بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **پیمان پورکرامت** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تعیین مدلهای رفتاری و پاسخ پس از ترك خوردگی المانهای بتن مسلح تقویت شده با FRP در برش** در تاریخ ١٣٨٨/٧/٦ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مسعود سلطانی محمدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل عربزاده	استادیار	
استاد ناظر	دکتر شریف شاه بیك	استادیار	
استاد ناظر	دکتر ایرج محمودزاده کنی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر شریف شاه بیك	استادیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمي دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنايت به سياست‌هاي پژوهشي دانشگاه در راستاي تحقق عدالت و كرامت انسانها كه لازمه شكوفايي علمي و فني است و رعايت حقوق مادي و معنوي دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضاي هيات علمي، دانشجويان، دانش آموختگان و ديگر همكاران طرح، در مورد نتايج پژوهشهاي علمي كه تحت عناوين پايان‌نامه، رساله و طرحهاي تحقيقاتي كه با هماهنگي دانشگاه انجام شده است، موارد ذيل را رعايت نمايند:

ماده ۱- حقوق مادي و معنوي پايان نامه‌ها / رساله‌هاي مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداري از آن بايد با ذكر نام دانشگاه و رعايت آيين‌نامه‌ها و دستورالعمل‌هاي مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله يا مقالات مستخرج از پايان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشريات علمي و يا ارائه در مجامع علمي بايد به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مكاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتي كه پس از دانش آموختگي بصورت تركيبي از اطلاعات جديد و نتايج حاصل از پايان‌نامه/ رساله نيز منتشر مي‌شود نيز بايد نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار كتاب حاصل از نتايج پايان نامه / رساله و تمامي طرحهاي تحقيقاتي دانشگاه بايد با مجوز كتبي صادره از طريق حوزه پژوهشي دانشگاه و بر اساس آئين نامه هاي مصوب انجام مي‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوين دانش فني و يا ارائه در جشنواره‌هاي ملي، منطقه‌اي و بين‌المللي كه حاصل نتايج مستخرج از پايان نامه/ رساله و تمامي طرح‌هاي تحقيقاتي دانشگاه بايد با هماهنگي استاد راهنما يا مجري طرح از طريق حوزه پژوهشي دانشگاه انجام گيرد.

ماده ۵- اين دستورالعمل در ۵ ماده و يك تبصره در تاريخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شوراي پژوهشي دانشگاه به تصويب رسيده و از تاريخ تصويب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد اين دستورالعمل، از طريق مراجع قانوني قابل پيگيري مي شود.

نام و نام خانوادگي پيمان پوركرامت

امضاء

۸۹/۱۱/۱۷

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته عمران – سازه است که در سال ۱۳۸۸ در دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر مسعود سلطانی محمدی ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر---------- و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ------ ------از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب پیمان پورکرامت دانشجوی رشته سازه مقطع‌کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: پیمان پورکرامت

تاریخ و امضا: ۸۹/۱۱/۱۷

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد عمران - سازه

تعیین مدلهای رفتاری و پاسخ پس از ترک خوردگی المانهای بتن مسلح تقویت شده با FRP در برش

پیمان پورکرامت

استاد راهنما:

دکتر مسعود سلطانی محمدی

مهر ۱۳۸۸

تشکر و قدردانی

سپاس خدای یکتا و آفریدگار توانا که همه خوبی ها از اوست و بزرگی سزاوار او.

اکنون که به یاری خداوند متعال قادر به انجام مجموعه فعالیتهایی در قالب این پایان نامه بودم، بر خود واجب می دانم که از زحمات خالصانه و بی شائبه و راهنمایی های ارزشمند استاد گرانقدر خود جناب آقای دکتر سلطانی محمدی کمال تشکر و قدردانی را بجا آورم. با این امید که این مجموعه در راستای ارتقای علم و پیشرفت کشور عزیزمان موثر باشد. همچنین از زحمات و راهنمایی‌های تمامی اساتید گروه سازه و زلزله قدردانی می‌نمایم.

پیمان پورکرامت

مهر ۱۳۸۸

چکیده

یکی از دقیقترین روشهای بررسی رفتار اعضا بتن مسلح استفاده از روش ریز مدلسازی می باشد که در آن با بررسی رفتار بتن، آرماتور، FRP و اندرکنش بین آنها به مدلسازی پرداخته می شود.

با توجه به آنکه در سالیان اخیر بحث تقویت و بهسازی اعضا بتن مسلح توسط صفحات FRP مطرح شده است، لزوم بررسی المانهای بتن مسلح تقویت شده با FRP در حالتهای مختلف بارگذاری ضروری می باشد.

در این تحقیق سعی بر آن است که با شبیه سازی رفتار المانهای بتن مسلح تقویت شده با FRP تحت تنشهای داخل صفحه به روش ریز مدلسازی، با اعمال اثرات لغزش و جداشدگی FRP و آرماتور و توزیع ترکها رفتار کلی این المانها بررسی شود، که می تواند مبنای مدلهای رفتاری برای استفاده در برنامه های اجزا محدود وهمچنین توسعه مدلهای مناسب برای تعیین مقاومت اعضای بتن مسلح تقویت شده با FRP باشد.

فرضیات جهت آنالیز این اعضا شامل مدلسازی به صورت دو بعدی تحت تنشهای داخل صفحه و یکنواختی فاصله ترکها می باشد و عرض ترکها به صورت متوسط در نظر گرفته می شود.

کلید واژه ها : بتن مسلح، ریزمدلسازی، FRP، برش

فهرست مطالب:

مقدمه ۱

فصل۱

معرفی کامپوزیتهای FRP و کاربرد آن در مقاوم سازی سازه های بتن مسلح ۲

۱- ۱- مقدمه ۲

۱-۲- انواع ورق های کامپوزیت FRP ۳

۱-۳- ویژگی های مکانیکی کامپوزیت های FRP ۳

۱-۴- رزین ها ۵

۱-۵- مقایسه عملکرد انواع کامپوزیت های FRP در مقاوم سازی سازه ها ۵

۱-۶- روش های مقاوم سازی با استفاده از FRP ۶

۱-۷- انتخاب روش مقاوم سازی ۸

۱-۸- مودهای شکست تیرهای تقویت شده با FRP ۱۰

۱-۸-۱-کلیات ۱۰

۱-۸-۲- شکست برشی ناشی از گسیختگی FRP ۱۱

۱-۸-۳- شکست برشی بدون گسیختگیFRP ۱۲

۱-۸-۴- شکست برشی همراه با جداشدگی FRP ۱۲

۱-۸-۵- شکست در نزدیکی مهارهای مکانیکی ۱۳

فصل ۲

مقاومت برشی اعضای بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۴

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- ظرفیت برشی تیرهای بتن آرمه تقویت شده با FRP ۱۴
۲-۳- میزان شرکت پذیری FRP در مقاومت برشی اعضاء ۱۷
۲-۳-۱- روابط پیشنهادی Chaallal ۱۷
۲-۳-۲- روابط پیشنهادی Khalifa و همکاران ۱۷
۲-۳-۳- روش آئین نامه کانادا (۲۰۰۰) CSA - S806 ۱۹
۲-۳-۴- تحقیقات Lu و همکاران(۲۰۰۴و۲۰۰۵) ۱۹
۲-۳-۵- روابط گروه شیمیایی میتسوبیشی ۲۱
۲-۳-۶-رابطه پیشنهادی Taljstan (۲۰۰۳) ۲۴
۲-۳-۷- رابطه آیین نامه ای JSCE ۲۵
۲-۳-۸- مدل مقاومت برشی Chen و Teng ۲۶
۲-۳-۸-۱- شکست برشی کنترل شونده توسط گسیختگی FRP ۲۹
۲-۳-۸-۲- شکست برشی کنترل شونده توسط جدا شدن FRP ۳۲
۲-۳-۸-۳- توصیه های طراحی ۳۵
۲-۳-۸-۴- شکست برشی کنترل شونده توسط گسیختگی FRP ۳۶
۲-۳-۸-۵- شکست برشی کنترل شونده با کنده شدن FRP ۳۷
۲-۳-۸-۶- فاصله جاگذاری نوارهای FRP ۳۸
۲-۳-۸-۷- مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۳۹

فصل ۳

بررسی آزمایشگاهی رفتار المان های بتن مسلح تحت تنش های داخل صفحه ۴۳
۳-۱- مقدمه ۴۳

۳-۲- آزمایشهای انجام شده در دانشگاه تورنتو ۴۳
۳-۳- نتایج آزمایشگاهی ۴۹
۳-۳-۱- پانل تحت برش خالص ۴۹
۳-۳-۲- پانل تحت ترکیب برش و تنش دو محوره ۵۳
۳-۴- پانلهای آزمایشگاهی دانشگاه هوستون ۵۵
۳-۴-۱- رفتار پانل های آزمایش شده ۶۱
۳-۴-۲- اثر نسبت آرماتور در پانلها ۶۳
۳-۴-۳- اثر نسبت آرماتور عرضی به طولی در پانلها ۶۵

فصل ۴

مدلسازی رفتار المانهای بتن مسلح در برش ۶۶
۴-۱- مقدمه ۶۶
۴-۲- شیوه های مدلسازی گسترش ترک برای بررسی رفتار غیر خطی المان بتن مسلح ۶۸
۴-۳- تانسور تنش کرنش در المان دو بعدی بتن مسلح ۷۱
۴-۴- مدلهای رفتاری المان بتن مسلح ۷۳
۴-۴-۱- مدل بتن پیش از ترک خوردگی ۷۳
۴-۴-۲- معیار ترک خوردگی ۷۶
۴-۴-۳- مدلسازی بتن ترک خورده ۷۸
۴-۴-۳-۱- مدلسازی بتن ترک خورده تحت تنش کششی ۷۸
۴-۴-۳-۲- مدلسازی بتن ترک خورده تحت تنش فشاری ۸۰
۴-۴-۳-۳- مدلسازی بتن تحت تنش برشی ۸۴

۴-۴-۴- مدلسازی میلگردهای مسلح کننده در بتن ۸۶
۴-۴-۴-۱- شرایط تسلیم در بتن مسلح ۸۶
۴-۴-۴-۲- مدلسازی میلگرد تنها ۸۷
۴-۴-۴-۳- مدلسازی رابطه تنش کرنش متوسط آرماتور در بتن ۸۸

فصل ۵

ریز مدلسازی رفتارپس از ترک خوردگی اعضاء بتن مسلح دو بعدی ۹۱
۵-۱- مقدمه ۹۱
۵-۲- وضعیت تنش ها در المان های ترک خورده ۹۲
۵-۳- مکانیزم انتقال تنش محلی در طول آرماتور ۹۳
۵-۳-۱- مدل تنش پیوستگی – لغزش – کرنش فولاد ۹۵
۵-۳-۲- منطقه زوال پیوستگی بین فولاد و بتن در نزدیک ترک ۹۶
۵-۳-۳- منطقه اثر خمیدگی ۹۸
۵-۳-۴- تعیین پروفیل توزیع تنش و کرنش در طول آرماتور ۱۰۱
۵-۴- تنش انتقالی عمود بر ترکها ۱۰۶
۵-۵- بتن در فشار ۱۰۷
۵-۶- تنش های برشی و تنشهای ناشی از اتساع در سطح ترک ۱۰۸
۵-۷- تحلیل ریز مدل المان های بتن مسلح تحت تنش های داخل صفحه ۱۰۹
۵-۸- روش محاسبات در برنامه نوشته شده به زبان فورترن ۱۱۶
۵-۹- مقایسه نتایج پانل بتن مسلح آزمایش شده توسطVecchio با نتایج تحلیل ۱۲۰
۵-۱۰-مقایسه نتایج پانل بتن مسلح آزمایش شده توسط Hsu با نتایج تحلیل ۱۲۱

۵-۱۱- تعیین سهم برش قابل تحمل بتن و آرماتورها در المان بتن مسلح ۱۲۲

فصل ۶

ریز مدلسازی المان های بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۲۴

۶-۱- مقدمه ۱۲۴

۶-۲- رابطه پیوستگی- لغزش بین بتن و FRP ۱۲۵

۶-۲-۱- آزمایش پیوستگی بین ورق های FRP وبتن (Vecchioو همکاران) ۱۲۶

۶-۲-۲- رابطه بین تنش پیوستگی و لغزش بین بتن و FRP ۱۲۹

۶-۲-۳- رابطه تنش پیوستگی – لغزش بین بتن و FRP (Guo) ۱۳۱

۶-۳- تعیین پروفیل توزیع تنش و کرنش در طولFRP ۱۳۲

۶-۴- اصلاح روابط تعادل و سازگاری در بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۳۴

۶- ۵- روش محاسبات در برنامه نوشته شده به زبان فورترن ۱۳۷

۶-۶- بررسی عضو بتن مسلح تقویت شده با FRP تحت کشش مستقیم ۱۳۹

۶-۷- بررسی رفتار پانل بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۴۱

۶-۸- بررسی قابلیتهای برنامه ۱۴۲

۶-۸-۱- سهم اجزاء مختلف پانل در رفتار برشی ۱۴۲

۶-۸-۲- تعیین فاصله ترکهای متوسط در پانل تقویت شده با FRP ۱۴۴

۶-۸-۳- مدلهای رفتاری متوسط اجزاء پانل بتن مسلح ۱۴۸

۶-۸-۴- توزیع تنشهای محلی در طول FRP ۱۵۱

۶-۸-۵- تنش متناظر با لحظه جدا شدن FRP از بتن ۱۵۲

۶-۸-۶- مقدار بحرانی مسلح کننده ۱۵۴

۶-۹- کاربرد ریزمدلسازی در تحلیل های FEM ۱۵۶

۶-۱۰- محاسبه ظرفیت برشی پانلهای بتن مسلح تقویت شده با FRP بر مبنای روش توسعه داده شده ۱۵۶

فصل ۷

نتیجه گیری و پیشنهاد ۱۶۴

فهرست منابع و مراجع ۱۶۶

فهرست جداول :

جدول۱-۱- ویژ گیهای مکانیکی کامپوزیتهای AFRP,GFRP,CFRP ۳

جدول۱-۲- مقایسه بین ویژگیهای انواع FRP ۵

جدول۱-۳- اشکال مختلف باندپیچی FRP ۷

جدول۱-۴- نحوه توزیع FRP ۸

جدول۱-۵- نحوه توزیع FRP ۸

جدول۱-۶- مزایا و معایب حالات مختلف باندپیچی FRP ۹

جدول۱-۷- مزایا و معایب جهت های مختلف قرارگیری FRP ۱۰

جدول۲-۱- نتایج آماری مدل های مقاومت برشی Chen و Teng ۴۲

جدول۳-۱- مشخصات پانل های آزمایش شده تحت برش خالص ۵۰

جدول۳-۲- تنش ترک خوردگی، تنش نهایی و مود شکست پانل های تحت برش خالص ۵۳

جدول۳-۳- نسبت تنش دو محوره f_n با تنش برشی v برای هر نمونه ۵۴

جدول۳-۴- مشخصات نمونه های تحت برش و تنش های دو محوره ۵۴

جدول ۳- ۵- مشخصات پانلهای آزمایش شده در دانشگاه هوستون ۵۹

جدول۳-۶- حداکثر تنشهای اعمالی(بر حسب MPa) و کرنشهای اندازه گیری شده ۶۱

جدول۵-۱- مشخصات پانل PC7 در نمونه هایVecchio ۱۲۰

جدول ۵-۲- مشخصات پانلهای آزمایش شده توسط Hsu ۱۲۱

جدول۶-۱ - مشخصات نمونه ها در آزمایش پیوستگی ۱۲۸

جدول۶-۲- مشخصات عضو بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۴۰

جدول ۶-۳- مشخصاتFRP در دو راستا جهت تقویت پانل بتن مسلح ۱۴۱

جدول۶-۴- مشخصات پانلهای بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۴۵

جدول۶-۵- فاصله ترکها تحت نیرو های کششی در راستای x وy ۱۴۶

جدول ۶-۶ - مشخصات پانلهای مورد بررسی ۱۴۹

جدول۶-۷- مشخصات بتن و آرماتور ۳ پانل مورد بررسی ۱۵۰

جدول۶-۸- مشخصات پنج پانل مورد بررسی ۱۵۶

جدول۶-۹- مشخصات سه پانل HSU همراه با محاسبات ظرفیت برشی آنها ۱۶۰
جدول۶-۱۰- مشخصات شش پانل بتن مسلح تقویت شده با FRP همراه با محاسبات ظرفیت برشی آنها ۱۶۱

فهرست شکل ها :

شکل۱-۱- منحنی های تنش – کرنش برای فولاد نرم و چند نوع از مصالح FRP ۴

شکل۱-۲- نمونه هایی از مقاوم سازی برشی تیرها بوسیله FRP ۷

شکل ۱-۳- شکست برشی همراه با گسیختگی FRP ۱۲

شکل ۱-۴- شکست برشی همراه با جدا شدن FRP :جکت U شکل ۱۲

شکل۱-۵- شکست برشی همراه با جدا شدن FRP :پوشش طرفین تیر ۱۳

شکل۲-۱- ناحیه ترک بحرانی و راستای قرارگیری الیاف ۲۱

شکل۲-۲- ضریب کاهش برشی ۲۳

شکل۲-۳- راستای قرارگیری الیاف ۲۳

شکل۲-۴- روش یک طرح کلی مقاوم سازی برش ۲۷

شکل۲-۵- ارتباط بین W_{FRP} و S_{FRP} برای ورقهای ممتد ۲۸

شکل ۲-۶ - نیروهای برشی حمل شده توسط بتن و FRP ۳۲

شکل۲-۷- ضریب توزیع تنش برای جکت U شکل و پوشش طرفین ۳۵

شکل۲-۸- تاثیر نحوه جاگذاری قیدهای FRP ۳۹

شکل ۲-۹- مقایسه نتایج آزمایشگاهی Chen و Teng با مقادیر گزارش شده توسط روابط طراحی ۴۰

شکل ۲-۱۰- نتایج روند طراحی Chen و Teng در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ۴۱

شکل۳-۱- قاب بارگذاری دانشگاه تورنتو ۴۴

شکل ۳- ۲- مشخصات پانل های ازمایش شده در دانشگاه تورنتو ۴۵

شکل۳- ۳- قاب بارگذاری و جک های اعمال بار ۴۶

شکل۳- ۴- اتصال کلیدهای برشی به پانل بتنی ۴۶

شکل۳- ۵- نحوه ی اعمال بار به کلیدهای برشی ۴۷

شکل ۳- ۶- موقعیت جک ها و المان های صلب ۴۸

شکل ۳-۷- الگوی ترک خوردگی و شکست پانل PV27 ۵۲

شکل۳-۸- دستگاه آزمایش پانلها در دانشگاه هوستون ۵۶

شکل ۳- ۹- شرایط تنش در المان بتن مسلح ۵۷

شکل ۳- ۱۰- ابعاد و مختصات پانل مورد آزمایش در دانشگاه هوستون ۵۸
شکل ۳- ۱۱- منحنی های تنش – کرنش برشی پانلهای سری A,B ۶۲
شکل ۳- ۱۲- منحنی تنش-کرنش فشاری بتن در راستای اصلی ۶۳
شکل۴-۱- آزمایش انجام شده تیر بتن مسلح ۶۷
شکل ۴-۲- سیستم مختصات محلی ۷۱
شکل۴-۳- تغییر سیستم مختصات بتن ترکخورده ۷۲
شکل ۴-۴- رابطه تنش – کرنش معادل ۷۴
شکل ۴- ۵ - کرنش پلاستیک معادل و پارامتر شکست بر حسب کرنش معادل ۷۵
شکل ۴-۶- رابطه تنش-کرنش معادل اصلاح شده ۷۶
شکل ۴-۷ – معیار تنش ترکخوردگی برای حالت دو بعدی ۷۷
شکل ۴-۸– مقاومت کششی تک محوره بر حسب مقاومت فشاری ۷۷
شکل ۴-۹ - مدلسازی بتن ترک خورده تحت تنش کششی ۷۹
شکل ۴-۱۰- رابطه تنش-کرنش متوسط بتن ترک خورده در کشش ۸۰
شکل ۴-۱۱ - ماکزیمم تنش فشاری بتن تابعی از کرنش کششی اصلی ۸۱
شکل ۴-۱۲- رابطه تنش-کرنش بتن ترک خورده در فشار ۸۲
شکل ۴-۱۳- کاهش پارامتر شکست ۸۳
شکل ۴-۱۴- الف) مدل برش انتقالی ساده شده برای یک ترک ب) تنش فشاری مربوط به تنش برشی انتقالی ۸۵
شکل ۴-۱۵ - مدل برش انتقالی برای بارگذاری و باربرداری ۸۶
شکل ۴-۱۶- توزیع کرنش آرماتور در بتن ۸۷
شکل ۴-۱۷- مدل تنش - کرنش میلگرد تنها ۸۸
شکل ۴-۱۸ - مدل تنش - کرنش میلگرد در بتن ۸۸
شکل ۴-۱۹- رابطه تنش-کرنش متوسط فولاد با استفاده از روش RA-STM ۹۰
شکل ۵-۱ - حالت تنش در بتن ترکخورده و آرماتورها ۹۳
شکل۵-۲ - مکانیزم انتقال تنش در طول آرماتور ۹۴

شکل۵-۳- توزیع تنش پیوستگی و چگونگی تعیین لغزش ۹۶
شکل ۵-۴- زوال پیوستگی بین سطوح ترک ۹۷
شکل ۵-۵- منطقه از بین رفتن پیوستگی بر اساس پیشنهاد Maekawa ۹۸
شکل ۵-۶- انحنای آرماتور در سطح ترک ۹۸
شکل ۵-۷- منطقه موثر خمیدگی در حالت تمایل نسبت به صفحه ترک ۱۰۰
شکل ۵- ۸- معادله تعادل در طول یک المان کوچک ۱۰۲
شکل ۵-۹- فلوچارت محاسبه پروفیل تنش-کرنش در طول آرماتور ۱۰۳
شکل ۵-۱۰- حالت تنش در آرماتورها و بتن ترکخورده – الف) تنشهای متوسط ب) تنشهای محلی ۱۱۰
شکل۵-۱۱- حا لات تنش بین دو ترک مجاور ۱۱۳
شکل۵-۱۲- انحنا آرماتور ناشی از بازشدگی و لغزش ۱۱۵
شکل ۵-۱۳ - تنش کششی محلی روی خط وسط دو ترک بتن مسلح ۱۱۶
شکل ۵-۱۴- فلوچارت محاسبات ۱۱۸
شکل۵-۱۵ - مقایسه نتایج تحلیل با آزمایش در پانل PC7 ۱۲۰
شکل ۵-۱۶ - مقایسه نتایج تحلیل با آزمایش در پانلهای Hsu ۱۲۱
شکل ۵-۱۷- سهم مکانیزم های مختلف در برش برمبنای تعادل در محل ترک المان بتن مسلح ۱۲۲
شکل۵-۱۸ - سهم مکانیزم های مختلف در برش برمبنای تعادل بر حسب تنشهای متوسط المان بتن مسلح ۱۲۳
شکل ۶-۱- حالت تنش در آرماتورها و بتن ترکخورده – الف) تنشهای متوسط ب) تنشهای محلی ۱۲۵
شکل ۶-۲- موقعیت نمونه در آزمایش پیوستگی بین ورقهای FRP و بتن ۱۲۶
شکل۶-۳ - الف) رابطه تنش پیوستگی – لغزش ب) رابطه تنش پیوستگی – انرژی شکست ۱۲۸
شکل۶-۴- دو خطی برای رابطه تنش پیوستگی – لغزش بین بتن وFRP ۱۳۰
شکل ۶-۵- رابطه تنش پیوستگی – لغزش (Guo) ۱۳۱
شکل ۶-۶- فلوچارت محاسبه پروفیل تنش-کرنش در طول FRP ۱۳۳
شکل۶-۷- تنش کششی محلی روی خط وسط دو ترک بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۳۷
شکل۶-۸- فلوچارت محاسبات ۱۳۸
شکل ۶-۹- مقایسه نتایج عضو بتن مسلح تقویت شده با FRP تحت کشش مستقیم با نتایج آزمایشگاه ۱۴۰

شکل۶-۱۰ - مقایسه نتایج حاصل از تحلیل پانل PC7 با پانل PC7 تقویت شده با FRP ۱۴۱
شکل۶-۱۱- سهم مکانیزم های مختلف در برش برای حالت آنالیز در محل ترک المان بتن مسلح تقویت شده با FRP ۱۴۲
شکل۶-۱۲- سهم مکانیزم های مختلف در برش برای حالت آنالیز متوسط المان بتن تقویت شده با FRP ۱۴۳
شکل۶-۱۳-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل پانل PC7 با ضخامتهای متفاوت FRP ۱۴۳
شکل ۶-۱۴- فاصله ترکهای مایل در اعضا بتن مسلح ۱۴۵
شکل ۶-۱۵- مقایسه نتایج تحلیل در پانل ۱ با رابطه ۶-۱۷ ۱۴۷
شکل ۶-۱۶- مقایسه نتایج تحلیل در پانل ۲ با رابطه ۶- ۱۷ ۱۴۷
شکل ۶-۱۷- مقایسه نتایج تحلیل در پانل ۳ با رابطه ۶-۱۷ ۱۴۸
شکل ۶-۱۸- منحنی تنش-کرنش متوسط فولاد ۱۴۹
شکل۶-۱۹- تنش-کرنش متوسط بتن در سه پانل ۱۵۱
شکل۶-۲۰- تنش محلی FRP در طول نمونه ۱۵۲
شکل ۶-۲۱- تنش پیوستگی محلی بین بتن و FRP در طول نمونه ۱۵۲
شکل۶-۲۲- تاثیر پارامترهای مختلف در سهم بتن در برش ۱۵۸

مقدمه

این پایان نامه با هدف تعیین مدلهای رفتاری المان های بتن مسلح تقویت شده با FRP به شرح فصل های زیر گرداوری شده است.

در فصل اول پایان نامه کامپوزیتهای FRP معرفی شده و کاربرد آن در مقاوم سازی سازه های بتن مسلح مطرح شده است که در آن می توان روش مناسب بهسازی و مودهای شکست را تعیین کرد. در فصل دوم رفتار برشی المانهای بتن مسلح و تاریخچه ای از روشهای تعیین ظرفت برشی اعضا بتن مسلح در حالات بدون تقویت و با تقویت با FRP مطرح می شود. در فصل سوم رفتار المانهای بتن مسلح در آزمایشگاه تحت تنشهای داخل صفحه بررسی می شود.

فصل چهارم به مدلسازی المانهای بتن مسلح در برش می پردازد. در این فصل مدلهای رفتاری المان بتن مسلح پیش و پس از ترک خوردگی مطرح می شود. در فصل پنجم رفتار پس از ترک خوردگی اعضای بتن مسلح و نحوه ریز مدلسازی پانل های بتن مسلح تحت تنش های داخل صفحه ارائه شده و مقایسه بین نتایج تحلیل و نتایج آزمایشگاهی انجام شده است. فصل ششم به ریز مدلسازی المانهای بتن مسلح تقویت شده با FRP می پردازد وفلوچارت محاسبات برنامه اصلاحی به زبان فورترن عنوان شده در فصل پنجم جهت تحلیل پانلهای تقویت شده ارائه می شود. در این فصل قابلیتهای مختلف برنامه در تحلیل پانلهای تقویت شده با FRP نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل هفتم نیز نتیجه گیری از تحقیق حاضر و پیشنهاد برای ادامه مطالعات در این زمینه ارائه گردیده است.