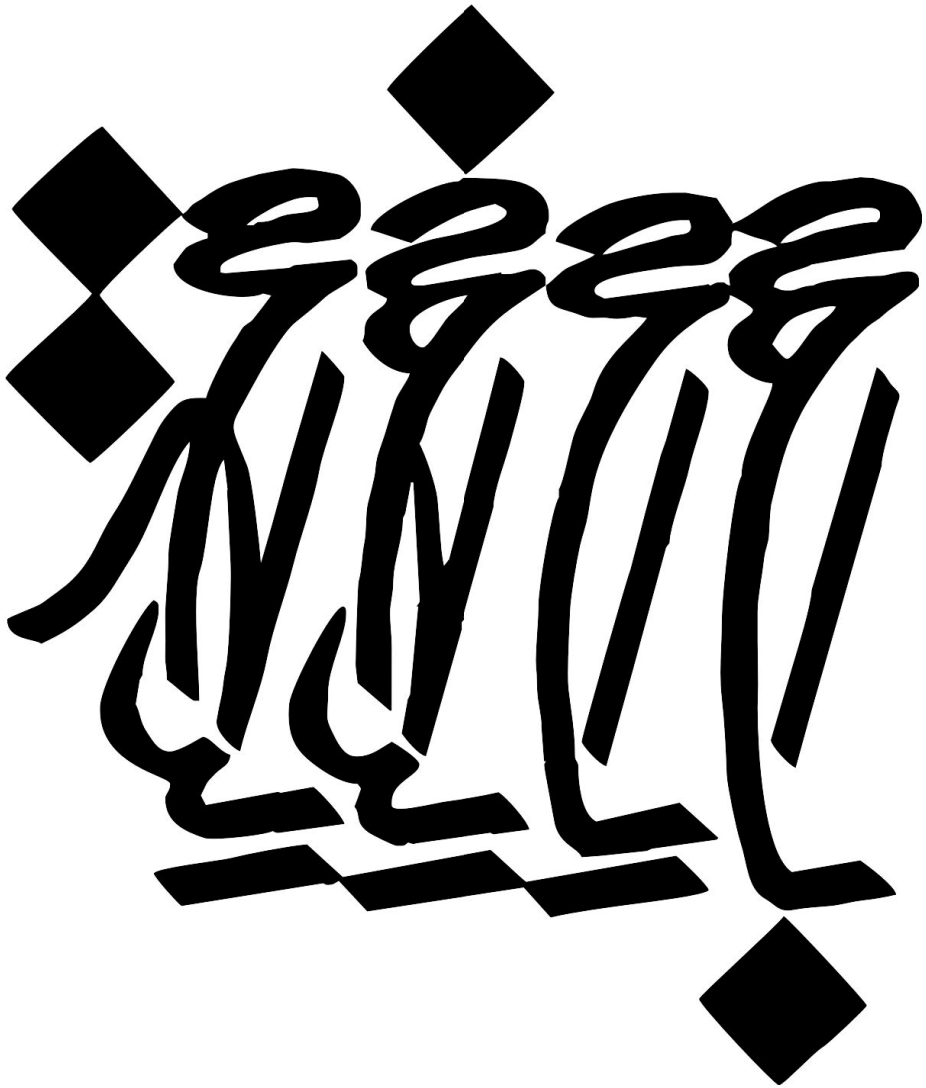

دانشکده مهندسی - گروه عمران

بررسی اثر رطوبت بر پیوستـــگی بین بتن و ورق‌های پلیمـــری الیافی

پایان نامه کارشناسی ارشد ناپیوسته سازه

سارا دانایی

استاد راهنما: آقای دکتر اصفهـــانی

تابستان ۱۳۹۰

پایان‌نامه‌ی حاضر با عنوان:

بررسی اثر رطوبت بر پیوستگی بین بتن و ورق‌های پلیمری الیافی

که توسط «سارا دانایی» تهیه و به هیأت داوران ارائه شده است، مورد تأیید کمیته‌ی تحصیلات تکمیلی گروه می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۵/۱۷ درجه‌ی ارزشیابی: عالی نمره: ۱۹/۰

هیأت داوران:

نام و نام خانوادگی	سمت در هیأت داوری	مرتبه‌ی علمی	امضاء
۱- دکتر محمد رضا اصفهانی	استاد راهنما	استاد	
۲- دکتر محمد رضا توکلی زاده	استاد مشاور	استادیار	
۳- دکتر احمد شوشتری	داور	استادیار	
٤- دکتر جعفر بلوری بزاز	نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی	دانشیار	

اینجانب سارا دانایی گواهی می‌نمایم که تمامی مطالب موجود در این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام گرفته توسط اینجانب در مقطع کارشناسی ارشد بوده و هر جا که از روابط، نکات و نتایج پژوهش‌های دیگران بهره جویی شده، مرجع مورد استفاده ذکر شده است.

امضاء دانشجو

سپاس گزاری

در سپاس، هیچ مخلوقی سزاوارتر از خالق متعـال نیست که هر چه هست از اوست، اما از آن جـایی که "***من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق***"، بر خود وظیفه می‌دانم که ابتدا از همسر و سپس از مادر، پدر و خواهرم و همچنین مادر همسرم که همیشه واسطه‌ی بهترین‌ها برای من بوده‌اند، صمیمانه قدردانی کنم. همچنین اکنون که به یاری ***او*** موفق به پایان رسـاندن این مقطـع تحصیلی شده‌ام، از زحمات و راهنمایی‌های ارزشمند آقای دکتر اصفهانی به عنوان استاد راهنما، آقای دکتر توکلی زاده به عنوان استاد مشاور، آقای دکتر شوشتری به این دلیل که زحمت بررسی این کار پژوهشی بر عهده ایشان بوده است و تمامی استادان محترم گرایش سازه آقای دکتر ایرانی، آقای دکتر حاجی کاظمی، آقای دکتر رضایی، آقای دکتر شریعتمدار و آقای دکتر شهابیان و همچنین آقای دکتر شیرازی کمال تشکر و سپاس را دارم. در انتها نیز از آقای حسینی مسئول آزمایشگاه دینامیک سازه که به واقع انجام این کار آزمایشگاهی بدون کمک ایشان بسیار سخت بود، قدردانی می‌کنم.

امیدوارم توانسته باشم با انجام این کار پژوهشی گامی هر چند کوچک در جهت اعتلای علمی و سربلندی ***جمهوری اسلامی ایران*** برداشته باشم.

چکیـــده:

در حـال حاضر پـایـایی پیوستگی بین بتن و ورق‌های پلیمری مسلح با الیاف *(FRP)* در شرایط مختلف محیطی از بحرانی‌ترین مسایل در رابطه با استفاده از ورق *FRP* برای مقاوم سازی و بازسازی سازه‌ها به حساب می‌آید. در میان شرایط محیطی مختلف، رطوبت به عنوان یکی از عـوامل تـاثیرگذار محیـطی، در بررسی مقـاومت پیوستگی بتن و ورق *FRP* حـائز اهمیت ویژه‌ای مـی‌باشد که در این کار پژوهشی به آن پرداخته شده است. در این تحقیق برای بررسی اثر رطوبت نسبی محیط و رطوبت سطحی در زمان تقویت بر مقاومت نهایی اعضای خمشی بتنی، تعداد ٤٥ عدد تیر بتنی غیر مسلح با مقیاس کوچک و به ابعاد *mm* ۱۵۰×۱۵۰×۷۵۰ ساخته شد. نمونه‌های بتنی از دو رده‌ی مختلف مقاومتی شامل بتن با مقاومت معمولی *MPa* ۳۸ و بتن با مقاومت بالا *MPa* ٦۹ ساخته و پس از قرار گیری در شرایط محیطی مرطوب با ورق‌های *CFRP* و یا *GFRP* تقویت شدند. شرایط محیطی آزمـایش شامل دو حـالت مختلف رطوبت نسبی محیط (٦٥٪ و ۹۰٪) و دو حالت مختلف رطوبت سطحی (۷۰٪ و ۹۰٪) بودند. تقویت تعداد ۸ عدد از نمونه‌ها به عنوان نمونه‌ی کنترلی در محیط آزمایشگاه صورت گرفت. لازم به ذکر است برای مشخصات یکسان حداقل دو نمونه ساخته شد. پس از تقویت، نمونه‌ها تحت آزمایش خمش چهار نقطه‌ای قرار گرفتند. پارامترهای اندازه گیری شده در این کار شامل بار، جابجایی وسط دهانه، کرنش وجه فشاری در تار بالایی مقطع، کرنش وجه کششی در تار پایینی مقطع و کرنش ورق‌های *FRP* بود.

نتایج نشان می‌دهد تقویت نمونه‌ها در شرایط محیطی مرطوب در رطوبت نسبی ٦٥٪ و با رطوبت سطحی ۷۰٪ تاثیر قابل توجهی بر مقـاومت نهـایی نمونه‌ها (شامل نمونه‌هـای ساخته شده از بتن با مقاومت بالا و نمونه‌های ساخته شده از بتن با مقاومت معمولی و همچنین تقویت شده با ورق‌های *CFRP* و *GFRP*) ندارد، در صورتی که تقویت در رطوبت نسبی ۹۰٪ باعث کاهشی در حدود ۷٪ و تقویت با رطوبت سطحی ۹۰٪ باعث کاهشی در حدود ۱۱٪ در مقاومت نهایی می‌شود که نشان دهنده‌ی تاثیر بیشتر رطوبت سطحی در مقایسه با رطوبت نسبی محیط بر مقاومت نهایی می‌باشد. همچنین کاهش مقاومت در نمونه‌های تقویت شده با ورق *GFRP* در رطوبت نسبی ۹۰٪، حدود ۲/۵٪ و با رطوبت سطحی ۹۰٪، حدود ۱/۵٪ بیشتر از کاهش مقاومت در نمونه‌های تقویت شده با ورق *CFRP* می‌باشد.

کلمات کلیدی: مقاومت پیوستگی، تقویت با ورق *FRP*، رطوبت نسبی محیط، رطوبت سطحی

فهرســـت

فصل اول: کلیـــات ١

١-١- پیشگفتار ٢

١-٢- هدف از انجام تحقیق ٣

١-٣- مروری بر فصل‌ها ٥

خلاصه‌ی فصل اول ٦

فصل دوم: پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* ٧

٢-١- پیشگفتار ٨

٢-٢- روش‌های متداول تقویت خمشی ٨

٢-٣- تقویت خمشی با مصالح *FRP* ٩

٢-٣-١- روش‌های تقویت خمشی با مصالح *FRP* ١٠

٢-٣-٢- رفتار عمومی اعضای خمشی بتنی تقویت شده با ورق‌های *FRP* ١٢

٢-٣-٣- مودهای گسیختگی اعضای خمشی تقویت شده با ورق‌های *FRP* ١٣

٢-٣-٤- عوامل موثر بر مودهای گسیختگی تیرهای تقویت شده با ورق‌های *FRP* ١٦

٢-٤- کلیاتی در رابطه با پیوستگی ١٨

٢-٥- عوامل تاثیرگذار در پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* ١٩

٢-٦- مکانیزم چسبندگی ٢٣

٢-٧- مدل سازی پدیده‌ی جدا شدگی ٢٥

٢-٧-١- مدل‌های جدا شدگی میانی ٢٧

٢-٧-٢- مدل‌های جدا شدگی انتهای ورق ٢٧

٢-٨- آزمایش‌های بررسی پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* ٢٩

فصل سوم: بررسی اثر رطوبت ۳۶

۳-۱- پیشگفتار ۳۷

۳-۲- شرایط محیطی ۳۷

۳-۲-۱- پایایی محیطی ۳۸

۳-۲-۲- انتشار رطوبت ۳۹

۳-۲-۳- اثرات محیطی بر مصالح کامپوزیت ٤۰

۳-۲-٤- اثر رطوبت بر چسب‌ها ٤٤

۳-۲-۵- اثر رطوبت بر بتن ٤۵

۳-۳- بررسی اثرات محیطی مرتبط با رطوبت بر پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* ٤٦

خلاصه‌ی فصل سوم ٦۸

فصل چهارم: آزمـــایش‌ها و نتـــایج ٦۹

٤-۱- پیشگفتار ۷۰

٤-۲- متغیرها در ساخت نمونه‌ها ۷۱

٤-۳- مصالح ۷۲

٤-۳-۱- بتن ۷۲

٤-۳-۲- ورق پلیمری مسلح با الیاف ۷۳

٤-۳-۳- چسب ۷٤

٤-۳-٤- قالب ۷۵

٤-٤- شرایط محیطی آزمایش ۷۵

٤-٤-۱- رطوبت نسبی محیط ۷۵

٤-٤-۲- رطوبت سطحی ۷٦

٤-٥- شرح ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی ٧٦
٤-٥-١- ساخت نمونه‌های بتنی ٧٦
٤-٥-٢- تقویت نمونه‌های بتنی ٧٨
٤-٦- روش انجام آزمایش ٨٢
٤-٧- نتایج آزمایش ٨٥
٤-٧-١- ترک خوردگی و شکست نمونه‌ها ٨٥
٤-٧-٢- نمودارهای بار - تغییر مکان ٨٦
٤-٧-٣- تغییرات کرنش - بار در عمق نمونه‌ها ٩٠
٤-٧-٤- تحلیل نتایج ٩٣
خلاصه‌ی فصل چهارم ٩٨

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه‌ی پیشنهاد ٩٩
٥-١- نتیجه گیری ١٠٠
٥-٢- پیشنهادها ١٠١

مرجـــع‌ها ١٠٣

فهرســـــت اشکال

شکل ۲-۱: فرایند تقویت به روش‌های *EB* و *NSM* *(Choi, 2008)* ۱۱

شکل ۲-۲: نمونه‌هایی از تقویت خمشی و برشی تیرهای بتن مسلح با ورق‌های *FRP* *(Choi, 2008)*..... ۱۲

شکل ۲-۳: مودهای گسیختگی جدا شدگی در یک عضو بتنی تقویت شده با ورق *FRP* به روش *EB* *(Au, 2005)*..... ۱٤

شکل ۲-٤: مودهای گسیختگی اعضای خمشی تقویت شده با ورق *FRP* به صورت خارجی *(Sayed-Ahmed et al., 2009)*. ۱٦

شکل ۲-۵: مودهای گسیختگی تیر بتنی تقویت شده با ورق *FRP* به صورت خارجی *(Pham and Al-Mahaidi, 2004)*۱٦

شکل ۲-٦: منحنی تنش پیوستگی – لغزش در تیرهای تقویت شده با مصالح *FRP* *(Choi, 2008)* ۱۹

شکل ۲-۷: شمای کلی آزمایش مقاومت پیوستگی برای اعضای بتنی تقویت شده با ورق *FRP* *(Sayed-Ahmed, 2009)* ۲۳

شکل ۲-۸: سطـح چسبندگی واقعی (خط توپر) و ظاهری (خط چین) در فصل مشترک بتـــن و چسب *(Ouyang and Wan, 2006a)*..... ۲٤

شکل ۲-۹: حالات مختلف اعمال نیرو با توجه به موقعیت ترک در نظریه‌ی مکانیک شکست *(Ouyang, 2007)*..... ۲٦

شکل ۲-۱۰: شمای کلی آزمایش جدا سازی تحت کشش *(Mullins et al., 1998)* ۲۹

شکل ۲-۱۱: شمای کلی آزمایش خمش چهار نقطه‌ای *(Kurtz, 2000)*..... ۳۰

شکل ۲-۱۲: آزمایش بلیستر *(Jeong et al., 1993)*..... ۳۱

شکل ۲-۱۳: مشخصات هندسی آزمایش جدا شدگی کششی از یک طرف به صورت شماتیک *(Karbhari and Engineer, 1996)*..... ۳۲

شکل ۲-۱٤: تیر طره‌ی دو طرفه *(DCB) (Anderson, 2004)*..... ۳۲

شکل ۲-۱۵: شمای کلی آزمایش خمش سه نقطه‌ای *(Xu and Qiao, 2004b)*..... ۳۳

شکل ٤-۱: مصالح مورد استفاده در ساخت بتن ۷۲

شکل ٤-۲: ورق *GFRP* (سمت راست) و ورق *CFRP* (سمت چپ)..... ۷٤

شکل ٤-۳: رزین و سخت کننده..... ۷٤

شکل ٤-٤: قالب‌های فلزی مورد استفاده در ساخت نمونه‌های بتنی..... ۷۵

شکل ٤-۵: نمونه‌های آزمایش رطوبت سطحی قرار داده شده در آب..... ۷٦

شکل ٤-٦: نمونه‌ی بتنی پس از بتن ریزی و صاف نمودن سطح ٧٧

شکل ٤-٧: عمل آوری نمونه‌های بتنی در اتاق بخار در وان آب و در شرایط دمایی کنترل شده..... ٧٧

شکل ٤-٨: نمونه‌های بتنی پس از عمل آوری..... ٧٨

شکل ٤-٩: اندازه گیری رطوبت نمونه‌های قرار داده شده در داخل حوضچه (نمونه‌های *R90*)..... ٧٩

شکل ٤-١٠: رطوبت سنج مدل *YK-2005RH* برای اندازه گیری رطوبت و دمای محیط..... ٧٩

شکل ٤-١١: اندازه گیری رطوبت سطحی نمونه‌های *S70*..... ٧٩

شکل ٤-١٢: رطوبت سنج مدل *MS-7003* برای اندازه گیری رطوبت سطحی بتن..... ٧٩

شکل ٤-١٣: زدودن گرد و غبار، روغن و شیره‌ی بتن از سطح نمونه‌ها..... ٨٠

شکل ٤-١٤: آغشته کردن سطح نمونه‌ی بتنی با چسب در داخل حوضچه (برای نمونه‌های *R65* و *R90*)..... ٨٠

شکل ٤-١٥: ابعاد هندسی تیرهای بتنی و طول تقویت آن‌ها و نقاط اعمال بار..... ٨١

شکل ٤-١٦: جک هیدرولیکی..... ٨٣

شکل ٤-١٧: نمونه‌ی آماده‌ی آزمایش خمش چهار نقطه‌ای ٨٤

شکل ٤-١٨: *LVDT* برای اندازه گیری تغییر مکان وسط نمونه‌ها..... ٨٤

شکل ٤-١٩: تغییر شکل سنج عقربه‌ای برای اندازه گیری کرنش..... ٨٤

شکل ٤-٢٠: محل قرارگیری دکمه‌ها برای اندازه گیری کرنش توسط تغییر شکل سنج عقربه‌ای..... ٨٤

شکل ٤-٢١: ترک ایجاد شده در وسط نمونه به ارتفاع *mm* ١١٠ (نمونه‌ی *16-N-G-R65*)..... ٨٥

شکل ٤-٢٢: گسیختگی نمونه در ناحیه‌ی لنگر ثابت (نمونه‌ی *25-H-G-S70*)..... ٨٥

شکل ٤-٢٣: کنده شدن بتن همراه با جدا شدن ورق *FRP* (نمونه‌ی *6-N-G-B*)..... ٨٦

شکل ٤-٢٤: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-G-B*..... ٨٦

شکل ٤-٢٥: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-C-B*..... ٨٦

شکل ٤-٢٦: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-G-B*..... ٨٧

شکل ٤-٢٧: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-C-B*..... ٨٧

شکل ٤-٢٨: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-C-R65* ٨٧

شکل ٤-٢٩: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-G-R65* ٨٧

شکل ٤-٣٠: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-C-R65* ٨٧

شکل ٤-٣١: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-G-R65* ٨٧

شکل ٤-٣٢: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-G-R90* ٨٨

شکل ٤-٣٣: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-C-R90* ٨٨

شکل ٤-٣٤: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-G-R90* ٨٨

شکل ٤-٣٥: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-C-R90* ٨٨

شکل ٤-٣٦: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-G-S70* ٨٨

شکل ٤-٣٧: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-C-S70* ٨٨

شکل ٤-٣٨: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-G-S70* ٨٩

شکل ٤-٣٩: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-C-S70* ٨٩

شکل ٤-٤٠: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-G-S90* ٨٩

شکل ٤-٤١: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *H-C-S90* ٨٩

شکل ٤-٤٢: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-G-S90* ٨٩

شکل ٤-٤٣: نمودار بار – تغییر مکان نمونه‌های *N-C-S90* ٨٩

شکل ٤-٤٤: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-G-B* ٩٠

شکل ٤-٤٥: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-C-B* ٩٠

شکل ٤-٤٦: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-G-B* ٩٠

شکل ٤-٤٧: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-C-B* ٩٠

شکل ٤-٤٨: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-C-R65* ٩٠

شکل ٤-٤٩: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-G-R65* ٩٠

شکل ٤-٥٠: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-C-R65* ٩١

شکل ٤-٥١: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-G-R65* ٩١

شکل ٤-٥٢: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-G-R90* ٩١
شکل ٤-٥٣: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-C-R90* ٩١
شکل ٤-٥٤: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-G-R90* ٩١
شکل ٤-٥٥: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-C-R90* ٩١
شکل ٤-٥٦: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-G-S70* ٩٢
شکل ٤-٥٧: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-C-S70* ٩٢
شکل ٤-٥٨: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-G-S70* ٩٢
شکل ٤-٥٩: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-C-S70* ٩٢
شکل ٤-٦٠: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-G-S90* ٩٢
شکل ٤-٦١: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *H-C-S90* ٩٢
شکل ٤-٦٢: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-G-S90* ٩٣
شکل ٤-٦٣: تغییرات کرنش در عمق تیر نمونه‌های *N-C-S90* ٩٣
شکل ٤-٦٤: مقایسه‌ی مقاومت نهایی نمونه‌های *H-C* ٩٤
شکل ٤-٦٥: مقایسه‌ی مقاومت نهایی نمونه‌های *H-G* ٩٤
شکل ٤-٦٦: مقایسه‌ی مقاومت نهایی نمونه‌های *N-C* ٩٥
شکل ٤-٦٧: مقایسه‌ی مقاومت نهایی نمونه‌های *N-G* ٩٥

فهرســـــت جدول‌ها

جدول ۲-۱: روش‌های متداول تقویت خمشی ۹

جدول ٤-۱: طرح اختلاط برای یک متر مکعب بتن معمولی با مقاومت مکعبی *MPa* ۳۹ ..... ۷۲

جدول ٤-۲: طرح اختلاط برای یک متر مکعب بتن مقاومت بالا با مقاومت مکعبی *MPa* ٦۸ ..... ۷۳

جدول ٤-۳: مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی با مقاومت طرح *MPa* ۳۹ و *MPa* ٦۸ ..... ۷۳

جدول ٤-٤: مشخصات مکانیکی ورق‌ها (گزارش شده توسط کارخانه‌ی سازنده) ۷٤

جدول ٤-۵: مشخصات مکانیکی چسب (گزارش شده توسط کارخانه‌ی سازنده) ۷۵

جدول ٤-٦: جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی و شرایط محیطی در زمان تقویت ۸۱

جدول ٤-۷: نتایج آزمایشگاهی مربوط به شرایط مختلف محیطی ۹۳

فصـــــل اول

کلیـــــات

۱-۱- پیشگفتار

عوامل محیطی خارجی و عوامل داخلی و همچنین عدم کیفیت و اطمینان از عملکرد صحیح مصالح، باعث افت کارایی و آسیب دیدن سازه‌های بتنی می‌شوند. برای اطمینان از عملکرد صحیح و افزایش طول عمر سازه‌های آسیب دیده و یا در معرض خرابی، این سازه‌ها باید تعمیر و یا بازسازی شوند. همچنین در مواقعی که حتی سازه‌ها آسیبی ندیده‌اند، به دلیل اشتباه در طراحی، اشتباه در ساخت، تدوین آیین نامه‌های جدید و یا به دلیل تغییر در کاربری و افزایش بار، نیاز به بهبود مقاومت سازه‌ها می‌باشد. با توجه به هزینه‌های سرسام آور تعمیر و بازسازی سازه‌های بزرگ، برای بازگرداندن مقاومت از دست رفته‌ی سازه‌های آسیب دیده و طولانی‌تر کردن دوره‌ی بهره برداری سازه‌ها، امروزه روش‌های جدید و مناسبی با توجه به نوع عضو سازه‌ای (خمشی، برشی یا فشاری) مورد نیاز می‌باشد.

یکی از روش‌های بسیار مطمئن برای تقویت و بازسازی سازه‌های بتنی استفاده از پلیمر مسلح با الیاف *(FRP)*[۱] می‌باشد که مزایای قابل توجهی نسبت به تقویت فولادی دارد. تحقیقات متعدد نشان می‌دهد با استفاده از پلیمرهای مسلح با الیاف می‌توان به ظرفیت‌های بالای خمشی، برشی و محوری در اعضای بتنی رسید *(Teng et al., 2002; Bank, 2006)*.

*FRP*ها از جمله مصالح ساختمانی هستند که از دو یا تعداد بیشتری مواد سازنده تشکیل شده‌اند که با یکدیگر به صورت یکپارچه کار می‌کنند. تحقیقات انجام شده در چند سال گذشته ثابت کرده است که پلیمرهای مسلح با الیاف در تعمیر و بازسازی سازه‌ها کارآمدتر و مفیدتر از مصالح سنتی می‌باشند و جایگزینی مصالح سنتی با مصالح *FRP* بسیاری از مشکلات را در رابطه با تقویت سازه‌های بتنی و فولادی کاهش داده است. با این وجود در رابطه با بعضی اثرات که بر خواص مصالح *FRP* و پیوستگی بین بتن و مصالح *FRP* موثر است، نگرانی‌هایی وجود دارد.

---

۱ *Fiber Reinforced Polymer*

۱-۲- هدف از انجام تحقیق

بیشتر مواردی که در آن از مصالح *FRP* برای ترمیم و یا مقاوم سازی بتن استفاده می‌شود، در شرایـط محیطی مخرب مـی‌باشد. عوامل محیطی اثرگذار بر روی پایایی سیستم‌های مقاوم سازی شده و یا ترمیم شده با مصالح *FRP*، عبارتند از: ۱) محیط‌های مرطوب، ۲) محیط‌های اسیدی، ۳) محیط‌های قلیـایی، ٤) چرخه‌هـای یـخ زدگی و یخ گشایی، ٥) چرخه‌های تر و خشک شدن ، ٦) تغییرات دمایی شدید و ۷) پرتوی فرا بنفش.

همان طور که مشاهده می‌شود اغلب موارد فوق به نوعی با رطوبت در ارتباط هستند. به عنوان مثال شیوه‌ی انتشار یون‌های نمک، در سیستم ترمیم یا مقاوم سازی با مصالح *FRP*، به صورت مستقیم با شیوه‌ی انتقال آب در ماده ارتباط دارد. همچنین چرخه‌های یخ زدگی و یخ گشایی و چرخه‌های تر و خشک شدن به تغییر حالت آب از جامد به مایع و یا از مایع به گاز بستگی دارد. از طرف دیگر تغییرات دمایی و جذب رطوبت نیز با یکدیگر ارتباط دارند. بدین ترتیب در صورت حل مشکل پایایی پیوستگی بین بتن و مصالح *FRP* در محیط‌های مرطوب، به حل مشکلات مربوط به پایایی پیوستگی در سایر شرایط محیطی کمک بسیار بزرگی خواهد شد و درک کامل و شناخت آن از مهم‌ترین عوامل در استفاده‌ی موفق از مصالح *FRP* در مقاوم سازی و ترمیم ساختمان‌های موجود خواهد بود *(Ouyang, 2007)*.

در بررسی اثر رطوبت بر عضوهای سازه‌ای تقویت شده با مصالح *FRP*، اطلاعات کمی در رابطه با اثر شرایط محیطی بر مقـاومت پیوستگی بین بتن و مصالح *FRP* در هنگام اجرای تقویت وجود دارد. بیشتر تحقیقات در این زمینه به جنبه‌های پایایی پرداخته‌اند *(Ekenel et al., 2005)*. با توجه به این موضوع در این کار تحقیقاتی به بررسی اثر رطوبت سطحی و رطوبت نسبی محیط بر پیوستگی بین بتن و مصالح *FRP* و در نتیجه مقاومت نهایی پرداخته شده است.

در بیشتر کارهای پژوهشی انجام شده برای بررسی اثر رطوبت بر پیوستگی بین بتن و مصالح *FRP*، محققان برای انجام آزمایش‌های خود ابتدا نمونه‌های مورد نظر را ساخته و پس از تقویت نمونه‌ها با ورق *FRP*، نمونه‌ها را در معرض شرایـط محیطی مختلف قـرار داده‌اند. پس از گذشت زمـان مورد نظر با توجه به کوتـاه مدت یا بلند مدت بودن آزمایش، نمونه‌ها تحت آزمایش‌های مورد نظر قرار گرفته و با توجه به نوع عوامل مد نظر محققان، بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفته است. عوامل متغیر در این تحقیقات شامل نوع الیاف مسلح کننده (کربن، شیشه و آرامید)، نوع چسب مورد استفـــاده، بتن‌های با مقاومت مختلف (بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا)، نوع نمونه‌ها (نمونه‌های خمشی شامل نمونه‌های دالی یا تیری با مقیاس‌های کوچک یا بزرگ، نمونه‌های برشی، نمونه‌های استوانه‌ای و ...)، نوع آزمایش‌ها که هماهنـگ با نوع نمونه در نظر گرفته می‌شود (کشش، خمش چهار نقطه‌ای، خمش سه نقطه‌ای، برش، پیچش، تیر کنسول و ...)، پارامترهای مورد بررسی (بار نهایی، کرنش

نهایی، خیز نهایی، صلبیت، سختی خمشی، نرخ آزاد سازی انرژی کرنشی، مود گسیختگی و ...) و محیط آزمایش (محیط مرطوب، چرخه‌های یخ زدگی و یخ گشایی، چرخه‌های گرم و سرد شدن، دمای بالا و ...) می‌باشند. از جمله کارهای انجام شده در زمینه‌های فوق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کار *Karbhari* و *Engineer* (۱۹۹٦) در رابطه با تخمین اثر کوتاه مدت شرایط محیطی بر پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* شامل غوطه وری در آب معمولی، غوطه وری در آب نمک مصنوعی، یخ زدگی در دمای $-15/5°C$ و چرخه‌های یخ زدگی و یخ گشایی، *Myers* و همکاران (۲۰۰۱) در رابطه با بررسی پایایی چسبندگی بین بتن و ورق‌های مختلف *FRP* در شرایط محیطی گوناگون شامل ترکیبی از چرخه‌های یخ زدگی و یخ گشایی، چرخه‌های رطوبت نسبی بالا، چرخه‌های حرارت بالا و پرتوی فرا بنفش غیر مستقیم به کمک آزمایش خمش دو نقطه‌ای بر روی تیرهای بتنی با مقیاس کوچک و تقویت شده با ورق‌های *CFRP*، *GFRP* و *AFRP*، *Woods* (۲۰۰۳) در رابطه با تخمین مقاومت پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* در شرایط محیطی مخرب شامل دمای بالا، شرایط محیطی اسیدی، شرایط محیطی قلیایی، آب دریا، آب معمولی و رطوبت بالا (<۱۰۰٪) در دمای $100°F$، *Wan* و همکارن (۲۰۰۲) در رابطه با تاثیر وجود آب در هنگام اجرای تقویت با ورق‌های *CFRP* و پس از آن بر پیوستگی بین بتن و ورق *CFRP* توسط آزمایش تیر طره‌ی تراز یک طرفه، *Ouyang* و *Wan* (۲۰۰۸) در رابطه با بررسی مکانیزم آسیب دیدگی پیوستگی بین بتن و ورق *CFRP* در برابر رطوبت با استفاده از آزمایش تیر طره‌ی دو طرفه و موارد بسیاری دیگر که در این باره در فصل سوم توضیحاتی ارائه خواهد شد.

در بیشتر پژوهش‌های گذشته، تقویت نمونه‌ها قبل از قرار گیری آن‌ها در معرض شرایط محیطی مورد نظر انجام شده است، در حالی که در بسیاری از موارد از ورق *FRP* به عنوان تعمیر و یا ترمیم سازه‌های موجود استفاده می‌شود و در این صورت سازه‌های مورد نظر قبل از تقویت در معرض شرایط محیطی قرار داشته‌اند، لذا لازم است آزمایش‌ها بر روی نمونه‌هایی انجام شود که قبل از تقویت در معرض شرایط محیطی قرار داشته‌اند تا بتوان به بررسی این اثرات بر سازه‌های تعمیر شده و یا ترمیم شده با ورق *FRP* پرداخت. از این رو وجه تمایز این پژوهش با سایر کارهای انجام شده در این حیطه از این قرار است که در بخشی از این پژوهش نمونه‌ها پس از قرار گیری در شرایط محیطی مرطوب با درصد رطوبت‌های متفاوت، با ورق *FRP* تقویت شده و پس از گذشت مدت زمان لازم جهت عمل آوری، برای بررسی تغییرات ایجاد شده بر روی مقاومت نهایی، تحت آزمایش خمش قرار خواهند گرفت و در بخش دیگری از این کار تقویت نمونه‌ها در شرایطی انجام می‌شود که نمونه‌ها دارای رطوبت سطحی با درصدهای متفاوت هستند و در این بخش نیز پس از گذشت مدت زمان لازم جهت عمل آوری، نمونه‌ها تحت آزمایش خمش قرار خواهند گرفت.

۱-۳- مروری بر فصل‌ها

این پایان نامه در پنج فصل ارائه شده است. در فصل دوم این پـایـان نامه در رابطه با پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* و عوامل تاثیر گذار بر آن مطـالبی عنوان می‌شود. اهمیت پیوستگی از آن جهت است که اگر اتصال بین بتن و ورق *FRP* از بین برود، حتی اگر ورق *FRP* به صورت سالم باقی بماند، سیستم، عملکرد مورد انتظار را نخواهد داشت. بنابراین پیوستگی خوب بین بتن و ورق *FRP*، ضمانت عملکرد خوب این نوع تقویت، برای مقاوم سازی و یا ترمیم می‌باشد.

پایایی پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* در شرایط مختلف محیطی از بحرانی‌ترین مسایل در رابطه با استفاده از این فن جدید به حساب می‌آید. در میان شرایط محیطی مختلف، رطوبت به عنوان یکی از رایج‌ترین عـوامل تـاثیرگذار محیـطی، در بررسی مقـاومت پیوستگی بتن و ورق *FRP* حـائز اهمیت مـی‌باشد. از این رو در فصل سوم مطالبی در رابطه با اثر رطوبت بر پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* بیان شده و در ادامه‌ی فصل به خلاصه‌ای از کارهای انجام شده توسط محققین مختلف در این زمینه اشاره می‌شود.

فصل چهارم این مجموعه شامل آزمایش‌های انجام شده بر روی تعداد ٤٥ عدد تیر بتنی غیر مسلح تقویت شده با ورق‌های *CFRP* و *GFRP* می‌باشد که تقویت تعدادی از آن‌ها در شرایط محیطی مرطوب و تقویت تعدادی دیگر در شرایطی که سطح بتن دارای درصد رطوبت خاصی بوده، صورت گرفته است. در ادامه‌ی این فصل نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها به صورت نمودار و جدول ارائه شده است. همچنین مشخصات مصالح مورد استفاده و مشخصات نمونه‌های بتنی نیز در این فصل بیان شده است. در انتهای این فصل به تحلیل اطلاعات حاصل از آزمایش‌ها پرداخته شده و داده‌ها با یکدیگر مقایسه و میزان اثر رطوبت محیطی و رطوبت سطحی بر مقاومت نهایی اعضای بتنی تقویت شده ارائه می‌شود.

در فصل پنجم ضمن ارائه‌ی خلاصه‌ی نتایج حاصل از این پژوهش، پیشنهاداتی برای انجام کارهای تحقیقاتی بیشتر در این زمینه بیان خواهد شد.

خلاصه‌ی فصل اول

در این فصل در ابتدا اهمیت پرداختن به موضوع تقویت سازه‌های بتنی با ورق پلیمری مسلح با الیاف بیان شد و در ادامه به طور مختصر در رابطه با شرایط محیطی اثر گذار بر روی پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* در سازه‌های تقویت شده و یا مقاوم سازی شده با این مصالح توضیحاتی داده شد و این نتیجه به دست آمد که چرا در این کار به بررسی اثر رطوبت بر پیوستگی پرداخته شده است. در بخش بعدی این فصل پارامترهایی که در زمینه‌ی اثر رطوبت توسط محققین قبلی مورد بررسی قرار گرفته بودند، به طور کلی مرور شد تا وجه تمایز این کار با سایر کارهای انجام شده در این زمینه مشخص شود و از آن جا روند کار آزمایشگاهی این پژوهش مشخص شد. در انتهای این فصل نیز توضیحاتی در رابطه با فصل‌های بعدی و این که در هر فصل به چه موضوعاتی پرداخته می‌شود، بیان شد.

در ادامه در فصل دوم توضیحاتی در رابطه با تقویت خمشی و پیوستگی بین بتن و ورق *FRP* مطالبی ارائه خواهد شد.