



تقویت قابهای بتن آرمه با استفاده از پوششهای CFRP

- حمید رضا آقایی، محسن ایزدی نیا، ایمان الیا سیان
۱- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۳- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه یزد

خلاصه

پس از زلزله های اخیر در اکثر نقاط لرزه خیز جهان کمیته های کاهش بلایای طبیعی و مراکز تحقیقاتی و علمی تهیه کننده آیین نامه های زلزله و ساختمانی، بحث طراحی بر اساس عملکرد، بررسی شریانهای حیاتی و مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه های موجود و حیاتی را مطرح کردند و اکثر تحقیقات در زمینه مهندسی زلزله و سازه معطوف به مقاوم سازی سازه ها با توجه به عملکرد مورد نظر و اهمیت سازه، زلزله سطح خطر و در نظر گیری مسائل اقتصادی و امکانپذیری می باشد یکی از روشهای تقویت قابهای بتن آرمه استفاده ورقه های FRP است و تحقیقات تجربی و تئوری و آزمایشگاهی امروزه در زمینه میلگردها و پوششهای آن در زمینه تقویت اعضای سازه ای در حال انجام است در این میان تحقیق در زمینه قابهای تقویت شده با ورقه FRP محدود است که به آن می پردازیم.

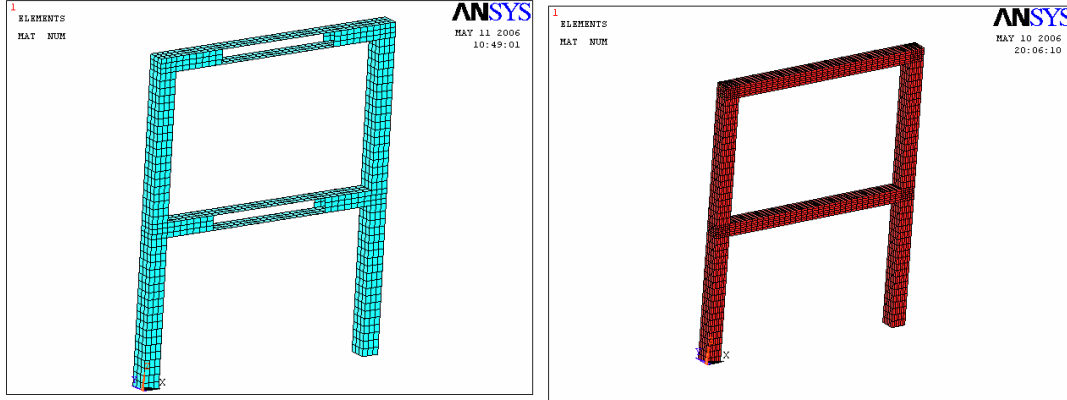
کلمات کلیدی: قاب بتن آرمه- مدل اجزای محدود- ورقه CFRP- تقویت در برابر زلزله.

مقدمه

استفاده از فیبرهای تقویت شده الیافی (FRP) به صورت نواری یا ورقه برای تقویت سازه های بتن آرمه روشی نوین و کارآمد به دلایل مزایای بی شمار کامپوزیت های FRP که در زیر آمده است در حال افزایش است. نسبت مقاومت بالا در مقابل وزن ناچیز ۲- مقاومت در برابر خوردگی ۳- مقاومت در برابر عوامل شیمیایی و محیطی ۴- نفوذپذیری الکترو مغناطیسی ۵- مقاومت در برابر ضربه ۶- ضخامت محدود و اجرای ساده ۷- سطح تمام شده تمیز و ... در این مجال به کاربرد ورقه FRP در تقویت قاب بتن آرمه با اهداف زیر می پردازیم.

متن مقاله

در این مقاله قابهای بتن آرمه یک دهانه و دو طبقه که ابعاد ستون های قاب 35×35 cm و ابعاد تیرهای قاب 30×35 cm و ارتفاع ستونها ۳ متر و فاصله مرکز تا مرکز ستونها ۵ متر میباشد تحت بارگذاری های قائم و جانبی قرار می گیرد. بارهای قائم طبق آیین نامه بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و بارهای جانبی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ محاسبه شده است. ابتدای قاب بدون مدل کردن میلگردهای طولی آنالیز شد. سپس با اضافه کردن میلگردهای طولی تیرها، ستونها و اتصالات قاب تقویت نشده (بدون پوشش FRP) آنالیز شد. سپس با افزودن الیاف CFRP به مدل جهت تقویت تیرها ستونها و اتصالات قاب تقویت شده آنالیز گردید. در مرحله بعدی مقدار بار جانبی اعمالی به ۲ برابر مقدار محاسباتی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ افزایش یافت و تحت این بارگذاری جدید قابهای تقویت نشده و تقویت شده آنالیز گردیدند. قاب بتن آرمه مورد نظر با استفاده از المان Solid65 مدل شد که شامل ۴ المان ستون ۲ المان تیر و ۴ المان اتصال است، سپس تیرها، ستونها و اتصالات به نحو مناسب مش بندی شدند.



شکل ۱- المانندی و هندسه قاب بتن آرمه - نحوه تقویت با ورقه FRP

در مرحله بعدی مدل سازی قاب بتن آرمه به این صورت انجام شد که بتن با المان Ssolid65 مدل شده و میلگردهای طولی در ستونها و تیرها با المان link 8 مدل شده است. در این مدل در ستونها از ۸ ϕ۲۲ و در تیرها ۶ ϕ۲۲ به صورت سرتاسری استفاده شده است در اتصالات میلگردهای طولی قرار داده شد و سازه با اعمال بار قائم این بار به صورت گام به گام (step by step) و با سعی و خطا گامهای بارگذاری جهت همگرایی تحلیل تحت بار قائم به صورت زیر بدست آمد

pressure = ۰,۵kg /cm ^۲	= ۱۷۵۰ kg/m	: گام اول
pressure = ۰,۷۵kg /cm ^۲	= ۲۶۲۵ kg/m	: گام دوم
pressure = ۰,۹kg /cm ^۲	= ۳۱۵۰ kg/m	: گام سوم
pressure = ۱,۱kg /cm ^۲	= ۳۸۵۰ kg/m	: گام چهارم
pressure = ۱,۲۸kg /cm ^۲	= ۴۳۷۵ kg/m	: گام پنجم
pressure = ۱,۳۸kg /cm ^۲	= ۴۷۲۵ kg/m	: گام ششم
pressure = ۱,۴۳ kg /cm ^۲	= ۵۰۰۰ kg/m	: گام هفتم

$$F_c = ۲۸۷kg/cm^2 \text{ مقاومت نمونه بتن ۲۸ روزه - مقاومت کششی میلگرد } F_y = ۳۰۰۰ kg/cm^2$$

معیار شکست ویلیام - رانکل به عنوان معیار شکست بتن در حالت قاب تقویت نشده و تقویت شده که در مدل‌های بعدی به آن می پردازیم، در نظر گرفته شد.

با اعمال این معیار شکست برای قاب تقویت نشده به شرح زیر است:

$$\text{ضریب انتقال برش برای حالت ترک باز} = ۰,۲۴ \quad \text{ضریب انتقال برش برای حالت ترک بسته} = ۰,۹۸$$

مقاومت فشاری بتن در حدود $\frac{1}{10}$ مقاومت کششی بتن $۳۳kg/cm^2$ می باشد

از معیار دارکر - پراگر به دلیل عدم در نظر گیری محصور شدگی بتن و پیچیدگی صرف نظر شده است در آن با مقاومت بتن محصور شده و نشده ، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی بتن سرو کار داریم.

بارهای زلزله جهت کاهش خطاهای عددی و همگرایی بیشتر مساله به دو قسمت تقسیم شده نیمی از آن بصورت فشاری (+) در ابتدای قاب و نیمی دیگر به صورت کششی (-) در طرف دیگر قاب اعمال می شود. اعمال این بار چون بار قائم در حل غیر خطی به صورت گام به گام صورت گرفت.

جدول ۱- بارجانی اعمالی به قاب

طبقه	گام اول		گام دوم		گام سوم		گام چهارم		گام پنجم		گام ششم		گام هفتم	
دوم	۰,۵ kg/cm ^۲	۶۱۲,۵ kg	۰,۷	۸۵۷,۵	۰,۹	۱۱۰۲,۵	۱,۱	۱۳۴۷,۵	۱,۲۸	۱۵۶۸	۱,۳۸	۱۶۹۰,۵	۱,۴۳	۱۷۵۰
اول	۰,۲۵	۳۰۶,۳	۰,۳۵	۴۲۸,۸	۰,۴۵	۵۵۱,۳	۰,۵۵	۶۷۳,۷۵	۰,۶۴	۷۸۴	۰,۶۴	۸۴۵,۳	۰,۷۱۵	۸۷۵

جدول ۲- خواص الیاف CFRP

ضخامت هر لایه ورقه mm (in)	مدول برشی Mpa (ksi)	مقاومت کششی Mpa (ksi)	ضریب پواسون بزرگتر	مدول الاستیسته Mpa (ksi)	FRP کامپوزیت
۱,۰(۰,۰۴۰)	$G_{xy} = 3270(474)$ $G_{xz} = 3270(474)$ $G_{yz} = 1860(270)$	۹۵۸(۱۳۸)	$\nu_{xy} = 0.22$ $\nu_{xz} = 0.22$ $\nu_{yz} = 0.3$	$E_x = 62,000(9000)$ $E_y = 4800(700)$ $E_z = 4800(700)$	CFRP

بررسی و مقایسه آنالیزها

قاب یک دهانه و دو طبقه را با مقاومتهای بتن پایین تر مورد بررسی قرار دهیم و تغییر مکانها و تنش ها و کرنشهای الاستیک و پلاستیک آنرا بدست می آوریم.

جدول ۳- مقایسه نتایج قاب تقویت نشده با مقاومت های متفاوت بتن

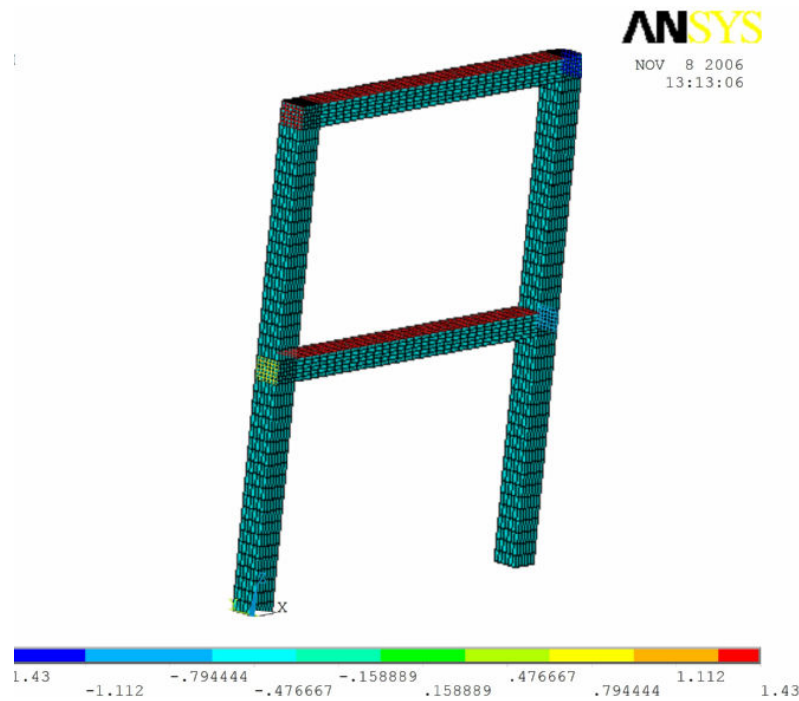
واحد تنشها kg/cm^2	قاب بدون FRP $f'c=287kg/cm^2$		قاب بدون FRP $f'c=144kg/cm^2$	
X displacement	۱,۴۴ cm		۲,۸۹cm	
	کششی Min	فشاری Max	min	max
۱ principal stress	-۹۷	۲۷,۴	-۴۴	۱۹,۲
۲ principal stress	-۱۸۹	۲۱	-۱۱۰	۱۵,۱
۳ principal stress	-۲۴۱,۵	۵	-۱۷۸,۲	۱۱,۲
X stress min&max	-۲۳۶	۳۱,۲	-۱۷۱,۳	۲۲۸
Stress intensity	۰,۸۲۴	۲۵۵,۴	۲	۱۶۳, ۲
X plastic strain	-۰,۵۶۱E-۳	۰,۹۴۱E-۴	-۰,۰۰۳۲	۰,۴۳۲E-۳
Equivalent plastic strain	۰,۱۹۷E-۴	۰,۰۰۲۱	۰,۴۱۶E-۴	۰,۴۳۲E-۲

در جدول فوق می بینیم در لحظه گسیختگی نهایی تنش فشاری بتن به مقاومت نهایی نزدیک شده و در برخی از جهات فراتر می رود که نشان دهنده خرد شدگی بتن در آن نواحی است. از طرفی تنشهای منفی کششی از مقاومت کششی بتن بسیار فراتر رفته که نشان دهنده ترک خوردگی در آنجا می باشد. از طرفی قاب با مقاومت نهایی بتن بزرگتر در لحظه گسیختگی تغییر شکل کمتری دارد.

سپس با تقویت این قابها با استفاده از پوششهای CFRP و مقایسه نتایج آنها با نمونه های مشابه تقویت نشده به ارائه راهکاری مناسب و بهینه جهت تقویت قابهای بتن آرمه با استفاده از پوششهای CFRP در برابر زلزله پردازیم، از طرفی برای جلوگیری از مد گسیختگی ترد و ناگهانی debonding ستونها را به صورت کامل دورپیچ و تیرها را ۱/۴ دهانه wrap کامل می نمایم.

جدول ۴ نتایج حاصل از آنالیز قاب تقویت شده

واحد تنشها kg/cm ^۲	قاب با ۰,۵cm FRP f _c =۲۸۷kg/cm ^۲		۱,۱۱ cm
	min	max	
X displacement			
۱ principal stress	-۷۴	۲۱,۵	تنش بتن
	-۷۴	۴۴۲,۶	تنش CFRP
۲ principal stress	-۱۹۰	۱۹,۲	تنش بتن
	-۱۹۰	۹۲	تنش CFRP
۳ principal stress	-۲۴۰	۵,۲	تنش بتن
	-۷۳,۹	۵,۲	تنش CFRP
X stress min & max	-۱۹۱,۵	۱۸,۱	تنش بتن
	-۶۷۳	۴۴۲,۶	تنش CFRP
Stress intensity	۲,۸	۲۴۱	تنش بتن
	۵۷,۰	۷۰۸,۱	تنش CFRP
X plastic strain	-۰,۵E-۳	۰,۷۱E-۴	کرنش بتن
Equivalent plastic strain	۰	۰,۰۰۲۲۹۳	کرنش بتن



شکل ۲- نحوه بارگذاری جانبی و گرانشی روی قاب



تأثیر ضخامت ورقه FRP :

طبق جدول ۵ می بینید که تأثیر افزایش ضخامت ناچیز است ولی آنچه مسلم است با افزایش ضخامت یا تعداد لایه ها با فرض چسبندگی کامل مقداری از تنش درون بتن کاسته گشته و تنش درون FRP نیز کاسته می شود که در این حالت لایه FRP دیرتر گسیخته می شود.

جدول ۵ مقایسه تأثیر افزایش ضخامت CFRP در قاب تقویت شده

واحد تنشها kg/cm ²	قاب با ۰,۵ سانتیمتر FRP		قاب با ۱ سانتیمتر FRP		قاب با ۱,۵ سانتیمتر FRP		F' _c =۱۴۴ kg/cm ²
	Min	max	min	max	min	max	
X displacement	۱,۹۵ cm		۱,۶۵ cm		۱,۴۱ cm		
۱ principal stress	-۴۸,۸	۱۸,۹	-۴۹,۸	۱۹,۸	-۵۰,۳	۱۵,۲	تنش بتن
	-۴۸,۸	۴۴۸,۵	-۴۹,۸	۲۲۲	-۵۰,۳	۱۷۷,۶	تنش CFRP
۲ principal stress	-۱۱۶,۱	۱۱,۱	-۱۲۱,۷	۱۰,۹	-۱۱۶,۲	۹,۴	تنش بتن
	-۳۴۵,۴	۵۸,۹	-۲۹۶,۸	۴۷,۶	-۲۶۵,۳	۳۸,۶	تنش CFRP
۳ principal stress	-۱۶۷,۱	۱۲,۴	-۱۶۳,۸	۱۳,۶	-۱۶۰,۳	۱۱,۱	تنش بتن
	-۱۱۰,۱	۱۲,۴	-۹۱۰,۴	۱۳,۶	-۸۰۶,۲	۱۱,۱	تنش CFRP
X stress min & max	-۱۲۲,۱	۳۳,۱	-۱۱۷,۲	۳۳	-۱۱۵,۴	۲۸	تنش بتن
	-۱۱۰,۱	۴۴۸,۴	-۹۱۰,۳	۲۲۱,۸	-۸۰۵,۹	۱۶۷,۴	تنش CFRP
Stress intensity	۲,۴	۱۵۹	۰,۴۶۲	۱۵۸,۱	۰,۵۲	۱۵۹,۹	تنش بتن
	۱,۶۵	۱۱۱۹	۰,۴۶۲	۱۲۸,۷	۰,۲۷	۸۲۳,۳	تنش CFRP
X plastic strain	...	۰,۳۹۳E-۳	-۰,۰۰۱۱	۰,۳۴۴E-۳	-۰,۰۰۱	۰,۳۰۶E-۳	کرنش بتن
Equivalent plastic strain	.	۰,۰۰۴۲۲۲	۰	۰,۰۰۳۹۵۲	۰	۰,۰۰۳۹۱۷	کرنش بتن

جدول ۶ بار جانی اعمالی به قاب به میزان ۲ برابر آیین نامه ۲۸۰۰

	گام اول	گام دوم	گام سوم	گام چهارم	گام پنجم	گام ششم	گام هفتم
زیر گامها	۲۰	۲۰	۲۰	۲۵	۲۵	۳۰	۳۰
طبقه دوم	۱	۱,۵	۱,۸	۲,۲	۲,۵۶	۲,۷۶	۲,۸۶
طبقه اول	۰,۵	۰,۷۵	۰,۹	۱,۱	۱,۲۸	۱,۳۸	۱,۴۳

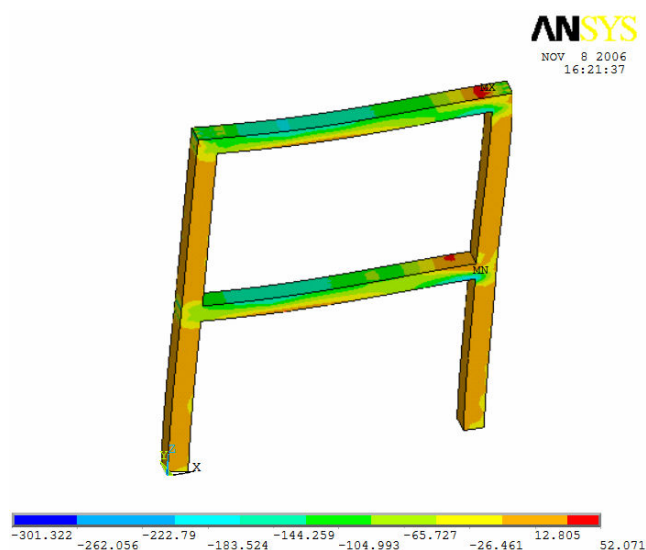
تأثیر مقاومت‌های متفاوت بتن

از مهمترین ضعف‌ها در قاب های بتن آرمه نقص در کیفیت اجرای بتن است که به عوامل متعددی از جمله عدم دقت نیروی انسانی در تهیه، ساخت و عمل آوری بتن و ماشین آلات و ... بستگی دارد

جدول ۷ نتایج حاصل از آنالیز قاب تقویت شده تحت بار جانبی معادل دو برابر آیین نامه ۲۸۰۰

واحد تنشها kg/cm ²	قاب تقویت نشده		قاب تقویت شده با FRP		F' _c =۲۸۷kg/cm ^۲
X displacement	۳,۰۹ cm		۲,۳۸cm		
	Min	max	min	Max	
۱ principal stress	-۹۶,۸	۳۱,۳	-۹۴,۸	۲۹,۳	تنش بتن
			۰	۵۹۹,۷	تنش CFRP
۲ principal stress	-۱۸۸	۲۱۶	-۱۸۳	۲۰	تنش بتن
			-۲۹۳,۱	۸۱,۶	تنش CFRP
۳ principal stress	-۲۵۰,۵	۹,۸	-۲۸۴	۸	تنش بتن
			-۸۴۶,۹	۰	تنش CFRP
X stress min & max	-۲۴۳,۲	۳۰,۹	-۲۷۵	۲۸,۱	تنش بتن
			-۸۴۶,۹	۵۹۹,۷	تنش CFRP
Stress intensity	۲,۴	۲۸۲	۰,۹۸	۲۶۲	تنش بتن
			۰	۸۴۸,۲	تنش CFRP
X plastic strain	-۰,۰۰۱۲	۰,۴۶E-۳	-۰,۹۴E-۳	۰,۲۳E-۳	کرنش بتن
Equivalent plastic strain	۰,۱۵E-۴	۰,۰۰۳۳	۰,۱۶E-۴	۰,۰۰۲۲	کرنش بتن

تشکیل مفصل پلاستیک در تیر (فلسفه تیر ضعیف - ستون قوی)

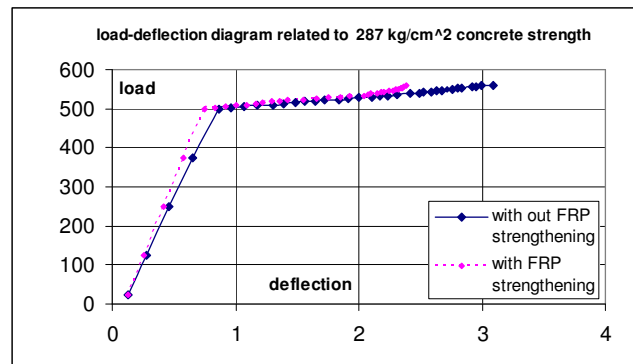


شکل-۳ تنش نهایی ۲۸ روزه بتن 287 kg/cm^2 و بار جانبی ۲ برابر زلزله ۲۸۰۰

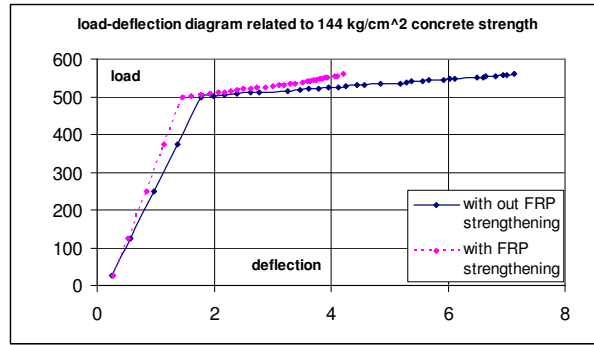
واحد تنشها kg/cm^2	قاب تقویت نشده		قاب تقویت شده با FRP		$F'_c=144 \text{ kg/cm}^2$
	Min	max	min	Max	
X displacement	۷,۱۴ cm		۴,۲۱۳ cm		
۱ principal stress	-۴۴,۶	۲۶,۱	-۳۹,۳	۲۵,۶	تنش بتن
			۰	۸۴۶,۱	تنش CFRP
۲ principal stress	-۱۰۸,۵	۱۸,۷	-۱۱۴	۲۴,۷	تنش بتن
			-۵۰,۲	۱۶۵,۸	تنش CFRP
۳ principal stress	-۱۳۶,۸	۳,۱	-۱۸۷,۵	۴,۳	تنش بتن
			-۱۳۴۴	۰	تنش CFRP
X stress min&max	-۱۳۴,۲	۲۵,۹	-۱۶۹,۷	۲۳,۸	تنش بتن
			-۱۳۴۴	۸۴۵,۴	تنش CFRP
Stress intensity	۲,۰۸	۱۳۶,۸	۰,۵۵	۱۶۵,۶	تنش بتن
			۱,۷	۱۳۵۱	تنش CFRP
X plastic strain	-۰,۰۰۶	۰,۵۸E-۳	-۰,۰۰۳۳	۰,۰۰۱۳	کرنش بتن
Equivalent plastic strain	۰,۳۲E-۴	۰,۰۰۶۶	۰	۰,۰۰۴۹	کرنش بتن

جدول ۸ نتایج حاصل از آنالیز قاب تقویت شده تحت بار جانبی معادل دو برابر آیین نامه ۲۸۰۰

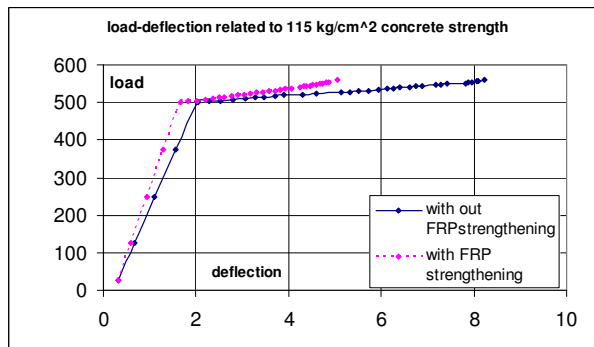
می بیند که بر اثر تقویت تغییر شکل نهایی و تنش فشاری اندکی کاهش می یابد ولی تنش کششی افزایش می یابد به عبارت دیگر امکان ترک خوردگی در مقطع افزایش می یابد از طرفی ورقه FRP در حالت پاسیو و غیر فعال قرار دارد تا زمانی که بتن ترک می خورد و تسلیم آرماتورها آغاز شده و یک باز توزیع داخلی تنش در مقطع رخ می دهد و بخشی از تنش به ورقه FRP انتقال می یابد.



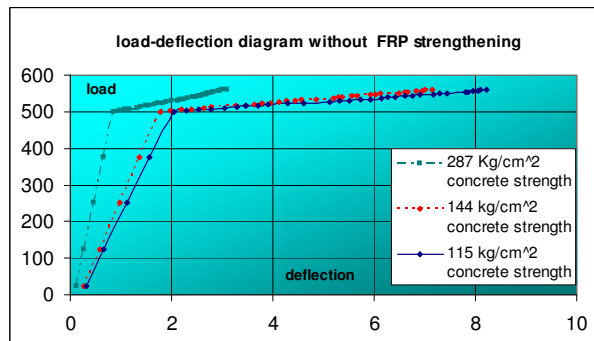
شکل-۴ دیاگرام بار تغییر شکل برای مقاومت بتن 287 kg/cm^2 با زلزله ۲ برابر آیین نامه ۲۸۰۰ در حالت تقویت شده و تقویت نشده با ورقه FRP



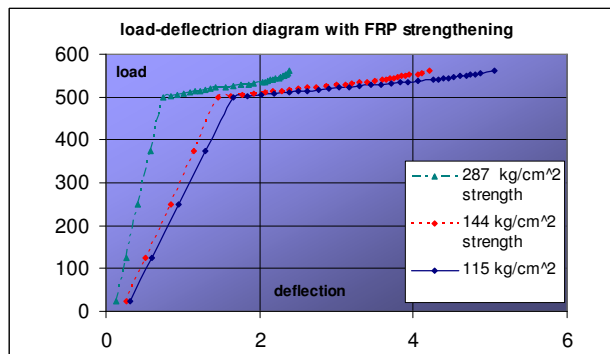
شکل-۵ دیاگرام بار تغییر شکل برای مقاومت بتن 144 kg/cm^2 با زلزله ۲ برابر آیین نامه ۲۸۰۰ در حالت تقویت شده و تقویت نشده با ورقه FRP



شکل-۶ دیاگرام بار تغییر شکل برای مقاومت بتن 115 kg/cm^2 با زلزله ۲ برابر آیین نامه ۲۸۰۰ در حالت تقویت شده و تقویت نشده با ورقه FRP



شکل-۷ دیاگرام بار تغییر شکل حالت های مختلف مقاومت بتن با زلزله ۲ برابر آیین نامه ۲۸۰۰ و در حالت تقویت نشده



شکل-۸ دیاگرام بار تغییر شکل حالت های مختلف مقاومت بتن با زلزله ۲ برابر آیین نامه ۲۸۰۰ و در حالت تقویت شده

در اشکال ۸ تا ۱۴ مشاهده می کنید با افزایش مقاومت بتن چه در حالت تقویت و یا عدم تقویت مقاومت افزایش یافته و تغییر شکل کاهش می یابد بایستی توجه داشت که معیار همگرایی جایجایی است و بار به صورت استاتیکی افزایش یافته یا منو تونیک تا ۲ برابر نیروی جانبی زلزله محاسبه شده با آیین نامه ۲۸۰۰ [جدول-۶] در تمامی قابها به صورت ثابت افزایش یافته به این نتیجه می رسیم که حالت تقویت با FRP تغییر شکل نهایی قاب در بار ثابت کاهش می یابد.

جدول ۹ نتایج حاصل از آنالیز قاب تقویت شده تحت بار جانبی معادل دوبرابر آیین نامه ۲۸۰۰

واحد تنشها Kg/cm ^۲	قاب تقویت نشده		قاب تقویت شده با FRP		F'c=۱۱۵
	min	max	min	max	kg/cm ^۲
X displacement	۸,۲۲ cm		۵,۰۶ cm		
۱ principal stress	-۴۲,۷	۱۱,۸	-۳۲,۹	۱۰,۳	تنش بتن
			۰	۹۵۵,۱	تنش CFRP
۲ principal stress	-۸۷,۷	۵,۴	-۹۶,۷	۸,۳	تنش بتن
			-۵۹۷,۲	۲۳۷,۸	تنش CFRP
۳ principal stress	-۱۳۳,۷	۸,۲	-۱۴۱,۶	۴,۲	تنش بتن
			-۱۶۸۰	۰	تنش CFRP
X stress min&max	-۱۱۴,۲	۱۱,۹	-۱۲۷,۳	۱۰,۱	تنش بتن
			-۱۶۸۰	۹۵۳,۹	تنش CFRP
Stress intensity	۴	۱۲۴,۸	۰,۷۱	۱۲۷,۸	تنش بتن
			۰,۶۱	۱۶۹۱	تنش CFRP
X plastic strain	-۰,۰۰۷۸	۰,۰۰۳۱	-۰,۰۰۴۴	۰,۰۰۱	کرنش بتن
Equivalent plastic strain	۰,۴۶E-۴	۰,۱۹۴	۰,۴۴E-۴	۰,۰۰۸	کرنش بتن

نآثیر آرایش و الگوی پوشش ستون

زمانی که ورقه FRP را به صورت دور پیچ بکار می بریم نسبت به حالتی که ورقه FRP را در راستای ستون بکار می بریم رفتار بهتری در افزایش مقاومت و حتی شکل پذیری دارد (در صورتی که محصور شدگی را لحاظ کنیم و خصوصاً در ستونهای دایروی و بیضوی به دلیل توزیع تنش یکنواخت)

جدول ۱۰- بررسی اثر جهت قرارگیری الیاف در قاب تقویت شده

واحد تنشها kg/cm ^۲ F'c=۱۱۵kg/cm ^۲	قاب با ۰٫۵ سانتیمتر FRP ستونها به صورت دورپیچ پوشیده شده		قاب با ۰٫۵ سانتیمتر FRP در راستای محور ستونها	
	۲٫۳ cm	۲٫۵۱ cm	min	max
X displacement	min	max	min	max
۱ principal stress	-۳۹٫۷	۱۴٫۷	-۳۱	۱۸٫۷
	۰	۳۷۷٫۸	۰	۴۳۳
۲ principal stress	-۹۴٫۳	۶٫۳	-۹۳٫۴	۸٫۷
	-۴۲۵٫۲	۸۶٫۲	-۴۷۰	۶۰
۳ principal stress	-۱۰۲٫۷	۱٫۷	-۱۴۹٫۱	۴٫۳
	-۱۲۸۹	۰	-۱۲۷۶	۰
X stress min&max	-۸۰٫۲	۱۵٫۱	-۹۸٫۴	۱۳٫۵
	-۱۲۸۹	۳۷۷٫۵	-۱۲۷۶	۴۳۳
Stress intensity	۱٫۷	۱۲۸٫۲	۱٫۸	۱۳۱٫۲
	۰٫۸	۱۳۱۶	۰٫۴۳	۱۲۸۳
X plastic strain	۰٫۰۰۱۹	۰٫۰۰۰۸	-۰٫۰۰۲۶	۰٫۰۰۰۶
Equivalent plastic strain	۰٫۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰۲۵	۰٫۰۰۰۵

نتیجه گیری :

۱- جهت تقویت برشی قاب بتن آرمه ، تیر ها از سیستم Jacketing و دور پیچ کامل برای جلوگیری از شکست ترد برشی و مودهای مخرب FRP چون Delamination و Debonding در دو انتهای تیر که نیروهای برشی حداکثر است و برای تقویت خمشی تیرها از پوشش وجوه بالایی و پائینی تیر و برای تقویت ستونهای چهارگوش و دایروی از روش Jacketing به دلیل کارایی و تأثیر بیشتر استفاده شود. برای افزایش کارایی تقویت ستونهای مربع ، مستطیل با ژاکت FRP به صورت بیضوی و دایروی انجام شود تا توزیع تنش یکنواخت تر فضای بین بتن با ژاکت با ملات ضد انقباض چون گروت پر شود.

۲- در قابهای بتن آرمه اتصالات باید با ورقه های FRP به طور کامل پوشانده شود تا اثرات خرد شدگی موضعی در اثر بارهای سیکلی ، تمرکز تنش و ازدحام آرماتور در ناحیه اتصال و به دنبال آن گسیختگی زود هنگام کاهش یابد.

۳- افزایش ضخامت CFRP چندان تأثیری در تقویت قاب ندارد ولی جهت قرارگیری الیاف در تقویت قاب تأثیر بیشتری دارد و توصیه می شود الیاف در دور پیچ ستون بجای آنکه در راستای آرماتور طولی ستون کار شود در راستای تنگها و مارپیچها بویژه زمانی که در مدل اجزای محدود اثرات محصور شدگی با معیار دراگر- پراگر مدل می شود.



- ۴- با توجه به منحنی های بار- تغییر مکان که برای قابهای تقویت شده و تقویت نشده در مقاومت های متفاوت بتن رسم شده که نشان می دهد پوشش قاب بالیاف CFRP باعث ممانعت از تغییر مکان زیاد قاب تحت بارهای جانبی شده و از گسیختگی و واژگونی سازه جلوگیری می کند.
- ۵- کاهش تغییر مکان جانبی قاب در حالت تقویت شده نسبت به حالت تقویت نشده حداکثر به میزان ۶۲ درصد و کاهش تنشهای اصلی کششی به مقدار حداکثر ۱۵ درصد می باشد. این پدیده نقش پوشش CFRP را در به تأخیر انداختن ترک خوردگی در بتن رانشان می دهد.

مراجع

- [۱] – J.G.Teng – J.F. Chen – S.T.Smith – L. lam "FRP Strengthened RC Structures". Published by Wiley - ۲۰۰۲
- [۲] – "ACI ۴۴۰.۲R-۲۰۰۲ Guide for Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures" – Reported by ACI committee ۴۴۰
- [۳] – A.Li; C.Diagana; Y.Delmas -" Shear strengthening effect by bonded composites fabrics on RC beams" - Composites ELSEVIER– December ۲۰۰۱
- [۴] – Jong-Wha Bai -" Seismic Retrofit for Reinforced Concrete Building Structures" Consequence-Based Engineering (CEB)-Institute Final Report –Texas University- August ۲۰۰۳
- [۵]- T.C.Triantafillou-" Seismic Retrofitting using Externally Bonded Fiber Reinforced Polymers " (FRP) – University of Patras - Chapter ۵ of the first Seismic Assessment and Retrofit of RC Buildings symposium.- May ۲۰۰۳-Athens
- {۶} آقائی- حمیدرضا تقویت قابهای بتن آرمه با استفاده از پوششهای CFRP در برابر زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، زمستان ۱۳۸۵
- [۷] L.P.Ye; X.Z.Lu and J.F.Chen; "Design Proposals for The Debonding Strengths of FRP Strengthened RC Beams in The Chinese Design Code" *Proceedings of the International Symposium and Bond Behavior of FRP in Structures* (BBF ۲۰۰۵) Chen and Teng (eds)
- [۸] Elyasian, I; Abdoli, N; Ronagh, H "Evaluation of Parameters Effective in FRP Shear Strengthening of RC beams Using FE Method", *Asian Journal of civil engineering (Building and Housing) Vol ۷, NO ۲ (۲۰۰۶) pp ۲۴۹-۲۵۷*
- [۹] Kachlakev, D., Miller, T., Yim, S., Chansawat, K. and Postisuk, T., "Finite element modelling of reinforced concrete structures strengthened with FRP Laminates", *Final Report SPR ۲۱۶*, Oregon Department of Transportation Research Group, May ۲۰۰۱.
- [۱۰] Alagusundaramoorthy, P., Harik, I.E. and Choo, C.C., "Shear strengthening of R/C beams wrapped with CFRP fabric", *Research report KTC-۰۲-۱۶/SPR ۲۰۰-۹۹-۲F*; University of Kentucky, August ۲۰۰۲, Kentucky Transportation Center.