیرورق ٢١٧

٤-٦-٩- مطالعه پارامتریک نسبت ابعاد (ASPECT RATIO) ٢٢٣

٤-٦-١٠- تحلیل مقادیر ویژه کمانش ٢٢٣

٤-٦-١١- مقدمه ریاضی ٢٢٣

٤-٦-١٢- مسئله ویژه در برنامه ABAQUS ٢٢٤

٤-٧- فرمول بندی سختی هندسی المان ٢٢٥

٤-٧-١- فرمول بندی سختی هندسی المان پوسته (SHELL) ٢٢٥

٤-٧-٢- شرایط مرزی و گزینه‌های بارگذاری ٢٣٤

٤-٧-٣- حل کننده ها ٢٣٦

٤-٨- روش حل الاستیک خطی ٢٣٦

٤-٩- پس پردازش در برنامه ABAQUS ٢٣٩

٤-٩-١- بازیابی تنش گرهی ٢٣٩

٤-٩-٢- میانگین‌گیری از المان داخلی: ٢٤٤

٤-٩-٣- محاسبه عکس العمل‌ها ٢٤٦

٤-١٠- پس پردازش گر ABAQUS ٢٤٧

٤-١١- صحت سنجی: ٢٥٠

٤-١٢- اثر به کارگیری عملیات ترکیبی در ABACUS ٢٦٢

٤-١٣- نتیجه گیری‌ها در برنامه ABACUS ٢٦٧

فصل پنجم ٢٦٨

۵-۱- مقدمه ۲٦۸

۵-۲- خلاصه بازبینی نوشته‌های گذشته ۲٦۸

۵-۳- نتایج حاصله از آزمایشات صحرایی ۲٦۹

۵-٤- مدل سازی سه بعدی اجزار محدود ۲٦۹

۵-۵- پیشرفت اثرات طراحی ۲۷۱

۵-٦- تحقیقات آینده ۲۷۲

منابع و مراجع ۲۷٤

فهرست تصاویر

۱-۱- پل فولادی با تیرهای I شکل دارای قوس افقی در حین عملیات نصب تیرورق ۲

۱-۲- سقوط پل در حال ساخت کلورادو ٤

۱-۳- سقوط پل درحال ساخت شهر ایلینویز ٤

۱-٤- پل با تیر های منحنی I شکل فولادی در مرحله ساخت ٥

۱-٥- مشکل خمیدگی یا افتادگی در سرویس پذیری پل ۷

۱-٦- نقاط مرکزی قوس افقی مسیر ۸

۱-۷- مراحل ساخت تیرورق I شکل ۱۰

۱-۸- حمل تیرورق به کارگاه نصب ۱۱

۱-۹- بلند کردن تیر I شکل منحنی با یک جرثقیل به کمک تیر تقویتی بارگیر ۱۳

۱-۱۰- مونتاژ ورق‌های وصله در روی زمین ۱٤

۱-۱۱- مونتاژ تیر ورق و نصب ورق های اتصال تیر ورق در هوا ۱٥

۱-۱۲- نصب تیر ورق روی پایه های موقت و دائم ۱٦

۱-۱۳- استفاده از پایه های نگه دارنده موقت برای پایداری شاه تیر ها ۱۷

۱-۱٤- شاه تیر انحنا دار در حین نصب ۱۸

۱-۱٥- اجرای عرشه بتنی پل و نگهداری ۱۹

۱-۱٦- شمشه متحرک و پمپ بتن ۲۰

۱-۱۷- مدل جهت آنالیز سیستم تیر منحنی ۲۳

۱-۱۸- نمودار نیرو تغییر مکان ۲۳

۲-۱- تعادل تیر مَست در موقعیت انحراف ۳۲

۲-۲- تصویری از قاب آزمایشی در تست سازه ترنر فیربنک در FHWA..... ۳۶

۲-۳- آزمایش قاب در آزمایشگاه سازه ای FHWA (اقتباص شده از هارتمن ۲۰۰۵) ۳۷

۲-٤- نمایی از پل مطالعه شده توسط بل..... ۳۹

۲-۵- مقطع پل که نشان دهنده قاب عرضی، تیرورق‌ها و نیروهای داخلی است..... ٤۲

۲-٦- نمای ایزومتریک و پلان از پل مدل شده توسط چاول در سال ۲۰۰۸..... ٤۵

۲-۷- طرح‌بندی و تعیین موقعیت ارتفاعی گیج‌ها و بارها..... ۵٤

۲-۸- سطح مقطع ابزاربندی شده با سیستم دریافت اطلاعات..... ۵۵

۲-۹- موقعیت های ابزار بندی برای دهانه ١٤..... ۵٦

۲-۱۰- تصویر ۱۰-۲: توزیع تنش بال در تیرورق I شکل خمیده..... ۵۷

۲-۱۱- تصویر ۱۱-۲: جداسازی تنش‌های خمشی و پیچشی ۵۷

۲-۱۲- تصویر ۲-۱۲..... ۵۹

۲-۱۳- تصویر ۲-۱۳..... ۵۹

۲-١٤- تصویر شماره ۲-١٤..... ٦۰

۲-۱۵- تصویر شماره ۲-۱۵قرائت تغیر شکل تیرورق در حین بتن ریزی پل ۸۸..... ٦۱

۲-١٦- تصویر ۲-١٦: تکیه‌گاه‌های چوبی ساخته شده برای بلندکردن تیرورق ٦۳

۲-۱۷- تصویر ۲-۱۷: تغیرات دورانی-زمان برای تکیه‌گاه S۱ در تیر منشوری..... ٦۵

۲-۱۸- تصویر ۲-۱۸: تغیرات تنش-زمان در تکه‌گاه S۱ در تیر منشوری..... ٦٦

۲-۱۹- تصویر ۲-۱۹: تغیرات دوران-زمان در تکیه‌گاه S۲در تیر ورق منشوری ٦٦

۲-۲۰- تصویر ۲-۲۰: تغیرات تنش-زمان در تکه‌گاه S۲ در تیر منشوری..... ٦۷

۲-۲۱- نمای شماتیک تیرورق ۷۰

۲-۲۲- مدل نرم افزاری با نمایش نقاط بلند کننده ۷۱

۲-۲۳- نمای بسته از محل بلند کردن تیر I شکل خمیده ۷۲

۲-۲٤- بلند کردن آزمایشی تیر در کارگاه ۷۳

۲-۲۵- وضعیت تابیده‌گی تیر خمیده در هنگام بلند کردن از نقاط مختلف ۷٤

۲-۲٦- نمودار عکس‌العمل محل بلند کردن $\boldsymbol{bfD}$ به مقادیر ویژه ۷۵

۲-۲۷- نمودار عکس‌العمل محل بلند کردن و $\boldsymbol{bfD}$ به ضریب خمش لحظه‌ای ۷۷

شکل ۱-۲- نمودار عکس‌العمل محل بلند کردن $\boldsymbol{bfD}$ به مقادیر ویژه ۷۸

۲-۲۸- نمودار مقادر ویژه به طول بلند کردن ۷۹

۲-۲۹- نمودار مقادر ویژه به طول بلند کردن ۸۰

۲-۳۰- $\boldsymbol{Cb}$ در مقابل $\boldsymbol{al}$ برای شعاع انحنای مفروض ۸۲

۲-۳۱- نمودار شعاع انحنا و مقدار ویژه ۸۵

۲-۳۲- تغیر شکل با تیر با $\boldsymbol{aL = 0.2}$ و $\boldsymbol{bfD = 0.25}$ و مستقیم ۸۷

۲-۳۳- تغیر شکل با تیر با $\boldsymbol{aL = 0.25}$ و $\boldsymbol{bfD = 0.25}$ و مستقیم ۸۸

۲-۳٤- تغیر شکل با تیر با $\boldsymbol{aL = 0.2}$ و $\boldsymbol{bfD = 0.25}$ و شعاع انحنای ۵۰۰ فوت ۸۸

۲-۳۵- تغیر شکل با تیر با $\boldsymbol{aL =}$ ۲.۵ و $\boldsymbol{bfD = 0.25}$ و شعاع انحنای ۵۰۰ فوت ۸۹

۳-۱- پلان نمایش مرکز ثقل در تیرهای مستقیم و خمیده ۹۳

۳-۲- بلند کردن تیر خمیده افقی با یک جرثقیل ۹٤

۳-۳- تعریف متغیرها برای مرکز ثقل ۹۵

۳-٤- محل مرکز ثقل ۹۸
۳-۵- روش شماتیک برای بدست آوردن فاصله شعاعی تا مرکز ثقل ۱۰۰
۳-٦- خطوط محتمل تقاطع نقاط بلندکننده که از مرکز ثقل عبور می‌کند ۱۰۳
۳-۷- خط بهینه عبور کننده از مرکز ثقل برای صفر شدن دوران ۱۰٤
۳-۸- تیر تعادل بلند کردن برای یک جرثقیل با دو نقطه بلند کننده ۱۰۵
۳-۹- پیش بینی دوران و عکس‌العمل‌های بلند کردن ۱۰٦
۳-۱۰- تقریب زدن ارتفاع محور دوران ۱۰۹
۳-۱۱- نمای شماتیک دوران جسم صلب ۱۰۹
۳-۱۲- پیچش ناشی از تنش ۱۱۲
۳-۱۳- ایده اساسی برای محاسبه پیچش ۱۱۹
۳-۱٤- محل مرکز برش در سطح مقطع تیر ۱۲۰
۳-۱۵- خروج از مرکزیت مرکز برش و مرکز ثقل از محور اصلی بلندکننده ۱۲۲
۳-۱٦- نمای شماتیک مرحله اول محاسبه لنگر پیچشی اعمالی توسط قلاب‌های بلندکننده ۱۲۳
۳-۲۱- نمودار پیچش برای ۲/. =$\boldsymbol{LliftL}$ ۱۳۳
۳-۲۲- نمودار پیچش برای ۲۱۱/. =$\boldsymbol{LliftL}$ ۱۳٤
۳-۲۳- نمودار پیچش برای ۲۳۸/. =$\boldsymbol{LliftL}$ ۱۳٤
۳-۲٤- نمودار پیچش برای ۲۵/. =$\boldsymbol{LliftL}$ ۱۳۵
۳-۲۵- درجات آزادی المان تیر یک بعدی برای تیر ورق جزء بندی شده ۱۳۸
۳-۲٦- مولفه های طولی تنش ۱٤۰

۳-۲۷- بلندکردن تیر خمیده با یک جرثقیل از دو نقطه ۱۴۲
۳-۲۸- نمایش ورودی‌های اندازه‌ای تیر برای نرم افزار ۱۴۵
۳-۲۹- نمایش وردودی های مربوط به مهار بندی و قاب های عرضی ۱۴۶
۳-۳۰- مشخصات سطح مقطع ۱۴۸
۳-۳۱- موقعیت‌های مختلف قاب‌های عرضی ۱۴۹
۳-۳۲- نمایش خروجی برنامه برای نقاط گیره بهینه ۱۵۲
۳-۳۳- موقعیت‌های ارتفاعی برای محور دوران ۱۵۳
۳-۳۴- ورود رفتار محاسبه شده ۱۵۶
۳-۳۵- رفتار محاسبه شده خروجی ۱۵۷
۳-۳۶- گراف های خروجی نرم افزار UT LIFT ۱۵۹
۳-۳۷- اعتبار سنجی گراف ۱ UT LIFT ۱۶۱
۳-۳۸- اعتبار سنجی گراف ۱ UT LIFT ۱۶۱
۳-۳۹- اعتبار سنجی گراف ۱ UT LIFT ۱۶۲
۳-۴۰- اعتبار سنجی گراف ۱ UT LIFT ۱۶۲
۳-۴۱- پلان کلی پل ۱۶۵
۳-۴۲- نمای طولی تیر ورق ۱۶۵
۳-۴۳- گراف تغییر مکان خارج از صفحه تیر ۱۶۷
۳-۴۴- گراف دوران کلی تیر ۱۶۷
۳-۴۵- گراف پیچش تیر ۱۶۸

٤-١- مدل سازی اجزای محدودی ١٧٣
٤-٢- روند کلی برنامه UT BRIDGE ١٧٤
٤-٣- فلوچارت UT BRIDGE ١٧٥
٤-٤- نمای مقطع عرضی پل به سمت ایستگاه بعدی ١٧٧
٤-٥- قرار داد علامت انحنا ١٧٨
٤-٦- قاب عرضی ضربدری ١٧٨
٤-٧- توالی نصب پل به همراه مدل کامپوتری UT BRIDGE مربوطه ١٧٩
٤-٨- توالی نصب پل به همراه مدل کامپوتری UT BRIDGE مربوطه ١٧٩
٤-٩- توالی نصب پل به همراه مدل کامپوتری UT BRIDGE مربوطه ١٨٠
٤-١٠- الگوی تغییر شکل گل‌میخ‌های برشی در عرشه بتنی TOPKAYA ١٨١
٤-١١- نمای شماتیک آزمایش PUSH OUT ١٨١
٤-١٢- تصوریر مراحل آزمایش پوش‌اَوت ١٨٢
٤-١٣- نمودار بار- جابه‌جایی برای بتن با عمل اوری در ٤ ساعت ١٨٢
٤-١٤- مش بندی با تراکم درشت ١٩٢
٤-١٥- مش بندی با تراکم معمولی ١٩٢
٤-١٦- مش بندی با تراکم ریز ١٩٣
٤-١٧- تصویر کامپیوتری برنامه ANSYS برای مسئله خمش ورق ١٩٥
٤-١٨- تصاویر کامپیوتری ABAQUS, ANSYS مطالعه پارامتریک المان متوازی الاضلاع
بال تیرورق ١٩٩

٤-١٩- تصویر شماتیک از المان پوسته نه گره ای ٢٠١
٤-٢٠- تصویر شماتیک المان‌های پوسته پل ٢٠١
٤-٢١- سیستم مختصات طبیعی و لگاریتمی توابع شکل ٢٠٢
٤-٢٢- تصویر شماتیک از قاب عرضی ٢١٠
٤-٢٣- تصویر شماتیک سخت کننده‌های جان ٢١٢
٤-٢٤- تصویر شماتیک اثر رفتار مرکب ٢١٤
٤-٢٥- محدوده اثر سختی برشی ٢١٧
٤-٢٦- شکل شماتیک عدد گذاری گره‌ها استفاده شده در ABAQUS ٢٢٢
٤-٢٧- نمای شماتیک گره‌ای مقطع عرضی تیرورق مورب ٢٢٢
٤-٢٨- تصویر جرثقیل نگدارنده و پایه های موقت ٢٣٥
٤-٢٩- برون یابی از المان گوس ٣*٣ به نه گره الان پوسته ٢٤١
٤-٣٠- نقطه گوسی از انتگرال گیری ٢*٣*٣ ..... ٢٤٤
٤-٣١- تصویر مدل سازی شده در ABAQUS از پل مورد نظر ٢٤٨
٤-٣٢- تصویر کامپیوتری مدل سازی شده در ABAQUS از پلان وضعیت تنش‌ها ٢٤٩
٤-٣٣- تصویر کامپیوتری از نقشه ABAQUS برای بتن ریزی دهنه شماره ١ ..... ٢٥٠
٤-٣٤- مقایسه اطلات کارگاهی و مقادیر ABACUS برای تیرورق‌های ٣ (A) و ٤ (B) .. ٢٥١
٤-٣٥- مقایسه اطلات کارگاهی و مقادیر ABACUS برای تیرورق‌های ٣ (A) و ٤ (B) ... ٢٥٢
٤-٣٦- مقایسه ABACUS با اطلاعات کارگاهی و سه برنامه تحلیل دیگر برای تیرورق شماره٣ ..... ٢٥٢
٤-٣٧- مقایسه ABACUS با اطلاعات کارگاهی و سه برنامه تحلیل دیگر برای تیرورق شماره ٤ ..... ٢٥٣
٤-٣٨- نمودار مقایسه فقط برای بار مرده تیرورق ١ ..... ٢٥٤