معرفی وبررسی سیستم FRP در مقاوم سازی لرزه ای ستون های بتنی

محسن عسکرپور

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، داتشگاه شهید باهنر کرمان

خلاصه

خرابی های مشاهده شده در ساختمان ها طی زلزله های اتفاق افتاده در طول سالیان گذشته استفاده از راهکارهای مناسبی را جهت مقاوم سازی لرزه ای سازه ها یاداور می شود، ستون های بتنی مسلح اعضای اصلی مقاوم در برابر بارهای افقی و قائم سازه های بتنی به شمار می ایند لذا مقاوم کردن ستون ها در برابرنیروهای زلزله می تواند نقش مهمی در مقاوم سازی کل سازه و کاهش خرابی های ناشی از ان شود.در سال های اخیر بهسازی سازه های بتنی بوسیله ورق های FRP (fiber reinforced polymer) با توجه به مزیت های ان از جمله نسبت بالای مقاومت به وزن و سهولت حمل و نصب و مقاومت در برابر خوردگی مورد توجه مهندسین و جوامع علمی قرار گرفته است.در این مقاله به معرفی یک رویکرد جهت کاهش خطرپذیری لرزه ای و نحوه عملکرد و رفتار انها در مقاوم سازی سازه های بتن مسلح پرداخته میشود.

واژه های کلیدی: مقاوم سازی، مواد کامپوزیت (FRP)، ستون های بتنی

1. مقدمه

در دو دهه اخیر استفاده از کامپوزیت های FRP درتقویت و تعمیر سازه های بتنی به دلیل مطلوبیت خواص ذاتی این مواد از جمله نسبت بالای مقاومت به وزن، مقاومت در برابر خوردگی و سهولت حمل و نصب افزایش چشمگیری داشته است.

مقاوم سازی با الیاف پلیمری می تواند هم با پیچاندن نوار های پیوسته FRP اغشته به چسب رزین اپوکسی درون ستون بتن ارمه و هم با چسباندن ورق FRP روی سطح بتن انجام شود، با انجام این اقدامات شکل پذیری وظرفیت باربری محوری عضو به طور موضعی افزایش می یابد، اما تغییری در مقاومت خمشی قاب صورت نمیگیرد زیرا عبور دادن ورقه ها از سقف غیرممکن است.

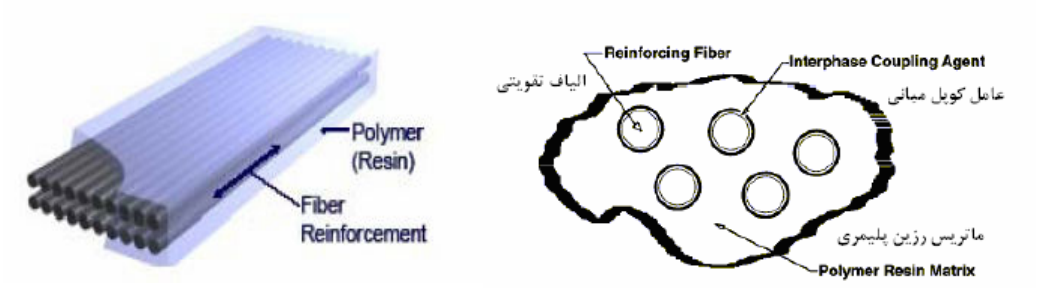
ستون های بسیاری از ساختمانهای بتن ارمه موجود که مطابق با استانداردهای قدیمی طراحی و ساخته شده اند در مقابل نیروهای ناشی از زلزله از خود ضعف نشان میدهند ضعف این ستون ها بویژه به دلیل وجود ارماتورهای طولی با طول وصله پوششی ناکافی، عدم وجود محصور شدگی بتن انها در نواحی مفصل خمشی و یا مقاومت برشی نا کافی است. طول وصله های پوششی ستون ها در ساختمان های قدیمی، اغلب درست بالای تراز زمین و در نواحی تشکیل لولای پلاستیک احتمالی قرار دارند.

برای جلوگیری از تلفات ناشی از گسیختگی سازه ای در حین وقوع زلزله های شدید، در درجه نخست، تامین ظرفیت ستون ها دربرابر بارهای ثقلی، حتی در مواردی که نیروی احتمالی از نیروهای تولید شده در اثر وقوع زلزله طرح تجاوز نماید، ضروری است ستون های برخی از ساختمانهای قدیمی به علت عدم کفایت تنگ ها وارماتورهای برشی، قادر به تحمل همزمان بارهای ثقلی وتغییر مکان ناشی از اثر زلزله نخواهند بود، در این حالت ساختمان یا در ناحیه طبقه ضعیف و یا تماما فرو خواهد ریخت، بنابراین یافتن یک روش مقاوم سازی ساده و اقتصادی برای جلوگیری از فروپاشی این ستون های ترد در اثر بارهای ثقلی بسیار ارزشمند است.**[1]**

2. مواد کامپوزیت پلیمری

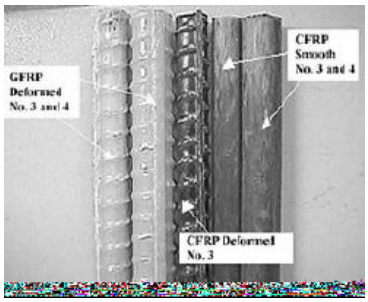
1.2. معرفی

FRP نوعی ماده کامپوزیت متشکل از دو بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که بوسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده اند.



شکل 1- اجزای تشکیل دهنده FRP [2]

فیبر های تشکیل دهنده میتوانند در یک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند، به طور کلی FRP ها می توانند به دو شکل ورقه ای FRP و میلگردی FRP وجود داشته باشند.



شکل 2- انواع میلگردهای FRP [3]

رفتار ورقه ای FRP به صورت ارتوتروپیک یا شبه ایزوتروپیک بوده ، یعنی مدول الاستسیته ان در جهت قرارگیری فیبر با جهات عمود بر ان متفاوت است.

درمورد مدول الاستسیته در جهت اصلی داریم

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \qquad (2\text{-}1)$$

در مورد جهت عمود بر جهت اصلی و مدول برشی داریم

$$E_2 = \frac{E_f E_m}{V_m E_f + V_f E_m}$$
$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{V_m G_f + V_f G_m} \qquad (2\text{-}2)$$

2.2. مشخصات عمومی مواد کامپوزیت

مواد کامپوزیت بر حسب نوع الیاف و رزین انتخابی و نحوه ترکیب انها با یکد یگر، مشخصات کاربردهای بسیار متنوعی را دارا می باشند.

به طور کلی FRP را بر اساس فیبر تشکیل دهنده ان به سه دسته الیاف از جنس کربن (CFRP)، الیاف از جنس شیشه (GFRP) والیاف از جنس ارامید (AFRP) تقسیم می کنند که در جدول 1 به مشخصات این الیاف اشاره شده است.

عملکرد یک کامپوزیت بستگی به مواد سازنده ان، نسبت این مواد، ظرفیت باربری فیبر یا الیاف تقویتی و نحوه قرارگیری انها و رفتار توام این مواد سازنده با یکد یگرو...را دارد. همینطوردریک کامپوزیت عملکرد فیبرتقویتی تحت تاثیرعواملی همچون جهت قرارگیری الیاف، طول فیبر، شکل ان، ترکیب ان با ماتریس و رزین و چسبندگی بین ان دو و جنس الیاف می باشد.

جدول 1- مشخصات انواع FRP

نوع الیاف	مدول الاستیسیته (E) (Gpa)	کرنش نهایی ٪	مقاومت کششی نهایی (Mpa)
CFRP	240-640	0.4-1.6	2650-3800
AFRP	120	2.5	2900
GFRP	65-75	4.3-4.5	2400

نقش اصلی ماتریس را می توان به عوامل زیر خلاصه کرد: 1- انتقال برش از فیبر تقویتی به ماده مجاور، 2- جلوگیری از خسارت مکانیکی وارده، 3- محافظت از فیبر در برابر شرایط محیطی و 4- کنترل کمانش موضعی فیبر تحت فشار.

الیاف کربن در برابر خستگی به مراتب رفتار بهتری نسبت به الیاف شیشه از خود نشان میدهد، بنابراین در محل هایی که هدف از مقاوم سازی تحمل بارهای زنده متغییر می باشند می توان از الیاف کربن استفاده نمود. اگر چه از الیاف شیشه می توان جهت افزایش طرفیت خمشی استفاده نمود ولی به دلیل کمتر بودن مدول ان صاف شده و با استفاده از برس غلتکی که به صورت رفت و برگشت و در جهت الیاف بر روی ان حرکت داده می شود، به زمین چسبانده و حباب های هوا خارج می شوند و سپس مجددا یک لایه رزین نیز برروی سطح ان کشیده می شود.**[4]**

جدول 2- موارد کاربرد درانواع المانهای سازه ای

المان	کاربرد	GFRP	CFRP
	جهت الیاف	**یک جهته**	**یک جهته**
	ارایش الیاف	**شبکه**	**مستقیم**
ستون	**محصور شدگی**	**	**
	خمش	*	*
	بار محوری	**	*
	شکل پذیری	**	***
	دوام	**	*

* : (می توان استفاده کرد)

** : (استفاده از ان تو صیه می شود)

*** :(کاربرد ندارد)

3. تقویت اعضا فشاری

دور پیچ کردن انواع معینی ازاعضا فشاری توسط سیستم هایFRP ، ان اعضا را محصور کرده و منجر به افزایش مقاومت اعضا میگردد، لذا از محصور شدگی برای افزایش شکل پذیری اعضا تحت ترکیب نیروهای محوری و خمشی استفاده می شود.

برای محصور کردن یک عضو بتنی، لازم است راستای الیافت حد امکان عمود بر محور طولی عضو باشد، در این ارتباط الیاف حلقوی مشابه تنگ های بسته یا خاموت های مارپیچی فولادی می باشند، در محاسبه مقاومت فشاری محوری عضو باید از سهم الیاف موازی با راستای طولی ان صرفنظر گردد. هنگامی که ستون یا عضو فشاری تحت بارهای لرزه ای قرار می گیرد، مسئله ظرفیت جذب انرژی و شکل پذیری ستون اهمیت می یابد. در این ارتباط مقاوم سازی یا بهسازی ان عضو با افرایش شکل پذیری انجام می گیرد.

شکل 3- ستون تقویت شده با کامپوزیت FRP و اسیب دیده

1.3. ستون های مربعی کوتاه تحت فشار

عموما ستون هایی را کوتاه می گویند که دارای α کوچکتر یا مساوی با عدد 2 میباشد.**[1]**

$$\alpha = M/(V.h) \qquad (3\text{-}1)$$

هر چند می توان با تعبیه صفحات FRP به صورت طولی درامتداد ستون، مسئله افزایش خمشی ان را نیز تامین نمود ولی در این مقاله صرفا ستون هایی مد نظر قرار می گیرد که تحت فشار خالص قرار دارند.

درستون های مربعی فشار محصور شدگی به سبب مقاوم سازی با مصالح FRP مطابق رابطه زیر حساب می شود.[5]

$$f_{lfrp} = \frac{2N_b \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frp} t_{frp} (b+h)}{bh} \qquad (3\text{-}2)$$

ε_{frp} درفرمول فوق کرنش مصالح FRP می باشد که با توجه به رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\varepsilon_{frp} = \varepsilon_{cu}(h-c)/c - \varepsilon \qquad (3\text{-}3)$$

برای محصور شدگی پیوسته نسبت حجمی مقاومت به صورت رابطه زیر می باشد.

$$\omega_w = f_{lfrp}/(\Phi_c f_c) \qquad (3\text{-}4)$$

با استفاده از روابط بالا می توان مقاومت فشاری بتن محصور شده را بدست اورد.

$$f_{cc} = f_c(1+\alpha_{pr}\omega_w) \qquad (3\text{-}5)$$

در رابطه فوق α_{pr} ضریب عملکرد برای یک مقطع مستطیلی است که به کیفیت اجرا و چسبندگی بتن- رزین-الیاف بستگی دارد ودر حال حاضر مقدار α_{pr} را برابر واحد در نظر می گیرند.

4. تقویت برشی برای اعضا فشاری

1.4. ظرفیت برشی

مقاومت برشی نهایی مقطع، V_r از رابطه زیر بدست می اید.**[5]**

$$V_r=V_c+V_s+V_{frp} \quad (4\text{-}1)$$

حداکثر ظرفیت برشی در یک مقطع به رابطه $V_r \le V_c + 0.8\phi_c\sqrt{f_c}\,b_w d$ محدود می شود.

2.4. محاسبه مقاومت برشی مقطع مستطیلی [5]

سهم فولادهای افقی از مقاومت برشی نهایی، V_s ،مطابق ایین نامه بتن ایران " ابا " از رابطه زیر تعیین می شود.

$$Vs=Ø_sA_hf_yd/s \quad (4\text{-}2)$$

V_c سهم بتن ازمقاومت برشی نهایی است که مطابق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$V_c=0.2Ø_c\sqrt{f_c}b_wd \quad (4\text{-}3)$$

سهم پوشش FRP با ضخامت کل N_bt_{frp} از مقاومت برشی نهایی، V_{frp} ، از رابطه زیر تعیین می شود.

$$V_{frp}=Ø_{frp}N_bt_{frp}d \quad (4\text{-}4)$$

تنش کششی در پوشش FRP به مقدار زیر محدود می گردد.

$$f_{frp}=0.002E_{frp} \quad (4\text{-}5)$$

ضخامت مورد نیاز پوشش FRP برای تقویت های برشی از رابطه زیر بدست می اید.

$$N_bt_{frp} \ge \frac{500(V_r - V_c - V_s)}{\phi_{frp}E_{frp}d} \quad (4\text{-}6)$$

5. نتیجه گیری

با پیشرفت تکنولوژی، استفاده از مواد مرکب در مقاوم سازی انواع سازه های بتن مسلح رواج یافته است و از انجا که تولید ان در حجم های زیاد با خواص مقاومتی بالا و هزینه های کم انجام می گیرد، امروزه دسترسی به ان اسان گشته و به راحتی می توان در کارهای مقاوم سازی از ان استفاده کرد.

سیستم های FRP می توانند به منظور بازسازی یا حفظ استحکام یک عضو سازه ای فرسوده،مرمت یا مقاوم سازی عضو سازه ای سالم به منظور تحمل بارهای افزایش یافته به سبب تغییر در کاربری سازه یا جبران خطاهای طراحی و اجرا بکار روند.

سهم عمده مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها مربوط به تقویت ستون ها می باشد، سیستم های FRP با دور پیچ کردن ستون ها باعث افزایش ظرفیت فشاری، کاهش طول و افزایش مقاومت فشاری می گردند.

شرایط محیطی به طور ویژه ای بر رزین ها و الیاف در انواع سیستم های تاثیر می گذارد، مشخصات مکانیکی (از جمله مقاومت کششی، کرنش و مدول الاستیسیته) بعضی از سیستم های به واسطه قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی مانند محیط قلیایی، اب نمک، مواد شینیایی، اشعه فرا بنفش، درجه حرارت های بالا، رطوبت بالا و دوره های یخ زدن و اب شدن کاهش می یابد.

6. ارائه پیشنهاد

- از انجا که امروزه ورقه های میلگرد FRP در تقویت و بازسازی سازه های بتن ارمه با توجه به مزایا ی شناخته شده و بی شمار ان روز به روز در حال افزایش است، لذا انجام تحقیقات بیشتر در مورد تقویت جزئی یا کلی با به صورت تئوری و ازمایشگاهی ضروری است.

- مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها و اشنایی با عملکرد سازه ها در مقابل زلزله با توجه به زلزله خیزی کشور دارای اولویت می باشد که در این میان بررسی روش های مختلف مقاوم سازی و مقایسه انها با یکدیگر برای انتخاب روش مقاوم سازی مناسب و کارامد با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و پتانسیل یک منطقه ضروری است.

b *: عرض مقطع مقطع، میلیمتر* ***d*** *: فاصله دورترین تار فشاری تا مرکز سطح فولاد کششی،میلیمتر*

E_{frp} : مدول الاستیسیته مصالح FRP، مگا پاسکال

f_c : مقاومت فشاری مشخصه بتن، مگا پاسکال

f_{cc} : مقاومت فشاری بتن محصور شده، مگا پاسکال

f_{frp} : تنش کششی در مصالح FRP ، مگا پاسکال

h : ارتفاع کل مقطع، میلیمتر

N_b : تعداد لایه های تقویتی FRP

t_{frp} : ضخامت یک لایه تقویت کننده FRP، میلیمتر

ε_{cu} : کرنش نهایی بتن

ε_{frp} : کرنش مصالح FRP

Φ_c : ضریب جزئی ایمنی بتن

Φ_s : ضریب جزئی ایمنی فولاد

Φ_{frp} : ضریب جزئی ایمنی FRP

ω_w : نسبت حجمی مقاومت ورقه های FRP به مقاومت بتن

مراجع:

1- ارزیابی عملکرد و روش های مقاوم سازی سازه های بتنی، مولفین علیرضا رهایی، سعید نعمتی.-تهران:فدک ایساتیس، 1383.

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

3- Laura De Lorenzis, Antonio Nanni "Shear Strenghthing of Reinforced concrete beams with near-surface mounted Fiber Reinforced Polymer Rods" ACI Structural journal Technical Paper January-february 2001

4- Rob Irwin and Amar Rahman, "FRP Strengthening of Concrete Structure-Design Constrains and Practical Effects on Construction Detailing"

5- راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، نشریه شماره 345، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، 1385