

تکنیک‌های تسلیح سازه بتن آرمه با FRP

ایمان الیاسیان - کارشناس ارشد سازه

Iman.Elyasian@Gmail.com

چکیده: امروزه مقاوم سازی به صورت یک سیستم عرضه می‌شود، این سیستم‌ها تنها شامل مواد تشکیل دهنده همانند فیبر و رزین نیست بلکه در برگیرنده تکنیک‌های نصب، راهنمایی و آموزش مجریان می‌باشد.

مقدمه: روشهای مختلفی برای نصب میلگردها و پوششهای FRP وجود دارد که در این مقاله به بررسی آنها می‌پردازیم.

۱- تکنیکهای تسلیح سطحی عضو بتن آرمه با ورقه FRP

به طور کلی دو تکنیک برای تسلیح سطحی سازه‌ای بتنی موجود است:

External Bonded Laminates

۱-۱. لایه‌های پیوندی خارجی

Near Surface Mounted Rods (NSM)

۱-۲. میله‌های جاسازی شده نزدیک سطح

برای مقاوم‌سازی تیرهای بتنی رایج‌ترین نوع FRP ها عبارتند از:

Smooth and Deformed

۱- میلگردهای صاف و عاج دار

Pretension Tendons

۲- تاندونهای پیش تنیده

Cured in Place Laminates/Shells

۳- پوسته‌های عمل آمده در محل

Pre-Cured in Place Laminates/Shells

۴- پوسته‌های پیش عمل آمده

۲- نصب لایه‌های پیوندی خارجی

همانگونه که قبلاً گفته شد لایه‌های پیوندی سطح به دو صورت موجود هستند:

Pre-cured and cured in place laminates

در روش دوم جهت پر کردن حفره‌های کوچک بروی سطح آماده شده بتن یک لایه آستری کشیده می‌شود. پیشنهاد می‌شود که پس از مخلوط کردن رزین‌ها به وسیله دستگاه گردونگر لایه نازکی از آن بروی سطح کشیده شود. پس از آن یک لایه فیبری به طول و عرض مورد نیاز بریده شده و به کمک دستگاه گرداننده

جداکننده حباب (bubble roller) با فشار روی بتن نصب می شود. این کار سبب می شود که هوای حبس شده بین رزین و لایه فیبری حذف شده و از تلفیق بین ورقه های فیبری و رزین اطمینان حاصل شود. باید توجه کرد که اگر ورقه FRP از جهت ضعیف نصب شود، مقاومت ورقه ها کاهش می یابد. پس از اینکه لایه نصب شد لایه دومی از رزین های تلفیق گر بروی ورقه ها کشیده می شود. تکنیکهای ترمیم شامل عمل ترزریق رزین ها یا جایگزین کردن لایه ها می باشد که خود وابسته به اندازه، تعداد و مکان محل های ورقه شده می باشد. باید توجه داشت که اکثر سیستم های FRP برای نصب اشتباه برانگیز می باشند.

نصب نامناسب می تواند به صورتهای مختلف نظیر مخلوط نشدن اعضا به صورت کافی، اشباع نشدن فیبرها، ناهمراست بودن فیبرها و ... ظاهر شود.

برای اطمینان از عملکرد نصب مناسب انجام آزمایش کنترل و بازرسی به صورت دقیق انجام می شود.

۳- پروفیل سطحی و مقاومت

توجه به کیفیت پیوند بین مسلح کننده های FRP و بتن برای مؤثر واقع شدن تکنیک مقاوم سازی بسیار حیاتی می باشد. قبل از بکاربردن سیستم FRP باید از تراز کیفیت سطح بتن اطمینان حاصل کرد. محل حفره ها باید به کمک اپوکسی مناسب پوشیده و مکانهای مرتفع باید همسطح گردند.

جهت مطمئن شدن از پیوند کافی نیاز به یک سری تحقیقات برای مشخصات بتن می باشد. جهت تعیین کفایت سطح بتن آماده شده برای عملکرد FRP از یک اندیس زبری استفاده می شود. یکی از این روشها استفاده از پروفیل های سطحی بتن^۱ (CSP) است که توسط انستیتوی ملی تعمیرات بتن^۲ (ICIR) فراهم شده است. این پروفیل ها دارای نتایج مشابه درجات زبری است که منظور عملکرد پیچش ها و آسترهای بالاتر از ۶ میلیمتر ضخامت مطالعه شده است.

هر پروفیل دارای یک درجه (CSP) بوده که از ۱ (تقریباً صاف) تا ۹ (خیلی زبر) درجه بندی شده است. مطالعات گذشته نشان می دهد که زبری سطح بتن فاکتوری کلیدی بوده که می تواند بر مشخصات پیوند بین اپوکسی و بتن اثر بگذارد. قبل از نصب سیستم های FRP سطح روی بتن برای پاک شدن گرد و خاک و آلودگی، شن پاشی می شود. توجه به این نکته لازم است که عمل گسیختگی ممکن است با فراهم بودن شرط

1-Concrete Surface Profiles

2-International Concrete Institute Repair

زبری وجودداشته باشد. این مورد زمانی اتفاق می افتد که سطح بتن دارای مقاومت ناکافی بوده و مسبب یک گسیختگی زود هنگام گردد.

۴- تزریق ترکها

درزهای کوچک را با فشار توسط اپوکسی پر می کنند. درزهای بزرگ را ابتدا بصورت اره ای بریده و پس از آن با اپوکسی پر می شوند. وجود برخی از محدودیتها نظیر ملاحظات فنی مثل غلظت اپوکسی یا ملاحظات ساختاری و اقتصادی سبب به وجود آمدن سه روش شده است.

۵- اتصال گوشهها Lap splices

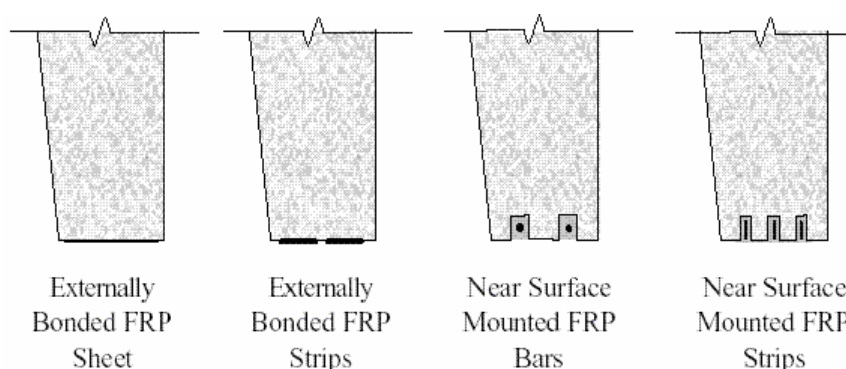
ورقه های فیبری معمولاً از رلهای بسته بندی شده است که ممکن است دارای صدها فوت طول باشند. به دلایل سازه ای و هندسی ممکن است به وصل کردن ورقه ها نیاز باشد. بعنوان مثال در مواردی که دور یک ستون FRP پیچیده می شود، نیاز به اطمینان از اتصال لایه ها جهت محصور شدگی و پیوستگی اجتناب ناپذیر است. بطور کلی طول اورلپها بستگی به نوع فیبرها، سختی ترکیبات کامپوزیتی، نوع و ضخامت رزین ها دارد. همپوشانی کافی اتصالات سبب فراهم آوری ظرفیت کامل مواد کامپوزیتی و اطمینان از مقاومت سیستم می شود.

۶- نصب میله های تعبیه شده نزدیک به سطح

کاربرد میله های تعبیه شده نزدیک به سطح FRP روش جالب برای افزایش مقاومت خمشی و برشی بتن مسلح معیوب می باشد. این تکنیک زمانی عملی است که مهار میلگردهای تعبیه شده در مجاورت عضو ممکن باشد. علاوه بر این کاربرد میله های NSM FRP به عملیات آماده سازی سطح نیاز ندارد. در موارد بخصوص کاربرد میله های NSM FRP دارای کارایی بالاتری از ورقه های پیوندی FRP می باشد. بخصوص مواقعی که مهار انتهایی تقویت های FRP نیاز به یک طراحی اساسی دارند یا نصب ورقه ها شامل یک عملیات وسیع آماده سازی سطح باشد. نصب میله های NSM FRP بوسیله شیار زدن بروی سطح بتن انجام می شود. نصب تقویت ها بصورت سنتی موازی با مسلح کننده های موجود می باشد. شیارهای بوجود آمده ممکن است دارای سطح مقطع مربع شکل با ابعادی مساوی با میلگردهای بعلاوه ۱/۸ اینچ در هر طرف برای تلورانس نصب می باشد. شیار زدن بروی سطح بتن به صورت دو برش اره ای است که بوسیله ابزار و تکنولوژی متداول بروی سطح بتن زده می شود. دو طبقه برشگر با عمقی معین و با فاصله ای مساوی با عرض شیار از هم قرار داده می شود. در اثر خرد شدن بتن بین دو برشگر شیار بوجود می آید.

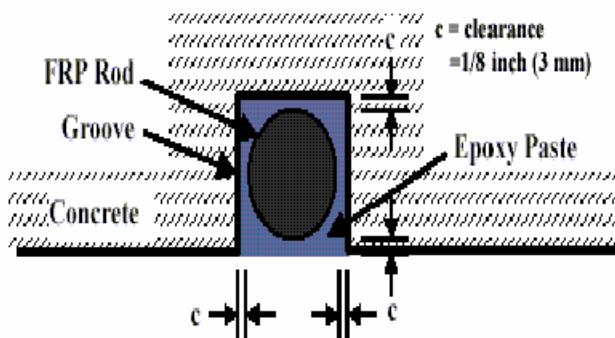
برای نصب میله های NSM FRP هر شیاری در ابتدا توسط ملاتی با غلظت بالا مانند اپوکسی بصورت نیمه پر می شود. این ملات باید با سیستم FRP سازگاری داشته باشد. غلظت بالای ملات سبب تسهیل عملیات بخصوص جهت کارهای بالا سری می گردد.

یک میله FRP در داخل شیار قرار گرفته و به آسانی در محلش فشار داده می شود. این عمل سبب می شود که اپوکسی به محیط میله نفوذ کرده و بصورت پوششی روی جدارها را بپوشاند. همچنین میله ها می تواند به وسیله گوه هایی با فاصله مناسب در محل خود قرار گرفته و بعد توسط ملاتی مشابه پر شوند و با سطح بتن همسطح گردند.



شکل ۱- اشکال مختلف تسلیح عضو بتن آرمه با FRP [۱]

از چپ به راست ۱- ورقه FRP پیوندی خارجی ۲- نوارها یا باریکه های پیوندی خارجی FRP
 ۳- میلگردهای FRP نصب شده در نزدیک سطح ۴- نوارهای FRP نصب شده در نزدیک به سطح
 مطابق شکل ۲ می بینید که پس از ایجاد شیار و قرار دادن میلگرد FRP در محل با تیرانس ۱/۸ اینچ یا ۳ میلیمتر اطراف میلگرد با اپوکسی با ویسکوزیته بالا برای نصب مناسب پر می شود.
 به دلیل اینکه اثر میله های NSM با کیفیت پیوند بین مسلح کننده ها و مواد پیرامون آن رابطه نزدیک دارد، عملکرد پیوند بین میله ها و بتن برای مؤثر واقع شدن این روش بسیار مفید می باشد. در ادامه مطلب برخی از پارامترهایی که بر پیوند بین NSM FRP ها اثر می گذارد توضیح داده شده است.



شکل ۲- جزئیات نصب میله های (NSM) [۲]



(a) Application of Embedding Paste
بکار بردن و جاسازی نمودن چسب



(b) Encapsulation of FRP Bar
جنگداری میلهگرد FRP

Installation of NSM FRP Bars
نصب میلهگرد نصب شده در نزدیک سطح FRP

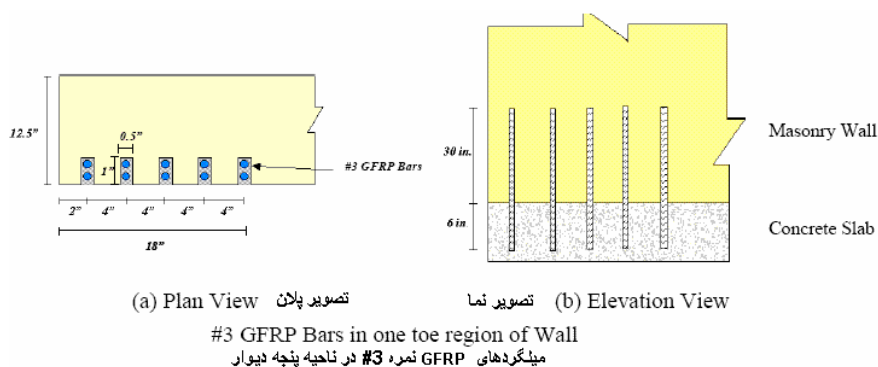


(a) Application of Embedding Paste
بکار بردن و جاسازی چسب



(b) Installation of GFRP Bars
نصب کردن میلهگرد GFRP

Strengthening by Structural Repointing
تقویت نقاط سازه ای



شکل ۳- جزئیات نصب میلگردهای نزدیک به سطح FRP برای تقویت دیوار با مصالح بنایی [۱۷]

۱-۶. آماده سازی سطح

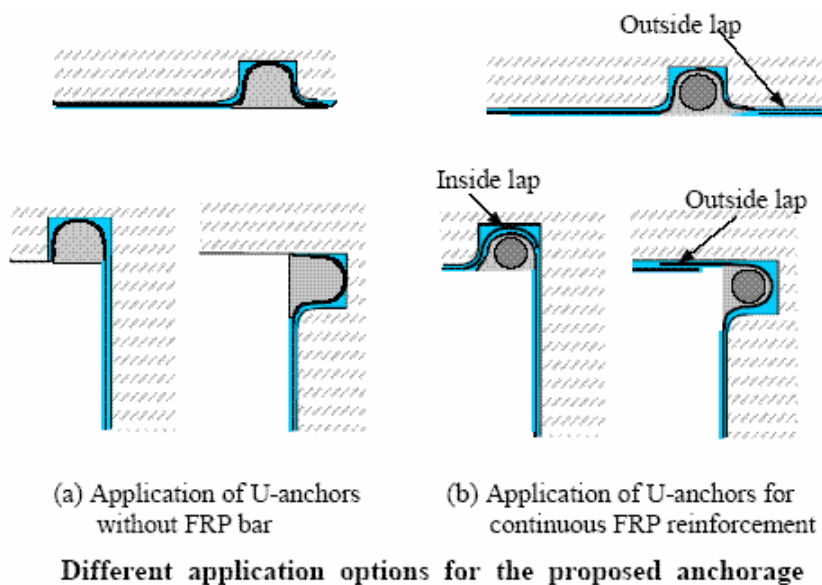
تمیز بودن شیار، عملکرد پوشش آستری و مقاومت بتن همگی فاکتورهایی هستند که می توانند بر خصوصیات پیوند بین بتن و چسب اپوکسی اثر بگذارند. آماده سازی سطح یکی از پارامترهای بسیار مهم می باشد. به دلیل اینکه تنش کششی بوسیله تنش های مماسی از بتن به میله های FRP درون چسب انتقال داده می شود.

۲-۶. نوع میله ها

پارامترهایی از میلگرد که بر عملکرد سیستم اثر می گذارد ممکن است شامل مواردی چون قطر میله، نوع FRP و شرایط سطح باشد. مقاومت پیوند و مکانیزم گسیختگی پیوند بصورت ویژه با شرایط سطح میله ها ارتباط دارد.

۳-۶. ابعاد شیار

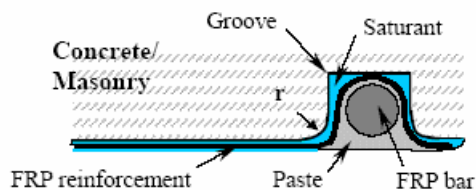
افزایش عمق شیار ممکن است مقاومت را افزایش داده، البته به شرط اینکه از گسیخته شدن چسب اپوکسی جلوگیری شود. با توجه به تحقیقات انجام گرفته حداقل ابعاد شیار برابر با ابعاد میله های FRP بعلاوه ۰,۲۵ اینچ مطلوب می باشد.



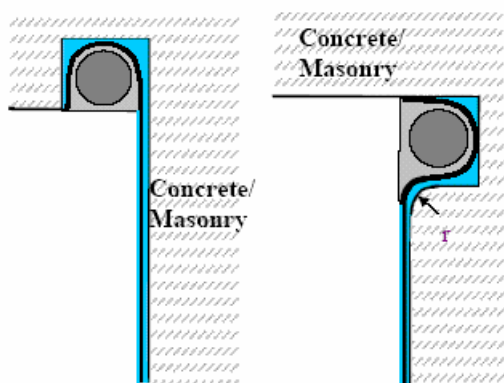
شکل ۴- مهارانتهایی U شکل با پوشش و با یا بدون میلگرد FRP در حالاتهای مختلف [۳]

با توجه به شکل ۴ می بینیم که هم پوشانی ورقه FRP می تواند داخل یا خارج از شیار انجام شود و در مهار

انتهایی شکل در صورت لزوم از میلگرد NSM FRP نیز برای تقویت بیشتر استفاده می شود.



(a) Anchorage to plane surface

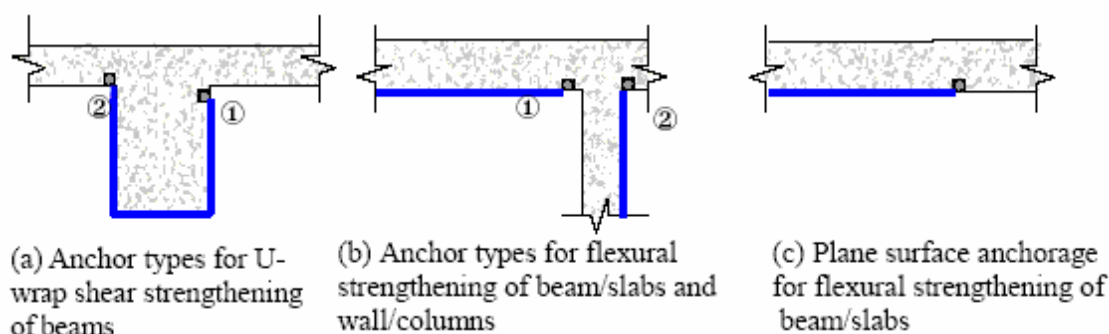


(b) After corner anchorage

(c) Before corner anchorage

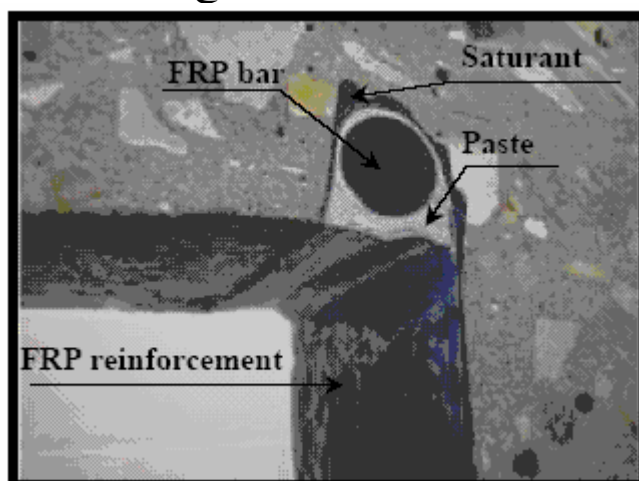
Different application schemes of the U-anchor

شکل ۵- حالاتهای مختلف مهار انتهایی U شکل [۳]



شکل ۶- حالت‌های مختلف مهار انتهایی ورقه های FRP در تیر , ستون یا دال بتن آرمه [۳]

با توجه به شکل‌های ۴ تا ۶ به این نتیجه می‌رسیم یکی از روش‌های کنترل محل قطع پوشش‌ها و ورقه های FRP بدون استفاده از طول مازاد بر محل قطع تئوری و عملی برای جلوگیری از گسیختگی‌های عدم پیوند استفاده از همان تکنیک شیار زنی و استفاده از میلگردهای FRP نزدیک به سطح است.

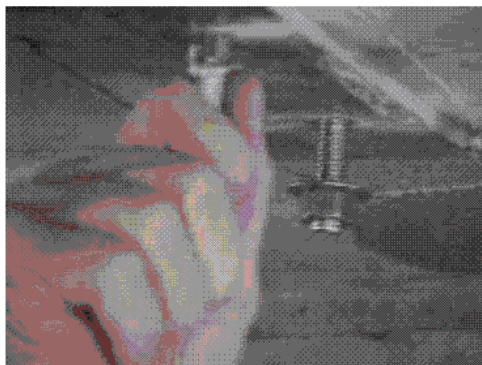


شکل ۷- جزئیات مقطع عرضی مربوط به مهار U شکل انتهایی به کمک میلگرد نصب شده در نزدیک سطح FRP [۴]



شکل ۸- کاربرد بست مکانیکی برای اتصال ورقه FRP در تقویت خمشی به تیر بتن آرمه [۵]

گاهی اوقات برای مهار انتهایی ورقه FRP از بست مکانیکی U شکل یا دور پیچ مطابق شکل ۸ و یا انکر بولت و پیچ مطابق شکل ۹ استفاده می‌شود.



Installation of anchors نصب کردن مهارها



Driving anchors into slab فرو بردن انکرها در دال بتن آرمه

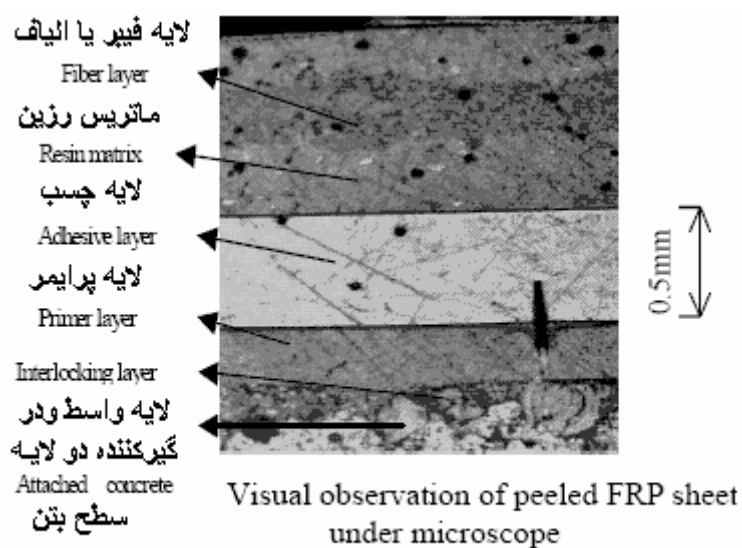


Tightening of anchors محکم کردن انکر یا مهارها



(b) Bolted CFRP Plates

شکل ۹- کاربرد مهار و پیچ برای اتصال ورقه های CFRP [۱۴]

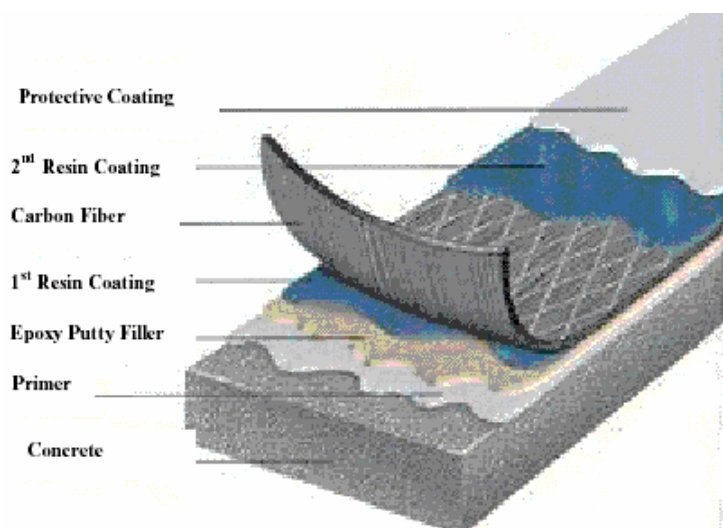


مشاهده عینی ورقه FRP بین لایه های مختلف با میکروسکوپ

شکل ۱۰- جزئیات لایه FRP و چسب زیر میکروسکوپ [۱۱]

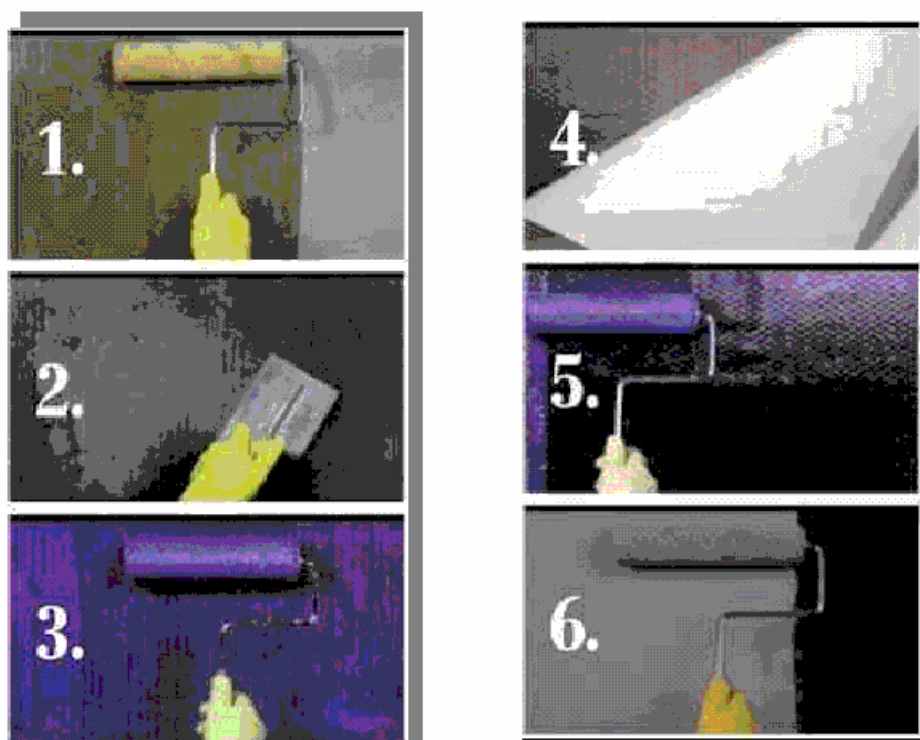
۷- مراحل نصب ورقه FRP

با توجه به شکل ۱۱ می بینید که ابتدا یک لایه پرایمر بر روی سطح بتن کشیده، سپس بتونه و پرکننده اپوکسی را بر روی آن کشیده و لایه پوشش رزین یا چسب را کشیده، سپس ورقه فیبر کربنی را چسبانده، بر روی آن یک لایه پوشش چسب کشیده و در نهایت پوشش محافظ وجود دارد.



شکل ۱۱- جزئیات مراحل نصب ورقه FRP بر روی سطح بتن [۱۲ و ۱۳]

Installation



1. Roll on primer
2. Fill discontinuities with putty
3. Roll on resin

4. Place on fibers
5. Roll on top layer of resin
6. Apply protective coating

شکل ۱۲- جزئیات نصب ورقه FRP [۶]

مطابق شکل ۱۲ مراحل عبارتند از :

- ۱- مالیدن پرایمر یا لایه اولیه و آستری
- ۲- پر کردن ناپیوستگی‌ها و خلل و فرج با بتونه
- ۳- مالیدن رزین یا چسب
- ۴- قرار دادن ورقه‌های FRP در محل مورد نظر
- ۵- مالیدن لایه فوقانی یا چسب
- ۶- بکار بردن پوشش محافظ

مراحل نصب به طور اصولی مطابق شکل ۱۳ به ترتیب عبارتند از:

- ۱- آماده‌سازی سازه: قبل از هر تقویت با ورقه‌ها بایستی بتن تخریب شده و آرماتورهای خورده شده و ترکهای اصلی با تزریق بتن ترمیم شود
- ۲- آماده سازی سطح: پس از تعمیر سازه آسیب دیده، سطح آن کاملاً صاف شده و نا منظمی‌ها و زوایای تند و تیز گوشه‌ها بوسیله ماسه پاشی Sand Blast ، ماله، فشار آب Water Jet یا ساب کاملاً گرد می‌شود.
- ۳- بکار بردن لایه آستری یا پرایمر: برای افزایش چسبندگی و جلوگیری از جدایش ورقه FRP از لایه چسب بین بتن و ورقه، با غلتک یک لایه اپوکسی با لزجت کم به طور موضعی روی سطح مورد نظر به عنوان پرایمر می‌مالند.

۴- **بتونه کردن:** یک لایه چسب با ویسکوزیته بالا برای پر کردن خلل و فرج و فرورفتگیهای در محل‌های مورد نیاز بکار برده می‌شود.

۵- **بریدن ورقه:** بر روی یک سطح تمیز و آماده که عاری از هر گونه آلودگی، چسب و ناصافی است ورقه FRP مطابق مشخصات و جزئیات ارائه شده بریده می‌شود.

۶- **اشباع کردن ورقه:** در پروژه‌های بزرگ و حجیم ورقه‌ها با دستگاه‌های گرداننده خاص در کارخانه اشباع می‌شوند و لایه اپوکسی یا ماتریس رزین به آن اضافه می‌شود و فقط کافی است در محل مورد نظر چسبانده شود ولی در کارهای کوچکتر و کم حجم‌تر در محل رزین روی سطح مورد نظر مالیده شده سپس ورقه خشک و بدون چسب بر روی سطح بتن چسبانده می‌شود.

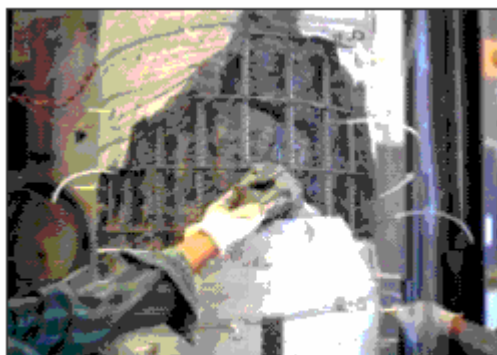
۷- **بکاربردن ورقه:** ورقه را با دقت روی سطح هموار و بدون هیچ گونه آلودگی، حباب هوای محبوس به صورت کاملاً صاف و مستقیم دقیق می‌چسبانند.

۸- **نظارت بر کنترل کیفیت:** در زمان عمل آوری ۲ تا ۶ ساعت بسته به شرایط حاکم ورقه‌ها چک و کنترل می‌شوند تا هیچ گونه حباب هوا بین لایه FRP و بتن حبس نشده باشد و خم شدگی یا بیرون زدگی

(Sagging) وجود نداشته باشد و ناظرهای تربیت شده‌ای برای کنترل کیفیت ورقه‌های FRP استفاده می‌شود

۹- **اطمینان از کیفیت:** گزارش‌های کنترل کیفیت تهیه شده و به خوبی نگهداری می‌شوند تا اطمینان از ترمیم و تعمیر موفقیت آمیز عضو سازه‌ای حاصل شود.

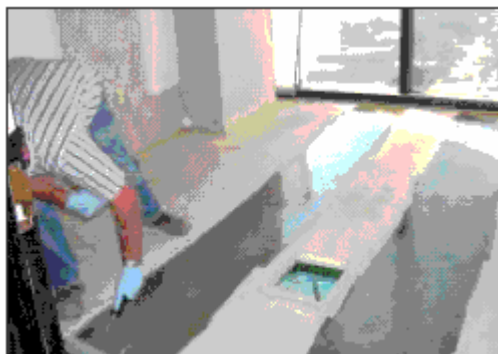
۱۰- **لایه رویین:** پس از عمل آوری و نظارت بر کیفیت، ورقه‌های FRP برای نیاز به حفاظت و نگهداری کمتر و حفظ زیبایی و معماری با یک لایه بتن رویین یا ماده‌ای دیگر پوشانده می‌شوند.



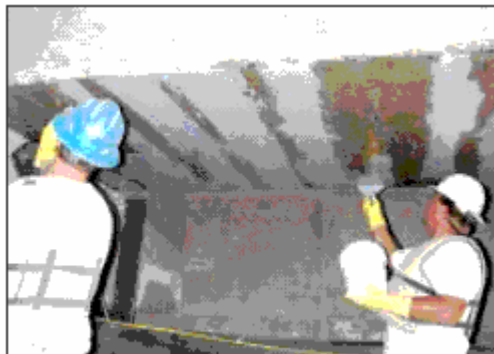
1. STRUCTURE PREPARATION



2. SURFACE PREPARATION



3. PRIMER



4. PUTTY



5. CUTTING FABRIC



6. SATURATING FABRIC



7. APPLYING FABRIC



8. QUALITY CONTROL MONITORING



9. QUALITY ASSURANCE



10. TOP COAT

شکل ۱۳- مراحل نصب ورقه FRP [۷]



(a) Overall View



(b) Surface Sandblasting



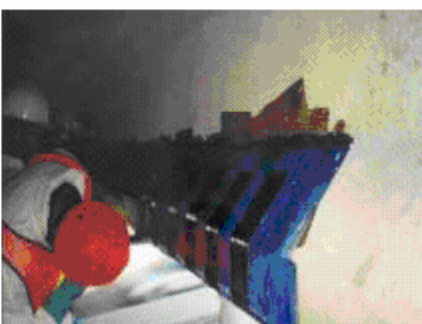
(c) Application of Putty



(d) Application of Saturant



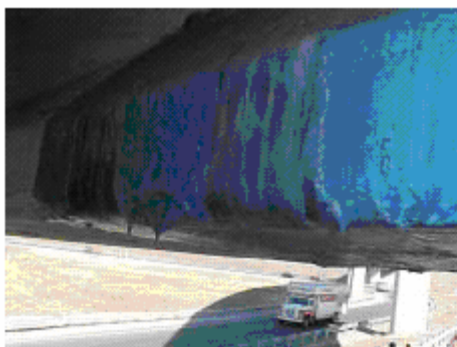
(e) Manual Lay-up of CFRP Sheet



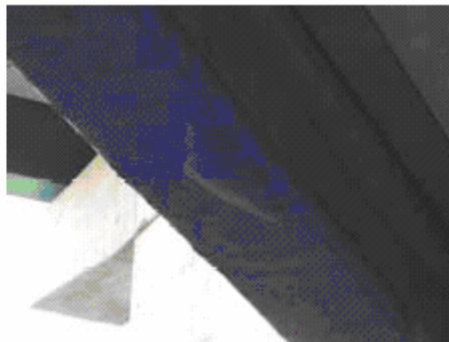
(f) Strips Manual Lay-up

شکل ۱۴- جزئیات تقویت تیر اصلی تابلیه پل با FRP [۸]

با توجه به شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که مراحل نصب عبارت است از:
۱- بازنگری کلی ۲- ماسه پاشی بر روی سطح برای از بین بردن آلودگی‌ها ۳- بتونه کردن ناصافی‌ها و فرورفتگی‌ها ۴- بکار بردن لایه چسب اولیه و اشباع کننده به کمک غلتک ۵- نصب در محل به صورت دستی ورقه CFRP ۶- نوارها و باریکه‌های نصب شده به صورت دستی برای مهار بیشتر



(a) Excess of Saturant



(b) Blister in the repaired area

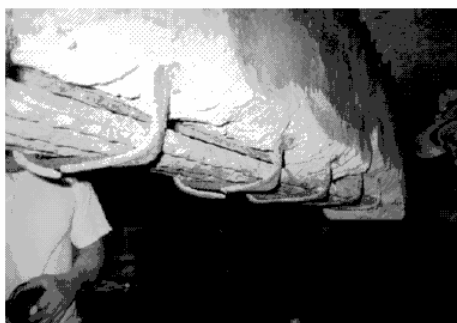
شکل ۱۵- خرابی حاصل شده ۱- بر اثر استفاده بیش از حد چسب یا اشباع کننده
 ۲- تاول زدن و باد کردن ناحیه تعمیر شده [۸]



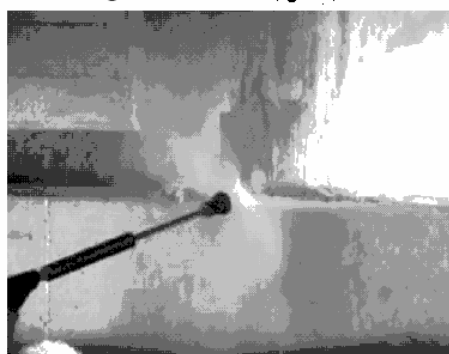
Sandblasting of corroded steel ماسه پاشی به فولاد خورده شده



Forming concrete section شکل دادن به مقطع بتنی



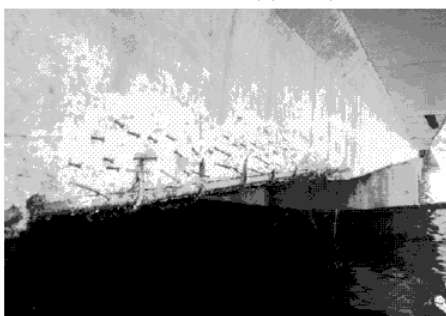
Splicing of damaged bars متصل کردن و پیوند مجدد میلگردهای بریده و قطع شده



Pressure washing of concrete با فشار آب بتن را شستن



Examples of damages: corrosion خسارت وارده در سطح فوقانی ناشی از خوردگی
 (top) and vehicle collision (bottom) و در بخش تحتانی بر اثر تصادم وسایل نقلیه

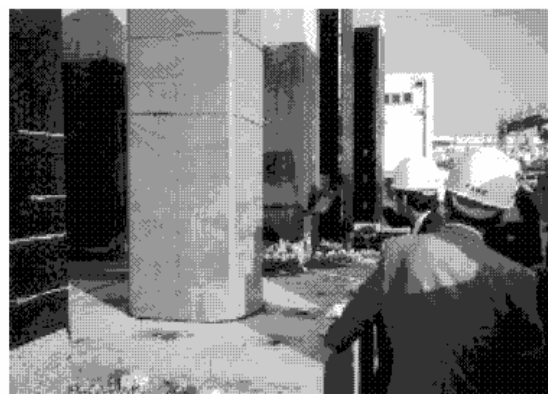


Mechanical anchorage مهار مکانیکی

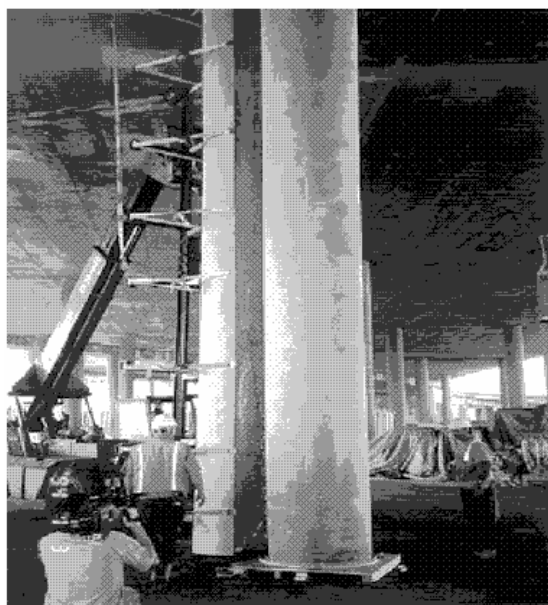
شکل ۱۶- نحوه ترمیم و باز سازی عرشه یا تابلیه و پایه های پل آسیب دیده
 با میلگردهای نزدیک به سطح و پوششهای FRP [۱۶]



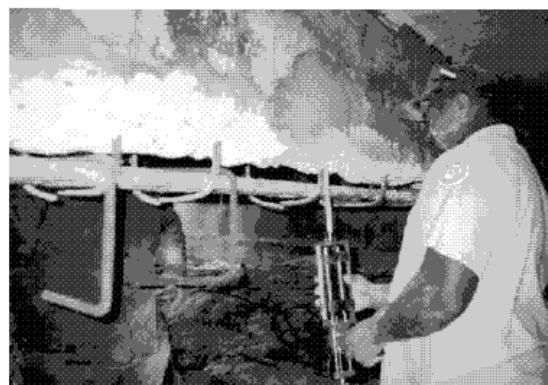
Precured strips نوارهای پیش ساخته و آماده



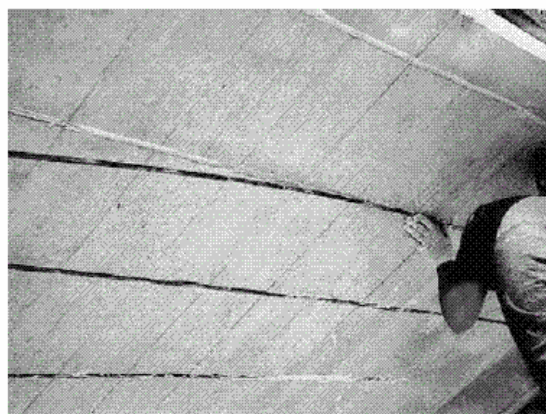
Column wrapping دورپیچ کردن ستون



Precured shells پوسته های پیش ساخته



Epoxy injection of cracks پرکردن ترکها با تزریق اپوکسی



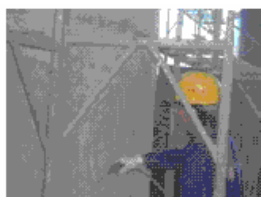
Near surface mounted rods نصب میلگردهای نزدیک به سطح

شکل ۱۶-۲ نحوه ترمیم و باز سازی عرشه یا تابلیه و پایه های پل آسیب دیده با میلگردهای نزدیک به سطح و پوششهای FRP [۱۶]

در سلسله شکل‌های ۱۷ زیر پروسه ترمیم و بازسازی اعضا یا بخشهایی از سازه با ورقه FRP که در کشور تایوان انجام شده است چون تیر بتن آرمه، ستون ساختمان و پایه پل، شمع کوبی و پایکهای تونل، دیوار برشی و دال بتن آرمه نمایش داده شده است.



(a) Grind the surface
ساییدن سطح



(b) Clean the surface by air
تمیز کردن سطح با فشار هوا

Surface treatment procedures

فرایند اصلاح سطح



(a) Corrosion resistance treatment

اصلاح مقاومت در برابر خوردگی

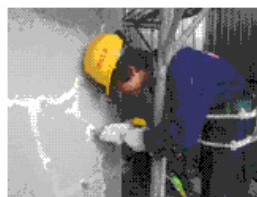


(b) Putty applying

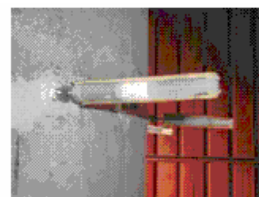
بکار بردن بتونه

**Breaking section and uneven surface
recovery construction procedure**

رویه شکستن مقطع و نا هموار نمودن سطح و بازساخت مجدد



(a) Install injection head



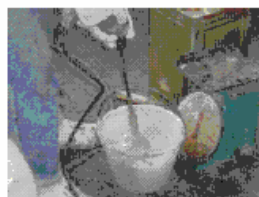
(b) Fill crack by epoxy resin

بر کردن ترک با رزین اپوکسی

نصب کردن سری تزریق

Crack filling construction procedure

رویه اجرایی پر کردن ترک



(a) Mix resin and hardener

مخلوط کردن رزین با سخت کننده



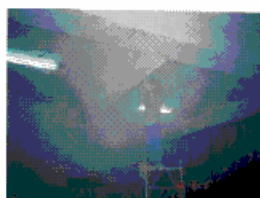
(b) Primer daubing

مالیدن اندود پرایمر

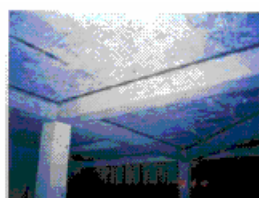
Primer resin construction procedure

رویه اجرایی اندود رزین پرایمر

شکل ۱۷-۱ ترمیم و باز سازی اعضای بتن آرمه با ورقه FRP [۱۵]



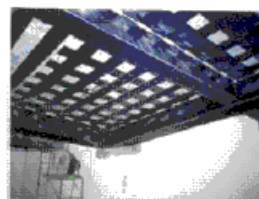
(a) Surface treatment
اصلاح سطحی



(b) Rounded radius corner
گرد کردن گوشه ها



(c) FRP attachment
جسباندن FRP

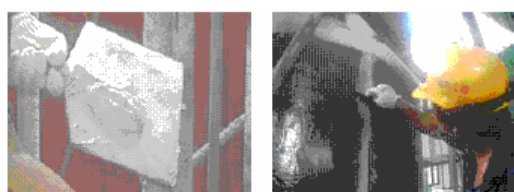


(d) Finished outlook
پایان یافتن چشم انداز و نما

**Retrofit slab components of building using
composite material**

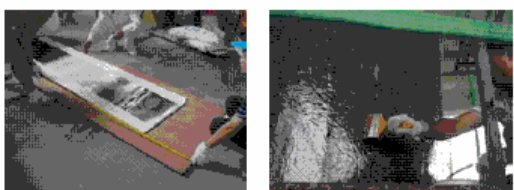
باز سازی و ترمیم اجزای دال بتن آرمه ساختمان با ماده کامپوزیتی

شکل ۱۷-۲ ترمیم و باز سازی اعضای بتن آرمه با ورقه FRP [۱۵]

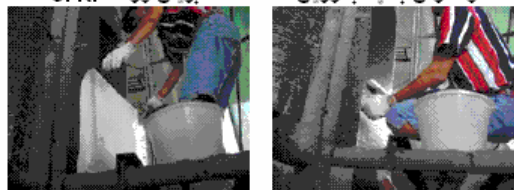


(a) Epoxy base Putty (b) Putty applying
بتونه مینای اپوکسی بکار بردن بتونه

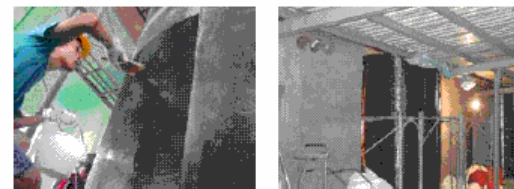
Surface leveling procedure
پروسه هموار و تراز کردن سطح



(a) Cutting CFRP sheet (b) Adhesive resin daubing
بریدن ورقه CFRP اندود کردن با چسب رزین



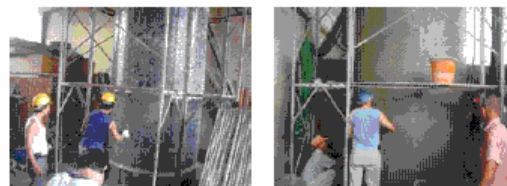
(c) Place carbon fiber sheet (d) Rolling and pressing
بکار بردن ورقه فیبر کربن با غلتک مالیدن و فشردن



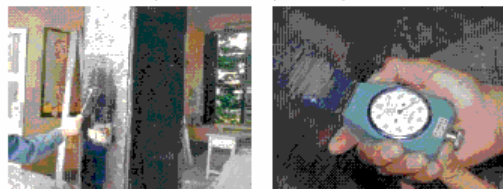
(e) Re-daubing resin (f) Finished CFRP paste
دوباره اندود کردن با رزین پایان یافتن رویه چسباندن ورقه CFRP

Composite material reinforcing attachment construction procedure

رویه اجرایی چسباندن ماده تقویتی کامپوزیتی



(a) Applying resin and sand (b) Cement placement
بکار بردن رزین و ماسه جایگزینی سیمان
Recovery process construction procedure
پروسه اجرایی احداث مجدد



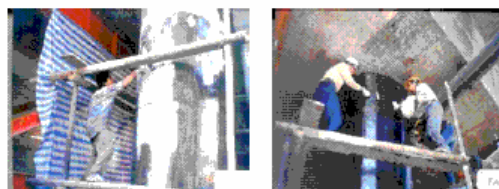
(a) Metal hammer test (b) Hardness test
آزمایش چکش فلزی آزمایش تعیین سختی

Construction quality inspection for composite material retrofit RC structure

بازرسی کیفیت ساخت برای ماده کامپوزیتی ترمیم کننده سازه بتن آرمه



(a)Knocking RC (b)Section recovery (c)Surface grind
ساییدن سطح ساخت مجدد مقطع ضربه زدن به مقطع بتن آرمه

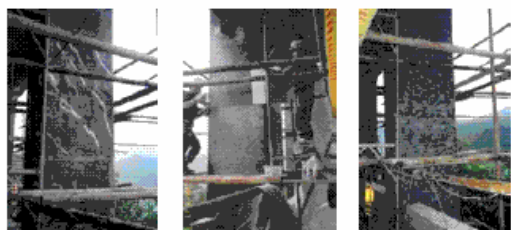


(d) Primer and putty applying (e) FRP attachment
بکار بردن بتونه و پرایمر چسباندن FRP

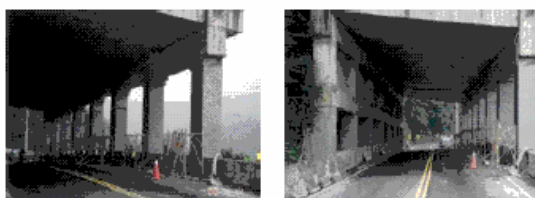
Retrofit bridge pier using CFRP

نحوه ترمیم پایه پل با استفاده از CFRP

شکل ۱۷-۳ ترمیم و باز سازی اعضای بتن آرمه با ورقه FRP [۱۵]



(a) Filling crack (b) FRP attachment (c) Placing cement
برکردن ترک جسیاندن FRP بکار بردن سیمان

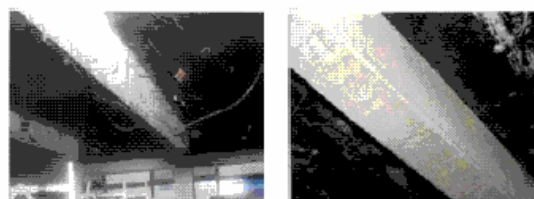


(d) Finished outlook (e) Finished outlook

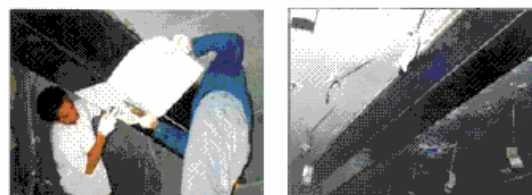
پایان یافتن چشم انداز و نما

Retrofit tunnel pile using CFRP

باز سازی شمع و پایک تونل با استفاده از CFRP



(a) Filling crack (b) Surface treatment
برکردن ترک اصلاح سطح



(c) FRP attachment (d) Finished outlook
جسیاندن FRP پایان یافتن چشم انداز و نما

Retrofit beam components of building using composite material

باز سازی و ترمیم اجزای تیر ساختمان با استفاده از ماده کامپوزیت



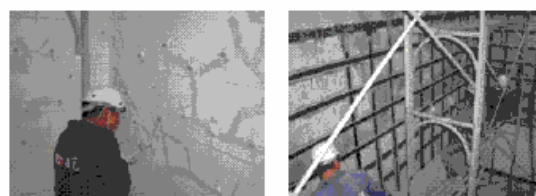
(a) Filling crack (b) Primer daubing (c) Putty applying
برکردن ترک اندود کردن با پرایمر بکار بردن پتوته



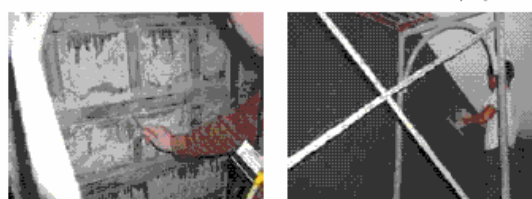
(d) FRP attachment (e) Finished outlook
جسیاندن FRP پایان یافتن چشم انداز و نما

Retrofit building columns using CFRP

باز سازی ستون ساختمان با استفاده از CFRP



(a) Filling crack (b) FRP plate attachment
برکردن ترک جسیاندن ورقه FRP



(c) Metal hammer test (d) Cement placement
آزمایش چکش فلزی بکار بردن سیمان

Retrofit shear wall using CFRP

باز سازی و ترمیم دیوار برشی با استفاده از CFRP

شکل ۱۷-۴ ترمیم و باز سازی اعضای بتن آرمه با ورقه FRP [۱۵]

نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

با توجه به تکنیک‌های مختلف موجود تسلیح سازه بتن آرمه با ورقه FRP، استفاده از روش کارآمد با توجه به شرایط محیطی و کیفیت اجرا برای بدست آوردن تقویت و ترمیم عضو سازه‌ای و رعایت اصول نصب و کنترل کیفیت برای مقاوم سازی مناسب ضروری است.

منابع:

- [1] Sami H.Rizkalla , Amir Mirmiran "Value Engineering & Cost Effectiveness of various Repair systems" Department of civil engineering Constructed facilities Laboratory, North Carolina state University April9,2003
 - [2] Tarek Alkhradji and Antonio Nanni "Surface Bonded FRP Reinforcement for Strengthening/Repair of Structural Reinforced Concrete" center for Infrastructure Engineering Students (CIES) University of Missouri-Rolla 223 Engineering Lab 1870 Miner Circle Rolla, MO 65409-0710-ICRI-NRCC Workshop, Baltimore, MD, Oct, 30,1999,19 pp
 - [3] A.Khalifa, T.Alkhrdaji, A.Nanni, and S.Lansburg "Anchorage of Surface Mounted FRP Reinforcement" Concrete International: Design and Construction Vol. 21, No.10, Oct 1999. pp 49-54
 - [4]-Ahmed Khalifa, Antonio Nanni "Improving shear capacity of existing RC T-section beams using CFRP composites" University of Missouri Rolla USA Cement & Concrete Composites"
 - [5] - Anthony J.Lamanna, Lawrence C, Bank, and David W.Scott- "Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Fasteners and Fiber-Reinforced Polymer Strips "- ACI Structural Journal June 2001
 - [6] –Svecova-H.Crocker-"Bridge deck repair and replacement" - University of Manitoba Civil Engineering Department April2002
 - [7] - A Guide for Composite Strengthening –Edge Structural Composites Strength through Technology
 - [8] J.GustavoTumialan, Pei-Chang Huang, Antonio Nanni, V&M Jones "Strengthening of An Impacted PC Girder on Bridge ST louts County, MO" Research Investigation RI99-041 University Missouri Rolla Submitted Feb 2001
- [۹]- ایمان الیاسیان - پایان نامه کارشناسی ارشد سازه دانشگاه یزد بهار ۱۳۸۴ - « بررسی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP به روش اجزای محدود و به صورت پارامتریک »
- [10] -Antonio Nanni -" Composites: Coming on strong "- University of Missouri-Rolla-Concrete Construction VOL44-1999-P120
 - [11] Dai Jian Guo, Tamon UEDA "Interfacial Models for Fiber Reinforced polymer (FRP) Sheets Externally Bonded to Concrete"
 - [12] Elisa D.Sotelino, Ming-Hung Teng"Strengthening of Deteriorating Decks of Highways Bridges in Indiana Using FRPC" Final Report FHWA/IN/JTRP-2001/15-SPR-2490 Purdue University in Cooperation with the Indiana Department of Transportation and the Federal Highway Administration- West Lafayette Nov2001
 - [13] Shaun W.Hay, D, Sevecova "Literature Review of Research in Strengthening of Existing Structures Using FRP Sheets" Use of Composite Materials in Civil Engineering the University of Manitoba April 2002
 - [14] Bahram M.Shahrooz "Retrofit of Existing Reinforced Concrete Bridge with Fiber Reinforced Polymer Composites" Report No.UC-CII 01/01 Dec2001 Federal Highway Administration and Ohio Department of Transportation, University of Cincinnati college of Engineering, Ohio
 - [15] Fang-Yao YEH¹ and Kuo-Chun Chang² "Development and Application of Composite Materials Retrofit RC Structure Technology in Taiwan"

¹ Manager, Industrial Technology Research Institute, Materials Research Laboratories ² Professor,
Department of civil Engineering, National Taiwan University

[16] NCHRP Report 514 National Corporate Highway Research Program "Bonded Repair and
Retrofit of Concrete Structures Using FRP Composites "Recommendation Construction Specifications
and Process Control Manual-Transportation Research Board

[17] J.Gustavo Tumialan, Nestore Galati, Sinaph M, Namboorimadathil and Antonio Nanni University
of Missouri-Rolla "Strengthening of Masonry with FRP Bars" ICCI2002, San Francisco.CA.June 10-
12