روشهای مقاوم‌سازی سازه‌های بتن‌آرمه و آشنایی با روش تقویت با ورقه FRP

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه
Iman . Elyasian@Gmail.com

چکیده

بسیاری از ساختمانها و اعضای باربر سازه‌ای که قبل از دهه ۹۰ میلادی در ایالت متحده ساخته شده بودند برای مقاومت لرزه‌ای طراحی نشده بودند تا این که اداره فدرال مدیریت شرایط اضطراری **FEMA** [۱] اقدام به ارزیابی لرزه‌ای و روشهای بازسازی سازه‌های موجود[۲] و ارائه روشهای مقاوم‌سازی نمود. در این مقاله به بررسی تقویت قطعات سازه‌ای با ورقه FRP [۳] می‌پردازیم .

کلیدواژه‌ها: مقاوم‌سازی – سازه بتن آرمه – **FRP**

مقدمه

در سالهای اخیر پیشرفتهای زیادی در زمینه مهندسی زلزله و طراحی سازه‌ها انجام گرفته است بگونه‌ای که امروز با اعتماد و اطمینان بیشتری می‌توان سازه‌های مقاوم در برابر زلزله را طراحی نمود. بسیاری از سازه‌های بتنی به دلایل ۱– خطاهای محاسباتی ۲– اشتباه در ساخت و اجرا ۳– ضعف آیین‌نامه‌های قدیمی ۴– تغییر کاربری سازه و بارهای بهر برداری وارد به سازه ۵– خوردگی و زنگ زدگی آرماتورها و . . . ضوابط آیین نامه‌های جدید را ارضا نمی‌کند، لذا ارائه روشهای مقاوم‌سازی، بهسازی و تعمیر چنین سازه‌هایی لازم است.

۱– بازسازی [۴]

به طور کلی فرایند بازسازی کلی[۵] یا محلی [۶] سازه‌ای به ۳ بخش اصلی ۱– مقاوم‌سازی[۷]
۲– بهسازی[۸] ۳– تعمیر[۹] تقسیم می‌شود .

1-Federal Emergency Management Agency 2-Seismic Evaluation and Rehabilitation
3- Fiber Reinforcement Polymer 4 - Rehabilitation 5- Global 6-Local
7-Strengthening 8-Retrofitting 9-Repair

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

در بازسازی سازه‌ها به طور عمده تغییر پارامترهای زیر مورد توجه قرار می‌گیرد که هر کدام از آنها نقش اساسی در بهبود شرایط عملکرد سازه‌ای خواهد داشت.

۱- افزا یش مقاومت [۱] ۲- افزایش سختی [۲] ۳- کاهش تغییر مکان [۳] ۴- افزایش شکل پذیری [۴]

۵- افزایش جذب انرژی [۵]

۲- مقاوم سازی

همانطوری که در چکیده ومقدمه بیان شد بسیاری از ساختمانها به دلایل مختلف نیاز به تقویت دارند. مهمترین دلایل لزوم مقاوم‌سازی سازه‌ها ۱- دلایل مالی Financial ۲- دلایل اجتماعی Sociological می‌باشند.

۳- عوامل مؤثر در انتخاب تکنیک مقاوم‌سازی

عوامل متعددی در انتخاب تکنیک مقاوم‌سازی تأثیر دارند که در زیر به بخشی از آنها می‌پردازیم [۱]

۱- ارزش سازه در مقابل اهمیت سازه — Cost versus importance of structures

۲- نیروی انسانی موجود — Available workmanship

۳- طول مدت اجرا یا زمان عدم استفاده — Duration of work / disruption of use

۴- تکمیل و تقویت براساس عملکرد موردنظر کارفرما — Fulfillment of the performance goals of owner

۵- توجه به تناسب زیباشناسی (معماری) ونقش سازه‌ای و تکمیل سازه‌ی موجود
Functionally and aesthetically compatible and complementary to the existing structures

۶- تداخل برگشت پذیری — Reversibility of intervention

۷- کنترل کیفی سطح عملکرد — Performance level of quality control

۸- اهمیت تاریخی و سیاسی سازه — Political and historical significance

۹- سازگاری روش مقاوم‌سازی با سیستم سازه‌ای موجود
Structural compatibility with the existing structural system

۱۰- نامنظمی در سختی، مقاومت و شکل‌پذیری — Irregularity of stiffness strength and ductility

۱۱- کنترل آسیب وارده به اجزای غیر سازه‌ای — Controlled damage to non-structural components

۱۲- ظرفیت مناسب باربری سیستم فونداسیون — Sufficient capacity of foundation system

۱۳- مواد ترمیمی و روش‌های موجود مقاوم‌سازی — Repair materials and technology available

---

1-Strength enhancement 2-Increase in stiffness 3-Reduce displacement
4-Ductility enhancement 5-Increase in energy absorption

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

۴- برخی از روشهای مقاوم‌سازی سازه‌های بتن‌آرمه

روشهای زیادی برای مقاوم‌سازی ارائه شده‌اند که در اینجا به تعدادی از آنها اشاره می‌کنیم [۱]

۱- استفاده از بادبندهای هم محور یا برون محور فولادی Concentric or existence steel braces

۲- استفاده از کابلهای پس‌تنیده Post-tensioned cables

۳- استفاده از دیوار برشی Shear walls

۴- استفاده از میانقاب با مصالح بنایی Masonry infilled

۵- استفاده از جدایشگرهای پایه Base isolator

۶- استفاده از پوشش و غلاف فولادی Steel jacketing

۷- استفاده از ورقهای پوششی یا غلاف FRP FRP laminates or FRP wrapping

۸- استفاده از لایه پوشش بتنی با ملات مسلح (زره پوش بتنی)

۹- استفاده از میراگرهای اصطکاکی، هیسترزیس و ویسکوالاستیک Frictional-hysteretic and viscoelastic dampers

۱۰- استفاده از روشهای ترکیبی فوق

بهسازی و تعمیر به شرح زیر تعریف می‌شوند و در این مقاله کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۵- بهسازی

فرایند تغییر و اصلاح پارمترهای طراحی با استفاده ازمقطع موجود را بهسازی گویند.

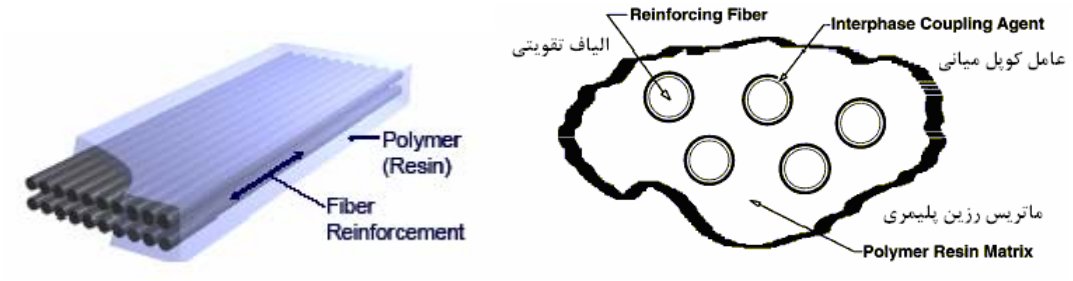
۶- تعمیر

گاهی اوقات برخی از عناصر سازه‌ای یا غیر سازه‌ای بر اثر پدیده‌هایی چون آتش‌سوزی، زلزله، عبور وسایل سنگین، خوردگی آرماتورها به مرور زمان، ضربه و برخورد وسایط نقلیه و نظایر آن دچار تخریب شده و نیاز به تعمیر و مرمت برای بدست آوردن عملکرد اولیه خود دارند .

۷- FRP چیست

FRP نوعی ماده کامپوزیت متشکل از ۲ بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که به وسیله یک ماتریس رزین ازجنس پلیمر احاطه شده‌اند.

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



شکل ۱- اجزای تشکیل‌دهنده FRP [۲]

فیبرهای تشکیل‌دهنده می‌توانند دریک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند. به طور کلی FRP ها به دو شکل وجود دارند ۱- ورقه‌های FRP ۲- میلگردهای FRP

رفتار ورقه‌های FRP به صورت ارتوتروپیک یا شبه ایزوتروپیک بوده یعنی مدول الاستیسیته آن در جهت قرارگیری فیبر با جهات عمود بر آن متفاوت است. در مورد مدول الاستیسیته در جهت اصلی داریم:

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m$$

در مورد جهت عمود بر جهت اصلی و مدول برشی نیز داریم :

$$E_2 = \frac{E_f E_m}{V_m E_f + V_f E_m}$$

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{V_m G_f + V_f G_m}$$

(برای توضیح بیشتر به کتب مکانیک مواد مراجعه شود.)

به طور کلی FRP را بر اساس فیبر تشکیل‌دهنده آن به چندین دسته تقسیم می‌کنند که ۳ نوع آن کاربرد بیشتری دارد ۱- CFRP با الیاف از جنس کربن ۲- GFRP با الیاف از جنس شیشه ۳- AFRP با الیاف از جنس آرامید

به طور کلی عملکرد یک کامپوزیت بستگی به ۱- مواد سازنده آن ۲- نسبت مواد سازنده آن ۳- ظرفیت باربری فیبر یا الیاف تقویتی و نحوه‌ی قرارگیری آنها ۴- رفتار توأم سازنده با یکدیگر و ... دارد.

عملکرد فیبر تقویتی تحت تأثیر ۱- جهت قرار گیری الیاف، ۲- طول فیبر، ۳- شکل آن، ۴- ترکیب آن با ماتریس و رزین و چسبندگی بین آن دو و ۵- جنس الیاف است

نقش اصلی ماتریس عبارت است از:

۱- انتقال برش از فیبر تقویتی به ماده مجاور، ۲- محافظت از فیبر در برابر شرایط محیطی، ۳- جلوگیری از خسارات مکانیکی وارده و ۴- کنترل کمانش موضعی فیبر تحت فشار

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

۸- دلایل استفاده روز افزون از FRP:

۱- روشهای تولید حجیم و وسیع FRP ۲- کاربرد در صنایع مختلف چون خودروسازی، هوایی، دفاعی و . . .

۳- روشهای تولید اصلاح شده که منجر به تولید FRP با خواص مقاومتی بالاتر و کاهش هزینه تولید می‌گردد

۴- بهینه کردن ترکیب فیبر با ماتریس چسب برای سازگاری مناسب‌تر با یکدیگر و بتن

۹- مزایای استفاده از FRP در سازه‌های بتن‌آرمه:

۱- دوام بالا ۲- سبک وزن بودن[۱] ۳- مقاومت مشخصه ومدول بالای برخی از نمونه‌های آن

۴- مقاومت در برابر خوردگی ۵- مقاومت در برابر شرایط محیطی و ترکیبات شیمیایی

۶- نفوذ ناپذیری مغناطیسی ۷- مقاومت در برابر ضربه ۸- ضخامت کم

۹- حمل و نقل آسان به دلیل وزن کم ۱۰- اجرای ساده ورقه‌ها

۱۱- توجیه اقتصادی برای تقویت و ترمیم پروژه‌های سنگین به عنوان مثال پلها

۱۲- سطح تمام شده تمیز

۱۰- برخی از موارد کاربرد FRP:

۱ - افزایش ظرفیت باربری و شکل‌پذیری ستونها، تیرها، دالها و اتصالات بتن آرمه

۲ - تقویت مخازن فولادی وبتنی

۳ - تقویت سازه‌های فراساحل و دریایی

۴ - تقویت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار

۵ - تقویت تیر و ستونهای چوبی

۶- تقویت دودکشهای بتن آرمه با مصالح بنایی

۷- تقویت دیوارهای بتن آرمه

۸- تقویت دیواره تونلها

۹- تقویت لوله‌های بتنی یا فولادی

۱۰- تقویت دیوارهای آجری و مصالح سنتی

۱۱- ساخت دیوارهای ساحلی

۱۲- سقف‌های پشت بام‌های صنعتی

۱۳- نشیمن‌گاه تجهیزات راکتورها

۱۴- سیستم دال کف در محیط‌های خورنده شیمیایی

۱۵- مرمت و تقویت سازه‌های مهمی چون بیمارستانها، آثار باستانی و . . .

۱- وزن آن در حدود ۲۰ درصد فولاد است

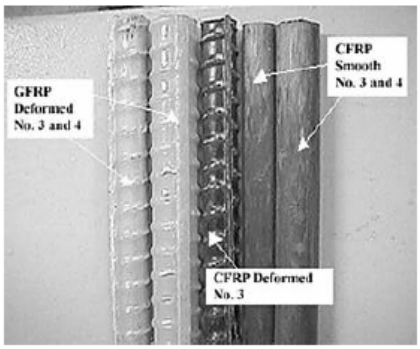
Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

۱۱- اشکال مختلف FRP در مهندسی عمران

۱- میلگردهای FRP

۲- پوشش‌های FRP

در شکل انواع میلگردهای ساخته شده از GFRP نمایش داده شده است.



شکل ۲- انواع میلگردهای FRP[۱۲]

۱۲- انواع پوشش‌های FRP بر اساس نحوه تولید

۱- پوشش دست ساز و درجا در محل Wet-Lay-Up

۲- ورقه‌های پیش‌ساخته کامپوزیتی

۳- ورقه‌های Pultrusion: در این فرایند ورقه‌های ساخته شده از محفظه حرارتی عبور داده شده و در این حین تحت کشش قرار می‌گیرند. ۲ کارخانه تولیدکننده FRP به این روش یسکا و فرنیسه می‌باشند.

۱۳- سیستمهای مرکب جدید

گاهی اوقات برای بازسازی یک سازه یا یک عضو از ترکیب چندین روش بازسازی یا ترکیب چند روش مقاوم‌سازی می‌پردازیم. به عنوان مثال اخیراً پروفسور J.G.Teng مدل ستون FCSDS[۱۵] را مطابق شکل ۳ ارائه داده است که متشکل از یک لوله فولاد داخلی و یک غلاف خارجی FRP است که فضای بین آن دو با بتن پر شده است.

با دقت به عملکرد چنین ستونی می‌بینیم که این ستون معایب لوله‌های فولادی چون کمانش تحت بار فشاری را به دلیل احاطه شدن با غلاف بتنی نداشته از طرفی بتن موجود به وسیله پوشش FRP کاملاً محصور شده و ظرفیت باربرنهایی و کرنش نهایی آن تحت بار محوری به شدت افزایش می‌یابد.

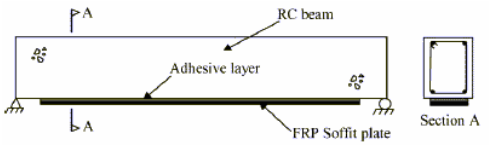
Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

شکل ۱- سیستم مرکب FCSDS [۲]

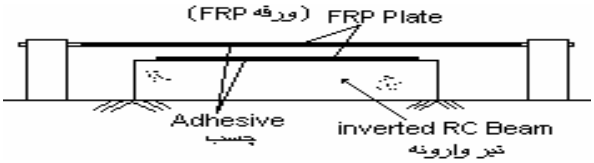
۱۴- مقاوم‌سازی اعضای باربر سازه‌ای با ورقه FRP

از ورقه‌های FRP برای تقویت خمشی، برشی، پیچشی و ترکیب آنها در اعضای باربر سازه چون تیرها، ستونها، اتصالات، دیوارها و دالهای بتن‌آرمه وحتی عناصر غیر باربر استفاده می‌شود. اخیراً حتی برای تقویت پروفیلهای فولادی ساختمانی از ورقه FRP استفاده شده و برای استفاده بهینه حتی ورقه‌ها را در حالت پس‌تنیده و یا پیش تنیده در سیستم تقویت بکار می‌برند. در اشکال زیر تقویت انواع مختلف اعضای باربر سازه‌ای با ورقه‌های FRP مشاهده می‌شود.

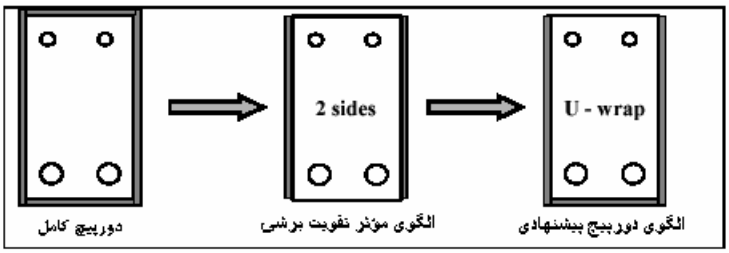
الف) تقویت خمشی و برشی تیرها



شکل۴- تقویت خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP



شکل ۵- تقویت خمشی با ورقه FRP پیش تنیده [۲]



شکل ۶- الگوهای مختلف تقویت برشی [۱۴]

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

برای کنترل گسیختگی‌های موضعی چون عدم پیوند و چسبندگی در انتهای تیر در حالت تقویت خمشی از باریکه‌ها (نوارها) یا ورقه پیوسته U شکل برای گیرداری مهار انتهایی تیر مطابق شکل ۷ استفاده می‌شود:

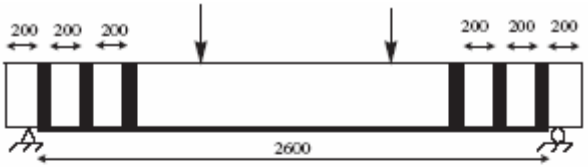


FIGURE 4. Lateral perpendicular CFRP strips, beam D.

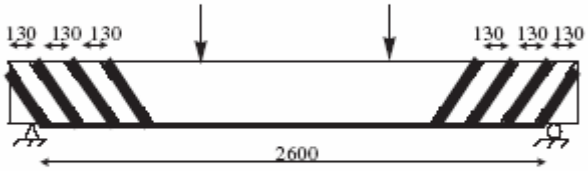
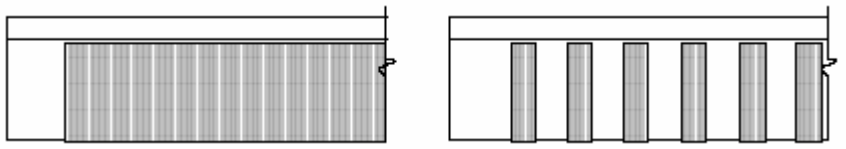


FIGURE 5. Lateral inclined CFRP strips, beam E.

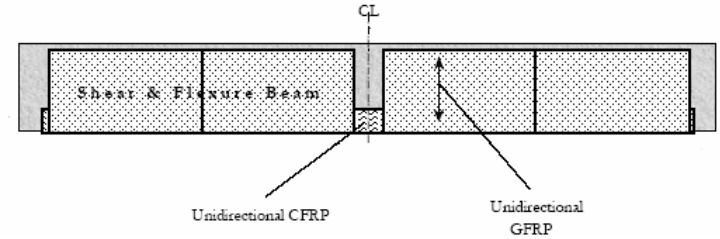
FIGURE 6. U-wrapping using a carbon fabric, beam F.

شکل ۷- تقویت خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP و نوار انتهایی U شکل [۸]



شکل ۸- الگوی تقویتی یکپارچه و منقطع

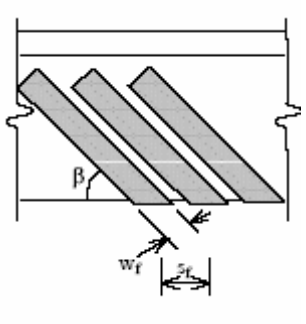
در حالت تقویت برشی می‌توان از الگوی یکپارچه ورقه یا Laminate و نوارهای منقطع یا Strips مطابق شکل ۸ استفاده کرد. گاهی اوقات یک عضو باربر سازه‌ای با ترکیب چند روش تقویت می‌کنیم. حتی با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود جنس ورقه‌ای که برای تقویت خمشی(CFRP laminate) بکار می‌رود با جنس ورقه‌ای که برای تقویت برشی(GFRP laminate) بکار می‌روند متفاوت هستند.



شکل ۹- ترکیب تقویت برشی و خمشی تیر بتن آرمه با FRP [۱۳]

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

باریکه‌ها و نوارهای FRP یا حتی ورقه‌های آن می‌تواند در زوایای مختلف بخصوص ۴۵ درجه برای کنترل تر کهای برشی و در تعداد لایه‌های مختلف وحتی دو لایه عمود بر هم با زوایای مختلف به عنوان مثال ۰-۹۰ درجه یا ۴۵ ± در جه بکار برده شوند.

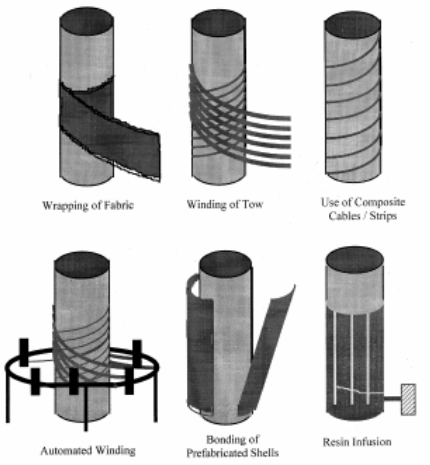


شکل ۱۰- بکار بردن نوارهای مورب برای تقویت برشی تیر بتن‌آرمه

ب) تقویت ستونها

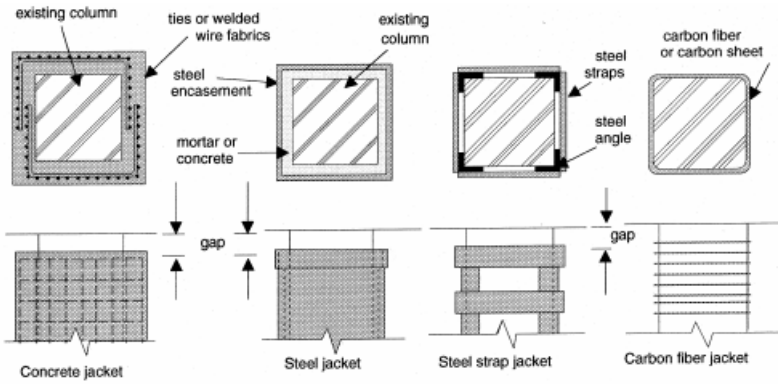
روشهای تقویت ستونها با ورقه FRP مطابق شکل ۱۱ عبارتند از:

۱ –دور پیچ سراسری
۲- پیچاندن ولفاف کردن به صورت دورانی
۳-استفاده از نوارها / کابل‌های کامپوزیت
۴- دورپیچ به صورت خودکار و اتوماتیک
۵- چسباندن پوسته‌های پیش‌ساخته
۶- تزریق چسب یا ماتریس



شکل ۱۱- حالات مختلف تقویت ستون با FRP [۶]

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

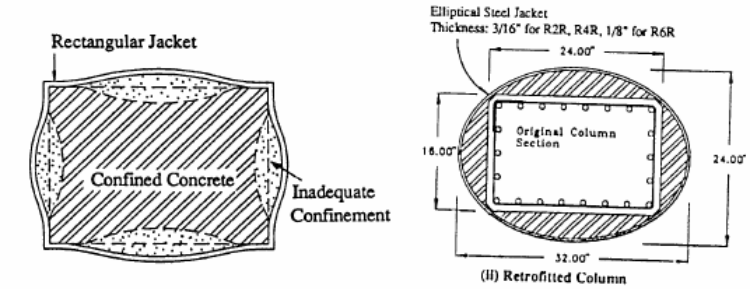


شکل ۱۲- حالات مختلف تقویت ستون بتن آرمه مربعی شکل:

۱- استفاده از ژاکت فولادی ۲- استفاده از نوارها یا بستهای فولادی

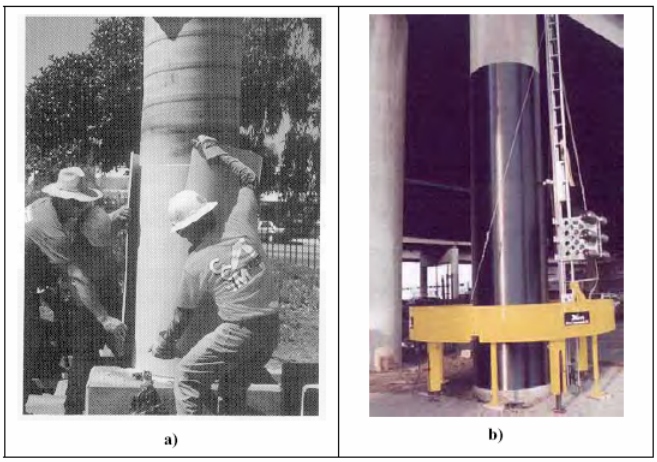
۳- استفاده از غلاف یا دورپیچ FRP [۷]

بایستی توجه داشت در مورد ستونهای مربع مستطیل شکل پوشش ورقه FRP محصوریت کمتری ایجادمی‌کند، لذا معمولاً این ستونها را با گروت یا بتن پرکننده مطابق شکل۱۳ به صورت ستون بیضوی یا دایروی در آورده سپس با FRP دور پیچ می‌نمایند.



شکل ۱۳- عدم محصورشدگی مناسب برای ستون مربع مستطیل و

تبدیل آن به ستون بیضوی یا دایروی برای ایجاد محصور شدگی کافی و مناسب [۱۰]



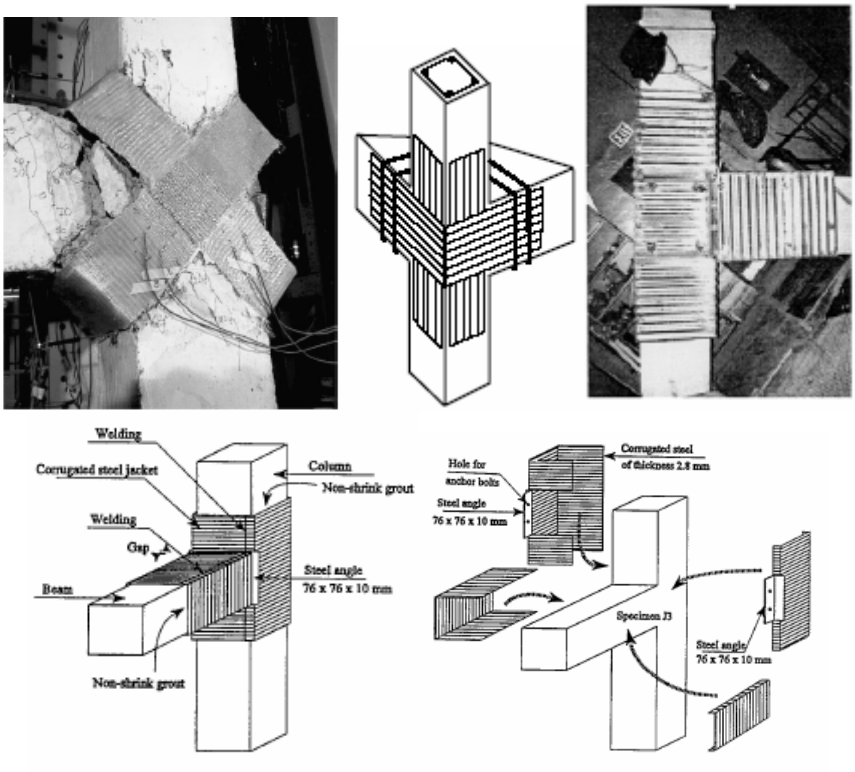
شکل ۱۴- سیستم دورپیچی ستون با FRP به صورت دست ساز یا در محل و اتوماتیک یا خودکار

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

شکل ۱۵- تقویت ستون یا پایه یک پل با ورقه FRP [۱۱]

ج) تقویت اتصال و سیستم دال یا عرشه پل

اتصالات بتن‌آرمه‌ای که از حساسیت زیادی برخوردار هستند و در مجموع تقویت آنها به دلایل اجرایی ساده نمی‌باشند را می‌توان به کمک ورقهای FRP تقویت نمود. اشکال زیر روشهای متداول تقویت اتصال و تابلیه پل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- اشکال مختلف تقویت اتصال با ورقه FRP [۵ و ۹ و ۱۰]

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

شکل ۱۷- تقویت عرشه پل با ورقه FRP [۱۱]

نتیجه و ارائه پیشنهاد

۱- استفاده از ورقه‌ها و میلگردهای FRP برای تقویت و بازسازی سازه‌های بتن‌آرمه با توجه به مزایای بی‌شمار و شناخته شده آن روز به روز در حال افزایش است، لذا انجام تحقیقات بیشتر در مورد تقویت جزیی یا کلی با FRP به صورت تئوری و آزمایشگاهی ضروری است.

۲- لزوم مقاوم‌سازی و طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و آشنایی با نحوه عملکرد سازه‌ها در مقابل زلزله با توجه به این که کشور در محدوده گسل‌های با لرزه‌خیزی زیاد قرار دارد دارای اولویت می‌باشد که در این میان بررسی روشهای مختلف مقاوم‌سازی و مقایسه آنها با یکدیگر برای انتخاب روش مقاوم‌سازی مناسب و کارآمد با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و پتانسیل یک منطقه ضروری است.

منابع:

1–Jong Wha Bai " Seismic Retrofit for Reinfroced Concrete Building Structures" Consequence-Based Engineering (CEB)-Institute Final Report –Texas University-August 2003

2– J.G.Teng – J.F. Chen – S.T.Smith – L. lam- " FRP Strengthened RC Structures " .Published by Wiley – 2002

3- "ACI 440.2R-2002 Guide for Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures " – Reported by ACI committee 440

4- "ACI 440R-96 State-of-the-Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures" - Reported by ACI committee 4

5-Ahmad Ghobarah, A. said-"Shear strengthening of beam-column joints" department of civil engineering McMaster University, Hamilton-Ontario-Engineering structures 24(2002) 881-888

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

6-Vistap M. Karbhari-Lei Zhao-"Use of composites for 21st century civil infrastructure University of California, San Diego, La Jolla Ca Computer methods in applied mechanics and engineering 185(2000) 433-454

7- Hiroshi Fukuyama, Shunsuke Sugano "Seismic rehabilitation of RC building" International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tatehara Ibaraki Japan Cement and Concrete Composites 22(2000) 59-79

8-Francois Buyle Bodin, Emmanuelle David "Use of Carbon Textile to control premature failure of Reinforced Concrete Beams Strengthened with bonded CFRP Plates" University of lille, France –Owens Corning Journal of textiles, Vol.33 No.3
January 2004

9- C.P.Antonopulos, T.C.Triantafillou "Analytical and experimental study of FRP strengthened RC Beam-Column Joints "University of Patras Greece ,Journal of Composites for Construction 2002

10-Simoon Foo, Nove Naumoski , Murat Saatsioglu " Seismic Hazard, Building Codes and Mitigation option for Canadian Buildings" office of Critical Infrastructure Protection and Emergency Preparedness University Ottawa Canada June 2001

11-Ardhana Ojha "The Execution of Carbon Fiber Reinforced Polymer Strengthening work" master's Thesis Lulea university of Technology, Sweden -2001

12-Laura De Lorenzis, Antonio Nanni "Shear strengthening of Reinforced concrete beams with near-surface mounted Fiber Reinforced Polymer Rods" ACI Structural Journal Technical Paper January-February 2001

13- Damian Kuchlakev ; Thomas Miller ;Solomon Yim ;Kasidit Chansawat ;Tanarat Potisuk , " Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened With FRP Laminates "- Research Group May 2001 Final Report SPR316 – Oregon Department of Transportation

14- Ghassan K.Al.Chaar and Georgy E.Lamb "Design of Fiber-Reinforced Polymer Materials for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures "- December 2002 - US Army Corps of Engineering-Research and Development Center

[۱۵] ایمان الیاسیان، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه دانشگاه یزد بهار ۱۳۸۴ – « بررسی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه **FRP** به روش اجزای محدود وبه صورت پارامتریک »

Copyright © 2003-2005 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.