



تأثیر نوع، ضخامت و نحوه شبکه بندی الیاف FRP در بهسازی دال‌های بتنی دارای بازشو

وحید صابری^{*}، حمید صابری^۱، مجتبی تراش^۲، عباسعلی صادقی^۳

^{*} استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه غیر انتفاعی ایوان کی، سمنان، ایران (saberi.vahid@gmail.com)

^۲ کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوان کی، سمنان، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۹/۲۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۱۸)

چکیده

این تحقیق به بررسی نوع، ضخامت و نحوه شبکه بندی و قرارگیری صفحات FRP با دال بتنی یک طرفه دارای بازشو می پردازد. شکست های برشی و خمشی، دو حالت عمده شکست در اعضای بتنی می باشد. یکی از راه های تقویت اعضای سازه‌ای استفاده از صفحات پلیمری می باشد که به دلیل ضخامت کم و تاثیر خوب و قیمت متعادل مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعه، ۹ نمونه دال تقویت شده یک طرفه با کامپوزیت های تقویتی (FRP) به صورت تکی، دوبل و محل قرار گیری مختلف مدل سازی و نتایج بررسی شده، که از این مقدار ۲ نمونه به صورت تک، ۳ نمونه به صورت دوبل و ۳ مورد با شبکه بندی مختلف می باشد که در انتها به مقایسه هریک از آنها پرداخته می شود. دال بتنی مسلح با ابعاد ۳۴۰۰ میلیمتر طول، ۲۵۰۰ میلیمتر عرض و ۱۶۰ میلیمتر ضخامت می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ و در فاصله ۲۰ میلیمتری از سطح دال قرار گرفته اند. پس از بررسی های صورت گرفته، مشخص شد که به طور کلی دال هایی که با الیاف CFRP تقویت شدند عملکرد بهتری به جهت باربری و شکست داشتند و با دو برابر کردن این صفحات تاثیر بهتری مشاهده می شود. در بحث قرار گیری FRP، هرچه نحوه شبکه بندی منظم و در محل قرار گیری نیرو قرار داده شود، تاثیر به سزایی دارد.

کلمات کلیدی

دال بتنی، بازشو، ضخامت، نحوه شبکه بندی، شکست‌های برشی و خمشی.



The Effect of Type, Thickness and Grid Mode of FRP Fiber on the Rehabilitation of Concrete Slabs with Opening

Vahid Saberi ^{1*}, Hamid Saberi ¹, Mojtaba Tarash ², Abbasali Sadeghi ³

^{1*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran
(saberi.vahid@gmail.com)

² MSc, Department of Civil Engineering, University of Eyvanekey, Semnan, Iran

³ Ph.D. Candidate, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

(Date of received: 11/12/2020, Date of accepted: 06/02/2021)

ABSTRACT

This study examines the type, thickness, and the way of gridding and placement of FRP sheets with concrete slabs. Shear and bending failures are two major failures in concrete members. One of the ways to reinforce structural members is to use polymer plates that are used due to their low thickness, good effect and balanced price. In this study, eight samples of reinforced concrete reinforced slab reinforced single, double and different location of modeling and results were investigated, of which 2 samples were single FRP, 3 samples were double FRP and 3 were grid mode of Reinforced concrete slab. Reinforced concrete slabs with dimensions of 3400 mm in length, 2500 mm in width and 160 mm in thickness. Longitudinal and transverse rebars with a score of 12 and at a distance of 20 mm from the surface of the slab. After reviewing, it was found that in general, slabs reinforced with CFRP fibers performed better in terms of loading and breaking, and by doubling these plates, a better effect is observed. In the discussion of FRP placement, whatever the regular grid mode and the placement of the force, has a great impact.

Keywords:

Concrete slab, Opening, Thickness, Grid Mode, Shear and Bending Failures.



۱- مقدمه

سازه های بتنی به دلایل خطاهای محاسباتی، اشتباه در ساخت و اجرا، ضعف آیین نامه های قدیمی، تغییر کاربری سازه و بارهای بهره برداری وارد به سازه، خوردگی و زنگ زدگی آرماتورها و ... ضوابط آیین نامه های جدید را ارضا نمیکند. لذا ارائه روش های مقاوم سازی، بهسازی و تعمیر چنین سازه هایی لازم است [۱]. مواد FRP^(۱) از دو جزء اصلی تشکیل شده اند: ۱. فایبر (الیاف) و ۲. رزین (ماده چسباننده)

فایبرها که اصولاً الاستیک، ترد و بسیار مقاوم هستند، جزء اصلی باربر در ماده FRP محسوب می شوند. بسته به نوع فایبر قطر آن در محدوده ۵ الی ۲۵ میکرون می باشد. رزین اصولاً به عنوان یک ماده چسباننده عمل می کند، که فایبرها را در کنار یکدیگر نگاه میدارد. نقش اصلی رزین انتقال بار خارجی به الیاف، محافظت از الیاف در تهاجم محیط خارجی (یونهای هجوم آورنده) جلوگیری از خسارت مکانیکی وارد به الیاف و کنترل کمانش موضعی الیاف تحت فشار می باشد. به طور کلی FRP ها به سه دسته (GFRP^(۲)، CFRP^(۳) و CFRP^(۴) تقسیم می شوند [۲]. FRP ها مصالحی سبک، با دوام و مقاوم هستند که امروزه به راحتی در دسترس مهندسين قرار گرفته اند. مصالح FRP در محیطهای مغناطیسی عایق می باشند و مشکل خوردگی ندارند، بنابراین با استفاده از این مصالح از مشکل خوردگی سازه های بتنی می توان جلوگیری نمود. همچنین این مصالح دارای خصوصیات مهمی از قبیل مقاومت کششی بالا می باشد که استفاده ی آنها را به عنوان مسلح کننده سازه های بتنی مناسب می نماید. اما معایب کامپوزیت پلیمری FRP عبارتند از: آسیب پذیری در مقابل آتش سوزی و کم تجربگی مشاوران و پیمانکاران در اجرای FRP همچنین رزین های به کار رفته در FRP نیز در معرض اشعه ماوراءبنفش و اعمال ساییدگی ضعیف هستند. از این مواد برای بهبود خواص دال های بتنی که نیاز به تقویت دارند هم استفاده می شود که در شرایط مختلف با اهداف مختلف و به اشکال مختلف به دال ها متصل می شوند. استفاده از اجزا FRP به عنوان تقویت، راه حل موثر برای غلبه بر مسائل طول عمر سازه های بتن آرمه به نظر میرسد که تاثیر به سزایی در تقویت خمشی دال های بتنی می گذارد [۳]. با توجه به مقاوم سازی تیرهای بتنی پیرامون آیین نامه های جدید یا نواقص طراحی که موجب ضعف این تیرها در برابر بار زلزله و بار متمرکز گردیده در این پژوهش راهحلی برای مقاوم سازی تیرهای بتنی با میلگرد و ورق FRP تحت بار افزون و چرخه ای ارائه می شود. FRP به عنوان یک مصالح ساختمانی جایگزین، در جنبه های مختلف سازه ای تبدیل شده است. می توان FRP را به طور خارجی به منظور بهبود ظرفیت خمشی و برشی تیرها، دال ها و دیوار برشی ساخته شده توسط بتن مسلح به طور موثر استفاده کرد. همچنین، می توان آن را در داخل به عنوان میلگرد تقویتی جایگزین فولاد معمولی در سازه بتن مسلح با توجه به مزایای آن، مانند، مقاومت در برابر خوردگی، نارسایی، نسبت مقاومت به وزن و وزن کم آن استفاده کرد. به تازگی، میلگردهای FRP در برخی از کشورها، مانند انگلستان، آلمان، کانادا و سوئیس استفاده شده است، در عرشه ی پل ها و جاده ها با توجه به استفاده فصلی از نمک یخزدایی که باعث می شود آرماتورهای زنگ بزنند. در عین حال، برخی از سازه های بتنی به مصالح نافلز به عنوان مصالح تشکیل دهنده نیاز دارند (مانند اتاق MRI) در بیمارستان یا آزمایشگاه های تحقیقاتی، و همچنین جاده ها و عرشه پل در نزدیکی میدان ها عوارض الکترونیکی). در تمام این موارد خاص، میلگردهای FRP جایگزین خوبی برای میلگردهای فولادی معمولی در سازه های RC می باشد. اگرچه FRP دارای مزایای بسیاری به عنوان مصالح ساختمانی پذیرفته شده، ذاتاً شکل پذیری کمی دارد [۴]. در صورتی که طراحی اولیه عضو نامناسب باشد، می توان با استفاده از الیاف FRP سختی و مقاومت خمشی را افزایش داد. اگر نسبت ضخامت (یا ارتفاع) عضو به دهانه آن کم باشد، سختی آن کم و در نتیجه خیز وسط دهانه عضو (تیر یا دال) افزایش می یابد. همچنین اگر مقدار آرماتور خمشی در تیر یا دال از حد نیاز کمتر باشد، ترک های خمشی در زیر تیر یا دال ایجاد می شود. این ترکها به صورت قائم بوده و در راستای خمش (عمود بر راستای آرماتورهای طولی) در محل لنگر خمشی بیشینه ایجاد می شوند. مقاوم سازی اعضای خمشی با الیاف (FRP) اهمیت زیادی دارد. این روش مقاوم سازی در سازه های متنوعی استفاده



می شود. برای مثال روش مقاوم سازی خمشی با FRP برای مقاوم سازی عرشه پل ها، تیر ساختمانهای مسکونی، دال ساختمان ها به طور متداول مورد استفاده قرار می گیرند. لذا انجام تحقیقات در زمینه بهسازی سازه ها با این الیاف علی الخصوص به شیوه های جدید و کاربردی در کشور ما ضروری بنظر می رسد چراکه بافت فرسوده و سازه های نیاز به بهسازی زیادی در کشورمان با توجه به لرزه خیز بودن وجود دارد. همانطور که می دانیم به علت مقاومت برشی کم بتن، از میلگرد برای تامین مقاومت برشی کافی در دالها استفاده می شود. چنانچه دال فاقد مقاومت برشی کافی باشد، ترکهای برشی در محل برش بیشینه، برای تکیه گاه، به صورت مایل با زاویه حدود ۴۵ درجه تشکیل می شوند. در اینگونه دالها بعد از اجرا یکی از کارآمدترین روشها، بهسازی با الیاف FRP می باشد. نیاز به انجام تحقیقات بیشتر بصورت آزمایشگاهی و عددی بمنظور درک صحیحی از عملکرد این شیوه بهسازی مخصوصا با روشهای جدید ضروری بنظر میرسد [۵]. با توجه به بررسی انجام شده در ادبیات فنی موضوع به نظر میرسد تاکنون تحقیقی برای تاثیر نحوه مش بندی الیاف FRP بر ظرفیت خمشی دال های بتنی تقویت شده انجام نشده است. همچنین انتظار می رود ضخامت الیاف FRP و نوع آن تاثیر مستقیمی بر ظرفیت خمشی دال داشته باشد. این فاکتورها می توانند تاثیر قابل ملاحظه ای بر میزان جذب انرژی تحت بارهای چرخه ای داشته باشد. به طور کلی نوع جنس الیاف و نحوه شبکه بندی الیاف با سطح یکسان می تواند بر باربری خمشی دال تقویت شده موثر باشد. چرا که سبب بهبود چشمگیر عملکرد دال خواهد شد. لذا در این تحقیق سعی بر آنست که یکی از شیوه های جدید بکارگیری الیاف FRP مورد ارزیابی قرار گیرد [۶].

۲- سوابق مطالعاتی

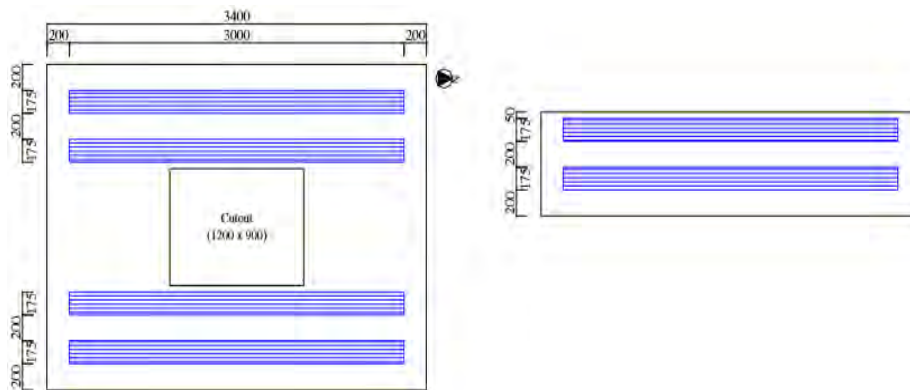
بار اولیه فاکتور مهمی است که بر استحکام نهایی تیرهای RC تقویت شده با لمینیت های CFRP در سطوح مختلف بار افزون اثر گذار است. بهسازی به صورت خارجی با ورق CFRP، ظرفیت باربری تیر ضعیف را افزایش میدهد در حالیکه این بهسازی، تحت بارگذاری افزون، شکل پذیری تیرهای تقویت شده را کاهش خواهد داد [۲]. برای بهسازی برشی تیرهای ضعیف با ورق CFRP افزایش تعداد ورق (ضخامت) و متعاقباً کاهش پهنای نوار CFRP اثر کمی روی ظرفیت باربری نهایی و شکل پذیری تیرهای تقویت شده دارد بطوریکه ظرفیت برشی تیرها به طور خطی افزایش می یابد [۲]. مسائل عدم چسبندگی به عنوان یک مانع مهم در مقابل سطح گسترده استفاده از کامپوزیت های FRP در تقویت و مسلح سازی و بهسازی مقاطع ارایه شده است. تجدید نظر در مسائل عدم چسبندگی در آیین نامه های طراحی برای استفاده عمومی از تکنیک های چسباندن ضروری می باشد [۳]. تیرها بهسازی شده با لمینیت CFRP که از طریق اپوکسی چسبانده شده به علت تاثیر پوسته پوسته شدن و گسیخته شدن پیش از رسیدن به ظرفیت نهایی خمش خود تخریب میشوند در حالیکه تیرهایی که با لمینیت های CFRP تقویت شده و با اپوکسی چسبانده شده و بعلاوه با پرچ بسته شده، تا زمانی که لمینیت ها بیشترین ظرفیت کششی را دارا هستند ادامه می یابد و بار متحمل می شود [۳]. تفاوت مشاهده شده در حالت های شکست بین معیار طراحی و مشاهدات تجربی تاکید می نماید که ضروری است تا مشخصات و مقادیر طراحی خمشی میلگرد FRP به خوبی تعریف شود تا به طور واقعی حالت شکست طراحی بدست آید [۴].

۳- صحت سنجی

برنامه آزمایشی شامل آزمایش شش مجموعه از عناصر بتن مسلح با و بدون تقویت FRP که در جدول (۱) ارائه شده است. دال مورد بررسی با سطح مقطع مستطیلی و با ابعاد ۳۴۰۰ میلیمتر در ۲۵۰۰ میلیمتر و به ضخامت ۱۶۰ میلیمتر می باشد که حفره ای



به ابعاد 1200×900 میلیمتر در وسط دال قرار داده شده است (نمونه شماره ۲). میلگرد های طولی با نمره ۱۰ در فاصله ۲۰ میلیمتری قرار دارند. مقطع کلی دال در شکل (۱) ارائه شده است [۷].



شکل ۱: سطح مقطع کلی دال [۵].

جدول ۱: جدول نمونه ها [۵].

جزئیات تقویت	جزئیات دال (میلیمتر)			نمونه	شماره
	A	B	H		
تقویت بدون FRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	SLAB ۱	۱
تقویت با CFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	SLAB ۲	۲
تقویت بدون FRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	SLAB ۳	۳
تقویت با CFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	SLAB ۴	۴
تقویت بدون FRP	۳۴۰۰	۸۰۰	۱۶۰	SLAB ۵	۵
تقویت با CFRP	۳۴۰۰	۸۰۰	۱۶۰	SLAB ۶	۶

برای اثبات درستی روش پیشنهادی، از میان نمونه های موجود در مدل آزمایشگاهی، یک نمونه دال بتن مسلح تقویت شده با FRP (نمونه شماره ۲) مدل و تحلیل می کنیم. سپس نتایج را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می کنیم، لذا با این توضیحات جدول نمونه طراحی با نرم افزار ABAQUS [۸-۹] به شرح زیر می باشد. با توجه به مقاله مرجع، این مقاله به صورت مجزا و ریز به ریز به بررسی مدل دال پرداخته، به همین دلیل برای نمونه نرم افزاری هم از نمونه دوم استفاده کرده ایم.



جدول ۲: نمونه‌ی مدل سازی.

جزئیات تقویت	جزئیات دال (میلیمتر)			نمونه	شماره
	A	B	H		
تقویت با FRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	SLAB۲	1

۳-۱- مدل سازی نمونه SLAB۲

نرم افزار ABAQUS یک نرم افزار شبیه‌سازی بسیار قدرتمند جهت تحلیل مسائل مهندسی می‌باشد. اساس کار این برنامه روش اجزا محدود بوده و محدوده وسیعی از مسائل مهندسی را می‌توان با استفاده از آن تحلیل کرد. در ABAQUS مجموعه کاملی از المان‌های مختلف وجود دارد. این المان‌ها شبیه‌سازی بیشتر مواد و سازه‌های مهندسی را در این نرم‌افزار ممکن می‌سازند. نمونه SLAB۲ دال یک طرفه در ابعاد ۳۴۰۰ در ۲۵۰۰ میلی‌متر و به ضخامت ۱۶۰ میلی‌متر مطابق نمونه آزمایشگاهی مدل سازی می‌شود. مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه برابر با ۴۲ مگا پاسگال است. در این مدل سازی طبق نمونه آزمایشگاهی از دو لایه ورق FRP استفاده شده است. کاور میلگرد های مدفون شده در دال ۲۰ میلی‌متر قرار داده شده، همچنین صفحات پلیمری با فاصله ۲۰۰ میلی‌متری از هم قرار داده شدند.

۳-۱-۱- مشخصات مصالح

مصالح مورد استفاده در این مدل فولاد، بتن و صفحات پلیمری می‌باشد که خصوصیات مصالح مورد استفاده به تفکیک در زیر ارائه می‌شود:

- مصالح فولادی: خصوصیات و نحوه معرفی آن‌ها، مطابق جدول (۳) اعمال می‌شود.

جدول ۳: مشخصات فولاد [۷].

چگالی (ρ Kg/m ³)	مدول الاستیسیته E(N/m ²)	ضریب پواسون (μ)
7850	200E+9	0.3

- مصالح بتن: خصوصیات و نحوه معرفی آن‌ها، مطابق جدول‌های (۴) و (۵) اعمال می‌شود.

جدول ۴: مشخصات بتن [۷].

چگالی (ρ Kg/m ³)	مدول یانگ (GPA)	ضریب پواسون (μ)
2450	29E+9	0.20

جدول ۵: پارامترهای مدل رفتاری CDP [۶].

Dilation Angle	Eccentricity	fb0/fc0	k	Viscosity
30	0.1	1.16	0.667	0.001

- مصالح FRP: خصوصیات و نحوه معرفی آن‌ها، مطابق جدول‌های (۶) و (۷) اعمال می‌شود. چگالی ورق های CFRP را ۱۸۰۰ مترمکعب در نظر می‌گیریم.



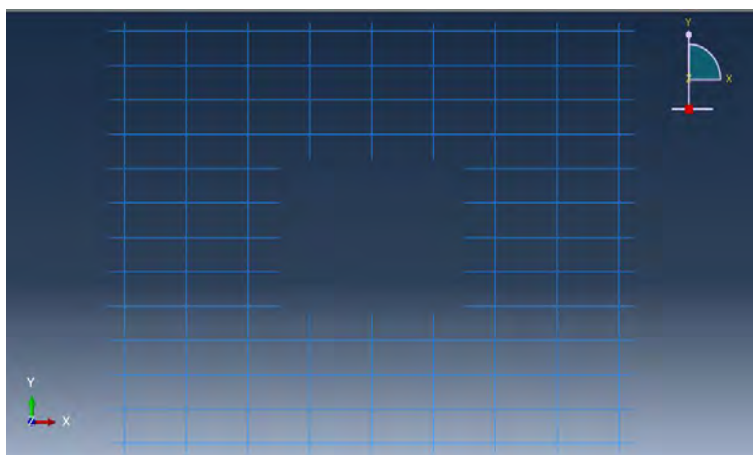
جدول ۶: خواص الاستیک CFRP [۷].

مدول برشی (G23)	مدول برشی (G13)	مدول برشی (G12)	ضریب پواسون (μ)	مدول الاستیسیته (E2)	مدول الاستیسیته (E1)
0.27e+9	0.27e+9	3.27e+9	0.3	62e+9	62e+9

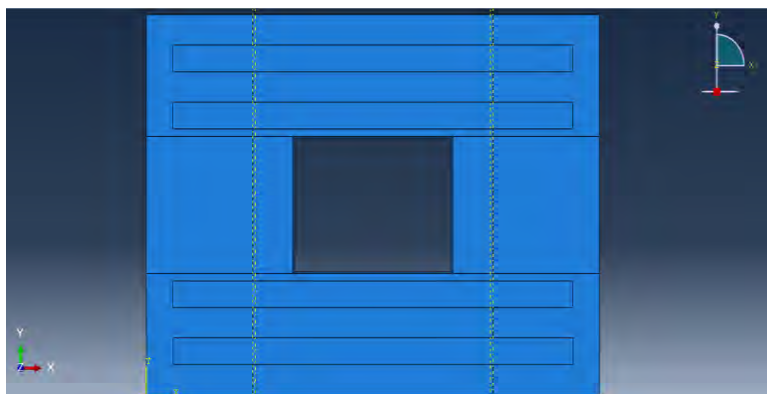
جدول ۷: خواص پلاستیک CFRP [7].

مدول برشی عرضی	مدول برشی طولی	استحکام فشاری عرضی	استحکام کششی عرضی	استحکام فشاری طولی	استحکام کششی طولی
4.8e+7	9.6e+7	7.4e+7	7.4e+7	9.58e+8	9.58e+8

مدلسازی میلگردها و دال بتنی به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است.



شکل ۲: مدل سازی میلگرد ها.

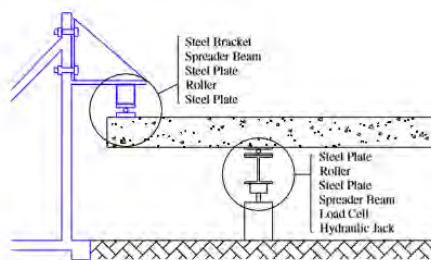


شکل ۳: مدل سازی دال بتنی مسلح شده.

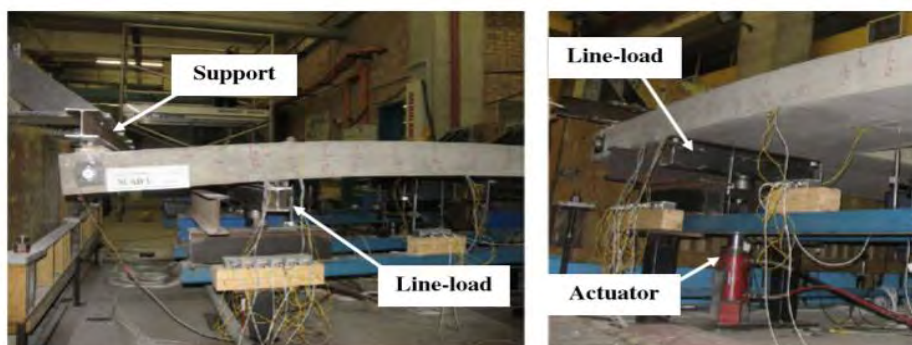


۳-۱-۲- بارگذاری

مراحلی که در ماژول Load انجام می‌شود مهم‌ترین اقدامات در راستای آماده‌سازی مسئله برای حل خواهد بود. اعمال شرایط مرزی و همچنین بارگذاری بر مسئله امری بسیار ضروری است و اصولاً تحلیل یک مسئله بدون بار (مکانیکی، حرارتی، الکترومغناطیس و ...) معنایی ندارد. به گونه‌ای که اگر در این بخش از طراحی اشتباهی رخ دهد نتیجه نهایی تغییر چشم‌گیری خواهد داشت. مطابق نمونه آزمایشگاهی بار فشاری به ۴ لاین پارتیشن خورده اعمال می‌شود. برای این کار در محل‌های مورد نظر پارتیشن بندی می‌کنیم و نیرو فشاری را با توجه به مدل آزمایشگاهی با اندازه ۷۶/۴ میلیمتر تغییر مکان اعمال شود. گفتنی است که بارگذاری با نام dis آورده شده و به صورت تغییر مکان اعمال شده است.



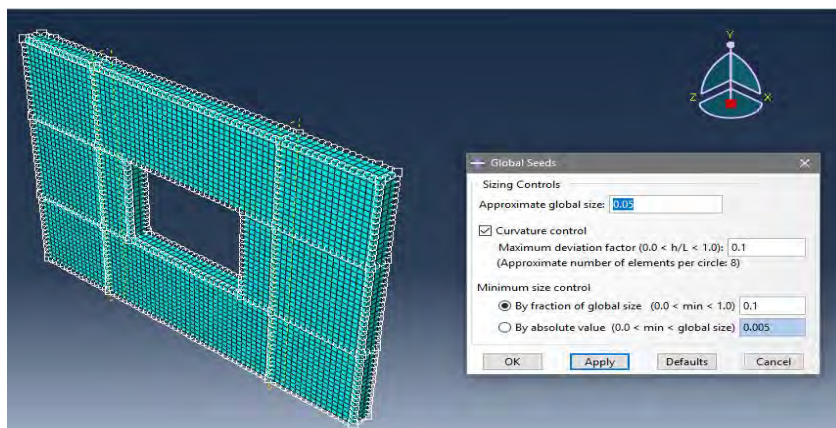
شکل ۴: نمایی از تست دال بتن مسلح تحت خمش [۷].



شکل ۵: نمایی از تست دال بتن مسلح تحت خمش در آزمایشگاه [۷].

۳-۱-۳- مش بندی

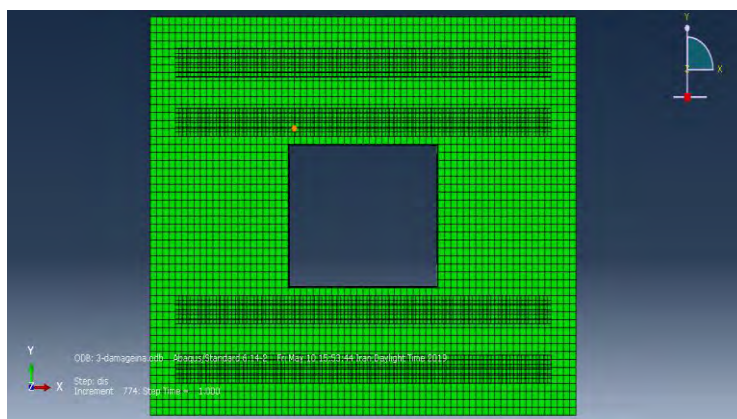
یکی از پارامترهای بسیار مهم در حل اجزای محدود، بحث زمان و هزینه حل است. این پارامتر به شکل مستقیم به تعداد المان‌های ایجاد شده بستگی دارد. دال بتنی، ورق CFRP و میلگرد ها همه مش بندی خواهند شد به عبارت دیگر هر قطعه موجود در ماژول part را که دارای هندسه باشد مش بندی خواهد شد. به طور کلی فرایند مش‌بندی شامل سه گام است. درگام نخست ویژگی‌های هر ناحیه از قبیل نوع المان، خواص هندسی و مصالح به کار گرفته شده مشخص می‌گردد و درگام بعد نوع و سایز المان‌ها تعیین می‌گردد. درانتهای کار نیز هندسه سازه با استفاده از الگوریتم‌های مناسب مش‌بندی می‌گردند. در این نمونه مقدار مش بندی ۰/۰۵ قرار داده شد تا نتایج در حد امکان دقیق باشد .



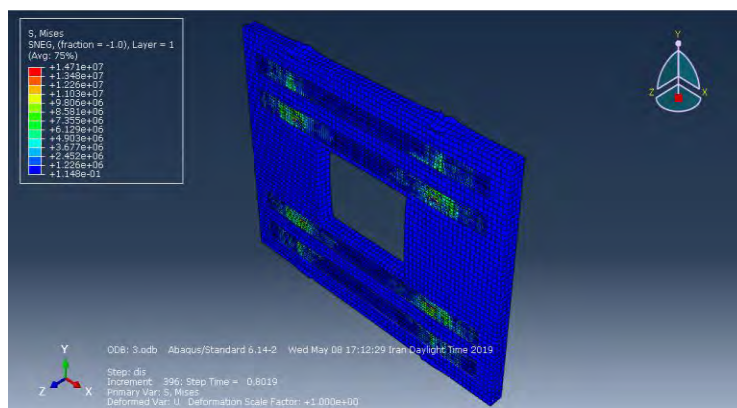
شکل ۶: مش بندی دال بتنی.

۳-۱-۴- تعریف مرحله تحلیل (نمونه SLABY)

در ماژول step که خواستار چگونگی نوع تحلیل است، تحلیل استایک خطی را انتخاب می کنیم. سپس در ماژول interaction اندرکنش میان دال و میلگرد ها در داخل بتن مدفون شده را تعریف می کنیم. در مرحله بعدی ورق CFRP را با اعمال قید Tie به یکدیگر می چسبانیم.



شکل ۷: نمونه مش بندی بعد از تحلیل.

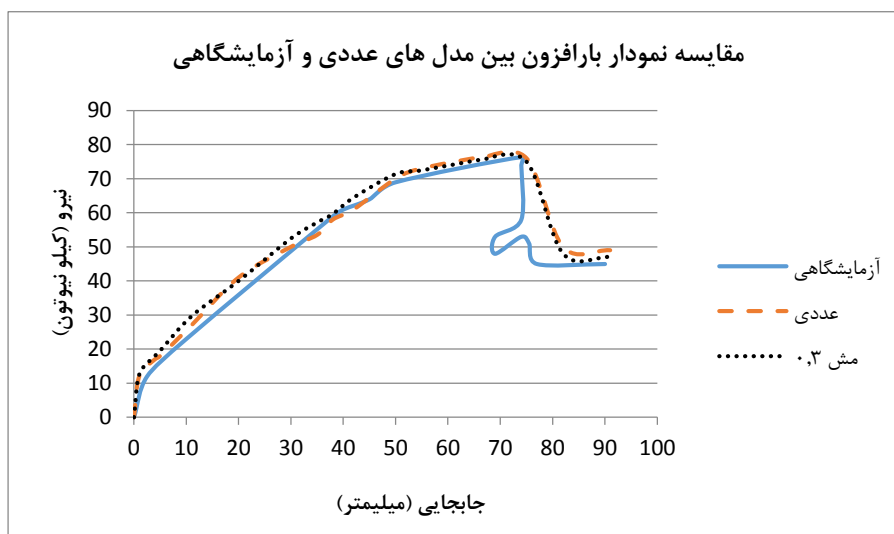


شکل ۸: تنش ون میسز (تمام شکل) (pa).



۳-۱-۵- مقایسه کمی نتایج نمونه عددی و آزمایشگاهی دال بتن مسلح تقویت شده با CFRP

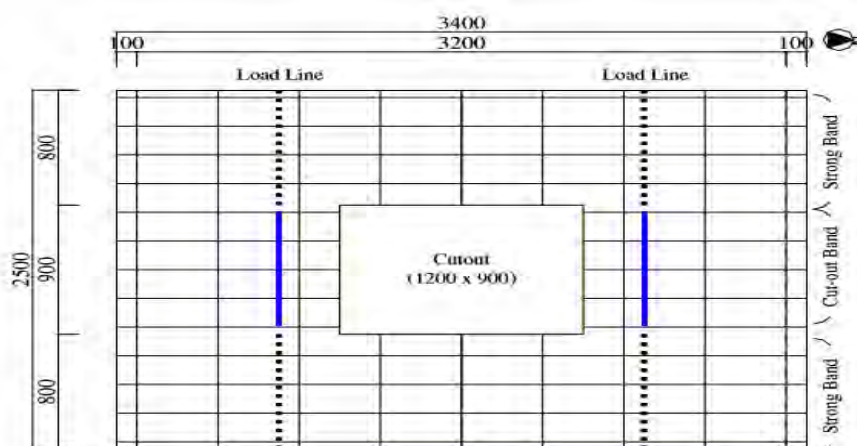
نمودار مدل بررسی شده مربوط به دال بتن مسلح تقویت شده با دولایه CFRP می باشد. هر دو نمودار آزمایشگاهی و نمودار نرم افزاری را روی هم انداخته و با هم مقایسه نموده. نتایج حاصل از بار جابجایی نشان دهنده تجزیه و تحلیل عناصر آزمایشگاهی با نمونه اجزا محدود نزدیک بهم بوده و با نتایج از مون همبستگی دارد. مطابق شکل (۹) نتایج حداکثری از نتایج آزمایش کمتر از ۱۰٪ می باشد که سبب شده نتایج عددی و آزمایشگاهی از انطباق بسیار مناسبی برخوردار می باشند. لازم به ذکر است که نمودار با رنگ قرمز نقطه چین نتایج حاصل از نرم افزار با مش ۰/۰۵ و نمودار آبی رنگ حاصل از نمونه آزمایشگاهی است. پس از مدل سازی مقدار ضریب باربری برابر با ۱۴۷/۱ کیلو نیوتن، حداکثر تنش کششی ۲۳/۴۹٪، حداکثر تنش فشاری ۱۸/۹٪، سختی برابر با N/m ۳۱۰۲۶ و میزان انرژی ۳۱ کیلوژول را شاهد بودیم.



شکل ۹: نمودار دال بتن مسلح مدل های نرم افزاری و آزمایشگاهی.

۴- روش تحقیق

در این تحقیق، مطابق شکل (۱۰)، دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ارتفاع (عمق) ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشند که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. مقطع کلی دال در شکل یک آورده شده است. هشت نمونه برای مدل سازی با ابعاد یکسان انتخاب و در جدول زیر آورده شده است. مطابق با جدول (۸) مشخصات دال ۴۲ مگا پاسکال و جنس فولاد از Fe 500 استفاده شده است [۱۰-۱۱]. میلگرد طولی و عرضی ۱۲ میلی متر در نظر گرفته شده است. مقاومت کششی و فشاری به ترتیب ۵۱۲ و ۶۲۰ مگا پاسکال می باشد. بارگذاری طبق بار اعمال شده در نمونه آزمایشگاهی بصورت خطی خواهد بود. بر این اساس تعداد ۸ نمونه بصورت جدول (۸) معرفی می شوند: در نمونه اول تقویت با ۲ لایه ورق GFRP، در نمونه دوم تقویت با ۲ لایه ورق AFRP، در نمونه سوم تقویت با ۴ لایه ورق CFRP، در نمونه چهارم تقویت با ۴ لایه ورق GFRP، در نمونه پنجم تقویت با ۴ لایه ورق AFRP، نمونه ششم تقویت با ۲ لایه ورق CFRP با قرارگیری لایه ها به صورت عمودی، نمونه هفتم تقویت با ۲ لایه ورق CFRP با قرارگیری لایه ها به صورت مورب و نمونه هشتم تقویت با ۲ لایه ورق CFRP با تقسیم تعداد لایه ها به ۸ مورد بررسی قرار خواهد گرفت (جدول ۸).



شکل ۱۰: مقطع کلی دال.

جدو ۸: جدول نمونه ها.

جزئیات تقویت	جزئیات دال (میلیمتر)			نمونه	شماره
	A	B	H		
تقویت با ورق CFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	SLAB۲	۱
تقویت با ورق GFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	2-GFRP	۲
تقویت با ورق AFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	2-AFRP	۳
تقویت با ۴ لایه ورق CFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	4-CFRP	۴
تقویت با ۴ لایه ورق GFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	4-GFRP	۵
تقویت با ۴ لایه ورق AFRP	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	4-AFRP	۶
تقویت با ورق CFRP (قرارگیری لایه ها به صورت عمودی)	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	2-11-CFRP	۷
تقویت با ورق CFRP (قرارگیری لایه ها به صورت مورب)	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	2-X-CFRP	۸
تقویت با ورق CFRP با تقسیم تعداد لایه ها به ۸	۳۴۰۰	۲۵۰۰	۱۶۰	2-8-CFRP	۹

۱-۴- مواد و مصالح

فولاد مصرفی از نوع ST 37 برای ارماتورهای طولی و عرضی با مدول الاستیسیته ۲۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری بتن مورد استفاده ۳۰ مگا پاسکال می باشد. پارامترهای مدل رفتاری CDP، رفتار فشاری و آسیب فشاری بتن، مقادیر رفتار کششی و مشخصات الیاف FRP در جداول (۹) الی (۱۴) کامل آورده شده است.

جدول ۹: مشخصات فولاد [۱۲].

چگالی (ρ) (Kg/m^2)	مدل الاستیسیته (E) (N/m^2)	ضریب پواسون (μ)
7850	9E+200	0.3



جدول ۱۰: مشخصات بتن با مقاومت فشاری ۴۲ مگا پاسکال [۱۲].

چگالی (ρ) (Kg/m^2)	مدل یانگ (GPA)	ضریب پواسون (μ)
2450	9E+29	0.20

جدول ۱۱: پارامترهای مدل رفتاری CDP [۱۳].

Dilation Angle	Eccentricity	fb0/fc0	k	Viscosity
30	0.1	1.16	0.667	0.001

جدول ۱۲: مشخصات CFRP استفاده شده در نرم افزار آباکوس [۱۴].

E1 (N/mm ²)	E2 (N/mm ²)	ν_{12}	G12 (N/mm ²)	G13 (N/mm ²)	G23 (N/mm ²)
230000	17860	0.3	10000	10000	10000
مقاومت کششی طولی (N/mm ²)	مقاومت فشاری طولی (N/mm ²)	مقاومت کششی عرضی (N/mm ²)	مقاومت فشاری عرضی (N/mm ²)	مقاومت برشی طولی (N/mm ²)	مقاومت برشی عرضی (N/mm ²)
3450	2760	133	536	117.4	117.4

جدول ۱۳: مشخصات GFRP استفاده شده در نرم افزار آباکوس [۱۴].

E1 (N/mm ²)	E2 (N/mm ²)	ν_{12}	G12 (N/mm ²)	G13 (N/mm ²)	G23 (N/mm ²)
3860000	8270000	0.22	414000	414000	414000
مقاومت کششی طولی (N/mm ²)	مقاومت فشاری طولی (N/mm ²)	مقاومت کششی عرضی (N/mm ²)	مقاومت فشاری عرضی (N/mm ²)	مقاومت برشی طولی (N/mm ²)	مقاومت برشی عرضی (N/mm ²)
1960	6100	310	118	720	590

جدول ۱۴: مشخصات AFRP استفاده شده در نرم افزار آباکوس [۱۵].

E1 (N/mm ²)	E2 (N/mm ²)	ν_{12}	G12 (N/mm ²)	G13 (N/mm ²)	G23 (N/mm ²)
67000	4700	0.22	158600	158600	158600
مقاومت کششی طولی (N/mm ²)	مقاومت فشاری طولی (N/mm ²)	مقاومت کششی عرضی (N/mm ²)	مقاومت فشاری عرضی (N/mm ²)	مقاومت برشی طولی (N/mm ²)	مقاومت برشی عرضی (N/mm ²)
312	1420	145	36	53	53

لازم به ذکر است که نمونه ها به صورت زیر نام گذاری شده اند:

نمونه اول تقویت با ورق GFRP : 2-GFRP

نمونه دوم تقویت با ورق AFRP : 2-AFRP

نمونه سوم تقویت با ۴ لایه ورق CFRP : 4-CFRP

نمونه چهارم تقویت با ۴ لایه ورق GFRP : 4-GFRP

نمونه پنجم تقویت با ۴ لایه ورق AFRP : 4-AFRP

نمونه ششم تقویت با ورق CFRP با قرارگیری لایه ها به صورت عمودی : 2-11-CFRP

نمونه هفتم تقویت با ورق CFRP با قرارگیری لایه ها به صورت مورب : 2-X-CFRP



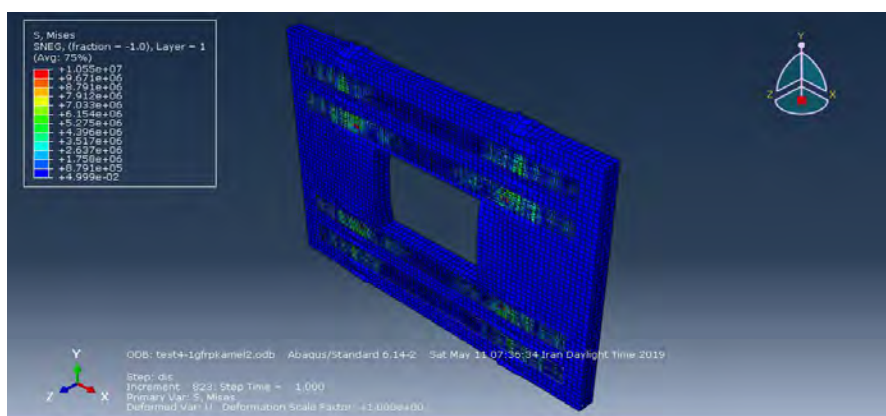
نمونه هشتم تقویت با ورق CFRP با تقسیم تعداد لایه ها به ۸ تکه : 2-8-CFRP

نمونه نهم تقویت با ورق CFRP با تقسیم تعداد لایه ها به صورت جعبه : 2-BOX-CFRP

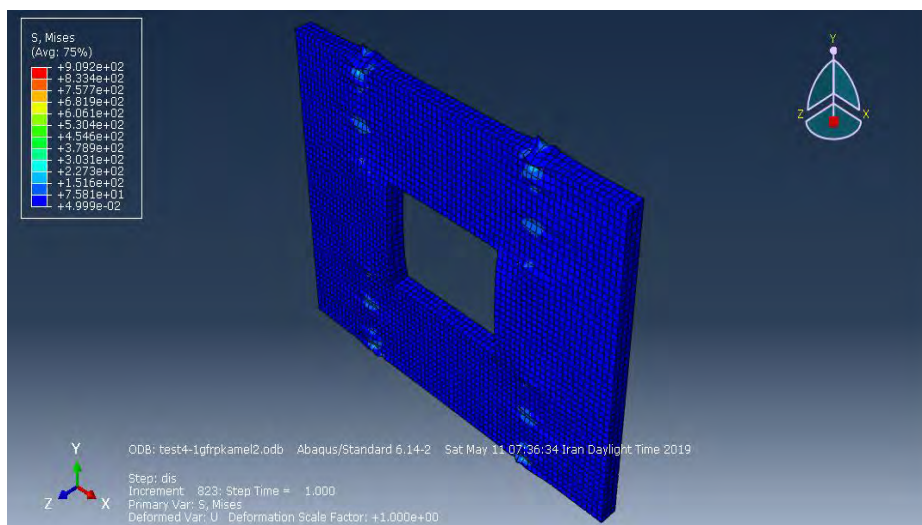
۵- نتایج نمونه های مدل سازی شده

۵-۱- بررسی خروجی نمونه 2-GFRP

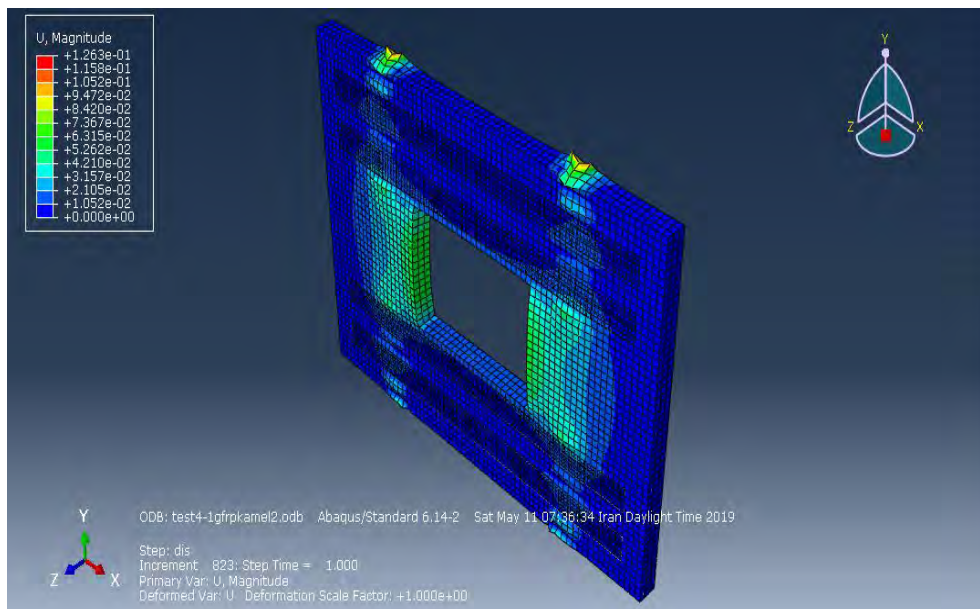
مطابق شکل‌های (۱۱) الی (۱۳)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ضخامت ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشند که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۲ لایه GFRP با ضخامت هرلایه ۰/۰۰۱۷ میلیمتر تقویت شده است :



شکل ۱۱: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه 2- GFRP



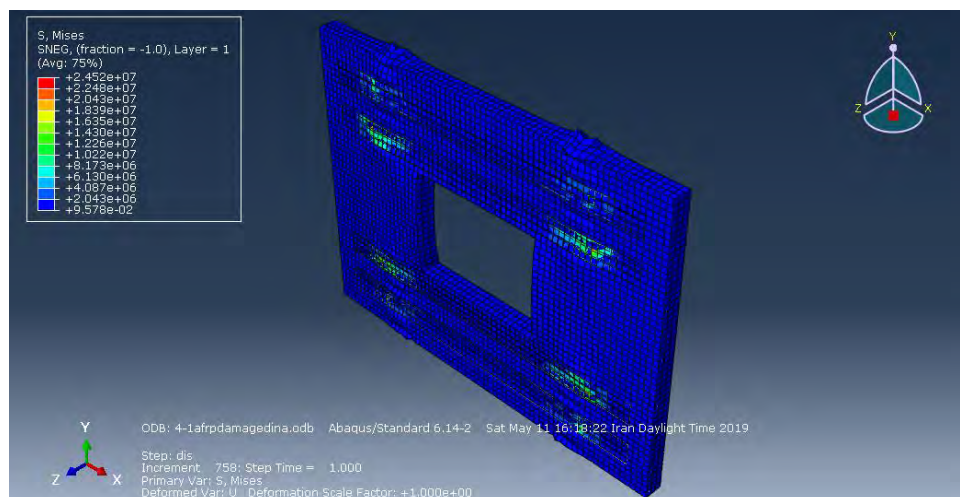
شکل ۱۲: تنش ون میسز (دال (pa)) نمونه 2- GFRP



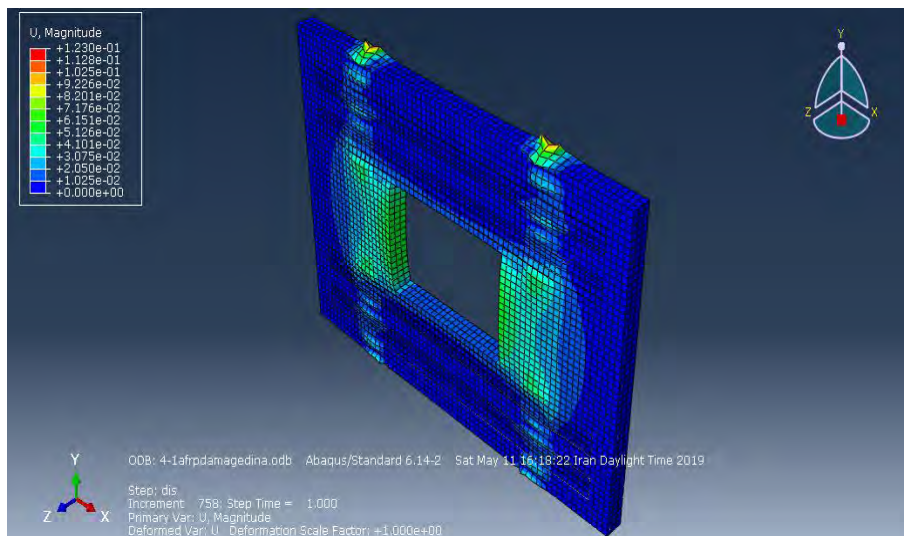
شکل ۱۳: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه 2- GFRP

۲-۵- بررسی خروجی نمونه 2-AFRP

مطابق شکل‌های (۱۴) و (۱۵)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ضخامت ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشد که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۲ لایه AFRP با ضخامت هر لایه ۰/۰۱۷ میلیمتر تقویت شده است :



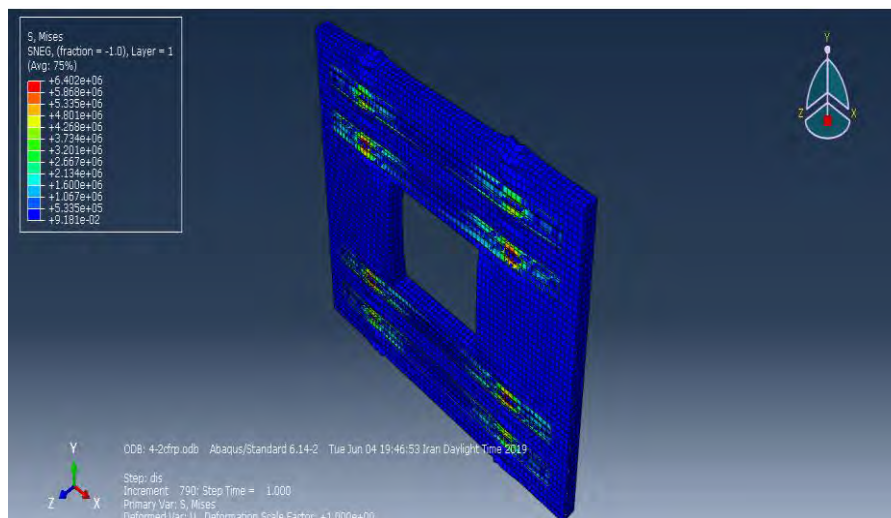
شکل ۱۴: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه 2- AFRP



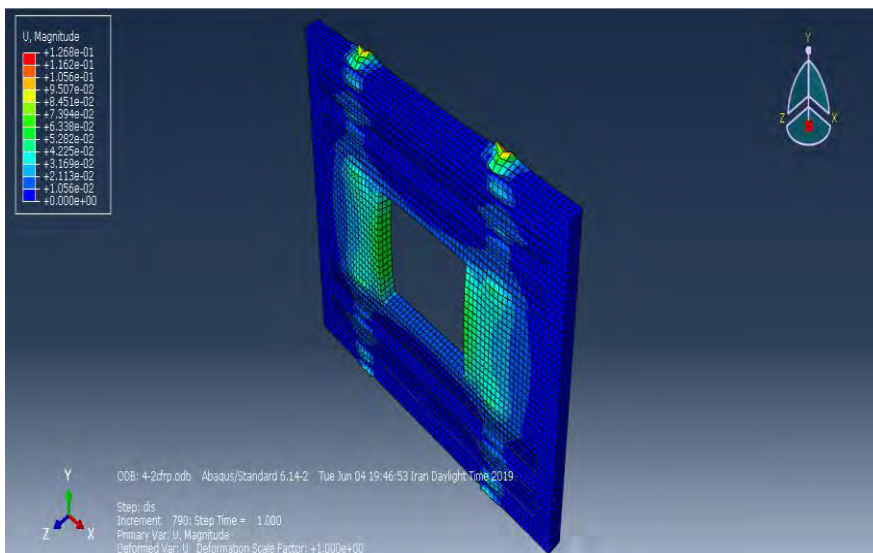
شکل ۱۵: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m) نمونه CFRP-2

۳-۵- بررسی خروجی نمونه CFRP-4

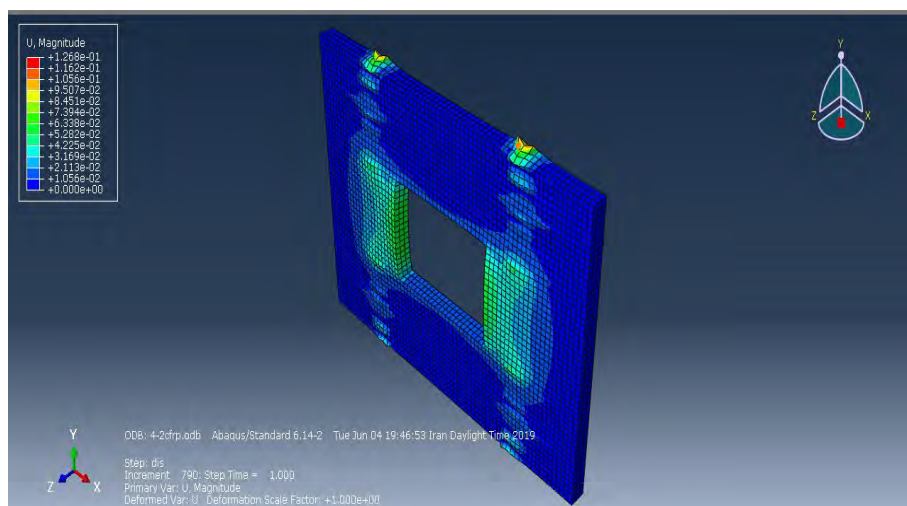
مطابق شکل‌های (۱۶) الی (۱۸)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت ۱۶۰ میلی‌متر و عرض ۲۵۰۰ میلی‌متر می‌باشند که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلی‌متر موجود می‌باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۴ لایه CFRP با ضخامت هر لایه ۰/۰۱۷ میلی‌متر تقویت شده است :



شکل ۱۶: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa) نمونه CFRP-4



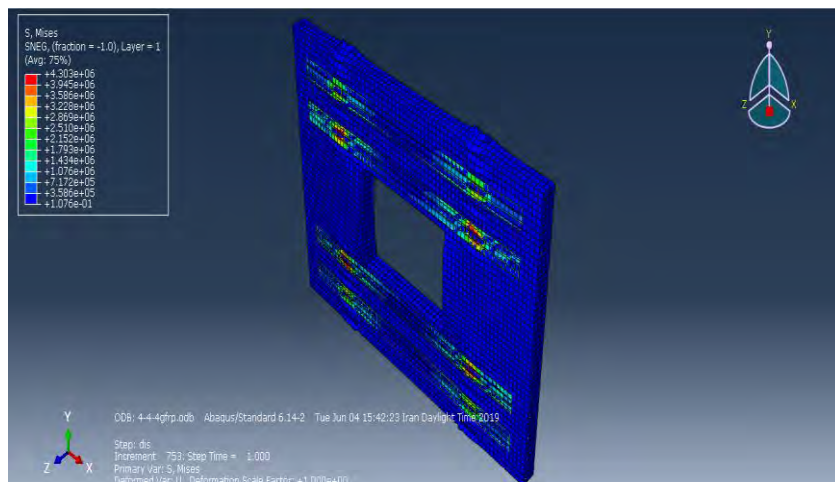
شکل ۱۷: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه CFRP-4.



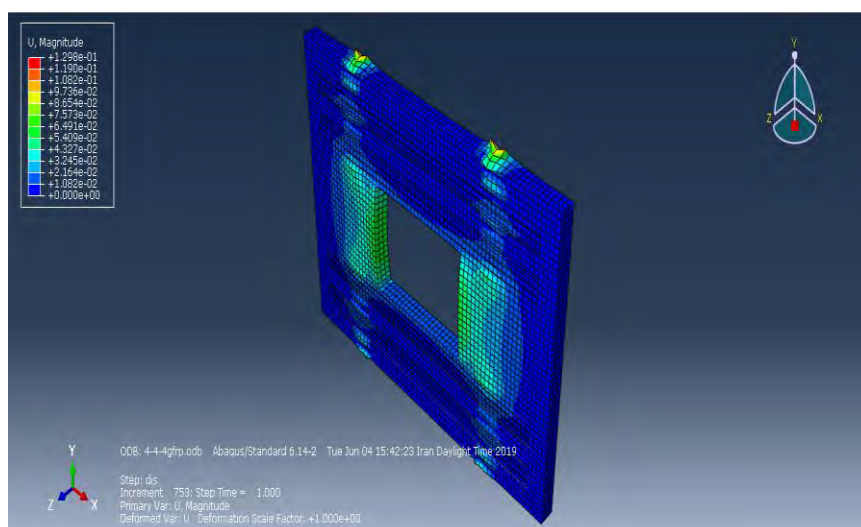
شکل ۱۸: حداکثر تغییر مکان (دال (m)) نمونه CFRP-4.

۴-۵- بررسی خروجی نمونه CFRP-4

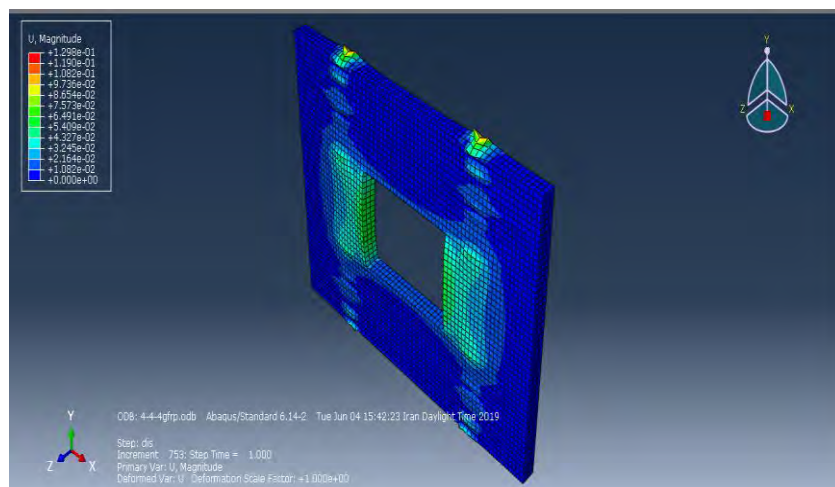
مطابق شکل‌های (۱۹) الی (۲۱)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت ۱۶۰ میلی‌متر و عرض ۲۵۰۰ میلی‌متر می‌باشند که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلی‌متر موجود می‌باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۴ لایه GFRP با ضخامت هرلایه ۰/۰۰۱۷ میلی‌متر تقویت شده است :



شکل ۱۹: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه GFRP-4.



شکل ۲۰: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه GFRP-4.

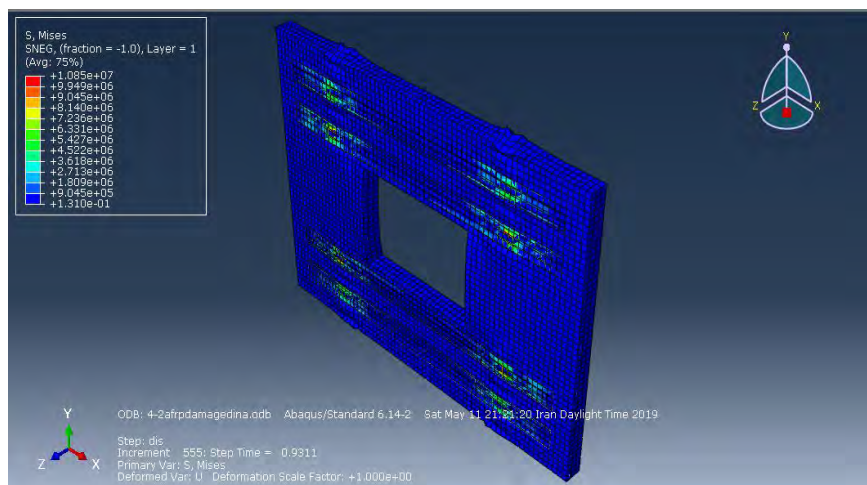


شکل ۲۱: حداکثر تغییر مکان (دال (m)) نمونه GFRP-4.

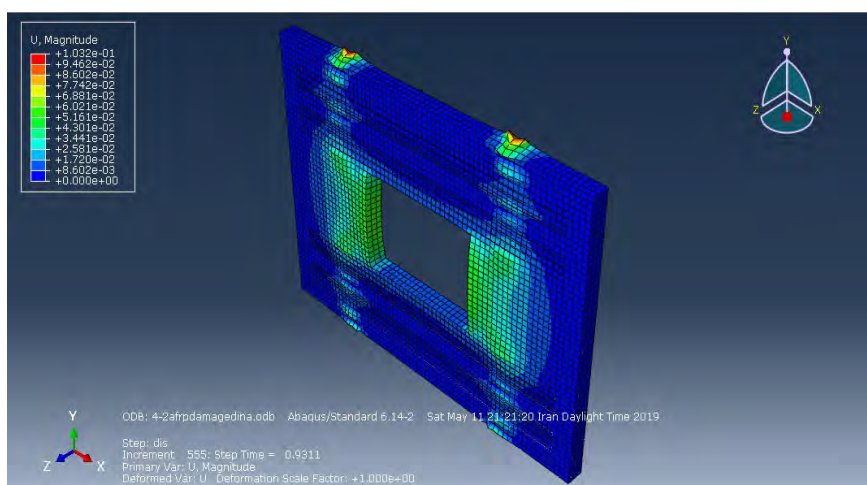


۵-۵- بررسی خروجی نمونه 4-AFRP

مطابق شکل‌های (۲۲) و (۲۳)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ضخامت ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشد که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۴ لایه AFRP با ضخامت هرلایه ۰/۰۰۱۷ میلیمتر تقویت شده است :



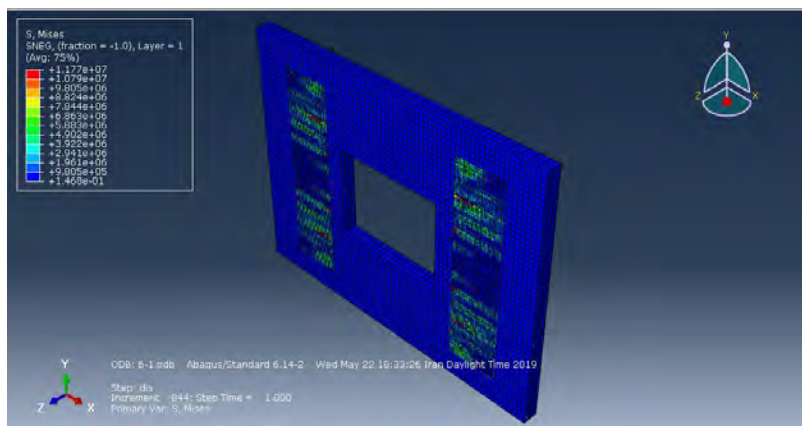
شکل ۲۲: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه 4- AFRP



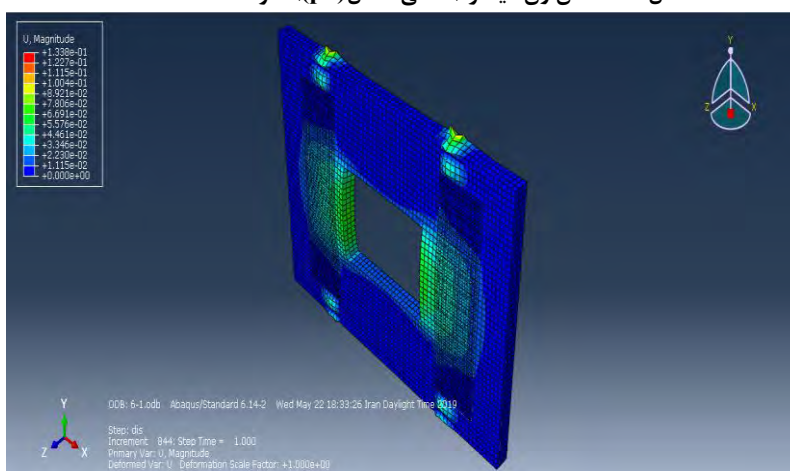
شکل ۲۳: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه 4- AFRP

۵-۶- بررسی خروجی نمونه 2-11-CFRP

مطابق شکل‌های (۲۴) و (۲۵)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ضخامت ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشد که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۲ لایه CFRP به صورت موازی با ضخامت هرلایه ۰/۰۰۱۷ میلیمتر تقویت شده است :



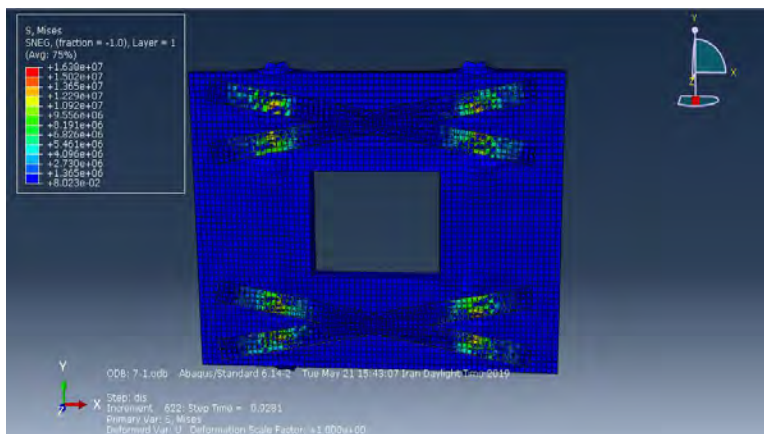
شکل ۲۴: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه 2-11-CFRP



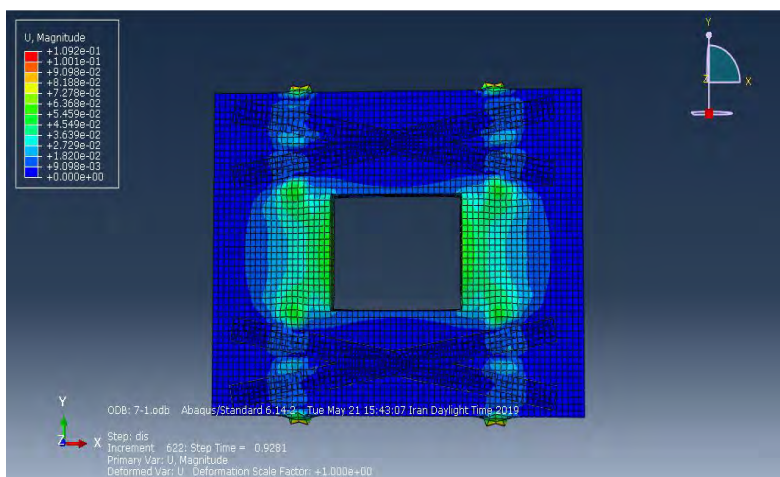
شکل ۲۵: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه 2-11-CFRP

۷-۵- بررسی خروجی نمونه 2-X-CFRP

مطابق شکل‌های (۲۶) و (۲۷)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت ۱۶۰ میلی‌متر و عرض ۲۵۰۰ میلی‌متر می‌باشند که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلی‌متر موجود می‌باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۲ لایه CFRP به صورت ضربدری (به اصطلاح X) با ضخامت هرلایه ۰/۰۰۱۷ میلی‌متر تقویت شده است :



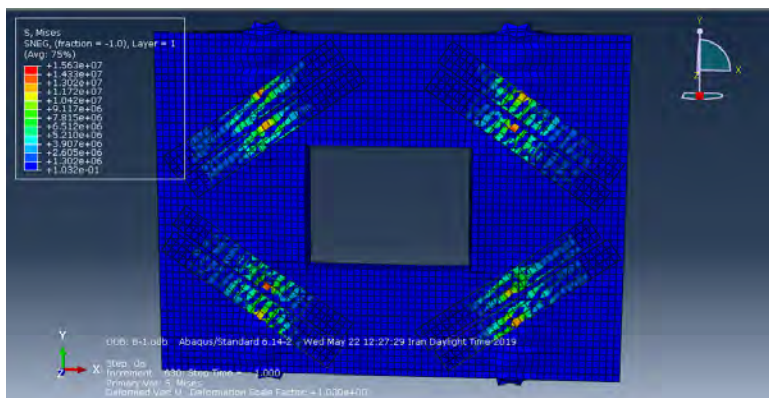
شکل ۲۶: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه 2-X-CFRP



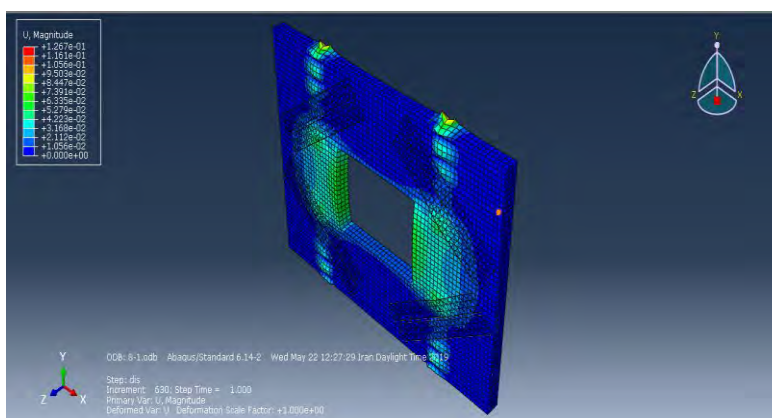
شکل ۲۷: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه 2-X-CFRP

۵-۸- بررسی خروجی نمونه 2-8-CFRP

مطابق شکل‌های (۲۸) و (۲۹)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ضخامت ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشند که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۹۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۲ لایه CFRP به صورت منقطع در محل اعمال بار با ضخامت هرلایه ۰/۰۰۱۷ میلیمتر تقویت شده است:



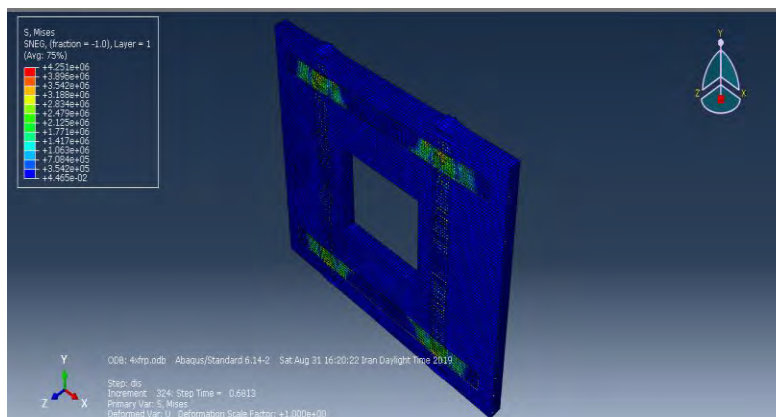
شکل ۲۸: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه 2-8-CFRP



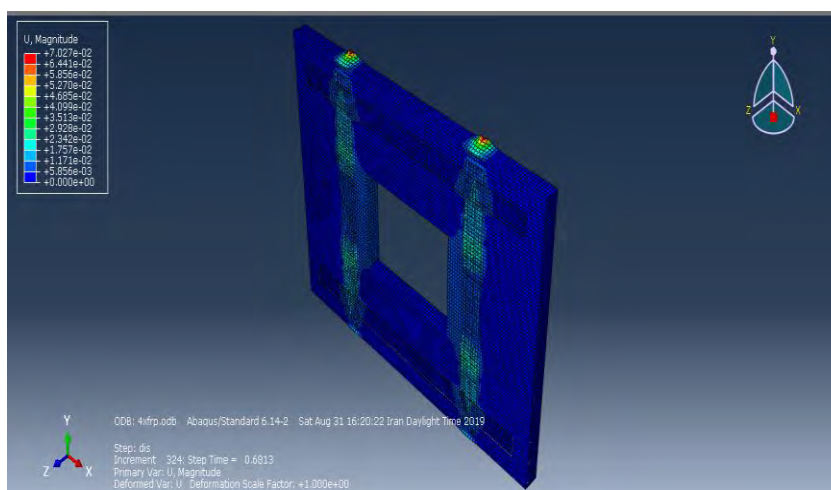
شکل ۲۹: حداکثر تغییر مکان (تمامی شکل (m)) نمونه 2-8-CFRP

۹-۵- بررسی خروجی نمونه 2-BOX-CFRP

مطابق شکل‌های (۳۰) و (۳۱)، در این نمونه دال بتن مسلح مورد بررسی دارای طول ۳۴۰۰ میلیمتر، ضخامت ۱۶۰ میلیمتر و عرض ۲۵۰۰ میلیمتر می باشد که بازشویی در وسط دال به ابعاد ۱۲۰۰×۹۰۰ میلیمتر موجود می باشد. میلگرد های طولی و عرضی با نمره ۱۲ در فاصله ۲۰ میلی متری قرار دارند. که با ۲ لایه CFRP به صورت منقطع در محل اعمال بار با ضخامت هرلایه ۰/۰۱۷ میلیمتر با طول ۲۳۰۰میلیمتر و عرض ۲۲۸ میلیمتر تقویت شده است :



شکل ۳۰: تنش ون میسز (تمامی شکل (pa)) نمونه BOX-2



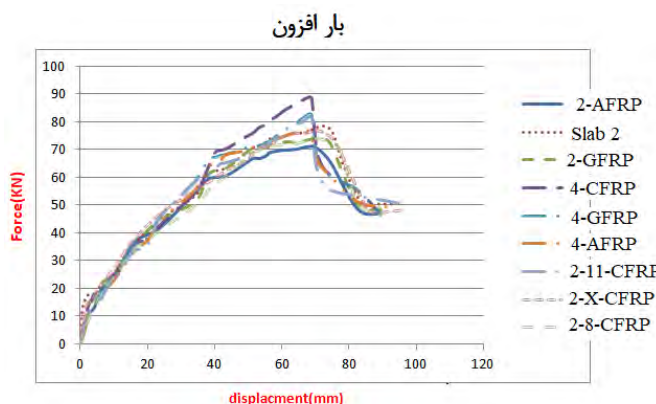
شکل ۳۱: حداکثر تغییر مکان (تمام شکل (m)) نمونه BOX-2

۶- جمع بندی

همان گونه که در ابتدای بحث گفته شد، به دلیل وجود داکت های تاسیساتی، وجود آسانسور و سیستم های سرمایشی و گرمایشی ایجاد بازشو در دال ها اجتناب ناپذیر است. بازشو های کوچک تاثیر چندانی در عملکرد دال نمی گذارد اما با بزرگتر شدن بازشو نیاز به تقویت سازه افزایش پیدا می کند. باید توجه داشته باشیم که وجود تقارن به افزایش ظرفیت باربری دال کمک می کند. به همین خاطر در این تحقیق از دالی استفاده شد که متقارن بود. از دیگر نتایج کسب شده، این بود که مدل پخش ترک در این دال ها از وسط لبه شروع به گسترش به وسط دال می کنند (همانند تحقیق ایناسون و همکاران). با مقایسه حالات مختلف دال تقویت شده دیده می شود که در تمام حالات ترک ها گسترش بیشتری پیدا می کنند اما از طوا آنها کاسته می شود. همین امر سبب افزایش ظرفیت باربری دال تقویت شده با الیاف FRP می شود. در این تحقیق، با بررسی و مقایسه نمونه های کار شده بیشترین ظرفیت باربری مربوط به مدل 4-CFRP بیشترین باربری با ۱۶۴/۰۲ کیلونیوتن و کمترین ظرفیت باربری مربوط به مدل 2-AFRP با ۱۰۵/۵۱ کیلونیوتن می باشد. لذا می توان گفت CFRP ظرفیت بالاتری نسبت به دیگر کامپوزیت های به کار رفته دارد و اگر تبدیل به چهار لایه FRP شود در ظرفیت باربری به طور مستقیم تاثیر گذار است. کمترین آسیب کششی مربوط به مدل 2-AFRP بوده و بیشترین آسیب فشاری مربوط به مدل 4-CFRP می باشد، لذا می توان گفت که مدل 4-CFRP با افزایش مقاومت تنش کششی



را کاهش و سختی را نیز افزایش می دهد. برای تعداد نوارهای مساوی، استفاده از الیاف CFRP نتیجه مناسب تری نسبت به دیگر الیافها دارد، که این مقدار نسبت به الیاف GFRP به میزان ۷٪ و برای الیاف AFRP برابر با ۱۱٪ می باشد. در نتیجه می توان گفت الیاف کربن یکی از مناسب ترین مصالح برای مقاوم سازی خمشی می باشد. با افزایش تعداد نوارهای FRP و در نتیجه افزایش بعد ناحیه مسلح شده، ظرفیت برش و باربری در الگوهای 4-AFRP، 4-GFRP، 4-CFRP افزایش یافت. زیرا امکان انتقال ترک های برش و سطوح گسیختگی به ناحیه ای دور تر از ناحیه اتصال فراهم می شد. نتایج مشخص کرد که نحوه شبکه بندی الیاف تاثیر به سزایی در مقاومت نهایی برشی، خمشی و باربری نمونه ها دارد. براین نظریه هرچه الیاف در مکان مناسب بار به صورت منظم قرار داده شود نتیجه بهتری از خود به نمایش می گذارد. این نتایج به صورت سطح مقطع یکنواخت بررسی شد که در مقایسه نمونه های ۲ Slab، 2-8-CFRP، 2-X-CFRP، 2-11-CFRP با یکدیگر مشخص شد که Slab ۲ به ترتیب به میزان ۲۰٪، ۲۴٪ و ۳۱٪ عملکرد مناسب تری دارد. رفتار کلی دال بتن مسلح تقویت شده با الیاف FRP (Kn/mm) در شکل (۳۲) براساس تحلیل استاتیکی غیرخطی ارائه شده است.



شکل ۳۲: نمودار بار افزون تمامی نمونه ها.

در جدول (۱۵) مقایسه کلی بین مدل ها برای آسیب کششی، فشاری، سختی حاصله، ظرفیت باربری و میزان جذب انرژی نشان داده شده است:

جدول ۱۵: جدول بررسی میزان آسیب کششی، فشاری، سختی، ظرفیت باربری و جذب انرژی تمامی نمونه ها

نمونه ها	آسیب کششی	آسیب فشاری	سختی (n/m)	ظرفیت باربری (KN)	جذب انرژی (kj)
SLAB ۲	%۴۹/۲۳	%۹/۱۸	۳۱۰۲۶	۱/۱۴۷	۳۱
2-GFRP	%۲۴/۲۴	%۶۲/۱۹	۲۷۱۴۰	۵۲/۱۲۴	۲۹
2-AFRP	%۴۹/۲۳	%۵۱/۱۹	۲۱۶۳۲	۵۱/۱۰۵	۲۵
4-CFRP	%۱۸/۲۵	%۶۵/۱۹	۳۴۰۲۶	۰۲/۱۶۴	۵/۳۳
4-GFRP	%۷۸/۲۵	%۱۴/۱۸	۳۱۱۵۸	۰۵/۱۴۳	۲۸
4-AFRP	%۸۲/۲۳	%۳۰/۱۷	۲۸۶۴۸	۴۵/۱۰۸	۲۶
2-11-CFRP	%۰.۷۷/۲۵	%۶۴/۱۷	۲۶۶۰۱	۷۸/۱۱۷	۲۳
2-X-CFRP	%۵۱/۲۳	%۷۶/۱۹	۲۲۷۴۱	۸۱/۱۱۳	۲۷
2-8-CFRP	%۲۰/۲۵	%۷۶/۱۹	۲۱۸۴۳	۳۳/۱۰۶	۲۴
2-BOX-CFRP	%۴/۲۳	%۳/۲۴	۲۵۶۷۹	۷۸/۱۲۲	۲۵



۷- نتیجه گیری

در این مطالعه سعی بر آن شد تا با استفاده از مدل کردن چند نمونه اجزای محدود بتوان اثر چسباندن الیاف پلیمری کربنی، شیشه ای و آرامید را در ظرفیت باربری نهایی دال های بتن مسلح دارای بازشو در وسط دال را بررسی نمود. در ادامه برخی از نتایج مهم به دست آمده به شکل خلاصه آرایه می شود:

۱. نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی پیشنهادی به روشنی نشان می دهد که نتایج این پژوهش درمورد سیستم مقاوم سازی می تواند برای دال های موجود که در آن ایجاد بازشو شده است، استفاده شود و ظرفیت باربری آنها در مقایسه با حالت همگن می تواند افزایش یابد.

۲. دال های تقویت شده با CFRP رفتار سخت تری در مقایسه با دال های مرجع به خصوص بعد از نقطه ای که گسیختگی اتفاق می افتد، نشان می دهد.

۳. طریقه نصب الیاف های FRP تاثیر به سزایی در افزایش ظرفیت باربری دال ها دارد. به طوری که دیده شد نصب الیافها به صورت منظم و در محل اعمال بار حالت مناسب تری نسبت به حالت نامنظم و عدم وجود بار دارد.

۴. در هیچ کدام از این نمونه ها، الیاف پلیمری به ظرفیت نهایی خود نمی رسند که این مطلب به سطح مقطع الیاف مورد استفاده مربوط می گردد.

۸- مراجع

- [1]-Lau, D., and Pam, H. J., 2010, **Experimental study of hybrid FRP reinforced concrete beams**, Engineering Structures, 32(12), 3857-3865.
- [2]- Wenwei, W., and Guo, L., 2006, **Experimental study and analysis of RC beams strengthened with CFRP laminates under sustaining load**, International Journal of Solids and Structures , 43(6), 1372-1387.
- [3]- Morsy, A., and Mahmoud, E. T., 2013, **Bonding techniques for flexural strengthening of RC beams using CFRP laminates**, Ain Shams Engineering journal, 4(3), 369-374.
- [4]- Vasquez Rayo, D. L., 2008, **Plate-End Debonding of longitudinal Near-Surface Mounted Fiber Reinforced Polymer Strips on Reinforced Concrete Flexural Members**, M.Sc. thesis, North Carolina State University.
- [5]- ACI Committee 440, 2008, **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [6]- Fam, A., Eldridge, A. and Misra, M., 2013, **Mechanical characteristics of glass fibre reinforced polymer made of furfuryl alcohol bio-resin**, Journal of Material Structure, 47 (7) 1195-1204
- [7]- Smith, S. T. and Kim, S. J., 2009, **Strengthening of one-way spanning RC slabs with cutouts using FRP composites**, Construction and Building materials, 1578-1590
- [8]- Pawtucket, R. I., 2012, Abaqus, Abaqus/standard. Version 6.11, ABAQUS, Inc.
- [۹]- شهبازی، ر.، یکرنگ نیا، م.، ۱۳۹۵، راهنمای کاربردی ABAQUS به همراه مسائل مهندسی عمران سازه و ژئوتکنیک. تهران: علم عمران.



- [10]- Ebead, U., Marzouk, H. and Lye, M., 2013, **Strengthening of two-way slabs using FRP materials : a simplified analysis based on response surface methodology**, Second World Engineering Congress ,Sarawak ,Malaysia.
- [11]- Garter, A., Douglas, E., Dolan, C., Hamilton, H., 2013, **Small beam bond test method for CFRP composites applied to concrete**, Journal of Composites Construction, 15(1), 52–61.
- [12]-Ebead, U., and Marzouk, H., 2004, **Tension-stiffening model for FRP- strengthening RC concrete two-way slabs**, Materials and structures, 38, 193-200.
- [13]- Williams, G. and Wool, R., 2017, **Composites from natural fibers and soy oil resins**, Application Composites Material, 7(5), 421–432.
- [14]- Martin, R. H., 2016, **Fiber Reinforced Plastic Standards for the Offshore Industry**. **SAMPE Journal**, Society for the Advancement of Material and Process Engineering, 37-41.
- [15]- Mohammed Hassan, E., Ahmed, A., Benmokrane, B., 2013, **punching shear strength of glass fiber-reinforced polymer reinforced concrete flat slabs**, Canadian journal of civil Engineering, 40(10), 951-960.