بسم الله الرحمن الرحيم

فرم شماره۱۴

دانشکده.....

پایان نامه آقای/خانم ..... به شماره دانشجویی

..... با عنوان ..... به

تاریخ .....و شماره ثبت ..... شماره ..... مورد پذیرش

هیات محترم داوران با رتبه ..... و نمره ..... قرار گرفت.

کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱)استاد راهنما و رئیس هیات داوران	دکتر حسین شوکتی	
۲)استاد راهنمای دوم	ــــــ	ــــــ
۳)استاد مشاور (در صورت وجود)	ــــــ	ــــــ
۴)داور خارجی	دکتر چنگیز خیرمند	
۵)داور داخلی	دکتر محمدرضا شیدائی	
۶) نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر شعبانی	

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران– سازه

موضوع:

مطالعه پارامتری ظرفیت تیر ورق پلهای فولادی با ناکاملی، تقویت شده با CFRP در بال و جان

استاد راهنما :

دکتر حسین شوکتی

اساتید داور:

دکتر محمدرضا شیدایی دکتر چنگیز غیرتمند

تنظیم ونگارش :

هادی اسماعیلی تیمورلوئی

بهمن ماه ۱۳۹۰

حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

تقدیم به **پدر و مادرم**،

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

و تقدیم به **خواهر و برادرانم**،

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

تقدیر و تشکر

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. اینک که کار نگارش این پایان نامه به پایان رسیده است، بجاست از تمامی عزیزانی که هر یک به نوعی یاریگر تهیه و تدوین آن بوده اند تشکر و قدردانی شود.

بسی شایسته است از استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر حسین شوکتی، تقدیر و تشکر نمایم و زحمات ایشان را ارج مینهم که با صبر و حوصله بسیار مرا در مسیر این پایان نامه هدایت فرمودند.

همچنین از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم، سپاسگزاری نمایم.

و با سپاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام آقایان قاسم طلوعی و مجتبی نیک آذر و دیگر عزیزانی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب الف
فهرست اشکال ح
فهرست جداول ر
چکیده ز
فصل اول: پیشگفتار ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق ۲
۱-۳- روش های مقاوم سازی ۲
۱-۴- اهداف تحقیق ۴
۱-۵- رویکرد و روش انجام کار ۴
۱-۶- محدوده مورد مطالعه ۵
۱-۷- چارچوب فصول تحقیق ۶
فصل دوم: ادبیات موضوع و سابقه تحقیق ۶
۲-۱- مقدمه ۶
۲-۲- تیرورق ۶
۲-۳- مصالح کامپوزیت ۱۰
۲-۳-۱- کامپوزیت FRP ۱۱
۲-۳-۲- ماتریس FRP ۱۲
۲-۳-۳- فیبر FRP ۱۳
۲-۳-۳-۱- انواع FRP ها ۱۴
۲-۳-۳-۱-۱- فیبر شیشه ای یا Glass- Fiber ۱۴
۲-۳-۳-۱-۲- فیبر کربنی یا CFRP ۱۵
۲-۳-۳-۱-۳- فیبر آرامیدی یا AFRP ۱۶
۲-۳-۴- مزایای کلی استفاده ازFRP ۱۸
۲-۳-۵- محدودیت ها ۱۹
۲-۴- سابقه تحقیق ۲۰
۲-۴-۱- کارهای اجرایی و عملی ۲۰
۲-۴-۱-۱- پل Ibach ۲۰
۲-۴-۱-۲- پل Ashland ۲۱
۲-۴-۱-۳- پل Hythe ۲۲

۲-۴-۱-۴- پل Tickford ۲۲
۲-۴-۱-۵- پل Slattocks canal ۲۲
۲-۴-۱-۶- پل Acton ۲۳
۲-۴-۱-۷- پل Corona ۲۳
۲-۴-۱-۸- پل Pottawattamie county ۲۳
۲-۴-۲- تحقیقات علمی ۲۴
۲-۴-۲-۱- تقویت برشی تیرهای فولادی ۲۵
۲-۴-۲-۱-۱- مقاله PATNAIK, BAUER و SRIVATSAN ۲۵
۲-۴-۲-۱-۲- مقاله Mohd Zamin Jumaat, Narmshiri و Ramli Sulong ۲۵
۲-۴-۲-۲- تقویت خمشی تیرهای فولادی ۲۷
۲-۴-۲-۲-۱- مقاله talatsalama , Ahmed abd-EL-Meguid ۲۷
۲-۴-۲-۲-۲- مقاله M.AL-Emrani , D.linghoff and R.Kliger ۲۹
۲-۴-۲-۲-۳- مقاله Pierluigi Colombi و Carlo Poggi ۳۰
۲-۴-۲-۲-۴- مقاله Rajan Sen ,Larry Liby و Gray Mullins ۳۱
۲-۴-۲-۲-۵- مقاله A.H.AL-Saidy ، F.W.Klaiber و T.J.Wipf ۳۲
۲-۴-۲-۲-۶- مقاله H.E.M.Sallam ، A.A.M.Badwey ، A.M.Saba و F.A.Milhail ۳۳
۲-۵- خلاصه فصل دوم ۳۴
فصل سوم: مدل سازی به روش المان محدود ۳۵
۳-۱- مقدمه ۳۵
۳ -۲- شبیه سازی در نرم افزار ABAQUS ۳۶
۳-۲-۱- انتخاب نرم افزار جهت انجام تحلیل های عددی ۳۶
۳-۲-۲- انتخاب روش آنالیز و کلیات مدل سازی ۳۷
۳-۲-۳- مختصات هندسی مسئله ۳۸
۳-۲-۳-۱- تیرورق ۳۹
۳-۲-۳-۲- لمینیت CFRP ۴۰
۳-۲-۴- مشخصات مصالح ۴۱
۳-۲-۴-۱- فولاد ۴۱
۳-۲-۴-۲- لمینیت CFRP ۴۲
۳-۲-۴-۲-۱- مدل سازی آسیب CFRP با مدل هاشین ۴۲
۳-۲-۴-۲-۲- آسیب آغازین الیاف کامپوزت مسلح شده ۴۲
۳-۲-۴-۲-۳- تکامل آسیب ۴۵
۳-۲-۴-۲-۴- تکامل متغیرهای آسیب برای هر مد خرابی ۴۵
۳-۲-۵- سر هم کردن قطعات ۵۰
۳-۲-۶- مشخصات مدول step در مدل های شبیه سازی شده ۵۱

۳-۲-۷- تعریف تماس بین قطعات در مدل عددی ۵۲
۳-۲-۷-۱- رفتار چسبنده سطوح ۵۳
۳-۲-۷-۲- تعامل رفتار کششی – جداشدگی با رفتار فشاری و سایشی ۵۳
۳-۲-۷-۳- اعمال مصالح چسبنده به رفتار چسبنده سطوح ۵۴
۳-۲-۷-۴- رفتار کشش- جداشدگی الاستیک خطی ۵۴
۳-۲-۷-۴-۱- رفتار کششی- جداشدگی منفصل ۵۵
۳-۲-۷-۴-۲- رفتار کششی- جداشدگی متصل ۵۵
۳-۲-۷-۵- مدل کردن آسیب ۵۵
۳-۲-۷-۵-۱- تعریف معیار شروع آسیب ۵۶
۳-۲-۷-۵-۲- معیار بیشینه تنش ۵۶
۳-۲-۷-۶- تکامل آسیب ۵۶
۳-۲-۷-۶-۱- تکامل آسیب بر مبنای انرژی ۵۷
۳-۲-۷-۶-۱- تکامل آسیب نمایی ۵۷
۳-۲-۸- تعریف شرایط مرزی و بارگذاری در مدل المان محدود ۵۸
۳-۲-۹- مش بندی ۶۰
۳-۲-۱۰- مدول JOB ۶۱
۳-۳- خلاصه فصل سوم ۶۱
فصل چهارم: ضوابط طراحی و مشخصات نمونه ها ۶۲
۴-۱- مقدمه ۶۲
۴-۲- ضوابط LRFD ۶۳
۴-۲-۱- تیرورق ۶۳
۴-۲-۲- برش جان ۶۳
۴-۲-۳- مقاومت خمشی ۶۵
۴-۳- تئوری ها و آئین نامه ها ۶۶
۴-۳-۱- مقاومت کمانشی ۶۶
۴-۳-۲- مقاومت نهایی ۶۷
۴-۴- پدیده جداشدگی ۶۸
۴-۵- محاسبه افزایش سختی سیستم بوسیله CFRP ۶۹
۴-۶- مشخصات نمونه های تحلیلی ۷۲
۴-۶-۱- تعیین متغیرها و تعداد تحلیل ها ۷۲
۴-۶-۲- مشخصات نمونه های خمشی ۷۴
۴-۶-۳- مشخصات نمونه های برشی ۷۶
۴-۷- خلاصه فصل چهارم ۷۸
فصل پنجم: تیرورق های خمشی تقویت شده با CFRP ۷۹

۵-۱- مقدمه ۷۹
۵-۲- نمونه های خمشی بدون ناکاملی ۸۰
۵-۲-۱- رفتار نیرو- تغییرمکان بعد از تقویت بوسیلهCFRP ۸۰
۵-۲-۲- نتایج و نمودارهای ترکیبی برای انواع متغیرها ۸۶
۵-۲-۲-۱- بررسی اثر مقدار پوشش دهانه با لمینیت CFRP ۸۶
۵-۲-۲-۲- بررسی اثر افزایش نسبت سطح مقطع بال فشاری به کششی در ظرفیت نهایی ۸۹
۵-۲-۲-۳- بررسی اثر لاغری در ظرفیت نهایی ۹۲
۵-۲-۳- بررسی تاثیر تقویت با CFRP در وقوع کمانش جان ۹۴
۵-۲-۴- بررسی توزیع تنش های طولی در محل اتصال لمینیت CFRP به تیر فولادی ۵۶
۵-۲-۵- ارزیابی نتایج تحلیل ها ۹۷
۵ -۲-۵-۱- مقایسه مقدار ظرفیت نهایی نمونه ها با آئین نامه AISC LRFD ۹۷
۵-۲-۵-۲- مقایسه عددی و تئوری افزایش سختی نمونه ها بعد از اتصال CFRP ۹۸
۵-۳- نمونه های خمشی با ناکاملی ۱۰۰
۵-۳-۱- ناکاملی در بال کششی ۱۰۰
۵-۳-۲- ناکاملی در بال فشاری ۱۰۱
۵-۳-۳- ناکاملی در جان ۱۰۲
۵-۴- خلاصه فصل پنجم ۱۰۵
فصل ششم: تیرورق های برشی تقویت شده با CFRP ۱۰۶
۶-۱- مقدمه ۱۰۶
۶-۲- نمونه های تیرورق برشی بدون ناکاملی ۱۰۷
۶-۲-۱- نمودارهای نیرو- تغییرمکان بعد از تقویت بوسیله CFRP ۱۰۷
۶-۲-۲- بررسی تاثیر CFRP در رفتار کمانشی تیرورق ۱۱۲
۶-۲-۲-۱- لاغری ۲۰۰ ۱۱۲
۶-۲-۲-۲- لاغری ۲۵۰ ۱۱۳
۶-۲-۳- نتایج و نمودارهای ترکیبی برای انواع متغیرها ۱۱۵
۶-۲-۳-۱- بررسی اثر مقدار پوشش دهانه با لمینیت CFRP ۱۱۵
۶-۲-۳-۲- بررسی اثر لاغری در ظرفیت نهایی ۱۱۹
۶-۲-۴- ارزیابی نتایج این تحقیق ۱۲۱
۶-۲-۴-۱- مقایسه مقدار ظرفیت نهایی نمونه ها با آئین نامه AISC LRFD ۱۲۱
۶-۲-۴-۲- مقایسه بار کمانشی آنالیزهای عددی با تئوری باسلر و پورتر ۱۲۲
۶-۲-۴-۳- مقایسه عددی و تئوری ظرفیت نهایی نمونه ها ۱۲۳
۶-۲-۴-۴- مقایسه عددی و تئوری افزایش سختی نمونه ها بعد از اتصال CFRP ۱۲۵
۶-۳- نمونه های برشی با ناکاملی ۱۲۶
۶-۴- خلاصه فصل ششم ۱۲۸

فصل هفتم: نتیجه گیری ۱۲۹
۷-۱- مقدمه ۱۲۹
۷-۲- نتایج مربوط به تقویت نمونه های خمشی ۱۳۰
۷-۳- نتایج مربوط به تقویت نمونه های برشی ۱۳۱
۷-۴- پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۱۳۳
مراجع ۱۳۴

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱- تیرورق با سخت کننده های متفاوت ۷
شکل۲-۲- انواع کمانش و ناپایداری تیرورق ها ۸
شکل۲-۳- عمل میدان کششی تیرورق ۸
شکل۲-۴- تیرورق با جان کمانش یافته ۱۰
شکل۲-۵- ورقه FRP ساخته شده ازفیبرهای ناهمسانگرد یکطرفه ۱۱
شکل۲-۶- مقایسه رفتار تنش- کرنش فولاد با انواع FRP ۱۳
شکل۲-۷- جهت قرارگیری فیبرها ۱۴
شکل۲-۸- الیاف GFRP ۱۵
شکل۲-۹- لمینیت CFRP ۱۶
شکل۲-۱۰- فیبر کربن و کولار یک جهته ۱۶
شکل۲-۱۱- پل تقویت شده Ashland ۲۱
شکل۲-۱۲- پل تقویت شده Hythe ۲۲
شکل۲-۱۳- پل تقویت شده Slattocks canal ۲۳
شکل۲-۱۴- پل تقویت شده Pottawattamie county ۲۴
شکل۲-۱۵- نمودار های بار- کرنش رسم شده برای نمونه ها در وسط تیر ها ۲۶
شکل۲-۱۶- نمودار بار تغییر شکل قائم ۲۷
شکل۲-۱۷- روش های تقویت بال کششی ۲۸
شکل۲-۱۸- نمودار بار تغییر شکل برای هر ۵ نمونه ۲۸
شکل۲-۱۹- نمودار بار- کرنش برای هر ۵ نمونه ۲۹
شکل۲-۲۰- نمودار های بار- تغییر شکل برای هر چهار نمونه ۳۱
شکل۲-۲۱- نمودار بار تغییر شکل قائم ۳۳
شکل ۳-۱- تفاوت پوسته ای متداول و پیوسته ۴۰
شکل۳-۲- خواص پلاستیک فولاد ۴۱
شکل۳-۳- ورق تک جهته ۴۲
شکل۳-۴- نمودار تنش- تغیرمکان معادل ۴۶
شکل۳-۵- متغیر آسیب به عنوان تابعی از تغیرمکان معادل ۴۷
شکل۳-۶- تکامل آسیب خطی ۴۸

شکل۳-۷- تعریف تثبیت آسیب CFRP ۴۹
شکل۳-۸- تعریف مقطع CFRP ۵۰
شکل۳-۹- مدل Assembly شده ۵۱
شکل۳-۱۰-پاسخ کششی- جداشدگی ۵۵
شکل۳-۱۱- تکیه گاه ها در مدل المان محدود ۵۹
شکل۳-۱۲- بارگذاری و جهت ها ۵۹
شکل ۳-۱۳– مش بندی المان محدود تیرورق ۶۱
شکل ۴-۱- تیر فولادی مقاوم سازی شده با CFRP ۶۸
شکل ۴-۲- دیاگرام نیروها در مقطع مورد نظر ۶۹
شکل۴-۳- مقطع تیرورق تقویت شده با CFRP در وسط دهانه ۷۰
شکل۴-۴- مقطع تیرورق تقویت شده با CFRP ۷۱
شکل۴-۵- تشکیل مفصل پلاستیک در وسط دهانه ۷۵
شکل۴-۶- تشکیل مفصل پلاستیک در پانل میانی ۷۷
شکل ۵-۱- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F1 ب) نمونه F2
ج) نمونه F3 د) نمونه F4 ۸۰
شکل ۵-۲- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F5 ب) نمونه F6
ج) نمونه F7 د) نمونه F8 ه) نمونه F9 و) نمونه F19 ۸۱
شکل ۵-۳- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F20 ب) نمونه F21
ج) نمونه F22 د)نمونه F23 ه) نمونه F24 و) نمونه F25 ۸۲
شکل ۵-۴- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F26 ب) نمونه F27
ج) نمونه F37 د)نمونه F38 ه) نمونه F39 و) نمونه F40 ۸۳
شکل ۵-۵- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F41 ب) نمونه F42
ج) نمونه F43 د)نمونه F44 ه) نمونه F45 ۸۴
شکل ۵-۶- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F1، F2و F3
ب) نمونه F4، F5و F6 ۸۶
شکل ۵-۷- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F7، F8و F9
ب) نمونه F19، F20و F21 ج) نمونه F22، F23و F24 د) نمونه F25، F26و F27 ۸۷
شکل ۵-۸- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های خمشی الف) نمونه F37، F38و F39
ب) نمونه F40، F41و F42 ج) نمونه F43، F44و F45 ۸۸

شکل ۵-۹- نمودار درصد افزایش ظرفیت- نسبت سطح مقطع برای لاغری ۱۳۳ ۸۹
شکل ۵-۱۰- نمودار درصد افزایش ظرفیت- نسبت سطح مقطع برای لاغری ۲۰۰ ۹۰
شکل ۵-۱۱- نمودار درصد افزایش ظرفیت- نسبت سطح مقطع برای لاغری ۲۶۶ ۹۱
شکل ۵-۱۲- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای نسبت سطح ۱.۵ ۹۲
شکل ۵-۱۳- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای نسبت سطح ۲ ۹۳
شکل ۵-۱۴- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای نسبت سطح ۲.۵ ۹۳
شکل ۵-۱۵- نمودارهای نیرو- تغیرمکان خارج از صفحه جان الف) نمونه F۳۷ ب) نمونه F۴۱ ۹۴
شکل ۵-۱۶- توزیع تنش های برشی در طول نوار CFRP برای لاغری ۱۳۳ ۹۵
شکل ۵-۱۷- توزیع تنش های برشی در طول نوار CFRP برای لاغری ۲۰۰ ۹۶
شکل ۵-۱۸- توزیع تنش های برشی در طول نوار CFRP برای لاغری ۲۶۶ ۹۶
شکل ۵-۱۹- مقایسه نتایج عددی با آئین نامه ۹۸
شکل ۵-۲۰- نمودار نیرو – تغییر مکان قائم نمونه ۴ درجه(IF۶) ۱۰۰
شکل ۵-۲۱- نمودار نیرو – تغییر مکان قائم نمونه ۶ درجه(IF۷) ۱۰۰
شکل ۵-۲۲- نمودار نیرو – تغییر مکان قائم نمونه ۴ درجه(IF۸) ۱۰۱
شکل ۵-۲۳- نمودار نیرو – تغییر مکان قائم نمونه ۶ درجه(IF۹) ۱۰۲
شکل ۵-۲۴- نمودار نیرو- تغییر مکان خارج از صفصه در جان برای نمونه تقویت نشده ۱۰۳
شکل ۵-۲۵- نمودار نیرو- تغییر مکان خارج از صفصه در جان برای نمونه تقویت شده ۱۰۳
شکل ۶-۱- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های برشی الف) نمونه S۱ و S۲
ب) نمونه S۳ و S۴ ۱۰۷
شکل ۶-۲- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های برشی الف) نمونه S۵ و S۶
ب) نمونه S۷ و S۸ ج) نمونه S۹ و S۱۰ د) نمونه S۱۱ و S۱۲ ۱۰۸
شکل ۶-۳- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های برشی الف) نمونه S۱۳ و S۱۴
ب) نمونه S۱۵ و S۱۶ ج) نمونه S۱۷ و S۱۸ د)نمونه S۱۹ و S۲۰ ۱۰۹
شکل ۶-۴- نمودارهای نیرو- تغییرمکان قائم برای نمونه های برشی الف) نمونه S۲۱ و S۲۲
ب) نمونه S۲۳ و S۲۴ ۱۱۰
شکل ۶-۵- نمودار نیرو- تغییرمکان خارج از صفحه برای نمونه های برشی S۹ تا S۱۲ ۱۱۲
شکل ۶-۶- نمودار نیرو- تغییرمکان خارج از صفحه برای نمونه های برشی S۱۳ تا S۱۶ ۱۱۳
شکل ۶-۷- نمودار نیرو- تغییرمکان خارج از صفحه برای نمونه های برشی S۱۷ تا S۲۰ ۱۱۴
شکل ۶-۸- نمودار نیرو- تغییرمکان خارج از صفحه برای نمونه های برشی S۲۱ تا S۲۲ ۱۱۴

شکل ۶-۹- درصد افزایش ظرفیت- درصد طول پوشش دهانه برای لاغری ۱۵۰ و a/h = ۱ ۱۱۵
شکل ۶-۱۰- درصد افزایش ظرفیت- درصد طول پوشش دهانه برای لاغری ۱۵۰ وa/h = ۱.۳۳ ۱۱۶
شکل ۶-۱۱- درصد افزایش ظرفیت- درصد طول پوشش دهانه برای لاغری ۲۰۰ و a/h = ۱ ۱۱۶
شکل ۶-۱۲- درصد افزایش ظرفیت- درصد طول پوشش دهانه برای لاغری ۲۰۰ وa/h = ۱.۳۳ ۱۱۷
شکل ۶-۱۳- درصد افزایش ظرفیت- درصد طول پوشش دهانه برای لاغری ۲۵۰ و a/h = ۱ ۱۱۷
شکل ۶-۱۴- درصد افزایش ظرفیت- درصد طول پوشش دهانه برای لاغری ۲۵۰ وa/h = ۱.۳۳ ۱۱۸
شکل ۶-۱۵- تشکیل مفصل پلاستیک برشی از پانل اول، بعد از تقویت پانل های میانی ۱۱۸
شکل ۶-۱۶- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای حالت تقویت یک طرفه ۱۱۹
شکل ۶-۱۷- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای حالت تقویت دو طرفه ۱۱۹
شکل ۶-۱۸- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای حالت تقویت یک طرفه ۱۲۰
شکل ۶-۱۹- نمودار درصد افزایش ظرفیت- لاغری برای حالت تقویت دو طرفه ۱۲۰
شکل ۶-۲۰- مقایسه نتایج عددی با آئین نامه ۱۲۲
شکل ۶-۲۱- مقایسه نتایج عددی با تئوری باسلر ۱۲۳
شکل ۶-۲۲- مقایسه نتایج عددی با تئوری باسلر و راکی- پورتر ۱۲۴
شکل ۶-۲۳- نمودار نیرو- تغییر مکان خارج از صفحه در جان برای نمونه تقویت نشده ۱۲۶
شکل ۶-۲۴- نمودار نیرو- تغییر مکان خارج از صفحه در جان برای نمونه تقویت شده ۱۲۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱- مقایسه انواع فیبرهای FRP ۱۷
جدول۲-۲- مقایسه خصوصیات مکانیکی نمونه های مختلف کامپوزیت FRP ۱۷
جدول۴-۱- مشخصات مقطع تقویت شده خمشی ۷۰
جدول۴-۲- مشخصات مقطع تقویت شده برشی ۷۱
جدول۴-۳- شمارش تعداد آنالیزها و پارامترهای خمشی ۷۳
جدول۴-۴- شمارش تعداد آنالیزها و پارامترهای برشی ۷۳
جدول۴-۵- نام و مشخصات نمونه های خمشی ۷۵
جدول۴-۶- رده بندی AASHTO برای ضخامت بال ها ۷۶
جدول۴-۷- نام و مشخصات نمونه های برشی ۷۷
جدول ۵-۱- درصد افزایش ظرفیت و مد خرابی نمونه های خمشی ۸۵
جدول ۵-۲- مقایسه عددی و آئین نامه ظرفیت نهایی نمونه های بدون تقویت ۸۸
جدول ۵-۳- مقایسه عددی و تئوریک افزایش سختی نمونه های تقویت شده ۹۹
جدول ۵-۴- مقایسه ظرفیت نهایی نمونه های ناکامل و اصلی ۱۰۱
جدول ۵-۵- مقایسه ظرفیت نهایی نمونه های ناکامل و اصلی ۱۰۲
جدول ۵-۶- مقایسه ظرفیت نهایی نمونه های ناکامل و اصلی ۱۰۴
جدول ۶-۱- درصد افزایش ظرفیت و مد خرابی نمونه های برشی ۱۱۱
جدول ۶-۲- مقایسه عددی و آئین نامه ظرفیت نهایی نمونه های بدون تقویت ۱۲۱
جدول ۶-۳- مقایسه نتایج عددی با تئوری باسلر برای بار کمانشی نمونه های بدون تقویت ۱۲۳
جدول ۶-۴- مقایسه نتایج عددی با تئوری باسلر و راکی-پورتر برای ظرفیت نهایی نمونه های بدون تقویت ۱۲۴
جدول ۶-۵- مقایسه عددی و تئوریک افزایش سختی نمونه های تقویت شده ۱۲۵
جدول ۶-۶- مقایسه ظرفیت نهایی نمونه های ناکامل و اصلی ۱۲۷

چکیده

امروزه در سطح جهان بیشتر کشورها و آژانس های ملی و بین المللی، با پدیده تخریب پل ها مواجه هستند؛ بیشتر این پل ها شامل پل های قدیمی ساخته شده از مقاطع نورد شده و یا تیرورق ها می باشند. سرعت تخریب پل ها و عملکرد آن ها با عمر طولانی، در دو دهه گذشته بین محققان به طور مفصل بحث شده است. تیرورق‌های پل ها به دلایلی از جمله اصلاح ضرایب آئین نامه ها، کاهش سختی بدلیل خوردگی در بال و جان و نیز اضافه بار ناشی از وسایل نقلیه نیاز به تقویت خواهند داشت؛ روش‌های مختلفی از جمله جوش کردن ورق فولادی و پس کشیدگی اعضا برای مقاوم سازی این نوع سازه ها وجود دارد؛ در میان انواع روش های مقاوم سازی، تقویت عضو آسیب دیده با مواد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف FRP، از جایگاه ویژه ای برخوردار می باشد، کامپوزیت FRP که ابتدا در صنایع هوا و فضا بکار برده می شد با داشتن ویژگی های ممتاز چون نسبت بالای مقاومت به وزن، دوام در برابر خوردگی و سرعت و سهولت در حمل و نصب، دریچه ای نو پیش روی مهندسین عمران گشوده است. در این پایان نامه، نمونه های متنوعی از تیرورق ها با اندازه واقعی بوسیله نرم افزار المان محدود ABAQUS آنالیز می شوند. نمونه های تقویت شده خمشی که با CFRP در بال کششی تقویت خواهند شد؛ طوری طراحی می شوند که شکست خمشی داشته باشند؛ این نمونه ها دارای متغیرهای نسبت سطح مقطع بال فشاری به کششی، طول CFRP و لاغری هستند. نمونه های تقویت شده برشی طوری طراحی می شوند که در حالت برشی خراب شوند، در این نمونه ها جان تیرورق با CFRP پوشانده می شود؛ متغیرهای این حالت نیز لاغری، فاصله سخت کننده، تقویت طرفین و درصد پوشش دهانه می باشد. در نهایت هم اثر ناکاملی های هندسی بطور مستقل بحث می شود. بعد از انجام آنالیزها و بررسی نتایج مشخص گردید که تقویت با مصالح CFRP ظرفیت نهایی و سختی تیرورق ها را تا حد مطلوبی افزایش می دهد.

فصل اول:

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

تیرورقها یکی از اجزای سازه ای هستند که در سازه های فولادی، مخصوصا پل ها بطور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند. اعضا ی تیرورق به منظور تامین کارایی بهتر از ورق ساخته می شود؛ استفاده از تیرورق زمانی اقتصادی خواهد بود که دهانه خمشی به اندازه کافی بزرگ باشد. تیرورق‌ها به دلایلی از جمله اصلاح ضرایب آئین نامه ها، کاهش سختی بدلیل خوردگی در بال و جان، نیز اضافه بار ناشی از وسایل نقلیه نیاز به تقویت خواهند داشت. روش‌های مختلفی از جمله جوش کردن ورق فولادی و پس کشیدگی اعضا برای مقاوم سازی این نوع سازه ها وجود دارد. در این میان تقویت با مصالح FRP بدلیل داشتن مزایایی از جمله اجرای سریع و راحت، هزینه‌های نسبتا پایین، افزایش عمر مفید سازه بعد از تقویت و همچنین امکان اجرای کار در محل هایی که دسترسی به سازه با مشکل مواجه است بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است؛ به گونه ای که امروزه سازه های متعددی در سرتاسر دنیا با استفاده از این مواد تقویت شده اند؛ استفاده از مصالح کامپوزیت به طور قابل توجهی در صنعت ساختمان با سرعت در حال توسعه می باشد و در مجامع علمی نیز تحقیقات متنوعی روی آن در حال انجام است. در این پایان نامه اثر تقویت خمشی و برشی تیرورق با لمینیت CFRP بررسی می شود.

۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

در طی ۴۰ سال گذشته اتحادیه حمل و نقل ایالتی آمریکا(AASHTO)[۱] و اداره راه فدرال(FHWA)[۲]، برنامه ای برای بازرسی سالانه پل ها، تدوین کرده است. در طی این بازرسی ها معلوم شد که یک سوم پل های شاهراه ها در این کشور زیر استاندارد هستند. طبق آخرین اعلام نشریه ملی پل(NBI)[۳] در این کشور، تعداد ۸۱۰۰۰ پل در سطح این کشور در شاهراه ها موجود است و ۴۳٪ این پل ها از مقاطع فولادی ساخته شده اند. در این گزارش بیشترین آسیب مربوط به پل های فولادی می باشد. خوردگی، کمبود دوام و خستگی مهمترین مسایل در این پل ها هستند. علاوه بر مشکلات مذکور، بیشتر این پل ها نیاز به تقویت در برابر ترافیک های بیشتر می باشند. .

کشور ما نیز از این قضیه مستثنی نیست، در یک محیط دریایی نظیر خلیج فارس، شرایط جغرافیایی و آب و هوای نامناسب، که بسیاری از عوامل خورنده را به همراه دارد، با درجه حرارت بالا و نیز رطوبت بالا همراه شده که نتیجتاً خوردگی در سازه ها را تشدید می‌کند. در مناطق ساحلی خلیج فارس، در تابستان درجهٔ حرارت از ۲۰ تا ۵۰ درجهٔ سانتیگراد تغییر می‌کند، در حالیکه گاه اختلاف دمای شب و روز، به بیش از ۳۰ درجهٔ سانتیگراد می رسد. این در حالی است که رطوبت نسبی اغلب بالای ۶۰ درصد بوده و بعضاً نزدیک به ۱۰۰ درصد است؛ این شرایط نامناسب در شهرهای ساحلی نیز سبب تخریب سازه ها و پل ها می شود.

پل های آسیب دیده باید مقاوم سازی شوند و یا از نو ساخته شوند؛ هزینه های مقاوم سازی در بیشتر مواقع از ساخت پل های جدید کمتر است و علاوه بر آن تعمیر و مقاوم سازی معمولا زمان کمتری می خواهد و نیاز به بازرسی های دوره ای کمتری دارد. با توجه به این نکات استفاده از مصالحی جدید در این عرصه امری اجتناب ناپذیر بشمار می رود.

۱-۳- روش های مقاوم سازی

عمده ترین تکنیک های مورد استفاده برای مقاوم سازی پل ها به شرح زیر است:

۱. مقاوم سازی اعضا
۲. اضافه کردن اعضا
۳. توسعه عمل ترکیبی
۴. فراهم کردن پیوستگی در تکیه گاه ها
۵. پیش کشیدگی

[۱] American Association of State High-way and Transportation
[۲] Federal High-way Administration
[۳] National bridge inventory

تمامی روش های اشاره شده نیاز به ماشین آلات سنگین، بازرسی های دوره ای زیاد و اکثرا گران قیمت هستند و در بیشتر موارد نمی تواند به کلی مشکل را حل کند.

به عنوان مثال استفاده از صفحات فولادی جوش شده، یکی از روش های مرسوم و سنتی می باشد. اولین استفاده از این تکنیک مربوط به قبل از سال ۱۹۳۴ در فرانسه است که یک پل ۷۳ ساله تعمیر گردید. (Klaiber et al. ۱۹۷۸) مهمترین معایب این روش به شرح زیر است:

۱. نیاز به ماشین آلات سنگین جهت جابجایی صفحات فولادی
۲. به وجود آمدن اثرات خستگی در اعضا
۳. احتمال خوردگی گالوانیک بین صفحه جوش شده و عضو اصلی

چندین مطالعه نیز در راستای استفاده از صفحات فلزی، در حالت چسباندن به وسیله اپوکسی نیز انجام شده است. نخستین گزارش در این زمینه مربوط به پیش از سال ۱۹۶۴ در Durban آفریقای جنوبی می باشد که برای تقویت یک تیر بتنی استفاده شد. (Dussek ۱۹۸۰) این تیر در قسمت کششی توسط صفحه فولادی چسبیده شده تقویت گردید. در سال ۱۹۷۵ در ژاپن، بیشتر از ۲۰۰ دال بتنی پل های شاهراه ها بوسیله چسباندن صفحه های فولادی تقویت گردید. (Raithby ۱۹۸۰)

در یک مطالعه انجام شده در دانشگاه Maryland ، اتصال صفحات فولادی به وسیله اپوکسی به یک تیر فولادی، بهبود کافی در عمر خستگی عضو را نشان داد (Albrecht et al. ۱۹۸۴). آن ها افزایش در عمر خستگی ۲۰ برابر نسبت به حالت جوش شده را گزارش کردند.

در دهه هشتاد میلادی، سیستم های پلیمر مسلح شده با الیاف Fiber Reinforced Polymers با نام اختصاری FRP در دنیا معرفی شدند؛ که به دلیل داشتن دو جز اصلی، شامل الیاف و ماده چسباننده آنها به یکدیگر به عنوان نوعی ماده مرکب یا کامپوزیت Composite به شمار می روند. در مواد مرکب یا کامپوزیت ها مشخصات شیمیایی و فیزیکی هر کدام از اجزا متشکله به تنهایی محفوظ است، اما در کنار یکدیگر ماده ای جدید با خصوصیات فیزیکی و رفتار مکانیکی تازه ای را تشکیل می دهند که کاربردهای ویژه دارند. در کامپوزیت های FRP، مشخصات فیزیکی جدید، مثل سبکی و نازک بودن؛ و مشخصه مکانیکی حائز اهمیت آنها، مثل مقاومت کششی چندین برابر فولاد و ضریب ارتجاعی مناسب است که کاربردهای آنها را در مقاوم سازی و بازسازی سازه های بتنی، فولادی و بنایی بسیار گسترده و فراگیر کرده است.

اولین تحقیقات انجام شده در زمینه FRP ها از اوایل دهه ۱۹۸۰ آغاز شده است، زلزله ۱۹۹۰ کالیفرنیا و ۱۹۹۵ کوبه ژاپن نیز از جمله عوامل موثرتری برای بررسی کاربرد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف FRP جهت تقویت و مقاوم سازی سازه ها در مناطق زلزله خیز گردید.

خواص مکانیکی و فیزیکی لمینیت های CFRP ، آن ها را به عنوان بهترین انتخاب در پروسه مقاوم سازی معرفی میکند. در این رابطه تعداد زیادی کارهای تحقیقاتی درباره ارزیابی موثر بودن انواع صفحات CFRP در بهسازی و مقاوم سازی پل های فولادی(شامل پل های تحت اضافه بار) انجام گرفته است. آنالیزهای قابلیت اعتماد که بر روی یک پل با تیرهای بتنی تقویت شده با CFRP توسط Okeil انجام شده، نشان می دهد که مقاومت لمینیت های CFRP ضریب تغییرات کمتری نسبت به فولاد و بتن دارند و تقویت با این لمینیت ها، قابلیت اعتماد سازه را افزایش می دهد.

۱-۴- اهداف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق، مشخص کردن مقدار افزایش ظرفیت نهایی تیرورق ها، بوسیله تقویت با لمینیت های CFRP می باشد. این تقویت ها شامل تقویت خمشی و برشی تیرورق است. همچنین در این مطالعه اثرات ناکاملی در تیرورق تقویت شده بررسی می شود و درصد کاهش ظرفیت در اثر ناکاملی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۵- رویکرد و روش انجام کار

برای رسیدن به اهداف بیان شده، نمونه های متنوعی از تیرورق ها با اندازه واقعی آنالیز می شوند؛ برای انجام تحلیل ها از نرم افزار المان محدود ABAQUS استفاده شده است. ابتدا تعدادی تیرورق در حالتی که به خمش خراب خواهند شد، با لمینیت CFRP، در بال کششی تقویت می شود. نمونه های خمشی دارای متغیرهای نسبت سطح مقطع بال فشاری به کششی، طول CFRP و لاغری است. در حالت دوم تعداد معینی تیرورق نیز طوری طراحی می شوند که در حالت برشی خراب شوند و در این نمونه ها جان تیرورق با لمینیت CFRP پوشانده می شود. متغیر های این حالت نیز لاغری، فاصله سخت کننده ها، تقویت طرفین و درصد پوشش دهانه می باشد. در نهایت هم اثر ناکاملی های هندسی به طور مستقل بحث خواهد شد.

۱-۶- محدوده مورد مطالعه

محدوده انجام این پایان نامه همان تقویت خمشی و برشی تیرورق ها در بال کششی و جان می باشد و غیر از موارد مذکور در قسمت دیگری از تیرورق تقویت نخواهیم داشت. در این مطالعه فرض شده است که تیرورق از یک مقطع I شکل با بال های فشرده و جان لاغر، طبق آیین نامه LRFD طراحی شده است؛ همچنین سخت کننده ها طبق این آیین نامه محاسبه و نصب شده اند. تکیه گاه های تیرورق نیز در تمامی حالات بصورت تیر ساده هستند. اجزا تیرورق توسط جوش به هم متصل شده و جوش نیز مقاومت کافی را دارا می باشد.