اثر تقويت اجزاي مرزي تو سط *FRP* در رفتار ديوار برشي بتن آرمه‌ي لاغر

داود مستوفي نژاد[i]، مريم محمدي انايي* [ii]

چكيده

ديوارهاي برشي بتن آرمه به عنوان سيستم مقاوم در برابر بارهاي لرزه‌اي در سازه‌هاي بلند مرتبه در همه جاي دنيا مورد استفاده قرار مي‌گيرند. تغيير در نيازهای آيين نامه‌اي، و عوامل مخرب باعث شده تا بعضي از ديوارهاي برشي براي ادامه‌ي عمر خدمت ضعيف باشند. در سال‌هاي اخير مواد FRP در صنعت ساختمان مورد توجه قرار گرفته‌اند. استفاده از اين مواد درطرح‌های بهسازي به دليل ويژگی‌های ممتاز آن‌ها جذابيت يافته است. با اين وجود مروري بر تحقيقات گذشته نشان مي‌دهد كه بر خلاف ديوارهاي چاق، تا كنون بر روي تقويت ديوار برشي بتن آرمه‌ي لاغر با مواد FRP تحت بار مونوتونيک مطالعه‌ي آزمايشگاهي يا تحليلي صورت نگرفته است.

در اين مقاله اثر تقويت اجزاي مرزي ديوار توسط مواد FRP، بر رفتار ديوار برشي بتن آرمه‌ي لاغر مورد مطالعه قرار گرفته است. نرم افزار اجزاي محدود ابتدا كاليبره شده و درستی نتايج آن با مدل سازي نمونه‌هاي آزمايشگاهي مورد تائيد قرار گرفته است. در اين تحقيق از روش آناليز اجزاي محدود غير خطي بتن آرمه و مدل رفتاري پلاستيسيته‌ي آسيب (Damage Plasticity)، به همراه اثر سخت شدگي كششي براي مدل سازي رفتار بتن استفاده شده است. نتايج اين مطالعه نشان داد كه تقويت اجزاي مرزي ديوار توسط مواد FRP باعث بهبود باربري ديوار مي‌شود.

كلمات كليدي

ديوار برشي بتن آرمه، آناليز اجزاي محدود، مدل پلاستيسيته‌ي آسيب، سخت شدگي كششي، تقويت، كامپوزيت 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 it's 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.

تاريخ دريافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۲۰

تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۳/۲۳

[i] دانشيار دانشكده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتي اصفهان، Email: dmostofi@cc.iut.ac.ir

[ii] *نويسنده مسئول و دانشجوي كارشناسي ارشد دانشكده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتي اصفهان، Email: m_mohammadi_a@yahoo.com

KEYWORDS
Shear Wall, Finite Element Analysis, Damage Plasticity Model, Tension Stiffening, FRP, Strengthening.

۱- مقدمه

ديوارهاي برشي نه تنها بايد مقاومت كافي در سازه ايجاد كنند، بلكه بايد شكل پذيري كافي به منظور اجتناب از شكست ترد به خصوص تحت بارهاي قوي لرزه‌اي را فراهم آورند [٦]. با اين وجود بسياري از ديوارهاي برشي بتن آرمه در كشور ما و ساير نقاط دنيا به دلايل دلايل فراوان از جمله تغيير الزامات آيين نامه‌هاي لرزه‌اي، ضعف در طراحي يا اجرا، گذشت زمان و تأثير عوامل مخرب محيطي، اجراي وصله‌ي ميلگردها در محل مفصل پلاستيک، و در مواردي هم اثر خرابي‌ها و ضعف‌هاي ناشي از زلزله‌هاي قبلي يا بارهاي انفجاري، نياز به بهسازي و تقويت دارند. در سال‌هاي اخير كامپوزيت‌هاي FRP به صورت گسترده و موفقيت آميزي در بهبود لرزه‌اي سازه‌ها استفاده شده است [١٠]. مقاومت عالي اين مواد در برابر خوردگي در كنار نسبت مقاومت به وزن بسيار بالا در آن‌ها باعث شده تا آن‌ها گزينه‌ي اول طرح‌هاي تقويت قرار گيرند [١٣].

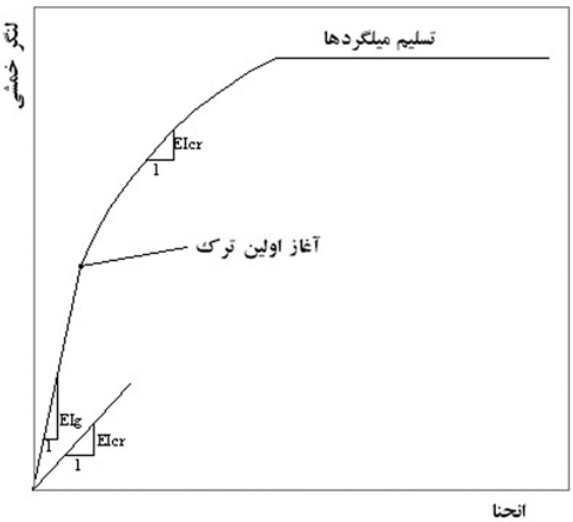
ديوارهاي بتن آرمه نمونه‌اي از اعضايي هستند كه از منظر بهسازي لرزه‌اي كم‌تر مورد توجه بوده‌اند [١٣]. از طرفي بررسي مقاله‌های فني در مورد تقويت ديوارهاي برشي بتن آرمه نشان مي‌دهد كه تا كنون مطالعات آزمايشگاهي و تحليلي بر روي تقويت ديوار برشي بتن آرمه‌ي لاغر بلند مرتبه (ديوار با نسبت ارتفاع به طول بزرگ‌تر يا مساوي ٣) صورت نگرفته، و بيش‌تر تحقيقات در اين زمينه محدود به ديوارهاي بتني كوتاه و چاق (ديوار با نسبت ارتفاع به طول كم‌تر از ٣) بوده است. اين مقاله بر آن است تا رفتار ديوارهاي بتن آرمه‌ي لاغر را با استفاده از نرم افزار اجزاي محدود مورد بررسي قرار داده و سپس به كمک دانشي كه از آزمايش تيرهاي تقويت شده در دست دارد، به مطالعه‌ي تقويت ديوارهاي لاغر بلند مرتبه تحت تركيب بار جانبي و بار محوري بپردازد. در اين تحقيق تمركز اصلي بر نقش اجزاي مرزي ديوار و تقويت اين قسمت در رفتار ديوار تحت بارهاي استاتيک مونوتونيک بوده، و نتايج به صورت پوش منحني‌هاي هيسترزيس ارائه گرديده است.

۲- بررسي مطالعات انجام شده روي ديوارهاي لاغر

تحقيقاتي بر روي ديوارها تحت بار داينميكي و استاتيكي وجود دارد، كه در اين جا تنها به چند مورد از مطالعات صورت گرفته بر روي ديوار لاغر تحت بار استاتيكي به اختصار اشاره مي‌شود. در سال ١٩٩٨ تسنيمي[١] آزمايشي را بر روي ديوار برشي با مقياس ١/٨ و نسبت دهانه‌ي برشي ٣ انجام داد. نتايج نشان داد كه براي همه نمونه‌ها مفصل پلاستيک در تار انتهايي مقطع و در نزديک پايه‌ي ديوار تشكيل شده است [١٢]. در سال ٢٠٠٧ سو و همكاران[٢] آزمايشاتي را ترتيب دادند تا اثر نسبت بار محوري اعمال شده به ظرفيت بار محوري (ALR)[٣] را روي عملكرد ديوارهاي بتن آرمه مطالعه كنند. نتايج نشان داد كه ALR تأثير چشم‌گيري روي قابليت تغيير شكل و مود شكست نمونه دارد [١١]. در سال ٢٠٠٤ تامسون و همكاران[٤] آزمايشاتي را بر روي ٤ ديوار برشي لاغر با مقياس ١/٤ انجام دادند. هدف از انجام اين آزمايشات تأييد فرضيات روش طراحي بر مبناي تغيير مكان آيين نامه‌ي ACI بود. نتايج نشان داد كه روش مبتني بر تغيير مكان، روشي قدرتمند در تخمين جزئيات گذاري ديوار است [١٤]. در سال ٢٠٠٧ پري و همكاران[٥] آزمايشي روي قسمتي از ديوار هسته‌ي يک ساختمان بلند مرتبه انجام دادند. از نتايج اين آزمايش در كاليبره كردن مدل پيشنهادي استفاده گرديده است. نتايج به دست آمده از اين مدل نشان داد كه اين مدل مي‌تواند براي پيش بيني رفتار ديوارهاي لاغر استفاده شود [١٠]. قبل از پرداختن به معرفي روش مدل سازي، توضيح مختصري در مورد رفتار ديوارهاي لاغر در قسمت بعد ارائه خواهد شد.

۳- تفسير رابطه‌ي نوعي منحني لنگر- انحنا براي مقطع ديوار

بر خلاف سادگي‌هاي موجود در طراحي و ساخت ديوارهاي برشي بتن آرمه، پاسخ واقعي اين اعضا تا اندازه‌ای پيچيده است. رفتار كلي ديوارها از تركيبي از پاسخ‌هاي خمشي برشي و محوري تأثير مي‌پذيرد. مقاطع ديوار در برابر نيروهاي محوري فشاري ناشي از بارهاي ثقلي كف و وزن خودشان قرار مي‌گيرند. فشار محوري عمل كننده بر ديوار تا ٢٠% حاصل ضرب مقاومت فشاري بتن، f'_c ، در A_g (سطح مقطع نا خالص بتن) برآورد مي‌شود [٣].



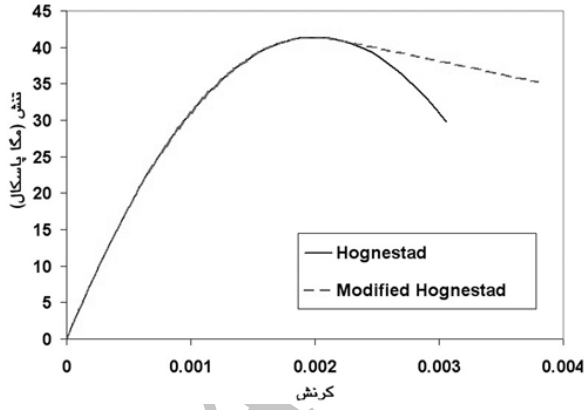
شكل (١) رابطه‌ي لنگر- انحناي نوعي در ديوارهاي ساختمان‌هاي بلند مرتبه

شكل (١) رابطه‌ي لنگر- انحناي نوعي در ديوارهاي ساختمان‌هاي بلند مرتبه را نشان مي‌دهد كه در برابر بار مونوتونيک[٦] قرار دارد. وقتي لنگر خمشي بر مقطع ديوار اعمال مي‌شود، پاسخ اوليه‌ي ديوار، الاستيک خطي با سختي خمشي اوليه برابر $E_c I_g$ است، كه E_c مدول الاستيسيته‌ي بتن، و I_g ممان اينرسي مقطع ترک نخورده مي‌باشد. وقتي كه لنگر به بيش از مقدار و محدوده‌ي الاستيک اوليه افزايش مي‌يابد، اولين ترک خوردگي اتفاق مي‌افتد و سختي خمشي با رشد اولين ترک و آغاز ترک‌هاي اضافي كاهش مي‌يابد. شيب اين فاز از پاسخ تقريباً موازي سختي خمشي مقطع ترک خورده‌ي تغيير شكل يافته $E_c I_{cr}$ مي‌باشد، كه I_{cr} ممان اينرسي مقطع ترک خورده است. افزايش بيش‌تر لنگر اعمال شده منجر به تسليم فولادها و رسيدن به ظرفيت نهايي مقطع مي‌گردد [٣]. با توجه به بررسي‌هاي صورت گرفته بر روي رفتار ديوار برشي در حالت نهايي، مشخص است كه براي شبيه سازي رفتار ديوار برشي بتن آرمه، لازم است كه از آناليز غير خطي و تئوري‌هاي پلاستيسيته استفاده شود.

٤- مدل پلاستيسيته‌ي مورد استفاده در آناليز اجزاي محدود

رويكردي كه اخيراً توسط محققان در مدل سازي ديوارهاي برشي به كار گرفته مي‌شود، استفاده از آناليز اجزاي محدود است. در اين مطالعه از نرم افزار آناليز اجزاي محدود ABAQUS و مدل پلاستيسيته‌ي آسيب استفاده شده است [٢].

معرفي رابطه‌ي تنش- كرنش تک محوره‌ي بتن در فشار و كشش از پارامترهاي مهم در در معرفي مدل پلاستيسيته به نرم افزار هستند. براي معرفي رابطه‌ي تنش- كرنش فشاري تک محوره‌ي بتن به نرم افزار، ازرابطه‌ي هاگنستاد اصلاح شده استفاده شده است [١] (شكل ٢). از روابط (١) و (٢) به منظور معرفي تنش فشاري بتن بر حسب كرنش فشاري به نرم افزار استفاده مي‌گردد. در اين روابط ε_0 كرنش نظير تنش حداكثر است. در تحقيق حاضر براي نمونه‌هايي كه اطلاعي از مقدار ε_0 آن‌ها در دست نبوده از مقدار ٠/٠٠٢ = ε_0 استفاده شده است، كه مقداري منطقي براي بتن‌هاي معمولي است [١]؛ و در رابطه‌ي (٢) f_c'' تنش حداكثر در عضو بتني است. ضريب k_s را مي‌توان براي بتن‌هاي با مقاومت فشاري استوانه‌اي ١٥، ٢٠، ٢٥ و ٣٠ و مساوي بزرگتر از ٣٥ مگاپاسكال به ترتيب برابر ١/٠، ٠/٩٧، ٠/٩٥، ٠/٩٣ و ٠/٩٢ در نظر گرفت [١]. شاخه‌ي نزولي منحني هاگنستاد اصلاح شده خطي است كه از نقطه‌ي (ε_0, f_c'') تا نقطه‌ي $(\varepsilon_u, 0.85 f_c'')$ امتداد دارد. مقدار ε_u متناظر با كرنش نهايي نظير شكست فشاري بتن است، كه براي انواع بتن از ٠/٠٠٣ تا بالاتر از ٠/٠٠٥ گزارش شده و در اين مطالعه مقدار آن برابر ٠/٠٠٣٨ در نظر گرفته شده است. استفاده از رابطه‌ي هاگنستاد اصلاح شده منجر به رفتار بهتر در محاسبات مي‌گردد [١١].



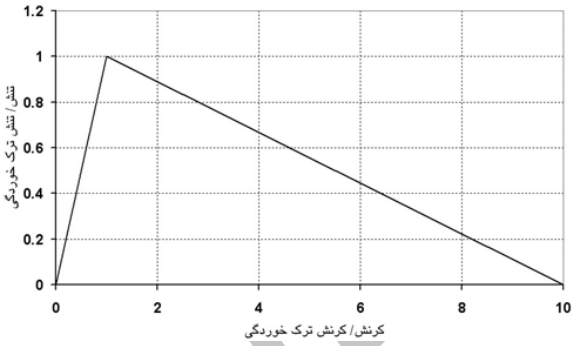
شكل (٢) منحني‌هاي هاگنستاد و هاگنستاد اصلاح شده جهت رفتار بتن در فشار [١]

$$f_c = f_c''\left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^2\right] \quad (١)$$

$$f_c'' = k_s f_c' \quad (٢)$$

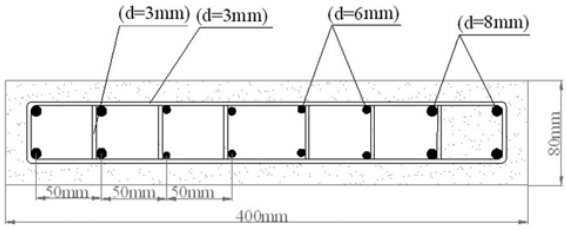
معرفي رابطه‌ي تنش – كرنش بتن در كشش تنها به تعريف اثرات بعد از ترک خوردگي كه در واقع معرف اثرات سخت شدگي كششي است، اختصاص دارد. اثر سخت شدگي كششي بيان‌گر اين مهم است كه سختي ماده بعد از ترک خوردن ناگهان صفر نمي‌شود؛ بلكه در اثر درگيري دانه‌ها و عمل

فولادها ماده قابليت انتقال بار را از طريق فضاي بين ترک‌ها دارا مي‌باشد. در مدل سازي‌هاي انجام شده در اين مطالعه رابطه‌ي بعد از ترک خوردگي بتن به صورت خطي فرض شده است که تا کرنش کششي نهايي ۱۰ برابر کرنش ترک خوردگي ادامه دارد. شکل (۳) رابطه‌ي تنش- کرنش بتن در کشش تک محوره را معرفي مي‌کند.



شکل (۳) پاسخ بتن در کشش تک محوري [۲]

در نمونه‌هاي مدل سازي شده در بخش‌هاي بعدي فولادها به صورت اعضاي يک بعدي داراي جانمايي دقيق مدل شده‌اند. قيود بين بتن و فولاد به طور کامل در نظر گرفته شده؛ به طوري که درجات آزادي المان‌هاي فولادي به درجات آزادي المان‌هاي بتن اطراف آن مقيد باشد. براي جلوگيري از ناپايداري‌هاي عددي براي رفتار کاملاً پلاستيک يک مقدار مثبت کوچک به عنوان شيب منحني تنش- کرنش در ناحيه‌ي پلاستيک اختصاص يافته است [۵]. اعمال بار در نرم افزار به - صورت کنترل تغيير شکل، و روش حل عـددي مـورد استـفاده، براي ديوار روش نيوتن- رافسون و براي تير روش طول قوس ريکس است. در قسمت بعد تلاش شده است تا پارامترهاي نرم افزار آناليز اجزاي محدود با مدل کردن دو نمونه ديوار برشي کاليبره شوند.



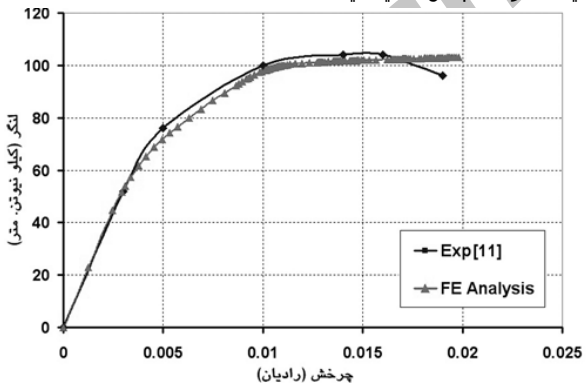
شکل (٤) مقطع ديوارهاي W1 و W2 آزمايش شده توسط سو و همکاران (در اين شکل d قطر ميلگردها است) [۱۱]

۵- تعيين صحت مدل سازي غير خطي و آناليز اجزاي محدود

الف - ديوارهاي برشي **W1** و **W2** [۱۱]

اين ديوارها توسط سو و همکاران آزمايش شدند. شکل (٤) مقطع ديوارها را نمايش مي‌دهد. مقاومت نمونه‌ي استوانه‌اي براي نمونه‌هاي W1 و W2 به ترتيب برابر ۵۸/۸ ، ۵۰/۹ مگا پاسکال، و مقاومت تسليم و مقاومت نهايي فولادها باربر ۴۱۲ و ۵۴۰ مگاپاسکال بوده است. ارتفاع نمونه‌ها ۱۵۱۵ ميلي‌متر است. اين ديوارها به صورت T شکل ساخته شده و مورد آزمايش قرار گرفته‌اند. بارگذاري ديوارها به صورت اعمال دو بار کششي و فشاري ثابت به مقدار ۵۰۰ کيلو نيوتن در دو انتهاي بال‌ها، نيروي پيش فشار ۶۰۰۰ کيلو نيوتني از پايين، و بار فشاري روي ديوار بوده است. در اين حالت توسط يک جک بار جانبي افقي برگشتي به صورت جا به جايي به ديوار وارد شده است. از آن جا که اين ديوارها به عنوان سه طبقه‌ي اول ديوار برشي يک سازه‌ي بلند مرتبه هستند، اين ترکيب بارگذاري و چگونگی اعمال آن مدلي از بارهاي طبقات بالاتر (وزن طبقات بالا، لنگر ناشي از برش و برايند نيروي برشي طبقات بالا) را به وجود آورده است. شکل‌هاي ۵ و ٦ منحني پوش لنگر- چرخش را براي دو ديوار برشي با نتايج آزمايشگاهي مقايسه کرده است.

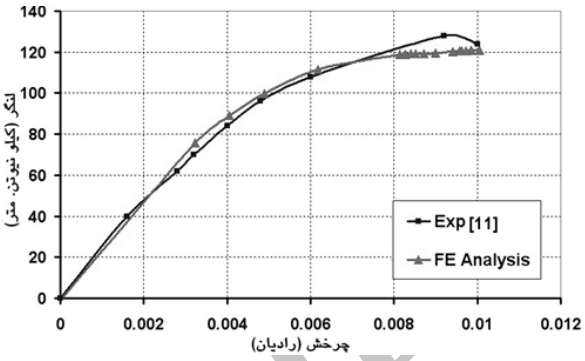
همان گونه که ملاحظه مي‌شود، مدل پلاستيسيته‌ي آسيب، به خوبي رفتار ديوارها را در مرحله‌ي خطي و قبل از ترک خوردگي، ترک خوردگي بتن و پس از آن، تسليم و رفتار سخت شدگي ميلگردها، پيش بيني مي‌کند.



شکل (۵) مقايسه‌ي نمودار لنگر- چرخش تحليلي و تجربي در ديوار W1

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

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



شکل (٦) مقایسه‌ي نمودار لنگر- چرخش تحلیلي و تجربي در دیوار W2

در مقاله‌های فني مطلبي در مورد تقویت دیوارهاي بلند مرتبه‌ي لاغر با مواد کامپوزیت FRPتوسط نگارندگان دیده نشده است. بنا بر این در قسمت بعد ابتدا سعي مي‌شود تیر لاغر بتني را که با FRP تقویت شده است در نرم افزار مدل شود تا از توانایي شبیه سازي اعضاي تقویت شده اطمینان حاصل گردد.

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

در این بخش با استفاده از روش مدل سازي 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 مي‌گردد. این تیر نمونه‌ي C از مجموعه تیرهایي است که توسط کنت وهمکاران در سال ۲۰۰۷ مورد آزمایش قرار گرفته است [۷]؛ سپس با کامپوزیت و چسب داراي مدول بالا تقویت شده است که نمونه‌ي تقویت شده‌ي آن H4 مي‌باشد. ابعاد، آرماتور گذاري و مشخصات مواد در شکل (۷) و جدول‌هاي (۱) و (۲) نشان داده شده است.

بار گذاري تیر به صورت اعمال بار در وسط دهانه‌ي ٤٥٤٠ میلي‌متري است. گفتني است که مود شکست نمونه‌ي تقویت شده جدا شدگي CFRP از تیر بوده است در این حالت مدل سازي رفتار چسب و المان مورد استفاده براي آن بسیار مهم مي‌شود. براي مدل سازي جدا شدگي، از المان چسبنده بین سطح بتن و FRP استفاده مي‌شود.

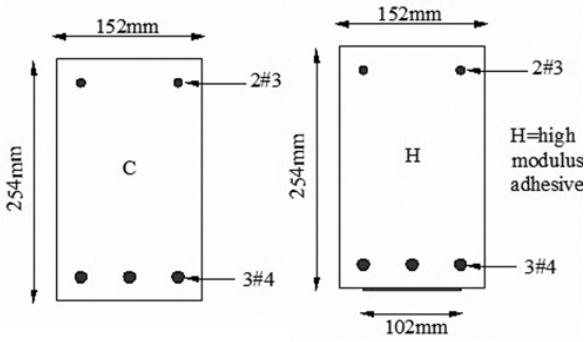
این المان از مدل لو و همکاران [۹] استفاده مي‌کند؛. و رفتار ماده‌اي آن در نرم افزار ABAQUS به صورت traction تعریف مي‌شود؛ و در واقع رفتار نسبي دو سطح را نسبت به یک‌دیگر معرفي مي‌نماید.

این المان چسبنده در صورت وجود تغییر مکان‌هاي نسبي بین دو سطح در جهات عمودي و دو جهت مماسي، باعث ایجاد به ترتیب یک تنش عمودي و دو تنش مماسي مي‌گردد. با افزایش تغییر مکان‌ها تنش‌ها کاهش مي‌یابند، تا در تغییر مکان نهایي به صفر مي‌رسند و دو سطح از یکدیگر جدا مي‌شوند. در این هنگام کار انجام شده توسط تنش‌هاي بین سطحي به انرژي گسیختگي تعریف شده توسط کاربر رسیده و المان سختي خود را از دست داده است.

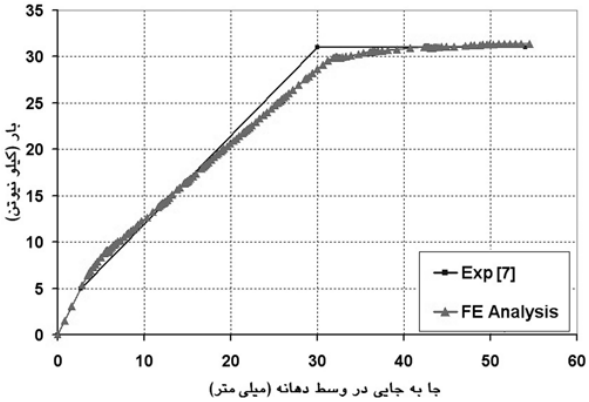
جدول (۲) مشخصات هندسي تیر آزمایش شده توسط کنت و همکاران (ابعاد به میلي‌متر) [۷]

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

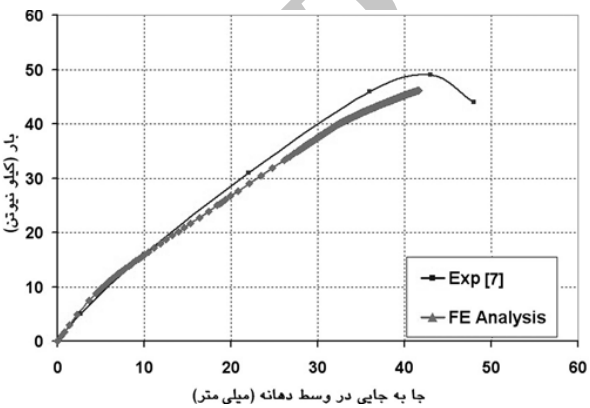
شکل‌هاي (۸) و (۹) نمودار بار- تغییر مکان وسط دهانه را به ترتیب براي نمونه‌هاي C و H نشان مي‌دهند. مقایسه‌ي نتایج تحلیلي و آزمایشگاهي نشان مي‌دهد که در نمونه‌ي تیر شبیه سازي شده، تنش ترک خوردگي بتن نسبت به نمونه‌ي آزمایشگاهي به موقع اتفاق مي‌افتد. هم‌چنین رفتار بتن در ناحیه‌ي غیر خطي در مدل تحلیلي با دقت خوبي از نمونه آزمایشگاهي پیروي مي‌کند.



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



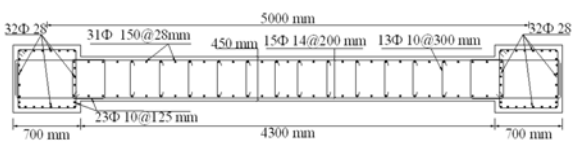
شکل (۸) نمودار بار جابجايي وسط دهانه در تير كنت (نمونه‌ي C)



شکل (۹) نمودار بار جابجايي وسط دهانه در تير كنت (نمونه‌يH)

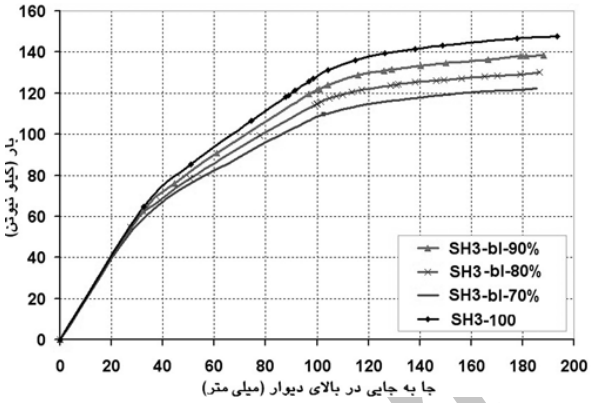
٦- بررسي اثرات تقويت اجزاي مرزي ديوار با كامپوزيت FRP

در اين قسمت اثر تقويت FRP بر روي ديوارهاي برشي مطالعه شده است. نمونه‌ي مورد مطالعه ديوار برشي ۱۳ طبقه‌اي از يک ساختمان مسكوني واقع در اصفهان است، كه با استفاده از آيين نامه‌ي ACI 318-99 و به روش مقاومتي طراحي شده و ملزومات آيين نامه‌ي بتن ايران (آبا) را هم برآورده مي‌نمايد. مقطع و ميلگردگذاری اين ديوار كه SH3-100 نام دارد، در شكل ۱۰ نشان داده شده است.



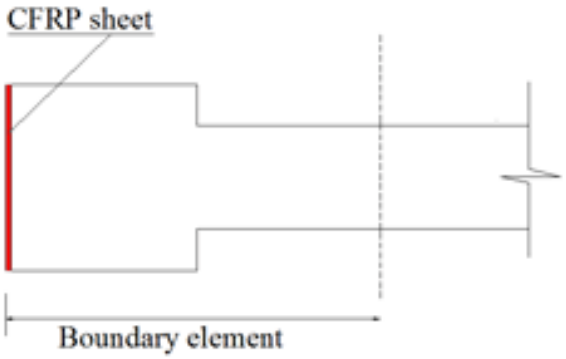
شكل (۱۰) مقطع و ميلگردگذاری ديوارSH3-100

اين ديوار با مقياس يک چهارم مدل سازي شد. قبل از اعمال تقويت بر روي ديوارها، اثر كاهش ميلگردهاي طولي در محل اجزاي مرزي بر رفتار ديوار مطالعه گرديده است. به اين منظور درصد ميلگردهاي طولي در اجزاي مرزي ديوارها به ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد مقدار آن در ديوار طرح شده بر اساس آيين نامه كاهش يافته است. در اين ارتباط نمونه‌ي SH3-bl-x نشان دهنده‌ي ديواري است كه مقدار فولاد طولي در جزء مرزي آن برابر x درصد مقدار آيين نامه‌اي است؛ و نمونه‌ي SH3-100 معرف نمونه‌ي استاندارد است كه مقدار فولادهاي آن مطابق آيين نامه است. نمونه‌ي SH3-bl-70% كه ديواري است كه در آن درصد ميلگردهاي طولي در اجزاي مرزي ديوارها ۷۰ درصد مقدار آيين نامه‌اي است و به عبارتي ديواري با ضعف در طراحي است، به منظور مطالعه‌ي اثر تقويت انتخاب شده است. منحني بار- تغيير مكان اين ديوارها در شكل ۱۱ نشان داده شده است.



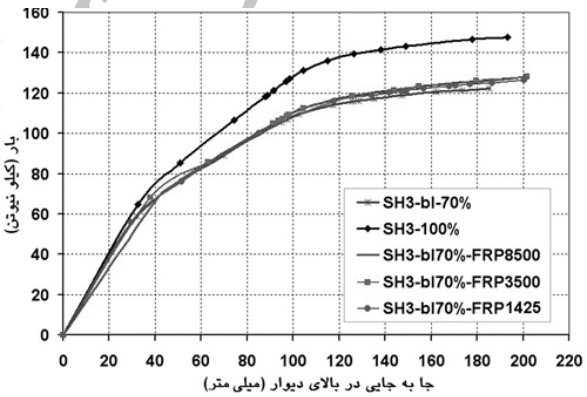
شكل (۱۱) اثر كاهش ميلگردهاي طولي در نمونه‌ي SH3

نمودارهاي شكل ۱۱ نشان مي‌دهند كه باربري ديوار SH3-bl-70% به ميزان ۲۵ درصد كم‌تر از ديوار استاندارد است. در ادامه نتايج بررسي اثر تقويت بر روي اين نمونه، با رفتار ديواري كه مطابق آيين نامه طراحي شده مقايسه مي‌شود، تا مشاهده گردد كه آيا تقويت مي تواند رفتار ديوار معيوب را به رفتار ديوار طرح شده بر طبق آيين نامه نزديک كند يا خير. همان طور كه در شكل ۱۲ نشان داده شده است، ورق تقويت بر روی وجه جانبی جزء مرزی متصل شده ، به گونه‌ای كه الياف آن در امتداد موازی ميلگردهای طولی قرار می‌گيرد.



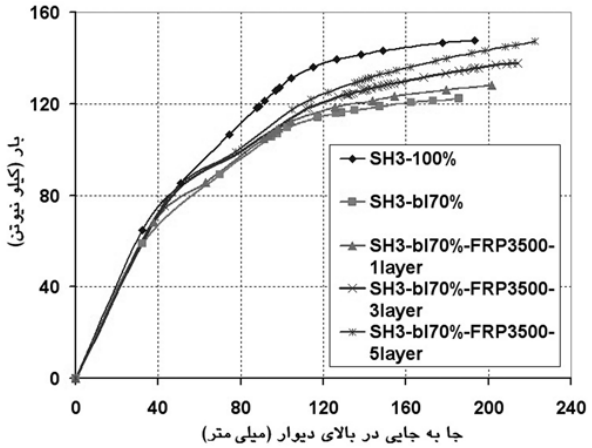
شکل (۱۲) چگونگی اتصال ورق کامپوزیت به دیوار

پارامترهاي مورد بررسي اثر ارتفاعي از دیوار که جزء مرزي تقويت مي‌شود؛ اثر تعداد لايه‌ها، و اثر عرض ورق FRP مي‌باشند. در شکل ۱۳ اثر طول ورق FRP نشان داده شده است. ورق FRP به طول‌هاي ۸۵۰۰، ۳۵۰۰ و ۱۴۲۵ ميلي‌متر بر روي جزء مرزي ديوار ضعيف به کار رفته است.



شکل (۱۳) اثر ارتفاعي از ديوار که با **FRP** تقويت مي‌گردد در نمونه‌ي **SH3-bl70%**

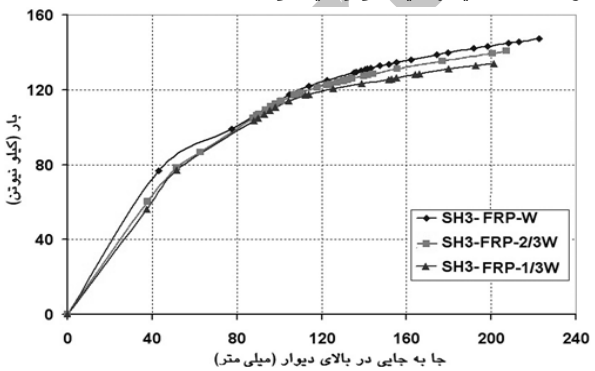
ملاحظه مي‌گردد اعمال تنها يک لايه FRP نمي‌تواند باربري ديوار ضعيف را به باربري ديوار استاندارد برساند. با توجه به شکل ۱۳ و با توجه به اين که استفاده از ورق FRP به طول ۸۵۰۰ ميلي‌متر (کل ارتفاع ديوار مقياس شده) و استفاده از FRP به طول ۳۵۰۰ ميلي‌متر (ارتفاع مفصل پلاستيک، که در اين ديوار سه طبقه‌ي پايين ديوار است) تفاوت چنداني بر باربري ندارد، در مطالعات بعد تمرکز بر روي تقويت ناحيه‌ي مفصل پلاستيک قرار دارد.



شکل (۱٤) اثر تعداد لايه‌هاي ورق FRP در اجزاي مرزي نمونه‌ي SH3-bl70%

شکل ۱۴ اثر تعداد لايه‌هاي FRP را نشان مي‌دهد. در نمودارهاي اين شکل مشاهده مي‌شود که افزايش تعداد لايه‌هاي FRP باعث افزايش باربري و نيز افزايش اندکي در شکل پذيري ديوار ضعيف مي‌شود. به طوري‌که استفاده از ۵ لايه FRP منجر به نزديک شدن باربري ديوار ضعيف به ديوار استاندارد و افزايش در بار تسليم ميلگردها شده است.

در شکل ۱۵ اثر عرض ورق FRP نشان داده شده است. در نمودارهاي اين شکل نمونه‌ي SH3- FRP-xW نمونه‌اي است که در آن عرض ورق FRP اعمال شده کسر x از عرض جزء مرزي، W، است. بدين ترتيب در نمونه‌ي SH3- FRP-W، عرض ورق FRP برابر عرض جزء مرزي است، و در دو نمونه-ي ديگر عرض ورق به يک سوم و دو سوم عرض جزء مرزي کاهش يافته است. در شکل ۱۵ مشاهده مي‌شود کاهش عرض ورق منجر به کاهش باربري و کاهش نقطه‌ي تسليم ميلگردها و کاهش جا به جايي نهايي ديوار مي‌شود.



شکل (۱۵) اثر کاهش عرض ورق **FRP** در اجزاي مرزي نمونه‌ي **SH3-bl70%**

۷- نتايج

۱- مدل پلاستيسيته‌ي آسيب قادر به شبيه سازي رفتار ديوار لاغر تحت بار مونوتونيک با دقت بالايي مي‌باشد.

۲- مطالعه بر روي نقش فولادهاي طولي اجزاي مرزي بر روي رفتار ديوار برشي بيان‌گر اين مطلب است که نقش اين نوع تقويت در ظرفيت حمل بار ديوار نسبت به جا به جايي آن چشم‌گيرتر است. کاهش ۳۰ درصدي در فولادهاي طولي اجزاي مرزي منجر به کاهش ۲۵ درصدي در ظرفيت باربري ديوار مي‌شود.

۳- اعمال ۱ لايه کامپوزيت بر روي اجزاي مرزي ديوار و تغيير در طول ورق FRP تأثير چشم‌گيري بر افزايش باربري ديوار نداشت. در اين حالت افزايش طول ورق نيز تأثير گذار نبود.

٤- استفاده از تعداد لايه‌هاي بيش‌تر FRP در ناحيه‌ي مفصل پلاستيک باعث بهبود باربري ديوار ضعيف شد؛ به گونه‌اي که مشاهده شد استفاده از ۵ لايه FRP باربري ديوار ضعيف را به ديوار استاندارد نزديک کرده و باعث بهبود بار تسليم ميلگردها شد.

۵- هر چند تغيير در طول ورق FRP تغييري در سختي اوليه‌ي ديوار تقويت شده نداشت، اما کاهش عرض ورق کامپوزيت منجر به کاهش سختي اوليه‌ي ديوار تقويت شده گرديد

۸- مراجع

[۱] مستوفي نژاد، د، سازه‌هاي 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.

[٤] 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.

[٦] 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] 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.

[۱٤] 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.

۹- زيرنويس 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