

اثر تقویت اجزای مرزی تو سب *FRP* در رفتار دیوار برشی بتن آرمه‌ی لاغر

داود مستوفی نژاد^۱؛ مریم محمدی انایی*^۲

چکیده

دیوارهای برشی بتن آرمه به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای لرزه‌ای در سازه‌های بلند مرتبه در همه جای دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییر در نیازهای آیین‌نامه‌ای، و عوامل مخرب باعث شده تا بعضی از دیوارهای برشی برای ادامه‌ی عمر خدمت ضعیف باشند. در سال‌های اخیر مواد *FRP* در صنعت ساختمان مورد توجه قرار گرفته‌اند. استفاده از این مواد در طرح‌های بهسازی به دلیل ویژگی‌های ممتاز آن‌ها جذابیت یافته است. با این وجود مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بر خلاف دیوارهای چاق، تا کنون بر روی تقویت دیوار برشی بتن آرمه‌ی لاغر با مواد *FRP* تحت بار مونوتونیک مطالعه‌ی آزمایشگاهی یا تحلیلی صورت نگرفته است.

در این مقاله اثر تقویت اجزای مرزی دیوار توسط مواد *FRP*، بر رفتار دیوار برشی بتن آرمه‌ی لاغر مورد مطالعه قرار گرفته است. نرم افزار اجزای محدود ابتدا کالیبره شده و درستی نتایج آن با مدل سازی نمونه‌های آزمایشگاهی مورد تأیید قرار گرفته است. در این تحقیق از روش آنالیز اجزای محدود غیر خطی بتن آرمه و مدل رفتاری پلاستیسیته‌ی آسیب (Damage Plasticity)، به همراه اثر سخت شدگی کششی برای مدل سازی رفتار بتن استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تقویت اجزای مرزی دیوار توسط مواد *FRP* باعث بهبود باربری دیوار می‌شود.

کلمات کلیدی

دیوار برشی بتن آرمه، آنالیز اجزای محدود، مدل پلاستیسیته‌ی آسیب، سخت شدگی کششی، تقویت، کامپوزیت *FRP*.

The Effect of FRP Strengthening of Boundary Elements in Slender RC Shear Wall

D. Mostofinejad; M. Mohammadi Anaei

ABSTRACT

Concrete shear walls are the most common system resisting against seismic loads in the world. These elements carry the lateral loads by a combination of the axial, shear and flexural responses. Change in the seismic code requirements, subjecting intensive dynamic loads such as explosion or earthquake and other destructive effects make the shear walls weak for continuing service life. In the recent years *FRP* materials have attracted much interest. *FRP* application in retrofitting projects is appealing because of their unique properties. Nevertheless, a review on the previous studies shows that despite the squat walls, very limited analytical and/or experimental studies have been conducted on the *FRP* strengthening of the slender RC shear walls under monotonic loading so far. In this paper it is focused on the strengthening of boundary elements with *FRP* and its effect on the wall behavior. The finite element software is calibrated and verified using available experimental data. Nonlinear finite element analysis of reinforced concrete walls is performed using damage plasticity model and tension stiffening effects. Results of the current study show the superior effectiveness of strengthening *FRP* composite layers on the behavior of the concrete shear walls.

KEYWORDS

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۲۰

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۳/۲۳

^۱ دانشیار دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان. Email: dmostofi@cc.iut.ac.ir

^۲ نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان.

Email: m_mohammadi_a@yahoo.com

۱- مقدمه

برشی با مقیاس ۱/۸ و نسبت دهانه‌ی برشی ۳ انجام داد. نتایج نشان داد که برای همه نمونه‌ها مفصل پلاستیک در تار انتهایی مقطع و در نزدیک پایه‌ی دیوار تشکیل شده است [۱۲]. در سال ۲۰۰۷ سو و همکاران^۲ آزمایشاتی را ترتیب دادند تا اثر نسبت بار محوری اعمال شده به ظرفیت بار محوری (ALR) را روی عملکرد دیوارهای بتن آرمه مطالعه کنند. نتایج نشان داد که ALR تأثیر چشم‌گیری روی قابلیت تغییر شکل و مود شکست نمونه دارد [۱۱]. در سال ۲۰۰۴ تامسون و همکاران^۳ آزمایشاتی را بر روی ۴ دیوار برشی لاغر با مقیاس ۱/۴ انجام دادند. هدف از انجام این آزمایشات تأیید فرضیات روش طراحی بر مبنای تغییر مکان آیین‌نامه‌ی ACI بود. نتایج نشان داد که روش مبتنی بر تغییر مکان، روشی قدرتمند در تخمین جزئیات گذاری دیوار است [۱۴]. در سال ۲۰۰۷ پری و همکاران^۴ آزمایشی روی قسمتی از دیوار هسته‌ی یک ساختمان بلند مرتبه انجام دادند. از نتایج این آزمایش در کالیبره کردن مدل پیشنهادی استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده از این مدل نشان داد که این مدل می‌تواند برای پیش بینی رفتار دیوارهای لاغر استفاده شود [۱۰]. قبل از پرداختن به معرفی روش مدل سازی، توضیح مختصری در مورد رفتار دیوارهای لاغر در قسمت بعد ارائه خواهد شد.

۳- تفسیر رابطه‌ی نوعی منحنی لنگر- انحنا برای

مقطع دیوار

بر خلاف سادگی‌های موجود در طراحی و ساخت دیوارهای برشی بتن آرمه، پاسخ واقعی این اعضا تا اندازه‌ای پیچیده است. رفتار کلی دیوارها از ترکیبی از پاسخ‌های خمشی برشی و محوری تأثیر می‌پذیرد. مقاطع دیوار در برابر نیروهای محوری فشاری ناشی از بارهای ثقیل کف و وزن خودشان قرار می‌گیرند. فشار محوری عمل‌کننده بر دیوار تا ۲۰٪ حاصل ضرب مقاومت فشاری بتن، f'_c ، در A_g (سطح مقطع ناخالص بتن) برآورد می‌شود [۳].

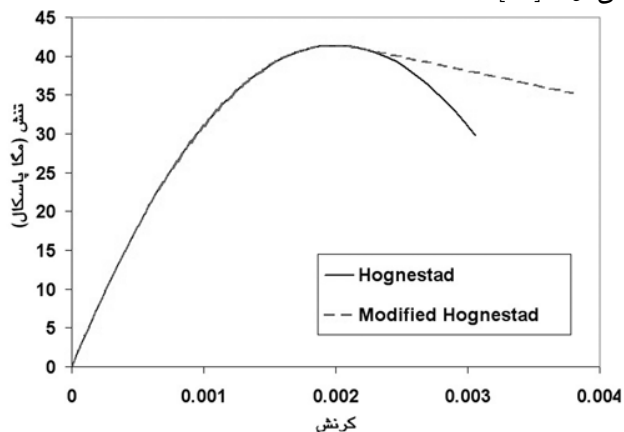
دیوارهای برشی نه تنها باید مقاومت کافی در سازه ایجاد کنند، بلکه باید شکل‌پذیری کافی به منظور اجتناب از شکست ترد به خصوص تحت بارهای قوی لرزه‌ای را فراهم آورند [۶]. با این وجود بسیاری از دیوارهای برشی بتن آرمه در کشور ما و سایر نقاط دنیا به دلایل دلایل فراوان از جمله تغییر الزامات آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، ضعف در طراحی یا اجرا، گذشت زمان و تأثیر عوامل مخرب محیطی، اجرای وصله‌ی میلگردها در محل مفصل پلاستیک، و در مواردی هم اثر خرابی‌ها و ضعف‌های ناشی از زلزله‌های قبلی یا بارهای انفجاری، نیاز به بهسازی و تقویت دارند. در سال‌های اخیر کامپوزیت‌های FRP به صورت گسترده و موفقیت آمیزی در بهبود لرزه‌ای سازه‌ها استفاده شده است [۱۰]. مقاومت عالی این مواد در برابر خوردگی در کنار نسبت مقاومت به وزن بسیار بالا در آن‌ها باعث شده تا آن‌ها گزینه‌ی اول طرح‌های تقویت قرار گیرند [۱۳].

دیوارهای بتن آرمه نمونه‌ای از اعضایی هستند که از منظر بهسازی لرزه‌ای کمتر مورد توجه بوده‌اند [۱۳]. از طرفی بررسی مقاله‌های فنی در مورد تقویت دیوارهای برشی بتن آرمه نشان می‌دهد که تا کنون مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی بر روی تقویت دیوار برشی بتن آرمه‌ی لاغر بلند مرتبه (دیوار با نسبت ارتفاع به طول بزرگتر یا مساوی ۳) صورت نگرفته، و بیشتر تحقیقات در این زمینه محدود به دیوارهای بتنی کوتاه و چاق (دیوار با نسبت ارتفاع به طول کمتر از ۳) بوده است. این مقاله بر آن است تا رفتار دیوارهای بتن آرمه‌ی لاغر را با استفاده از نرم افزار اجزای محدود مورد بررسی قرار داده و سپس به کمک دانشی که از آزمایش تیرهای تقویت شده در دست دارد، به مطالعه‌ی تقویت دیوارهای لاغر بلند مرتبه تحت ترکیب بار جانبی و بار محوری بپردازد. در این تحقیق تمرکز اصلی بر نقش اجزای مرزی دیوار و تقویت این قسمت در رفتار دیوار تحت بارهای استاتیک مونوتونیک بوده، و نتایج به صورت پوش منحنی‌های هیستریزس ارائه گردیده است.

۲- بررسی مطالعات انجام شده روی دیوارهای لاغر

تحقیقاتی بر روی دیوارها تحت بار دینامیکی و استاتیکی وجود دارد، که در این جا تنها به چند مورد از مطالعات صورت گرفته بر روی دیوار لاغر تحت بار استاتیکی به اختصار اشاره می‌شود. در سال ۱۹۹۸ تسنیمی^۱ آزمایشی را بر روی دیوار

افزار هستند. برای معرفی رابطه‌ی تنش- کرنش فشاری تک محوره‌ی بتن به نرم افزار، از رابطه‌ی هاگنستاد اصلاح شده استفاده شده است [۱] (شکل ۲). از روابط (۱) و (۲) به منظور معرفی تنش فشاری بتن بر حسب کرنش فشاری به نرم افزار استفاده می‌گردد. در این روابط ε_0 کرنش نظیر تنش حداکثر است. در تحقیق حاضر برای نمونه‌هایی که اطلاعی از مقدار ε_0 آن‌ها در دست نبوده از مقدار $\varepsilon_0 = 0.002$ استفاده شده است، که مقداری منطقی برای بتن‌های معمولی است [۱]؛ و در رابطه‌ی (۲) f_c'' تنش حداکثر در عضو بتنی است. ضریب k_s را می‌توان برای بتن‌های با مقاومت فشاری استوانه‌ای ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ و مساوی بزرگتر از ۳۵ مگاپاسکال به ترتیب برابر ۰/۹۷، ۰/۹۵، ۰/۹۳ و ۰/۹۲ در نظر گرفت [۱]. شاخه‌ی نزولی منحنی هاگنستاد اصلاح شده خطی است که از نقطه‌ی (ε_0, f_c'') تا نقطه‌ی $(\varepsilon_u, 0.85f_c'')$ امتداد دارد. مقدار ε_u متناظر با کرنش نهایی نظیر شکست فشاری بتن است، که برای انواع بتن از ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۵ گزارش شده و در این مطالعه مقدار آن برابر ۰/۰۰۳۸ در نظر گرفته شده است. استفاده از رابطه‌ی هاگنستاد اصلاح شده منجر به رفتار بهتر در محاسبات می‌گردد [۱۱].

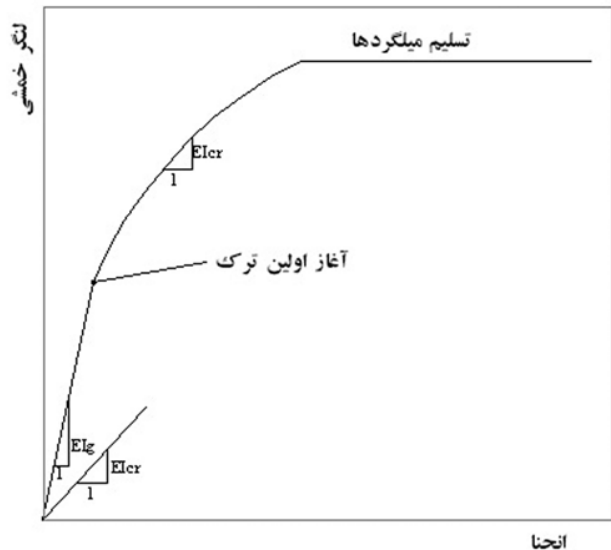


شکل (۲) منحنی‌های هاگنستاد و هاگنستاد اصلاح شده جهت رفتار بتن در فشار [۱]

$$f_c = f_c'' \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$f_c'' = k_s f_c' \quad (2)$$

معرفی رابطه‌ی تنش - کرنش بتن در کشش تنها به تعریف اثرات بعد از ترک خوردگی که در واقع معرف اثرات سخت شدگی کششی است، اختصاص دارد. اثر سخت شدگی کششی بیانگر این مهم است که سختی ماده بعد از ترک خوردن ناگهان صفر نمی‌شود؛ بلکه در اثر درگیری دانه‌ها و عمل فولادها ماده قابلیت انتقال بار را از طریق فضای بین ترک‌ها



شکل (۱) رابطه‌ی لنگر- انحنای نوعی در دیوارهای ساختمان‌های بلند مرتبه

شکل (۱) رابطه‌ی لنگر- انحنای نوعی در دیوارهای ساختمان‌های بلند مرتبه را نشان می‌دهد که در برابر بار مونوتونیک^۶ قرار دارد. وقتی لنگر خمشی بر مقطع دیوار اعمال می‌شود، پاسخ اولیه‌ی دیوار، الاستیک خطی با سختی خمشی اولیه برابر $E_c I_g$ است، که E_c مدول الاستیسیته‌ی بتن، و I_g ممان اینرسی مقطع ترک نخورده می‌باشد. وقتی که لنگر به بیش از مقدار و محدوده‌ی الاستیک اولیه افزایش می‌یابد، اولین ترک خوردگی اتفاق می‌افتد و سختی خمشی با رشد اولین ترک و آغاز ترک‌های اضافی کاهش می‌یابد. شیب این فاز از پاسخ تقریباً موازی سختی خمشی مقطع ترک خورده‌ی تغییر شکل یافته $E_c I_{cr}$ می‌باشد، که I_{cr} ممان اینرسی مقطع ترک خورده است. افزایش بیش‌تر لنگر اعمال شده منجر به تسلیم فولادها و رسیدن به ظرفیت نهایی مقطع می‌گردد [۳]. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی رفتار دیوار برشی در حالت نهایی، مشخص است که برای شبیه سازی رفتار دیوار برشی بتن آرمه، لازم است که از آنالیز غیر خطی و تئوری‌های پلاستیسیته استفاده شود.

۴- مدل پلاستیسیته‌ی مورد استفاده در آنالیز اجزای محدود

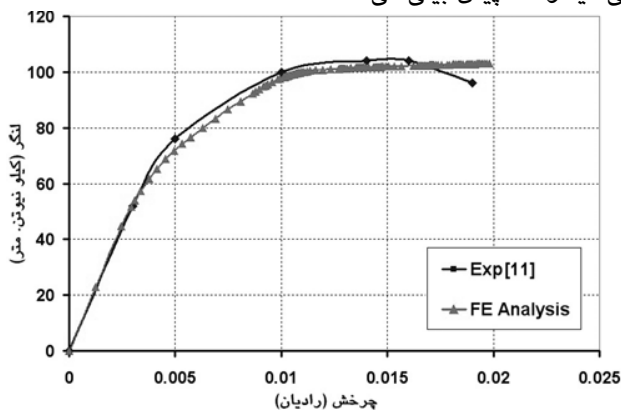
رویکردی که اخیراً توسط محققان در مدل سازی دیوارهای برشی به کار گرفته می‌شود، استفاده از آنالیز اجزای محدود است. در این مطالعه از نرم افزار آنالیز اجزای محدود ABAQUS و مدل پلاستیسیته‌ی آسیب استفاده شده است [۲]. معرفی رابطه‌ی تنش- کرنش تک محوره‌ی بتن در فشار و کشش از پارامترهای مهم در معرفی مدل پلاستیسیته به نرم

۵- تعیین صحت مدل سازی غیر خطی و آنالیز اجزای محدود

الف - دیوارهای برشی W1 و W2 [۱۱]

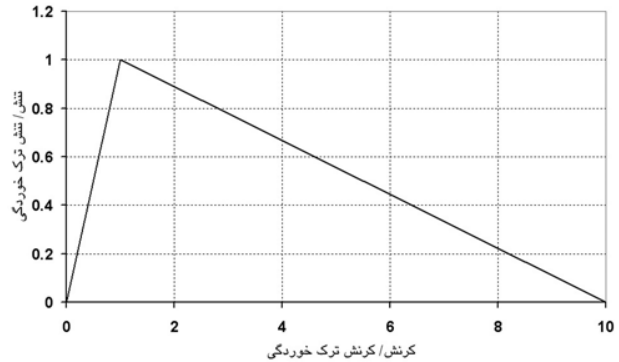
این دیوارها توسط سو و همکاران آزمایش شدند. شکل (۴) مقطع دیوارها را نمایش می‌دهد. مقاومت نمونه‌ی استوانه‌ای برای نمونه‌های W1 و W2 به ترتیب برابر ۵۸/۸، ۵۰/۹ مگا پاسکال، و مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی فولادها برابر ۴۱۲ و ۵۴۰ مگاپاسکال بوده است. ارتفاع نمونه‌ها ۱۵۱۵ میلی‌متر است. این دیوارها به صورت T شکل ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. بارگذاری دیوارها به صورت اعمال دو بار کششی و فشاری ثابت به مقدار ۵۰۰ کیلو نیوتن در دو انتهای بال‌ها، نیروی پیش فشار ۶۰۰۰ کیلو نیوتنی از پایین، و بار فشاری روی دیوار بوده است. در این حالت توسط یک جک بار جانبی افقی برگشتی به صورت جا به جایی به دیوار وارد شده است. از آن جا که این دیوارها به عنوان سه طبقه‌ی اول دیوار برشی یک سازه‌ی بلند مرتبه هستند، این ترکیب بارگذاری و چگونگی اعمال آن مدلی از بارهای طبقات بالاتر (وزن طبقات بالا، لنگر ناشی از برش و برابند نیروی برشی طبقات بالا) را به وجود آورده است. شکل‌های ۵ و ۶ منحنی پوش لنگر-چرخش را برای دو دیوار برشی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرده است.

همان گونه که ملاحظه می‌شود، مدل پلاستیسیته‌ی آسیب، به خوبی رفتار دیوارها را در مرحله‌ی خطی و قبل از ترک خوردگی، ترک خوردگی بتن و پس از آن، تسلیم و رفتار سخت شدگی میلگردها، پیش بینی می‌کند.



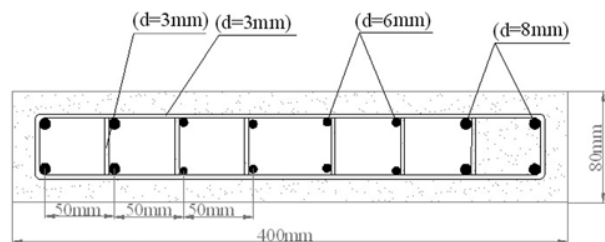
شکل (۵) مقایسه‌ی نمودار لنگر-چرخش تحلیلی و تجربی در دیوار W1

دارا می‌باشد. در مدل سازی‌های انجام شده در این مطالعه رابطه‌ی بعد از ترک خوردگی بتن به صورت خطی فرض شده است که تا کرنش کششی نهایی ۱۰ برابر کرنش ترک خوردگی ادامه دارد. شکل (۳) رابطه‌ی تنش-کرنش بتن در کشش تک محوره را معرفی می‌کند.



شکل (۳) پاسخ بتن در کشش تک محوری [۲]

در نمونه‌های مدل سازی شده در بخش‌های بعدی فولادها به صورت اعضای یک بعدی دارای جانمایی دقیق مدل شده‌اند. قیود بین بتن و فولاد به طور کامل در نظر گرفته شده؛ به طوری که درجات آزادی المان‌های فولادی به درجات آزادی المان‌های بتن اطراف آن مقید باشد. برای جلوگیری از ناپایداری‌های عددی برای رفتار کاملاً پلاستیک یک مقدار مثبت کوچک به عنوان شیب منحنی تنش-کرنش در ناحیه‌ی پلاستیک اختصاص یافته است [۵]. اعمال بار در نرم افزار به صورت کنترل تغییر شکل، و روش حل عددی مورد استفاده، برای دیوار روش نیوتن-رافسون و برای تیر روش طول قوس ریکس است. در قسمت بعد تلاش شده است تا پارامترهای نرم افزار آنالیز اجزای محدود با مدل کردن دو نمونه دیوار برشی کالیبره شوند.



شکل (۴) مقطع دیوارهای W1 و W2 آزمایش شده توسط سو و همکاران (در این شکل d قطر میلگردها است) [۱۱]

جدول (۱) مشخصات مواد به کار رفته در ساخت تیرهای C4 و H4 (از آزمایشات کنت و همکاران) [۷]

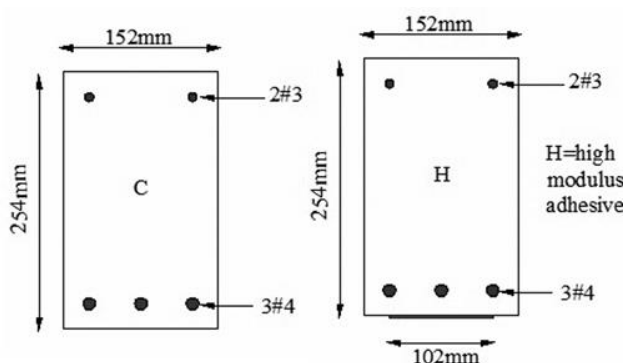
$f_u = 667MPa$	$f_y = 429MPa$	$f'_c = 23.3MPa$	مشخصات ماده‌ای فولاد و بتن
$\varepsilon_{fu} = 0.018$	$E_f = 155GPa$	$f_{fu} = 2800MPa$	مشخصات ماده‌ای CFRP
$\varepsilon_{au} = 0.01$	$E_a = 4482MPa$	$f_{au} = 25MPa$	مشخصات ماده‌ای چسب

این المان چسبنده در صورت وجود تغییر مکان‌های نسبی بین دو سطح در جهات عمودی و دو جهت مماسی، باعث ایجاد به ترتیب یک تنش عمودی و دو تنش مماسی می‌گردد. با افزایش تغییر مکان‌ها تنش‌ها کاهش می‌یابند، تا در تغییر مکان نهایی به صفر می‌رسند و دو سطح از یکدیگر جدا می‌شوند. در این هنگام کار انجام شده توسط تنش‌های بین سطحی به انرژی گسیختگی تعریف شده توسط کاربرد رسیده و المان سختی خود را از دست داده است.

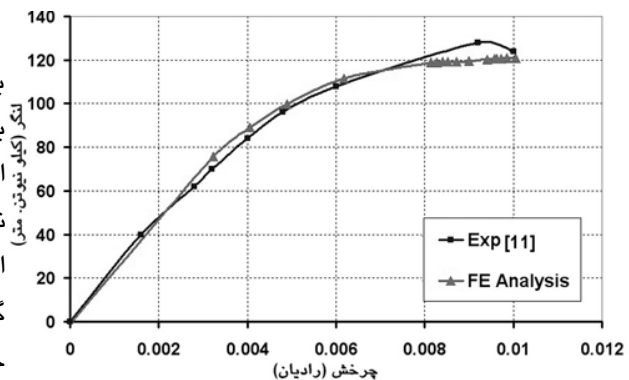
جدول (۲) مشخصات هندسی تیر آزمایش شده توسط کنت و همکاران (ابعاد به میلی‌متر) [۷]

تیر C4	ارتفاع	عرض	طول
	۲۵۴	۱۵۲	۴۵۴۰
ورق CFRP	عرض	ضخامت	طول
	۱۰۲	۱/۴	۴۳۴۰

شکل‌های (۸) و (۹) نمودار بار- تغییر مکان وسط دهانه را به ترتیب برای نمونه‌های C و H نشان می‌دهند. مقایسه‌ی نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در نمونه‌ی تیر شبیه سازی شده، تنش ترک خوردگی بتن نسبت به نمونه‌ی آزمایشگاهی به موقع اتفاق می‌افتد. همچنین رفتار بتن در ناحیه‌ی غیر خطی در مدل تحلیلی با دقت خوبی از نمونه آزمایشگاهی پیروی می‌کند.



شکل (۷) تیر آزمایش شده توسط کنت و همکاران [۷]



شکل (۶) مقایسه‌ی نمودار لنگر- چرخش تحلیلی و تجربی در دیوار W2

در مقاله‌های فنی مطلبی در مورد تقویت دیوارهای بلند مرتبه‌ی لاغر با مواد کامپوزیت FRP توسط نگارندگان دیده نشده است. بنا بر این در قسمت بعد ابتدا سعی می‌شود تیر لاغر بتنی را که با FRP تقویت شده است در نرم افزار مدل شود تا از توانایی شبیه سازی اعضای تقویت شده اطمینان حاصل گردد.

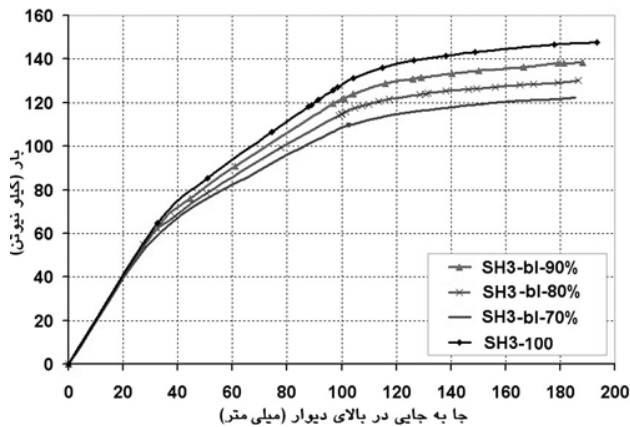
ب- تیر آزمایش شده توسط کنت و همکاران [۷]

در این بخش با استفاده از روش مدل سازی توضیح داده شده در قسمت قبل، تیر تقویت شده با FRP مدل شده و نتایج آن با آن چه از آزمایش در دست است مقایسه می‌گردد. این تیر نمونه‌ی C از مجموعه تیرهایی است که توسط کنت و همکاران در سال ۲۰۰۷ مورد آزمایش قرار گرفته است [۷]؛ سپس با کامپوزیت و چسب دارای مدول بالا تقویت شده است که نمونه‌ی تقویت شده‌ی آن H4 می‌باشد. ابعاد، آرماتور گذاری و مشخصات مواد در شکل (۷) و جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

بار گذاری تیر به صورت اعمال بار در وسط دهانه‌ی ۴۵۴۰ میلی‌متری است. گفتنی است که مود شکست نمونه‌ی تقویت شده جدا شدگی CFRP از تیر بوده است در این حالت مدل سازی رفتار چسب و المان مورد استفاده برای آن بسیار مهم می‌شود. برای مدل سازی جدا شدگی، از المان چسبنده بین سطح بتن و FRP استفاده می‌شود.

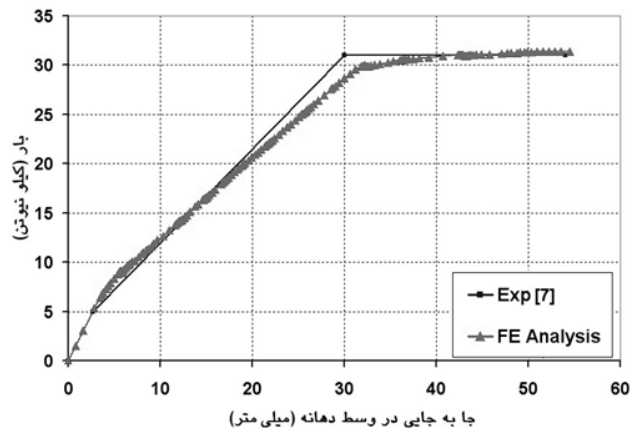
این المان از مدل لو و همکاران [۹] استفاده می‌کند. و رفتار ماده‌ای آن در نرم افزار ABAQUS به صورت traction تعریف می‌شود؛ و در واقع رفتار نسبی دو سطح را نسبت به یکدیگر معرفی می‌نماید.

این دیوار با مقیاس یک چهارم مدل سازی شد. قبل از اعمال تقویت بر روی دیوارها، اثر کاهش میلگردهای طولی در محل اجزای مرزی بر رفتار دیوار مطالعه گردیده است. به این منظور درصد میلگردهای طولی در اجزای مرزی دیوارها به ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد مقدار آن در دیوار طرح شده بر اساس آیین نامه کاهش یافته است. در این ارتباط نمونه‌ی SH3-bl-x دهنده‌ی دیواری است که مقدار فولاد طولی در جزء مرزی آن برابر x درصد مقدار آیین نامه‌ای است؛ و نمونه‌ی SH3-100 معرف نمونه‌ی استاندارد است که مقدار فولادهای آن مطابق آیین نامه است. نمونه‌ی SH3-bl-70% که دیواری است که در آن درصد میلگردهای طولی در اجزای مرزی دیوارها ۷۰ درصد مقدار آیین نامه‌ای است و به عبارتی دیواری با ضعف در طراحی است، به منظور مطالعه‌ی اثر تقویت انتخاب شده است. منحنی بار- تغییر مکان این دیوارها در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

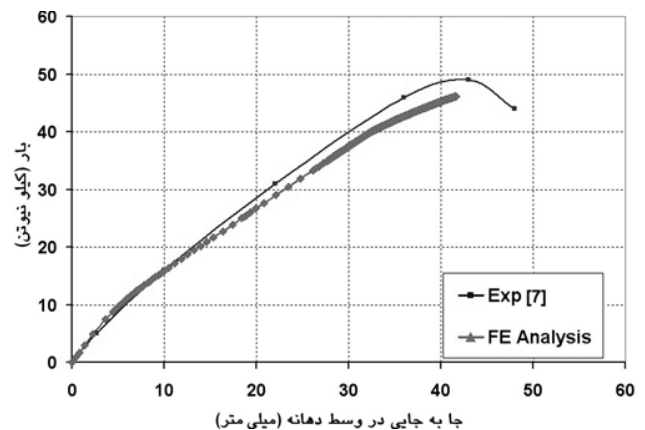


شکل (۱۱) اثر کاهش میلگردهای طولی در نمونه‌ی SH3

نمودارهای شکل ۱۱ نشان می‌دهند که باربری دیوار SH3-bl-70% به میزان ۲۵ درصد کمتر از دیوار استاندارد است. در ادامه نتایج بررسی اثر تقویت بر روی این نمونه، با رفتار دیواری که مطابق آیین نامه طراحی شده مقایسه می‌شود، تا مشاهده گردد که آیا تقویت می‌تواند رفتار دیوار معیوب را به رفتار دیوار طرح شده بر طبق آیین نامه نزدیک کند یا خیر. همان طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، ورق تقویت بر روی وجه جانبی جزء مرزی متصل شده، به گونه‌ای که لیاف آن در امتداد موازی میلگردهای طولی قرار می‌گیرد.



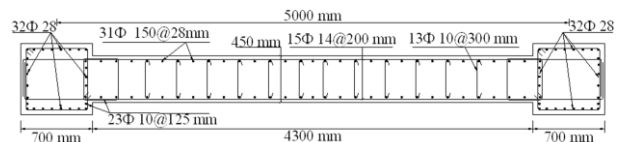
شکل (۸) نمودار بار جابجایی وسط دهانه در تیر کنت (نمونه‌ی C)



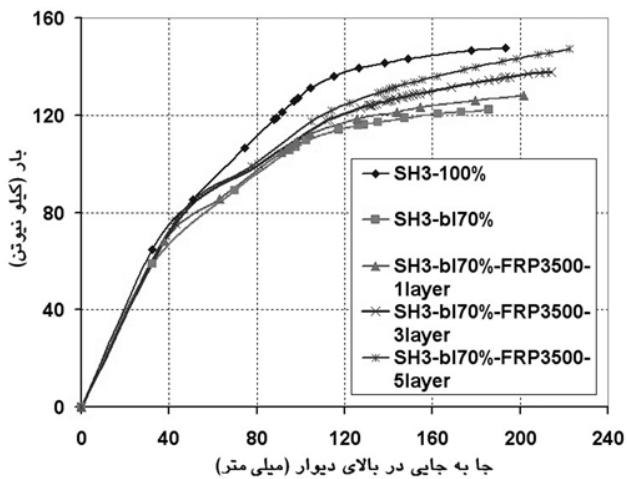
شکل (۹) نمودار بار جابجایی وسط دهانه در تیر کنت (نمونه‌ی H)

۶- بررسی اثرات تقویت اجزای مرزی دیوار با کامپوزیت FRP

در این قسمت اثر تقویت FRP بر روی دیوارهای برشی مطالعه شده است. نمونه‌ی مورد مطالعه دیوار برشی ۱۳ طبقه‌ای از یک ساختمان مسکونی واقع در اصفهان است، که با استفاده از آیین نامه‌ی ACI 318-99 و به روش مقاومتی طراحی شده و ملزومات آیین نامه‌ی بتن ایران (آبا) را هم برآورده می‌نماید. مقطع و میلگردگذاری این دیوار که SH3-100 نام دارد، در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



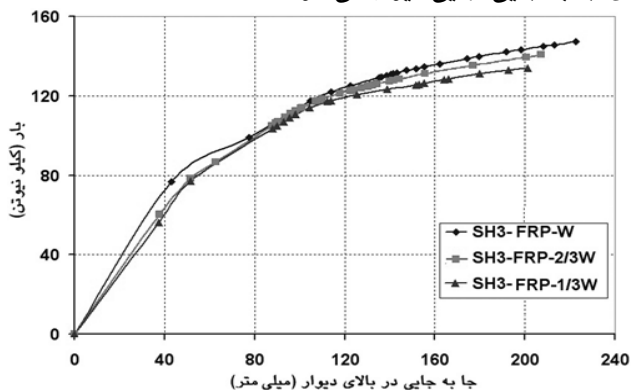
شکل (۱۰) مقطع و میلگردگذاری دیوار SH3-100



شکل (۱۴) اثر تعداد لایه‌های ورق FRP در اجزای مرزی نمونه‌ی SH3-bi70%

شکل ۱۴ اثر تعداد لایه‌های FRP را نشان می‌دهد. در نمودارهای این شکل مشاهده می‌شود که افزایش تعداد لایه‌های FRP باعث افزایش باربری و نیز افزایش اندکی در شکل پذیری دیوار ضعیف می‌شود. به طوری‌که استفاده از ۵ لایه FRP منجر به نزدیک شدن باربری دیوار ضعیف به دیوار استاندارد و افزایش در بار تسلیم می‌گردد شده است.

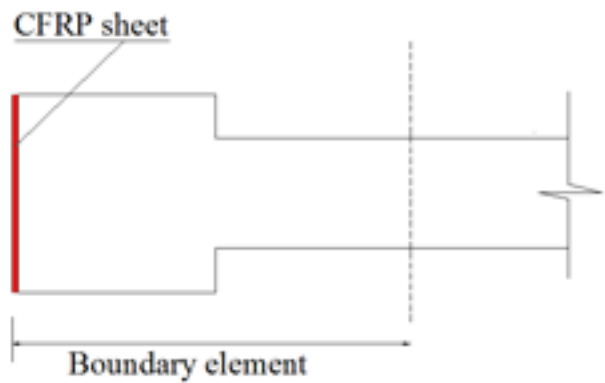
در شکل ۱۵ اثر عرض ورق FRP نشان داده شده است. در نمودارهای این شکل نمونه‌ی SH3-FRP-xW است که در آن عرض ورق FRP اعمال شده کسر x از عرض جزء مرزی، W ، است. بدین ترتیب در نمونه‌ی SH3-FRP-W، عرض ورق FRP برابر عرض جزء مرزی است، و در دو نمونه-ی دیگر عرض ورق به یک سوم و دو سوم عرض جزء مرزی کاهش یافته است. در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود کاهش عرض ورق منجر به کاهش باربری و کاهش نقطه‌ی تسلیم می‌گردد و کاهش جا به جایی نهایی دیوار می‌شود.



شکل (۱۵) اثر کاهش عرض ورق FRP در اجزای مرزی نمونه‌ی SH3-bi70%

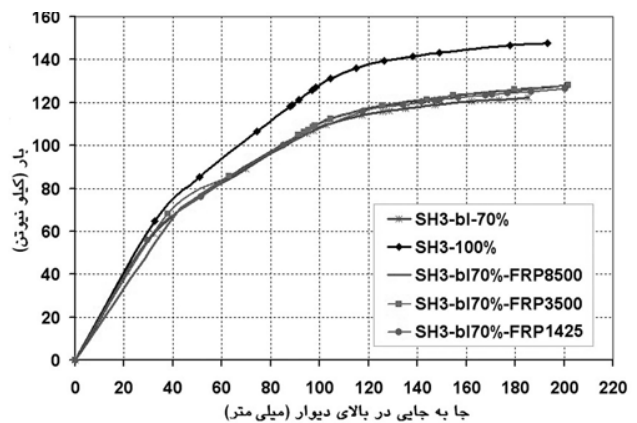
۷- نتایج

۱- مدل پلاستیسیته‌ی آسیب قادر به شبیه سازی رفتار



شکل (۱۲) چگونگی اتصال ورق کامپوزیت به دیوار

پارامترهای مورد بررسی اثر ارتفاعی از دیوار که جزء مرزی تقویت می‌شود؛ اثر تعداد لایه‌ها، و اثر عرض ورق FRP می‌باشند. در شکل ۱۳ اثر طول ورق FRP نشان داده شده است. ورق FRP به طول‌های ۸۵۰۰، ۳۵۰۰ و ۱۴۲۵ میلی‌متر بر روی جزء مرزی دیوار ضعیف به کار رفته است.



شکل (۱۳) اثر ارتفاعی از دیوار که با FRP تقویت می‌گردد در نمونه‌ی SH3-bi70%

ملاحظه می‌گردد اعمال تنها یک لایه FRP نمی‌تواند باربری دیوار ضعیف را به باربری دیوار استاندارد برساند. با توجه به شکل ۱۳ و با توجه به این که استفاده از ورق FRP به طول ۸۵۰۰ میلی‌متر (کل ارتفاع دیوار مقیاس شده) و استفاده از FRP به طول ۳۵۰۰ میلی‌متر (ارتفاع مفصل پلاستیک، که در این دیوار سه طبقه‌ی پایین دیوار است) تفاوت چندانی بر باربری ندارد، در مطالعات بعد تمرکز بر روی تقویت ناحیه‌ی مفصل پلاستیک قرار دارد.

دیوار لاغر تحت بار مونوتونیک با دقت بالایی می‌باشد.

نیود.

۴- استفاده از تعداد لایه‌های بیش‌تر FRP در ناحیه‌ی مفصل پلاستیک باعث بهبود باربری دیوار ضعیف شد؛ به گونه‌ای که مشاهده شد استفاده از ۵ لایه FRP باربری دیوار ضعیف را به دیوار استاندارد نزدیک کرده و باعث بهبود بار تسلیم می‌گردد.

۵- هر چند تغییر در طول ورق FRP تغییری در سختی اولیه‌ی دیوار تقویت شده نداشت، اما کاهش عرض ورق کامپوزیت منجر به کاهش سختی اولیه‌ی دیوار تقویت شده گردید

۲- مطالعه بر روی نقش فولادهای طولی اجزای مرزی بر روی رفتار دیوار برشی بیان‌گر این مطلب است که نقش این نوع تقویت در ظرفیت حمل بار دیوار نسبت به جا به جایی آن چشم‌گیرتر است. کاهش ۳۰ درصدی در فولادهای طولی اجزای مرزی منجر به کاهش ۲۵ درصدی در ظرفیت باربری دیوار می‌شود.

۳- اعمال ۱ لایه کامپوزیت بر روی اجزای مرزی دیوار و تغییر در طول ورق FRP تأثیر چشم‌گیری بر افزایش باربری دیوار نداشت. در این حالت افزایش طول ورق نیز تأثیر گذار

۸- مراجع

- [۹] Lu, X.Z., Teng, J.G., Ye, L.P. and Jiang, J.J., "Bond-Slip Models for FRP Sheets/plates Bonded to Concrete", Engineering Structures, Vol. 27, No. 6, PP. 920-937, 2005.
- [۱۰] Perry, A., Ahmed, M.M. and Bryson, M., "Test of High Rise Core Wall: Effective Stiffness for Seismic Analysis", ACI Structural Journal, Vol. 104, No. 5, PP. 549-559, 2007.
- [۱۱] Su, R.K.L., Wong, S. M., "Seismic Behavior of Slender Reinforced Concrete Shear Wall under High Axial Load Ratio", Engineering Structures, Vol. 29, PP 1957-1965, 2007.
- [۱۲] Tasnimi, A.A., "Strength and Deformation of Mid-Rise Shear Walls Under Load Reversal", Engineering Structures, Vol. 22, PP 311-322, 2000.
- [۱۳] Thomas N. Salonikios, A.J. KapPos, Lonnis A. Tegos and Georgios G. Penelis "Cyclic Load Behavior of Low-Slenderness Reinforced Concrete Walls: Failure Modes, Strength and Deformation Analysis and Design Implications", ACI Structural Journal, Vol. 97, January-February, 2000.
- [۱۴] Thomsen, J. H. and Wallace, J.W., "Displacement-based Design of R/C Structural Walls: An Experimental Investigation of Walls with Rectangular And T Shaped Cross-Section", Report to National Science Foundation, Clarkson University, 2004.
- [۱] مستوفی نژاد، د. سازه‌های بتن آرمه، جلد اول، چاپ دوازدهم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ۱۳۸۸.
- [۲] ABAQUS Inc., ABAQUS/Theory User manual, Version 6.7, 2007.
- [۳] Ahmed, M.M., "Linear and Nonlinear Flexural Stiffness Models for Concrete Walls in High-Rise Buildings", University of British Columbia, Ph.D. thesis, 2000.
- [۴] Hiotakis, S., Lau, D.T. and Londono, N., "Research On Seismic Retrofit and Rehabilitation of Reinforced Concrete Shear Walls Using FRP Materials", Carleton University, Ottawa, Canada, 2004.
- [۵] Horrigmoe, G., Sather, I., Sand, B., "Validation of Nonlinear Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Attacked by Corrosion", Report of Sustainable Development Global Change and Ecosystems Integrated Project, 2007.
- [۶] Kheyroddin, A. and Naderpour, H., "Nonlinear Finite Element Analysis of R/C Shear Walls Retrofitted Using Externally Bonded Steel Plates and FRP Sheets", 1st International Structural Specialty Conference, May 23-26, 2006.
- [۷] Kent, A. H., Benjamin, R. and Zorn, A., "Experimental Evaluation of Factors Affecting Monotonic Fatigue Behavior of Fiber Reinforced Polymer to Concrete Bond in Reinforced Concrete Beams", ACI structural Journal, Vol. 104, No. 6, 2007.
- [۸] Lombard, J.C., "seismic Strengthening and Repair of Reinforced Concrete Shear Walls Using Externally Bonded Carbon Fiber Tow Sheets", Ph.D. thesis, Carleton University, 1997.

۹- زیر نویس ها

- ¹ Tasnimi
² Su et. al.
³ Axial Load Ratio
⁴ Thomsen et. al
⁵ Perry et. al.
⁶ monotonic
⁷ Kent et al