

مقاوم سازی دیوار برشی بتنی با الیاف پلیمری مسلح شده FRP به روش نصب در نزدیک سطح NSM با الگوهای نصب مختلف

سید علی موسوی داودی^۱

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه-دانشگاه طبری

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (Ali_mousavii@yahoo.com)

چکیده

چندین دهه است که بهسازی با FRP برای پل‌ها و سازه‌های ساختمانی برای افزایش مقاومت در برابر بارهای استاتیکی و شبه استاتیکی مثل افزایش بارهای مرده و زنده و یا برای بارهای دینامیکی مثل بهبود پاسخ لرزه‌ای یا انفجار مورد استفاده قرار می‌گیرد. کامپوزیت‌های FRP برای تقویت خمشی دال‌ها و تیرهای بتنی، مقاوم‌سازی برشی تیرها و مقاوم‌سازی محوری ستون‌ها و همچنین افزایش شکل‌پذیری ستون‌ها به طور موفقیت‌آمیز استفاده شده است. امروزه از دو روش برای متصل کردن مواد مرکب FRP به سازه‌های بتن آرمه استفاده می‌شود. روش نصب خارجی ورقه‌های EBR FRP، روش نصب نزدیک سطح NSM، در روش نخست ورق‌های پیش تنیده با چسب مخصوص عموماً اپوکسی به سطح عضو سازه‌ای متصل می‌شوند. روش دوم همانند روش نخست بوده با این تفاوت که به جای ورق‌های تسلیح کننده از تمسه‌ها و میلگردهای FRP که در شیاری از پیش تعیین شده بر روی سطح عضو قرار می‌گیرند و با چسب مخصوص به عضو سازه‌ای متصل می‌شوند. تکنیک‌های خانواده EBR علی‌رغم سهولت اجرا دارای معایبی از جمله آسیب‌پذیری در مقابل شرایط نامساعد محیطی می‌باشند. تکنیک‌های NSM اگر چه نسبت به روش‌های خانواده EBR فرآیند نصب زمان برتری دارند اما مصالح تقویت کننده را در مقابل اثرات محیطی تا حد بسیار زیادی محافظت می‌کنند. بدین جهت ما در نظر داریم مدل خود را به دلیل مقاوم بودن NSM در برابر بار انفجار با این روش تحلیل و بررسی کنیم. مهم‌ترین مزایای مقاوم‌سازی با FRP با روش NSM نسبت به سایر روش‌های مقاوم‌سازی به شرح زیر است، کاهش حجم عملیات مقاوم‌سازی به علت عدم نیاز به عملیات آماده‌سازی سطحی به تعویق افتادن پدیده جداسازی به دلیل محصور بودن مصالح FRP از سه طرف درون شیاری. امکان استفاده از این تکنیک در مقاوم‌سازی خمشی اجزای قاب‌های خمشی در نواحی لنگر منفی به دلیل محافظت از مصالح تقویت کننده در برابر سایش. حفاظت از مصالح تقویت کننده به وسیله پوشش بتنی و در نتیجه آسیب‌پذیری کمتر در مقابل ضربه‌ها و آسیب‌های مکانیکی آتش‌سوزی محیط‌های اسیدی و آلوکلانی پرتوهای فرابنفش و بمب‌گذاری و بارهای انفجاری این مقاوم‌سازی مبتنی بر فن‌آوری‌های نوین است و هر روز در حال تکامل و پیشرفت می‌باشد. بدین منظور، در این پژوهش سعی شده با مقایسه نمونه بتنی دیوار برشی با مدل تقویت شده این دیوار برشی با کامپوزیت FRP به روش NSM معایب و مزایای هر کدام بیشتر شرح داده شود و الگوهای مختلف نصب نوارهای NSM که یک بار بصورت مایل و قطری یک بار بصورت عمودی با ابعاد ۱۰×۱۰، در دو طرف دیوار برشی بتنی بررسی شود.

کلمات کلیدی: دیوار برشی بتنی، الیاف FRP، روش نصب NSM، تقویت و بهسازی

۱. مقدمه

دیوارهای برشی، اعضای اصلی برای مقابله با نیروهای جانبی در ساختمان‌های بتن‌آرمه هستند. آن‌ها باید علاوه بر تأمین مقاومت مناسب، شکل‌پذیری کافی را برای اجتناب از شکست ترد تحت بارهای جانبی قوی به ویژه در طی زلزله فراهم آورند. برای طراحی یک دیوار سازه‌ای شکل‌پذیر، بهتر آن است که تسلیم آرماتور خمشی در ناحیه مفصل پلاستیک که عموماً در پای دیوار شکل می‌گیرد، مقاومت، تغییر شکل غیرالاستیک و استهلاک انرژی را کنترل نماید؛ به عبارت دیگر برای تأمین شکل‌پذیری، بتن ناحیه فشاری دیوار برشی نباید قبل از تسلیم آرماتور خمشی خرد شود.

مصلح الیافی پلیمری FRP با الیاف‌های کربنی، شیشه‌ای یا آرامیدی که در یک زمینه پلیمری ساخته شده از اپوکسی یا پلی استر قرار دارند، به طور گسترده‌ای در سطح جهان در تقویت سازه‌های بتن‌آرمه بکار گرفته می‌شوند. علیرغم هزینه نسبتاً زیاد مصالح FRP، مزایای آن‌ها نظیر نسبت مقاومت به وزن بالا، مقاومت عالی در مقابل خوردگی و راحتی جابجایی و نصب باعث شده تا ژاکت‌های FRP به عنوان گزینه اول در تعداد زیادی از پروژه‌هایی مطرح باشد که در آن‌ها مقاومت زیاد یا ظرفیت تغییر شکل غیرالاستیک شکل‌پذیری و یا هر دو برای تقویت لرزه‌ای باید تأمین گردد.

در دو دهه گذشته، استفاده از مصالح کامپوزیتی FRP در مهندسی سازه با رشد چشم‌گیری روبرو شده است. این مصالح می‌توانند در سازه ساختمان‌ها و پل‌های جدید و نیز برای بهبود عملکرد ساختمان‌ها و پل‌های موجود مورد استفاده قرار گیرند. اگر چه حدود پنجاه سال است که از مصالح کامپوزیتی FRP به صورت محدود در طراحی سازه‌های جدید و ترمیم و بهبود رفتار سازه‌های موجود استفاده می‌شود و مدت‌ها است که مهندسين سازه طراحی ساختمان را با استفاده از این مصالح انجام داده‌اند اما تنها از سال 1991 میلادی مهندسين سازه در ایالات متحده آمریکا طراحی با کامپوزیت‌های FRP را بر اساس روندی نسبتاً فرموله شده شروع نمودند. تا حدود یک دهه قبل این مصالح به طور رسمی توسط آیین‌نامه‌های ساختمانی به رسمیت شناخته نشده بودند. آیین‌نامه‌های ساختمانی برای طراحی و استفاده از این مصالح در مهندسی سازه از یک دهه قبل تدوین گردیده است.

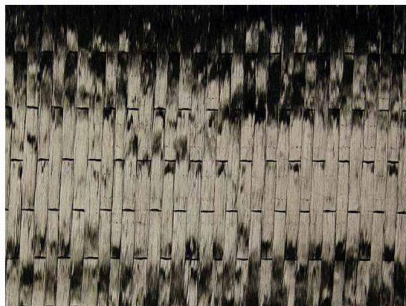
اگرچه در چند دهه گذشته روش‌های مختلف مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها در کشورهای صنعتی متداول گردید، اما برخی از این روش‌ها همانند مقاوم‌سازی با ژاکت بتنی و تقویت با ژاکت فولادی Steel Jacketing بیش از سایر روش‌های مقاوم‌سازی رواج داشت. از دهه ۹۰ میلادی با گسترش فن‌آوری و دانش استفاده از سیستم‌های کامپوزیتی FRP، روش مقاوم‌سازی با FRP به سایر روش‌های متداول مقاوم‌سازی افزوده شد. مقاوم‌سازی با FRP از آن جهت به سایر روش‌های مقاوم‌سازی ارجح بود که مزایای زیادی نسبت به روش‌های مقاوم‌سازی متداول داشت و درعین حال برخی از معایب روش‌های مقاوم‌سازی متداول را نیز نداشت. بسیاری از کارهای انجام‌شده برای تقویت و بهسازی ساختمان‌های بتنی با استفاده از کامپوزیت FRP که در آمریکا، ژاپن، کانادا و کشورهای اروپایی انجام شده است به طور مفصل در گزارش‌های جمع‌آوری‌شده توسط Nanni در سال 1991 ارائه شده است.

۲. انواع الیاف بافته شده FRP

الیاف بافته شده کامپوزیتی FRP، پارچه هایی با ضخامت کمتر از یک میلیمتر هستند که با ترکیب رزین تولید ورق هایی می کنند که به ورق FRP (با ضخامت چند میلی متر) معروف هستند. مصالح الیاف FRP بر اساس فیبرهای تشکیل دهنده به چندین دسته تقسیم می شوند که چهار نوع آن کاربرد بیشتری دارند و عبارتند از:

- الیاف GFRP که با آنها پلیمرهای کامپوزیت FRP مسلح شده با الیاف شیشه تولید می گردند.
- الیاف CFRP که کامپوزیتهای FRP مسلح شده با الیاف کربن از آنها تولید می گردند.
- الیاف AFRP آرامید
- الیاف BFRP بازالت

Carbon FRP(CFRP)



Glass FRP(GFRP)



Aramid FRP(AFRP)



Basalt FRP(BFRP)



شکل ۱- انواع الیاف بافته شده FRP

۳. کاربرد الیاف FRP

از مهمترین مواردی که توسط مصالح FRP اصلاح و مقاوم سازی می شوند عبارتند از:

- خوردگی و فرسایش سازه ای در سیستم های صنعتی، پالایشگاه ها و پتروشیمی
- ترک خوردگی و کنده شدگی بتن ناشی از خوردگی
- کاهش ظرفیت سازه ای
- نفوذ کلریدها
- کربناته شدن
- خوردگی فولادهای پس کشیدگی

تابیدگی دال های ریخته شده روی سطوح بستر
اشتباهات طراحی
میلگرد گذاری نادرست بتن
اجرای اشتباه خاموت ها
جدا شدگی سنگ دانه های بتن
خیز غیرمجاز دال و سقف بتن آرمه
کرمو شدگی سطح بتن و تجمع سنگدانه ها
تغییر در کاربری سازه ها و بارگذاریهای اضافی ثقلی و جانبی
نیاز به کاهش زمان ایجاد وقفه در حین ترمیم و مقاوم سازی
خوردگی میلگرد در بتن
ظرفیت خمشی ناکافی بتن
افزایش تعداد طبقات ساختمان های بتنی
افزایش ظرفیت برشی ترک در تیر بتنی و عرشه پل
ضعف اتصالات بتن
ترک در ستون های ساختمان ها و پل ها

۴. مزایای الیاف FRP

مهمترین مزایای مقاوم سازی با استفاده از FRP نسبت به سایر روشهای مقاوم سازی به شرح زیر هستند:

- مقاوم سازی با FRP بسیار سریع تر از سایر روشهای مقاوم سازی می باشد.
- مقاوم سازی با FRP نیاز به تخریب بخش هایی از سازه در مقایسه با سایر روشهای مقاوم سازی ندارد.
- پس از اجرای مقاوم سازی با FRP ، نیاز به بازسازی بخشهایی از سازه در مقایسه با سایر روشهای مقاوم سازی ندارد.
- مقاوم سازی با FRP در بیشتر موارد ارزاتر از سایر روشهای مقاوم سازی است.
- مقاوم سازی با FRP به مرور زمان دچار خوردگی نمی شود. (در مقایسه با بعضی روشهای مقاومسازی سنتی مانند ژاکت فولادی)
- مقاوم سازی با FRP در مجاورت مصالح ساختمانی (مانند گچ و خاک) دچار خوردگی نمی شود (در مقایسه با برخی روش های مقاومسازی سنتی مانند ژاکت فولادی).
- مقاوم سازی با FRP مبتنی بر فن آوری های نوین است (در مقایسه با سایر روش های مقاوم سازی سنتی) و بنابراین روش های مقاوم سازی با FRP هرروز در حال تکامل و پیشرفت می باشد .
- مقاومسازی با FRP دارای کد ها و آیین نامه های خاص برای مقاومسازی با FRP میباشد در حالیکه بیشتر روش های مقاوم سازی سنتی مبتنی آیین نامه های عمومی هستند (مانند مقاوم سازی به روش ژاکت بتنی و مقاومسازی به روش ژاکت فولادی).
- برای کنترل کیفیت مقاوم سازی با FRP روش های مشخصی مانند تست Pull Off وجود دارد که برای اطمینان از عملکرد صحیح سیستم مقاوم سازی با FRP باید پس از اجرای عملیات مقاوم سازی با FRP انجام شود.
- اجرای عملیات مقاوم سازی با FRP نیاز به تجهیزات خاصی در مقایسه با سایر روشهای مقاوم سازی ندارد.

- اجرای عملیات مقاوم سازی با FRP نیاز به افراد مختلف با مهارت های متعدد در مقایسه با سایر روش های مقاوم سازی ندارد

۵. معایب الیاف FRP

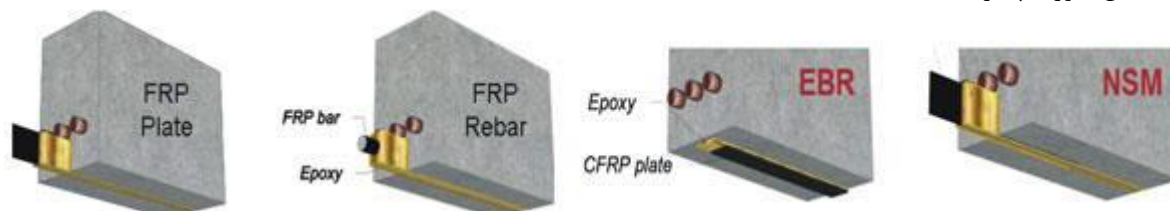
- امکان وقوع شکست ترد افزایش می یابد
- جدا شدن کامپوزیت از بستر بتنی خود
- آسیب پذیری در مقابل آتش سوزی
- استفاده از الیاف FRP در سطوح ناصاف امکان پذیر نیست

۶. تعریف سیستم NSM^۱

سیستم NSM که اختصاراً بیانگر ترکیب Near-Surface-Mounted می باشد متشکل از میله و یا صفحاتی است که در شیارهای ایجاد شده بر روی سطح بتن نصب می گردند. به منظور عملکرد کامپوزیت بتن و قطعه FRP قرار داده شده در داخل شیار، استفاده از چسب مخصوص مناسب (عمدتاً پایه اپوکسی) الزامیست. پخت رزین در دمای محیط و شرایط کارگاهی صورت می پذیرد. عمده ترین انواع مسلح کننده های NSM در دو گروه تقسیم بندی می شوند:

- میله های با سطح مقطع دایروی که با استفاده از فرایند پالتروژن تولید شده و به صورت شاخه ای یا رول (بر حسب قطر) موجود می باشند.

- میله و صفحات مستطیلی که با استفاده از فرآیند پالتروژن تولید شده و به صورت رول به کارگاه انتقال می یابند. مقاوم سازی اعضای سازه های بتن مسلح موجود (از قبیل تیرها، دال ها، دیوارها و ستون ها) با استفاده از EBR^۲ روشی نوین و استاندارد محسوب می شود. از مهمترین مود های شکست در اعضای بتنی تقویت شده با استفاده از این سیستم ها، Debonding و یا جدایش سیستم تقویت و سازه می باشد. تحقیقات آزمایشگاهی بسیاری در زمینه پیش بینی بار متناظر با این جدایش صورت پذیرفته است.



شکل ۲- مقاوم سازی اعضای سازه های بتن مسلح موجود با استفاده از (EBR)

در دهه اخیر تحقیقات زیادی در زمینه تعیین مشخصات سیستم جدید مقاوم سازی با استفاده از جاگذاری میله ها و نوارهای FRP در سطح بتن NSM، صورت پذیرفته است. هدف از بررسی روش NSM به عنوان جایگزینی برای روش EBR، کاهش ریسک Debonding Premature (جدایش پیش از موعد) می باشد.

۷. عملکرد سیستم های تقویت NSM

در سیستم مقاوم سازی با استفاده از تکنیک NSM، میله های FRP داخل شکاف های ایجاد شده توسط اره الماسه روی سطح بتن جاگذاری می شوند. به منظور ایجاد عملکرد کامپوزیت میان سطح بتن و میله FRP، شکاف ایجاد شده به همراه میله داخل آن بوسیله چسب پایه اپوکسی پر خواهد شد.

^۱ Near-Surface-Mounted

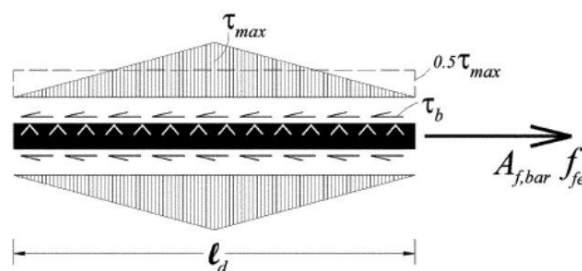
^۲ FRP Externally Bonded Reinforcement

استفاده از میلگردهای فولادی در تکنیک مقاوم سازی با استفاده از NSM، به اوایل ده پنجاه میلادی باز می گردد. استفاده از میله های FRP به جای میلگردهای فولادی دارای مزیت های گوناگونی همچون اجرای راحت تر به علت وزن کمتر، مقاومت بالا در برابر عوامل محیطی (خوردگی) و کاهش میزان پوشش بتنی^۳ مورد نیاز می باشد. سیستم مقاوم سازی با استفاده از NSM در قیاس با سیستم مقاوم سازی الیاف FRP، نیاز به آماده سازی کامل سطوح نداشته و مراحل اجرا به ایجاد شکاف و آماده سازی داخل آن ختم خواهد شد. همچنین به علت مدفون بودن این میله ها داخل رزین، مقاومت این سیستم نسبت به شرایط محیطی، و آسیب های اتفاقی مانند خراش، ضربه و آتش بیشتر می باشد. همچنین شایان ذکر است به علت مدول الاستیسیته پایین میله ها و میلگردهای GFRP (الیاف شیشه)، استفاده از آن ها عمدتاً به مقاوم سازی سازه های بنایی^۴ محدود شده است. جهت مقاوم سازی سازه های بتن مسلح با استفاده از روش NSM، میله ها و میلگردهای کربنی (CFRP) به عنوان بهترین و شاید تنها گزینه ی مناسب مطرح می باشند.

بر خلاف سیستم مقاوم سازی با استفاده از کامپوزیت رزین الیاف (EBR-FRP)، مبانی طراحی گسترده ای جهت استفاده از روش NSM برای مقاوم سازی موجود نیست. مقاومت این سیستم مستقیماً با نوع شکست در ارتباط است. مود های شکست بر اساس سطح بحرانی به صورت زیر متصور می باشند.

- شکست در سطح تماس میله با رزین
- شکست در سطح تماس رزین و بتن
- شکست داخل جسم بتن.

وقوع این شکست در هر یک از سه حالت فوق به تعداد زیادی از پارامترها از جمله: مشخصات مکانیکی مصالح، شرایط فیزیکی سطح شکاف و سطح میلگرد، هندسه میله، ابعاد شکاف و عمق میله در داخل بتن وابستگی مستقیم دارد. با افزایش ابعاد هندسی شکاف، انتقال نیرو بین بتن و میله های FRP بهتر صورت پذیرفته و چسبندگی مناسب تری ایجاد خواهد شد، اما عمق شکاف بر اساس میزان پوشش میلگرد های فولادی موجود کنترل می شود. همچنین در حین ایجاد شکاف اصل عدم آسیب به میلگردهای موجود در مقطع باید مد نظر قرار داده شود. چسبندگی میان میله های FRP و سطح بتن نقش حیاتی و مهمی را در عملکرد سیستم مقاوم سازی با NSM بازی می کند. کارایی باند به متغیر های زیادی همچون هندسه سطح مقطع میله و شرایط سطح آن، ابعاد شکاف، مقاومت برشی چسب، میزان سختی سطح شکاف، میزان پیش تنیدگی میله ها و همچنین به نوع بار (استاتیکی یا سیکلیک) بستگی خواهد داشت.



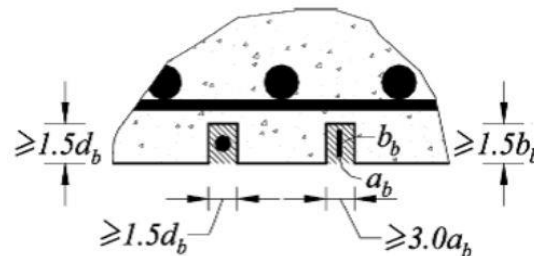
شکل ۳- نیروی کششی ایجاد شده در میلگردها

نوع چسب مورد استفاده در وهله اول توسط سازنده میله ها تعیین می شود. اگرچه مطابق تحقیقات صورت پذیرفته بروی هر دوی چسب های پایه سیمانی و پایه اپوکسی، استفاده از چسب های پایه اپوکسی توصیه شده است. بر این اساس، آیین نامه ACI440.2R-08 میزان مقاومت چسب در کشش را حداقل 1.4 MPa توصیه نموده و گسیختگی بتن (و نه چسب) باید

^۳ Cover

^۴ Masonary

کنترل کننده باشد. طبق آیین نامه ACI440.2R-08 میزان حداقل ابعاد هندسی شکاف را برای میله های دایروی، ۱.۵ برابر قطر میله و برای میله های مستطیلی با ابعاد $a \times b$ ، $3a \times 1.5b$ پیشنهاد می کند. همچنین حداقل فاصله میان شکاف ها برابر با دو برابر عمق شکاف و حداقل فاصله از گوشه ها نیز ۴ برابر عمق شکاف پیشنهاد شده است.



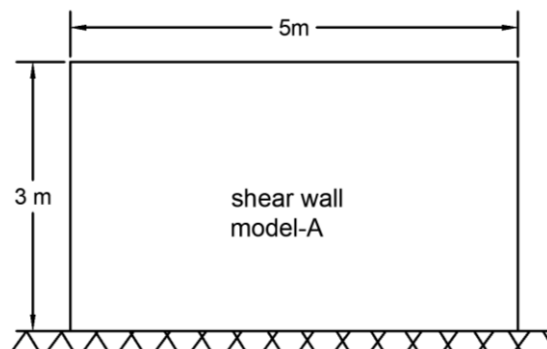
شکل-۴ نمایی از مقدار شکاف و پوشش میلگردهای مدفون در بتن

در نهایت می توان سیستم تقویت FRP با استفاده از تکنیک NSM را روشی بدیع و دارای کاربردهای خاص دانست. کماکان مطابق با تحقیقات صورت گرفته این روش به هیچ عنوان جایگزینی قطعی برای سیستم های EBR-FRP نمی باشد.

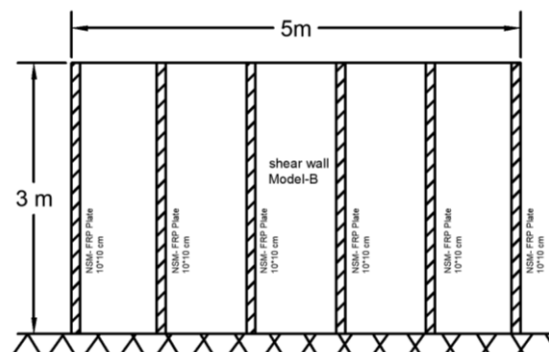
۸. روش تحقیق

۸-۱ معرفی نمونه های مورد تحلیل

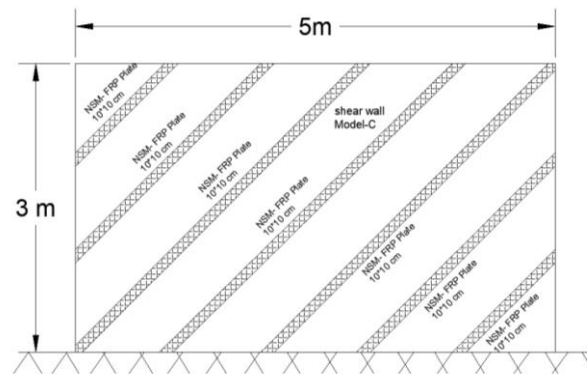
در این پژوهش از سه گروه مطالعاتی به نام های A, B و C استفاده کرده ایم که توسط برنامه آباکوس مورد تحلیل قرار خواهند گرفت در جدول ۱ مشخصات این گروه های مورد آزمایش و پارامترهای موثر این سه گروه را مشاهده می نمایید که در حالت کلی تشریح شده است.



شکل-۵ نمای هندسی مقطع نمونه A



شکل-۶ نمای هندسی مقطع نمونه B



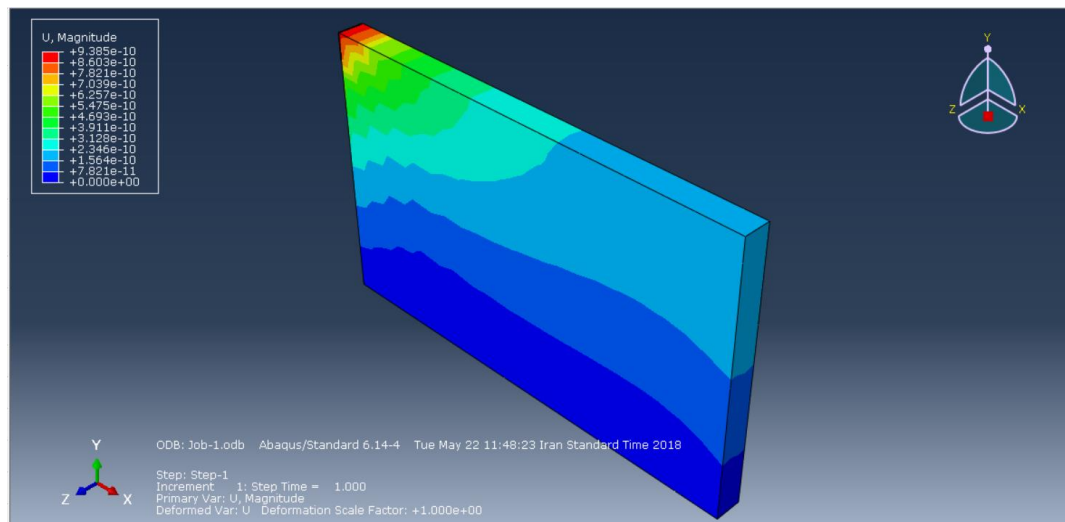
شکل ۷- نمای هندسی مقطع نمونه C

جدول ۱ مشخصات نمونه های مقطع مورد تحلیل

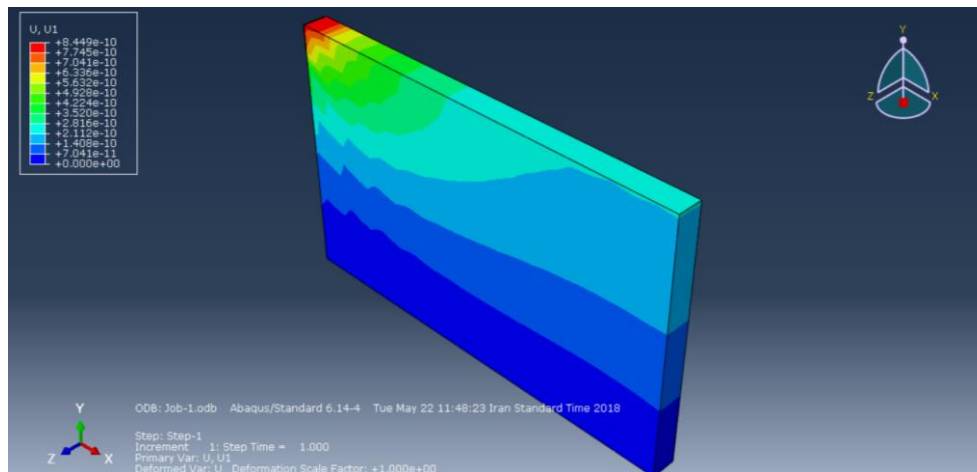
نام نمونه	نوع شکل ورق نصب FRP	ابعاد مقطع هندسی نمونه ها	مقاومت فشاری بتن
A	بدون ورق FRP	5m×3m	30 mpa
B	ورق نصب عمودی		
C	ورق نصب مایل		

۹. نتایج تحلیل نمونه های مورد مطالعه

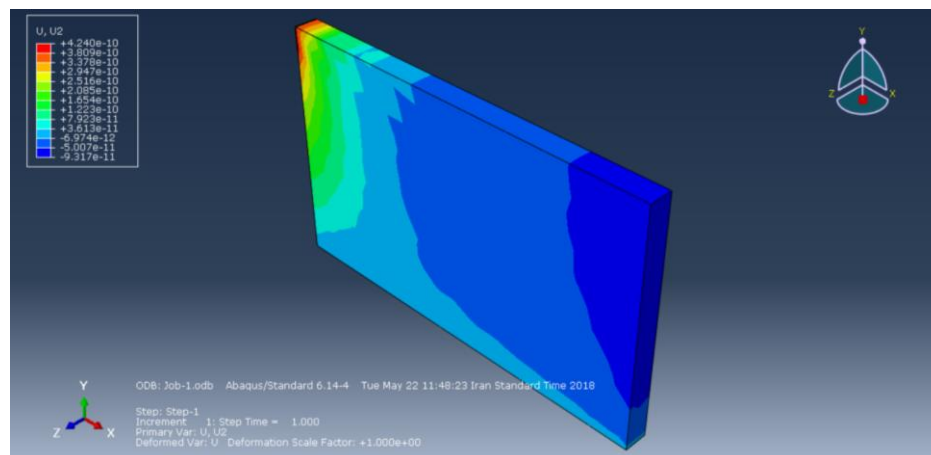
بعد از انجام تحلیل مدل های A در محیط Visualization می توانیم کنتورهای پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم ، در شکل زیر کنتور تغییر مکان نمونه مدل نمونه A را مشاهده کنیم.

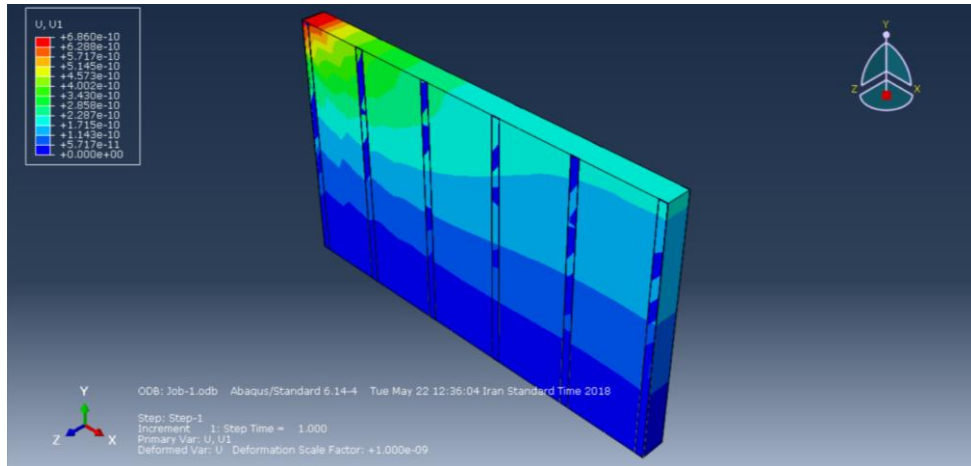


شکل ۸- توزیع تغییر مکان U در مدل A

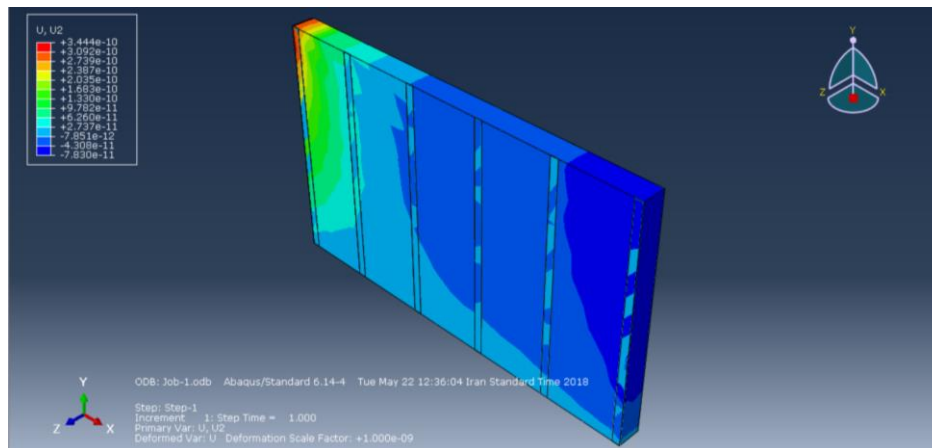


شکل ۹- توزیع تغییر مکان U-1 در مدل A



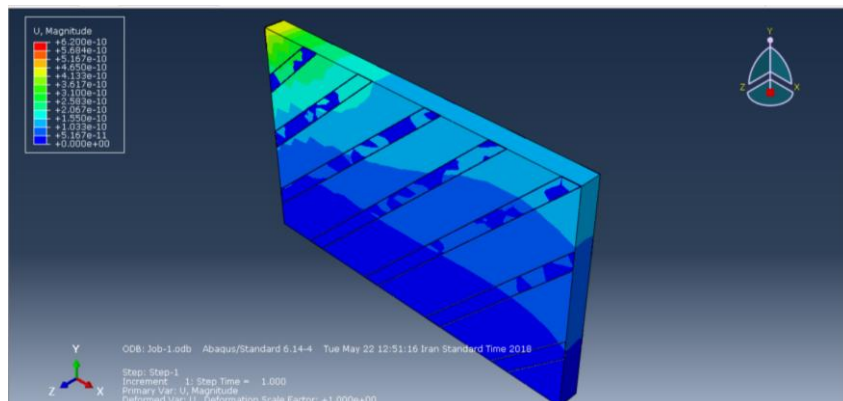


شکل ۱۲- توزیع تغییر مکان U-1 در مدل B

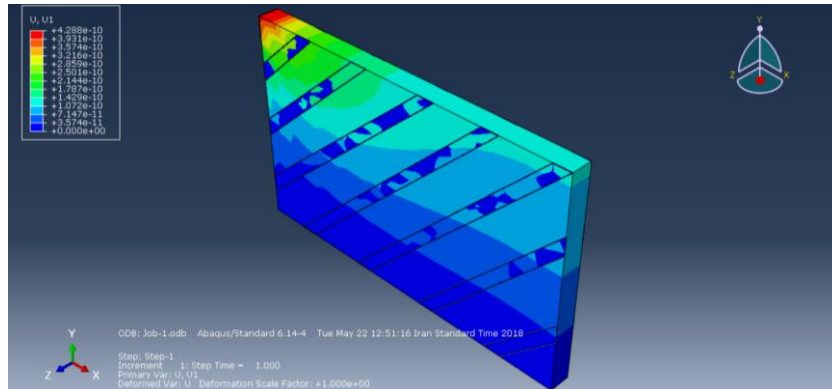


شکل ۱۳- توزیع تغییر مکان U-2 در مدل B

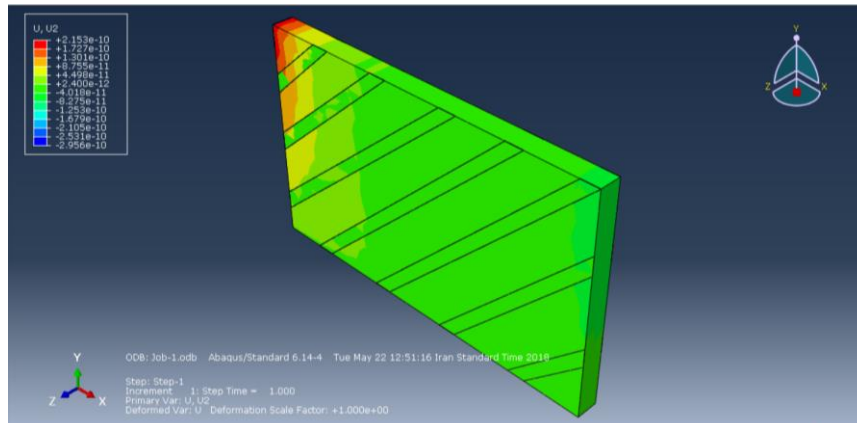
بعد از انجام تحلیل مدل های C در محیط Visualization می توانیم کنتورهای پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم ، در شکل زیر کنتور تغییر مکان نمونه مدل نمونه C را مشاهده کنیم.



شکل ۱۴- توزیع تغییر مکان نمونه در مدل B



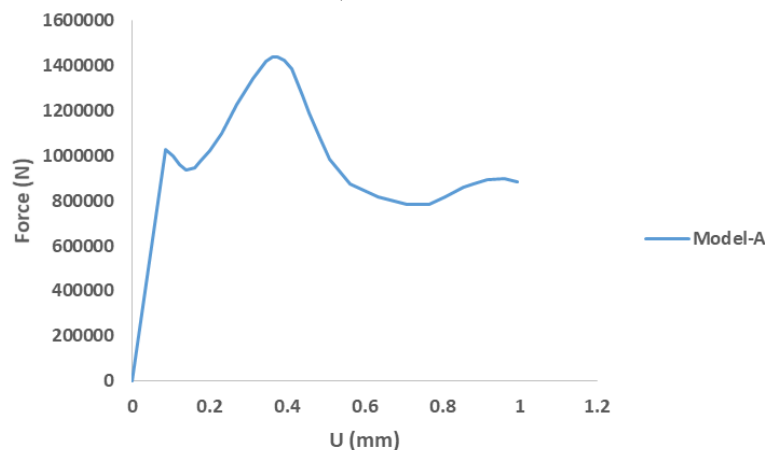
شکل ۱۵- توزیع تغییر مکان U-1 نمونه در مدل C



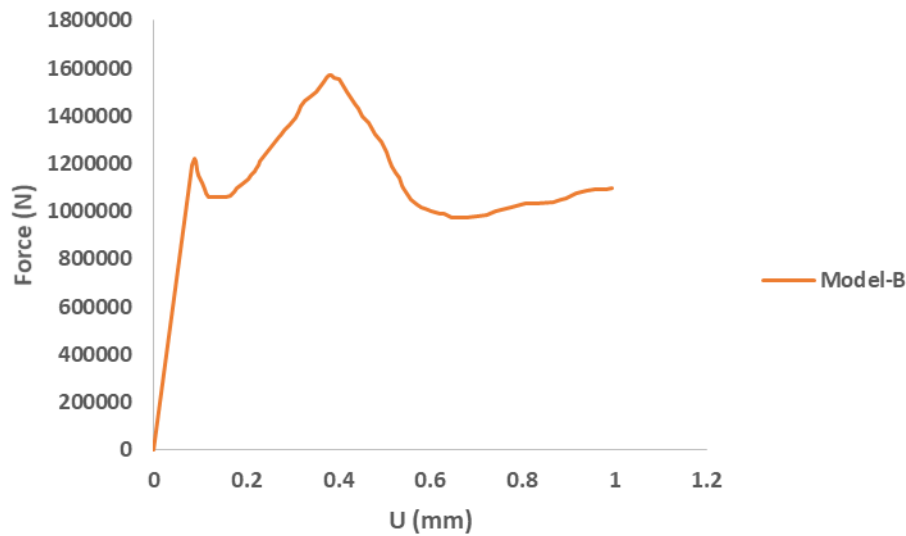
شکل ۱۶- توزیع تغییر مکان U-2 در مدل C

۱۰. نتایج نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه A,B,C

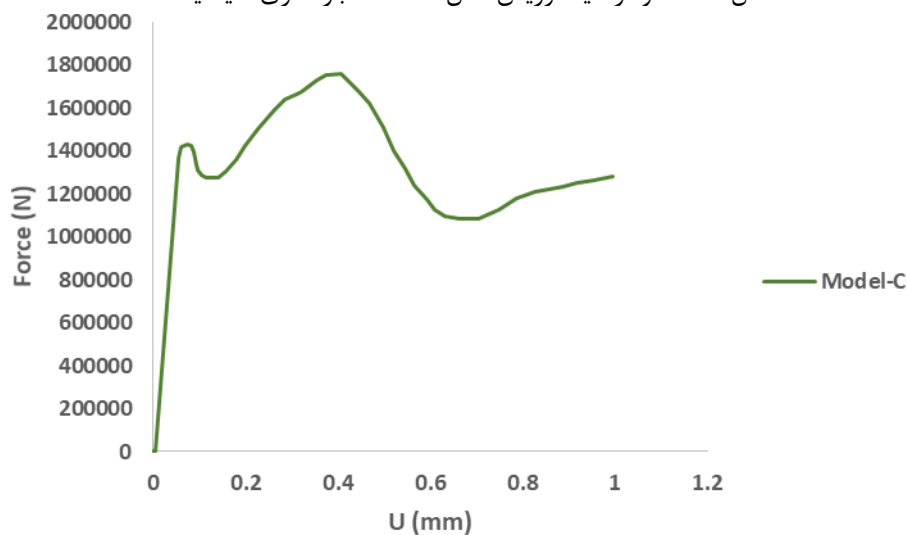
بعد از انجام تحلیل مدل های A در محیط Visualization می توانیم نمودار پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم، در شکل زیر نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه A را مشاهده کنیم.



شکل ۱۷- نمودار هیستریزیس مدل A تحت بارگذاری سیکلیک



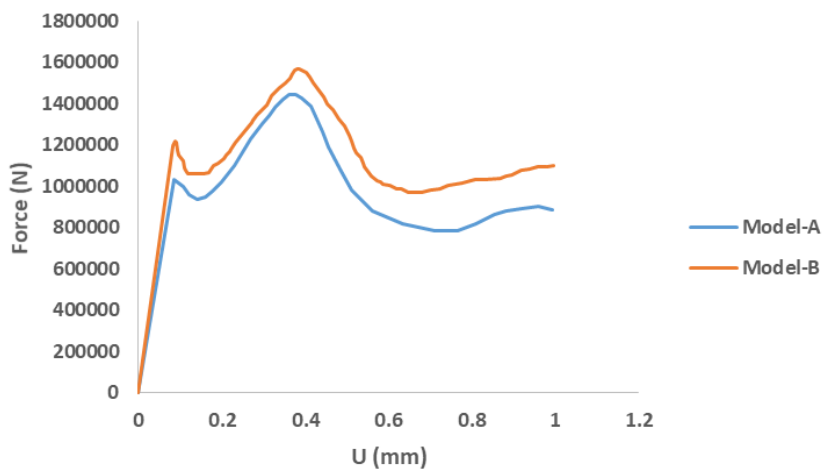
شکل ۱۸- نمودار هیستریزیس مدل B تحت بارگذاری سیکلیک



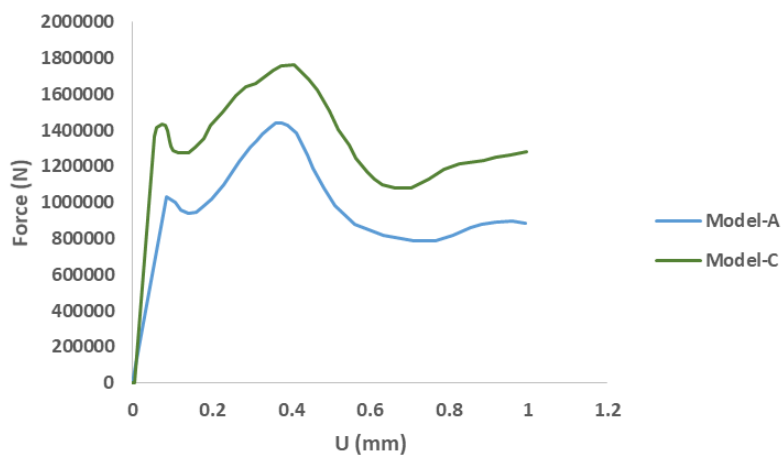
شکل ۱۹- نمودار هیستریزیس مدل C تحت بارگذاری سیکلیک

۱۱. مقایسه نتایج نمودارهای نیرو-تغییر مکان مدل های A,B,C

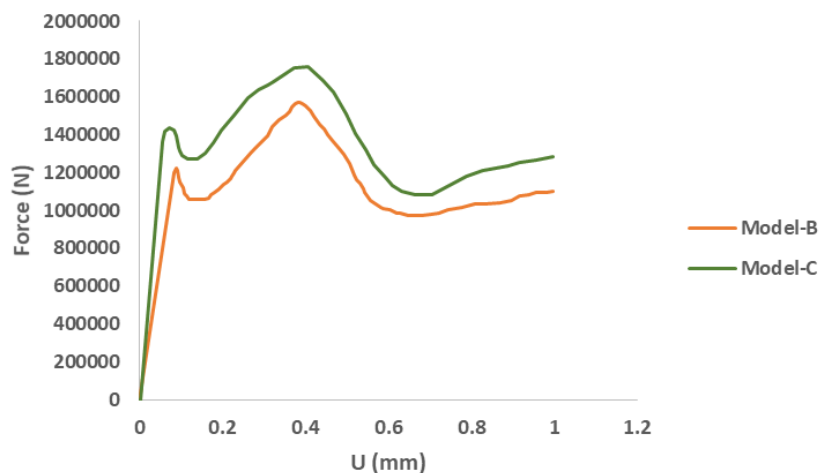
بعد از انجام تحلیل مدل های A,B,C در محیط Visualization می توانیم نمودار پارامترهای تحلیلی مختلف را مشاهده نماییم، در شکل زیر مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه های A,B,C را مشاهده کنیم.



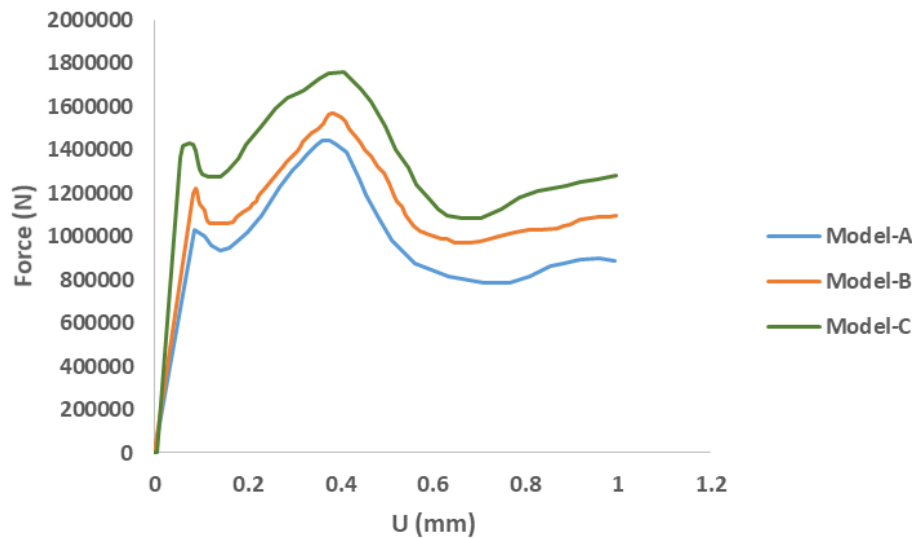
شکل ۲۰- مقایسه نمودار هیستریزیس مدل A و B تحت بارگذاری سیکلیک



شکل ۲۱- مقایسه نمودار هیستریزیس مدل A و C تحت بارگذاری سیکلیک



شکل ۲۲- مقایسه نمودار هیستریزیس مدل B و C تحت بارگذاری سیکلیک



شکل ۲۳- مقایسه نمودار هیستریزیس مدل A, B و C تحت بارگذاری سیکلیک

۱۲. نتیجه گیری

- بعد از مدلسازی و انجام تحلیل های اجزاء محدود نتایج زیر در این پژوهش حاصل شد.
- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییرمکان مدل B نسبت به مدل A مشاهده کردیم با تقویت دیوار برشی با استفاده از ورق های FRP نسبت به دیوار برشی بدون ورق های FRP، مقاومت نمونه B در حدود ۲۳،۱۲ درصد افزایش داشت.
 - با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییرمکان مدل C نسبت به مدل B مشاهده کردیم با تقویت دیوار برشی با استفاده از نصب ورق های FRP به صورت مایل نسبت به روش نصب عمودی، مقاومت نمونه C در حدود ۲۱،۱۶ درصد نسبت به مقاومت نمونه B افزایش داشت.

۱۳. مراجع

- [1]. Ehsani, M.M and saadatmanesh, H., 1997, "Fiber composites: An economical alternative for retrofitting earthquake-damaged precast-concrete walls", Earthquake Spectra, Vol. 13, No.2, 225-241.
- [2]. Lombard, J and Lau, D.T and Humar, J.L and Foo, S and Cheung, M.S., 2000, "Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls", Proceedings, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Silverstream, New Zealand, Paper No 2032
- [3]. Sugiyama, T and Uemura, M and Fukuyama, H and Nakano, K and Matsuzaki, Y., 2000, "Experimental study on the performance of the RC frame in filled cast-in place non-structural RC walls retrofitted by using carbon fiber sheets", proceedings, Twelfth World Conference on Earthquake

Engineering, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Silverstream, New Zealand, Paper No. 2153.

[4]. Antoniadis, K.K and Salonikios, T.N and Kappos, A.J., 2003, "Cyclic tests on seismically damaged reinforced concrete walls strengthened using fiber-reinforced polymer reinforcement", ACI Structural Journal, Vol. 100, No.4, 510-518.

[5]. Li, Z.J and Balendra, T and Tan, K.H and Kong, K.H., 2005, "Finite element modeling of cyclic behavior of shear wall structure retrofitted using GFRP", Proceeding, Fiber-Reinforced Polymer FRP Reinforcement for Concrete Structures, ACI, Farmington Hills, Mi., Paper No. 74.

[۶]. بهفرنیا، کیاچهر و علیرضا سیاح، ۱۳۸۹، بررسی اثر تقویتی ورقهای FRP بر ظرفیت نهایی دیوار برشی بتنی دارای بازشو با استفاده از روش اجزاء محدود، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد

[۷]. پناهی بروجنی، مینو، ۱۳۹۲، معرفی روش نوین مقاوم سازی تیربتنی با استفاده از الیاف پلیمری FRP به روش نزدیک به سطح NSM، اولین کنفرانس ملی بنای ماندگار، مشهد، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری مشهد

[۸]. کریمی، جمال الدین و امید کهنه پوشی، ۱۳۹۴، ارزیابی و مقاوم سازی دیوار برشی بتنی با استفاده از ورقهای پلیمری کربنی مسلح شده به الیاف CFRP، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیرساخت های شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس

[۹]. شاکری بروجنی، رضا؛ حامد صفاری و هومن ابراهیم پور کومله، ۱۳۹۴، بررسی تحلیلی تاثیر جنس FRP ها بر روی مقاوم سازی تیرهای بتنی به روش NSM، کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در علوم، مهندسی و فناوری با محوریت پژوهش های نیاز محور، مشهد، مؤسسه فراز اندیشان دانش بین الملل

[10]. Sinan Altina, Yağmur Kopramanb, Mehmet Baranc. Strengthening of RC walls using externally bonding of steel strips. Engineering Structures. Volume 49, April 2013, Pages 686–695

[11]. Teng JG, De Lorenzis L, Wang B, Rong L, Wong TN, Lam L. "Debonding failures of RC beams strengthened with near-surface mounted CFRP strips". J Compos Constr, ASCE ۲۰۰۶;۱۰(۲):۹۲–۱۰۵

[12]. Blaschko M. Zum tragverhalten von betonbauteilen mit in schlitze eingeklebten CFK-lamellen. Bericht ۲۰۰۱/۸ aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU Mu'nchen, ۲۰۰۱. ۱۴۷ pp [in German].

[13]. De Lorenzis L. "Strengthening of RC structures with near surface mounted FRP rods". PhD Thesis, Department of Innovation Engineering, University of Lecce, Italy, ۲۰۰۲.