

مطالعه عددی مقاوم سازی دال های بتن آرمه با استفاده از ورق های FRP در مقابل امواج

انفجار

حسین چمن کار *

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه خلیج فارس بوشهر .
(مدیر شهرسازی و معماری شهرداری بندر بوشهر)

چکیده

مقاوم سازی ساختمان های مهم و حیاتی در برابر بارهای انفجاری ناشی از حملات تروریستی و حوادث، امری مهم و ضروری است که می بایست با به کارگیری راهکارهای مناسب و اصولی، میزان خسارات جانی و مالی وارد بر آنها را کاهش داد. از مهم ترین اجزای سازه های بتنی، دال های بتن آرمه هستند که نه تنها در انتقال و نگهداری بارهای قائم نقش دارند، بلکه موجب ایجاد سیستمی مقاوم در برابر نیروهای جانبی نیز می شوند. یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش مقاومت سازه ها، استفاده از الیاف پلیمری کربنی موسوم به FRP است. در این مقاله، روش های مختلف مقاوم سازی دال های بتن مسلح در برابر بارگذاری انفجاری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات پارامتریک حاصل از تحلیل اجزای محدود با استفاده از نرم افزار آباکوس (نسخه ۶.۱۴-۳) بر روی نمونه ای از دال دارای ضخامت های متفاوت FRP برای مقاوم سازی، ارائه شده است. هدف، بررسی اثرات انفجار در فواصل مختلف بر روی دال ها و تحلیل عملکرد نوارهای FRP در رفتار دال های بتن مسلح می باشد. به منظور دستیابی به این هدف، از دال بتنی دوطرفه با ابعاد 1150×1650 میلی متر و ضخامت های ۷۰ و ۱۰۰ میلی متر، همچنین از نوارهای FRP با ضخامت های مختلف استفاده شده است. در تمامی مدل ها، نوار FRP با عرض ۵۰ میلی متر در نظر گرفته شده است تا امکان مقایسه ی دقیق بین مدل های مختلف فراهم گردد. محل انفجار در دو فاصله ی ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی متر از مرکز دال و با میزان خرج انفجار ۰.۵ و ۱ کیلوگرم ماده ی منفجره از نوع TNT، بر اساس درصد آرماتور یکسان انتخاب شده است. سپس پاسخ دینامیکی دال ها تحت تأثیر الگوهای انتشار امواج فشار انفجار مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان داد که افزایش ضخامت دال از ۷۰ به ۱۰۰ میلی متر (بدون استفاده از نوار FRP)، موجب کاهش حدود ۶۱ درصدی تغییر مکان در مرکز دال می شود. همچنین استفاده از نوار FRP در کاهش تغییر مکان و خرابی دال ها و نیز در افزایش مقاومت خمشی و سختی، تأثیر چشمگیری دارد؛ به طوری که با نصب نوار FRP به ضخامت ۱.۴۰ میلی متر در پشت دال، میزان تغییر مکان در دال های ۷۰ و ۱۰۰ میلی متری به ترتیب ۱۴.۲ و ۱۳.۰۳ درصد کاهش یافته است. با افزایش ضخامت دال و همچنین افزایش میزان محصورشدگی ناشی از نوارهای FRP، تنش قابل تحمل در دال نیز افزایش پیدا می کند. مقایسه ی میزان تنش در دال های ۷۰ و ۱۰۰ میلی متری، در دو حالت تقویت نشده و تقویت شده، نشان می دهد که دال های ضخیم تر توانایی تحمل تنش بیشتری را دارند.

واژگان کلیدی: مقاوم سازی، دال بتن مسلح، موج شوک، پلیمرهای کربنی (FRP)

مقدمه

جهت افزایش مقاومت ساختمان در برابر انفجار، باید با استفاده از مصالح ساختمانی با عملکرد بالا مثل الیاف (تغییر مکان و مقاومت کافی فراهم شود. برای اینکه مصالح ساختمانی اصلاح شده، اثربخش باشد، FRP مسلح پلیمری) لازم است طراحی به طور دقیق مبتنی بر پاسخ های دینامیکی مصالح تحت بارهای انفجار مورد ارزیابی قرار گیرد. عموماً بتن در مقایسه با دیگر مصالح، به عنوان مصالح ساختمانی با مقاومت بالا در برابر بارگذاری انفجار در نظر گرفته [۱]. های بتنی برای بارهای بهره برداری با کرنش نرمال طراحی می شود که به اصلاح ویژه نیاز می شود. با وجود این سازه روش تقویت ساختمان به صورت اتصال اجزاء سازه ای دارد تا مقاومت سازه ها را در برابر بارگذاری انفجار افزایش دهد. یا تکیه گاه های زیاد برای افزایش مقاومت در برابر انفجار، به دلیل افزایش هزینه و از بین رفتن فضای قابل استفاده غیرمطلوب است. همچنین اینکار معمولاً مقاومت کلی سازه را در برابر بار انفجار خیلی افزایش نمی دهد. بنابراین ورقه ها و صفحه های پلیمر مسلح شده که ارزان تر و مناسب تر هستند به عنوان اتصالات سطحی برای اصلاح مناطق ویژه ای اجرای سازه ای استفاده می شود. اتصالات سطحی بدون از بین بردن فضای قابل استفاده و بدون نیاز به زمان طولانی برای ساخت و ساز که در نتیجه باعث صرفه جویی پول می شود، مقاومت سازه را در برابر بار انفجار به طور قابل توجهی افزایش می دهد. (انتخاب FRP)، از اهمیت برخوردار است. FRP برای اصلاح سازه های بتنی برای مقاومت در برابر انفجار انتخاب نوع) شده باید سخت شدگی، مقاومت و تغییر شکل پذیری سازه ی اصلاح شده را بهبود بخشد تا مقاومت قابل اطمینان مورد نیاز در برابر انفجار را فراهم کند و انرژی انفجار را جذب کند که به موجب آن مود گسیختگی سازه ای تغییر کرده و به [۱]. جای اینکه سازه بشکند، تغییر شکل می دهد

(تحت بارهای انفجار، هم مطالعات آزمایشگاهی لازم FRP به منظور تحلیل و طراحی سازه های مسلح شده با) است و هم مطالعات عددی، اخیراً به منظور بهبود روشهای تحلیلی ساده شده، مطالعاتی در زمینه روشهای تحلیل دقیق انفجار به کمک مدل های مصالح صحیح و مدل های المان محدود برای برآورد رفتار سازه بتنی، درستی نتایج تحلیل را ی انفجار سازه استفاده می شود. پیگیری می کند. تحلیل ها اگر معتبر باشد، به عنوان جایگزینی برای آزمایشات پرهزینه به علاوه حتی وقتی تسهیلات آزمایش ویژه و منابع مرتبط در دسترس باشد، از طریق چنین آزمایشات عملی برخی شرایط و آمار آسانتر به دست می آید. به همین دلایل ایجاد ابزارهای اثربخش تحلیل برای سازه های بتنی اصلاح شده و نوساز تحت بارگذاری انفجار برای پیش بینی رفتارهای سازه ای، انتخاب مصالح اصلاح شده بهینه و اطمینان از مکانیسم های گسیختگی مطلوب، ضروری می باشد.

مبانی نظری

سازه های مقاوم در برابر انفجار

انفجار ناشی از مواد منفجره حجیم و متمرکز در محوطه اطراف یک ساختمان اثرات مصیبت باری می تواند داشته باشد و باعث خرابی از قبیل خرابی قاب ساختمان، دیوارها، درها و پنجره ها شود. همچنین می تواند باعث صدمه جانی و



مرگ ساکنین بشود. سازه های بتنی معمولاً به عنوان ساختمان های محافظ مورد استفاده قرار می گیرند یکی از بحث های مهمی که در سازه های بتنی وجود دارد، چگونگی تاثیر امواج انفجاری بر روی این سازه ها، حجم تخریب آن ها بر اثر انفجار و مقدار نفوذ موج انفجاری در سازه می باشد.

ساختمان ها و سازه ها در برابر انفجار به شکل های مختلفی تخریب و فرو می ریزد. که این امر بستگی به ویژگی های بارگذاری دارد، که مهمترین این ویژگی ها شامل:

الف) شدت و قدرت انفجار ب) میزان فاصله انفجار تا هدف است.

زیادی شکل مود فروپاشی و تخریب سازه را برای طراح ساختمان امن معین می کند. این دو مشخصه تا حدود

معمولاً انفجارهای نزدیک و مماس به هدف موجب ایجاد حفره و سوراخ بر روی عنصر مربوطه و حالت تورق را در اطراف آن ایجاد می کند. این دو مکانیسم تخریب، موجب تضعیف آن قسمت شده و ناحیه مشارکت بین تورق و حفره به راحتی فرو می ریزد. قابلیت مواد و مصالح مختلف در برابر سوراخ شدن و یا حالت تورق، و در نهایت نفوذ موجب تعیین ضخامت مورد نیاز برای حفظ یکپارچگی آن المان می شود.

معمولاً نوع و شکل رفتار مواد و مصالح، روش و حالت تغییر شکل و در نتیجه مود فروپاشی را تعیین می کند. برخی از مصالح و مواد از نظر مقاومت کششی بسیار ضعیف هستند و در هنگام قرار گرفتن در برابر نیروی کششی شدید که بیش از حد توان آن آماده باشد گسیخته می شود. نمونه ای از این مصالح که دارای کاربرد بسیار فراوان در ساختمان است مصالح بتنی می باشد. مقاومت کششی بتن بسیار کمتر از مقاومت فشاری آن هاست و برای رفع این نقیضه و افزایش مقاومت بتن در برابر انفجار، از آرماتور در بتن استفاده می شود. آرماتورهای فولادی باعث افزایش مقاومت برشی و مقاومت کششی بتن می شود. حال اگر میزان و قدرت انفجار بیش از مقاومت عضو بتن مسلح شود آنگاه گسیختگی بوجود می آید.

طراحی یک قسمت برای مقاومت در برابر آثار انفجار محلی و شدید شاید همواره کاری معقول نباشد، به خصوص وقتی که محل دقیق انفجار مشخص نیست. بدین ترتیب باید مفهوم تخریب محدود و محلی مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از پوشش های پلیمری FRP در مقاوم سازی سازه ها

استفاده [۲] این پوشش ها به دلیل وزن کم و آسانی نصب گزینه مناسبی در جهت مقاوم سازی در مقابل انفجار می باشند. از این پوشش ها باعث افزایش مقاومت اجزای سازه ای از جمله تقویت برشی، افزایش محصور شدگی، ترمیم آسیب های ناشی از خوردگی و مانند آن ها می گردد. سهولت اجرا، مقاومت کششی بالا در برابر شرایط محیطی سخت، تا حدود زیادی جایگزین فولاد که دارای مشکلات زیادی از جمله سنگینی، سختی اجرا و خوردگی می باشد، شده است. در مقاوم سازی (بیشتر به منظور افزایش مقاومت دال در برابر خوردگی، کمبود مقاومت فشاری بتن، FRP دال های بتن آرمه، استفاده از) به وجه کششی دال در ناحیه دارای FRP تقویت برشی و بطور موضعی صورت می گیرد. این تقویت با چسباندن (FRP لنگر ماکزیمم صورت می گیرد، که باعث افزایش چشم گیری در ظرفیت جذب انرژی دال می شود. لیکن استفاده از) FRP در تقویت برشی دال ها کمتر مورد توجه قرار گرفته و به تحقیقات محدودی منحصر شده است. امروزه استفاده از)



جهت افزایش ظرفیت باربری سازه ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تحقیقات بر روی آن ادامه دارد. با توجه به محدودیت ها و مشکلات مربوط به انجام مطالعات آزمایشگاهی از جمله محدودیت مربوط به ابعاد نمونه ها، مشکلات نصب و اجراء هزینه و زمان بالا و ...، با انجام تحلیل های عددی صحیح می توان نتایج آزمایشگاهی را به محدوده صحیحی از سازه ها که امکان آزمایش عملی برای آنها وجود ندارد تعمیم داد. لذا در این پایان نامه، سعی خواهد شد با انجام مطالعات (بر رفتار دال ها با ابعاد هندسی مختلف ارزیابی و با ارائه FRP پارامتریک عددی با استفاده از مدل های اجزای محدود، تأثیر) راهکارهایی جهت ارتقای عملکرد این کامپوزیت ها اطلاعات وسیعتری نسبت به آنچه که تاکنون از آزمایش های انجام گرفته حاصل شده بدست آورد.

خلاصه ای از تحقیقات پیشین

ها تحقیقات وسیعی انجام شده که در اینجا با توجه به موضوع این در مورد تأثیر امواج ناشی از انفجار بر سازه های بتن مسلح پرداخته شده باشد، اشاره خواهد شد. های بتنی و به ویژه دال رفتار سازه پایانه، تنها به مواردی که بر

آزمون های انفجاری را روی دال های بتن مسلح انجام داده و قانون مقیاس بندی پاسخ [۳] ونگ و همکاران دینامیکی دال های بتن مسلح مربع یک طرفه را زیر بارگذاری انفجاری نزدیک به سطح بررسی کردند.

های بتن مسلح تحت بارهای انفجار پرداختند. نتایج ۱۹۹۸ به بررسی عددی پاسخ دال در سال [۴] لاو و همکاران ها و حاصل از مدل سازی نشان داد استفاده از ورق های کامپوزیتی باعث بهبود عملکرد دال و کاهش تغییر شکل گردد. همچنین کاهش بروز ترک در دال می

در سال ۲۰۰۱ قابلیت اطمینان دال های بتن مسلح در برابر بارهای انفجاری را با استفاده از مدل [۵] لاو و هاو گیرد سازی عددی بررسی نمودند و نشان دادند که تأثیر انفجار بر روی عضو سازه ای پهنه وسیعی از شرایط را در بر می و قابلیت پیش بینی چندانی ندارد. با این وجود در محدوده های خاصی از بار انفجار می توان وضعیت رفتار دال را پیش بینی نمود.

بر روی مدل سه بعدی اجزاء محدود شبیه سازی پاسخ پانل بتن مسلح تحت بار انفجار، [۶] لین و همکاران مطالعاتی انجام دادند. اثر اندازه اجزاء و نیز اثر نرخ کرنش بالا در مصالح لحاظ شد. این مطالعه همچنین به بررسی اثر وزن ماده منفجره، فاصله انفجار، ضخامت پانل و درصد آرماتور بر روی مقاومت بتن در برابر انفجار پرداخته شد.

روش تحقیق

این پژوهش بر آن است تا کلیه مراحل شبیه سازی عددی اثرات انفجار بر دال های تقویت نشده و تقویت شده، اعم از مدل سازی و تحلیل های استاتیکی و دینامیکی را در نرم افزار آباکوس که مجموعه ای از برنامه های شبیه سازی کارا بر پایه روش المان محدود می باشد و قادر به حل مسائل ساده خطی تا پیچیده ترین مدل سازی غیرخطی است، انجام دهد. این نرم افزار دارای مجموعه المان های بسیار گسترده ای می باشد که با آن می توان هر نوع هندسه ای را مدل کرد. همچنین دارای مدل های رفتاری بسیار زیادی است که در مدل سازی انواع مواد با خواص و رفتار گوناگون نظیر فلزات، لاستیک ها، پلیمرها، کامپوزیت ها، بتن مسلح، فوم های فنی و هم چنین مصالحی ژئوتکنیکی نظیر خاک و



سنگ را مدل کرد. طراحی نرم افزار به عنوان ابزار شبیه سازی با هدف کلی، به آن قابلیت به کارگیری در مسائلی فراتر از مسائل سازه ای (تنش/ تغییر مکان) داده است. این نرم افزار از توانایی شبیه سازی مسائل پیچیده در زمینه های گوناگون مثل: انتقال حرارت، پخش جرم، مدیریت گرمایی اجزای الکتریکی (آنالیز توأم الکتریک- حرارت)، مکانیک خاک، ABAQUS/CAE می باشد. Explicit و Standard برخوردار می باشد. آباکوس شامل دو زیرمجموعه اصلی به نام های باشد که شامل قابلیت هایی جهت ایجاد مدل، آنالیز، کنترل آن و نیز بررسی نتایج محیط گرافیکی کاملی در آباکوس می استاندارد، زیر برنامه ای است جهت حل گستره وسیعی از مسائل خطی یا غیرخطی شامل ABAQUS [۲۵]. می باشد [دستگاه معادلات را به صورت ضمنی در هر "گام"، حل ABAQUS/Standard حالت های استاتیکی، حرارتی و الکتریکی. زیرمجموعه ای جهت انجام آنالیزهای خاص است که فرمول های المان محدود ABAQUS/Explicit می کند. لیکن دینامیکی صریح را برای حل مسائل به کار می برد و برای مدل کردن وقایع دینامیکی گذرا و کوتاه نظیر ضربه و مسائل انفجار در محیط آزاد، زیر آب و نیز برای حالت های با درجه غیرخطی زیاد مثل شبیه سازی شکل دهی قابل استفاده [۹]. است]

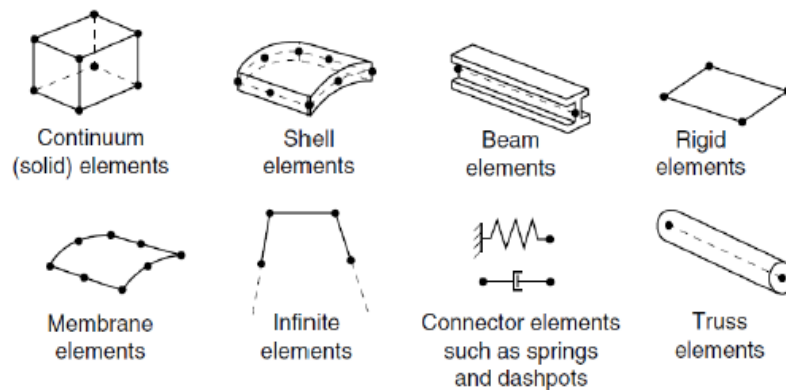
گستره خانواده المان ها در نرم افزار آباکوس

با توجه به اینکه نوع المان و نوع تکنیک مش بندی در یک تحلیل اجزا محدود اهمیت زیادی دارد. از این رو در این بخش ابتدا به بیان ویژگی های یک المان و توضیحات تئوریک می پردازیم. طیف وسیعی از المان ها در آباکوس قابل استفاده است که از این جهت توانایی بسیار زیادی را به کاربر می دهد تا بتواند انواع مختلف مسائل را مدل کرده و تحلیل نماید. در این بخش با پنج ویژگی یک المان که رفتار آن را معین می سازند آشنا می شویم. هر المان دارای پنج ویژگی زیر است [۹]:

۱. خانواده
۲. درجات آزادی (که به طور مستقیم به خانواده المان بستگی دارد)
۳. تعداد گره ها
۴. روش فرمول بندی
۵. روش انتگرال گیری

• خانواده

انواع المان هایی که در مسائل تحلیل تنش به کار می روند در شکل (۱) نشان داده شده است. اصلی ترین تفاوت خانواده های دو المان نوع هندسه آن هاست. اولین حرف نام یک المان، نوع خانواده المان را معرفی می کند.



شکل ۱ انواع المان های موجود در Abaqus

• درجات آزادی

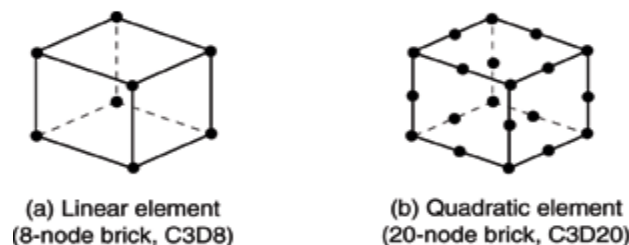
درجات آزادی متغیرهای اصلی هستند که در هنگام تحلیل محاسبه می شوند. برای مسائل تنش-تغییر مکان درجات آزادی گره ها شامل تغییر مکان و دوران (بسته به نوع المان مورد استفاده) می باشند و در مسائل انتقال حرارت درجات آزادی عبارتند از دمای گره ها.

• تعداد گره ها و مرتبه درونیابی

بطور کلی درجات آزادی هر المان در گره های آن المان محاسبه می شوند. تغییر مکان یا دوران در نقاط دیگر داخل المان با استفاده از درونیابی این مقادیر گره ای بدست می آیند. معمولاً مرتبه درونیابی^۱ از روی تعداد گره های المان تعیین می شود.

المان هایی که فقط در گوشه های خود دارای گره هستند از درونیابی خطی در هر جهت استفاده می کنند و المان های خطی یا مرتبه اول نامیده می شوند.

المان هایی که دارای گره در وسط هر لبه خود باشند از درونیابی مرتبه دوم استفاده می کنند و المان های مرتبه دوم نامیده می شوند (شکل (۲)).



^۱ order of interpolation



شکل ۲ المان های مرتبه اول و دوم

معمولاً تعداد گره های المان در نام آن مشخص می شوند.

• روش فرمول بندی

فرمول بندی یک المان به تئوری ریاضی تعیین رفتار المان باز می گردد. المان های مورد استفاده در تحلیل های تنش-تغییر مکان از فرمول بندی لاگرانژی یا جرم کنترل استفاده می کنند. در رفتار لاگرانژی المان با مصالح تغییر شکل می دهد. در این فرمول بندی، ماده داخل المان تا انتهای تحلیل، داخل المان باقی می ماند و نمی تواند از مرز المان خارج شود. در مقابل، فرمول بندی اولری قرار دارد که المان در فضا ثابت است و ماده از داخل آن جریان می یابد. آباکوس از این نوع فرمول بندی برای مدلسازی مسائل مکانیک سیالات استفاده می کند.

• روش انتگرال گیری

آباکوس از روش های عددی برای انتگرال گیری کمیت های مختلف در حجم یک المان استفاده می کند و برای با استفاده از روش مربع سازی گوس محاسبه می کند. آباکوس بسیاری از المان ها رفتار ماده را در هر نقطه انتگرال گیری بسته به نوع المان مورد استفاده می تواند از روش انتگرال گیری کامل یا کاهش یافته استفاده کند که انتخاب هر یک از این روش ها تاثیر بسزایی در دقت حل مساله دارد.

بطور کلی نحوه نامگذاری المان ها در آباکوس به گونه ای است که عمده پنج ویژگی فوق از نام یک المان برمی آید. در فضای ۳ بعدی continuum بیانگر این است که المان از خانواده C^2D عبارت C^2D^8R برای مثال در یک المان با نام نشان دهنده نوع انتگرال گیری (کاهش یافته) است. R می باشد، عدد ۸ تعداد گره های المان و حرف

مراحل پردازش مسائل در آباکوس

می تواند انواع گوناگون و متنوعی از شبیه سازی ها را انجام دهد که در این جا تنها به دو ABAQUS نرم افزار نوع تحلیل استاتیکی و دینامیکی اشاره می شود. در یک تحلیل استاتیکی پاسخ بلند مدت سازه به بارهای اعمالی به دست می آید. در سایر مواقع پاسخ دینامیکی سازه به بارها مورد نظر است. برای مثال بارگذاری ناگهانی بر روی یکی از اجزا که ABAQUS در هنگام وارد شدن ضربه به وجود می آید و یا پاسخ سازه به یک زلزله. یک تحلیل کامل در برنامه آباکوس ([۲۵: معمولاً از سه مرحله زیر تشکیل شده است]

(۱) مرحله پیش پردازش

(۲) مرحله پردازش

(۳) مرحله پس پردازش

ایجاد شود. مدل را معمولاً ABAQUS در مرحله پیش پردازش باید مدل مسئله را ساخته و یک فایل ورودی و یا سایر پیش پردازنده ها ایجاد کرد و یا می توان فایل ورودی ABAQUS/CAE می توان به صورت گرافیکی با استفاده از [۲۵: ساخت Notepad] را با استفاده از یک ویرایش گر متن مثل ABAQUS



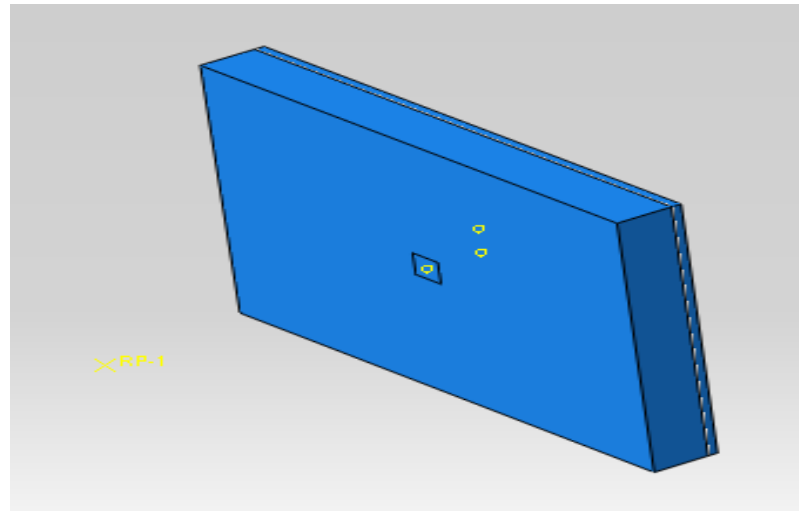
مرحله پردازش نیز که معمولاً به صورت یک پروسه در پس زمینه اجرا می شود، مرحله ای است که در آن مسئله عددی را که در مدل تعریف شده حل می کند. مثال هایی از ABAQUS/Explicit و یا ABAQUS/Standard خروجی تحلیل تنش عبارت است از تغییر مکان ها و تنش هایی که در فایل های باینری ذخیره می شود و برای مرحله پس از پردازش مورد استفاده قرار می گیرد. بسته به پیچیدگی مسئله ای که باید تحلیل شود و قدرت کامپیوتری که تحلیل را انجام می دهد، زمان تحلیل می توان بین چند ثانیه تا چند روز طول بکشد [۹].

در مرحله بعد از پردازش نیز ارزیابی نتایج را می توان بعد از اتمام مرحله پردازش یعنی وقتی که تنش ها، انجام Visualization تغییر مکان ها و سایر متغیرهای اساسی محاسبه شده اند انجام داد. ارزیابی معمولاً با استفاده از مازول داده های فایل خروجی باینری را می خواند و گزینه های متفاوتی مانند: کانتورهای رنگی، Visualization می شود. مازول از ABAQUS برای نمایش نتایج دارد. مدل X-Y انیمیشن، فرم تغییر شکل یافته و یا نمایش داده ها به صورت نموداری اجزای مختلف متعددی تشکیل شده است و این اجزا در کنار یکدیگر مسئله فیزیکی را که باید تحلیل شود، شکل می دهند.

در ساده ترین حالت مدل تحلیلی شامل اطلاعات: هندسه مجزا، خصوصیات سطح مقطع المان ها، داده های مصالح، بارها و شرایط تکیه گاهی، نوع تحلیل و داده های خروجی مورد نیاز است.

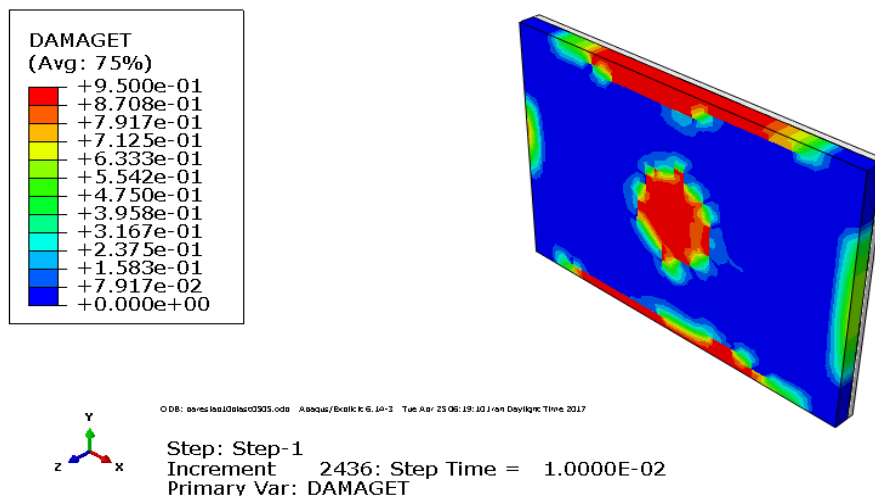
یافته های پژوهش

شکل (۳) (های با ضخامت های ۷ و ۱۰ سانتی متر تحت بار انفجار مورد بررسی قرار گرفتند در این بخش دال تحت بارگذاری قرار گرفت و FRP برای دستیابی به یک رفتار مناسب جهت مقاوم سازی دالها ابتدا نمونه بدون مصالح) نوع انفجار در نظر گرفته شده از نوع بصورت یک طرفه مقاوم سازی شد. FRP سپس همان دال ها با ضخامت های متفاوت CONWEP نرم افزار آباکوس، مدل سازی شد. CONWEP انفجار سطحی است. در تحقیق حاضر انفجار با استفاده از مازول (Computational Fluid Dynamics) (CFD) انفجار را با استفاده از مکانیک سیالات محاسباتی معادل، و سطحی از جسم که موج TNT مازول که در نرم افزار آباکوس وجود دارد، مقدار جرم ماده منفجره بر حسب انفجار با آن اندرکنش دارد به نرم افزار معرفی می شود. سپس فشار موثر وارد بر سازه توسط نرم افزار آباکوس به صورت بسیار دقیق و خودکار محاسبه می شود و بر سازه اثر می کند.

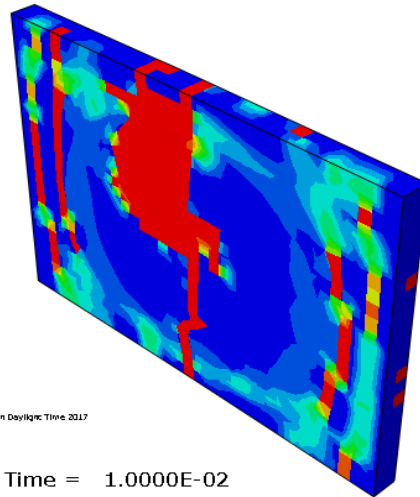
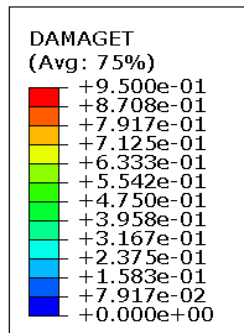


شکل ۳ دال تحت بار انفجار

دالها اساساً بر مبنای مدل صحت سنجی شده فصل سوم (دال با ابعاد $1150 \times 1650 \times 70$ میلی متر) مدل شده اند. و TNT با فاصله محل انفجار تا مرکز دال ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلیمتر و خرج انفجار 0.5 و ۱ کیلوگرم ماده منفجره از نوع براساس همان درصد آرماتور گزارش شده در بخش صحت سنجی ایجاد شده اند. لازم به توضیح است که در این پژوهش نتایج حاصل از اثرات انفجار با خرج های یاد شده در فاصله 0.5 متری بدلیل آسیب دیدگی و خرابی بیش از اندازه دال ها (شکل ۵-۲ تا ۵-۵) از بررسی آنها خودداری نموده ایم و فقط نتایج حاصل از اثرات انفجار با خرج ۱ کیلوگرم در فاصله ۱ متری که اثرات بیشتری بر روی دال ها داشته آورده شده است.



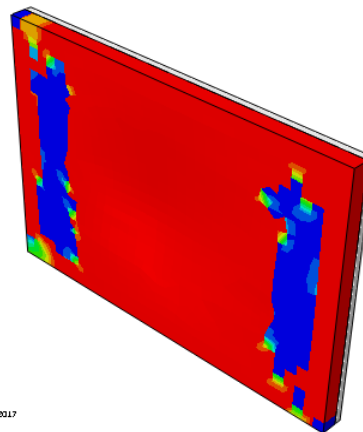
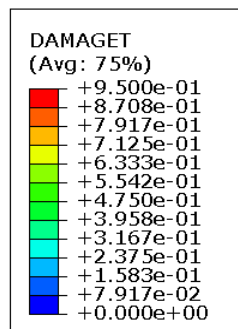
شکل ۴- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری با 0.5 کیلوگرم TNT در فاصله 0.5 متری



O DB: Joe-21.oda Aseque/Bralk k: 6, j4-1 Tue Apr 25 06:25:32 J /an Daylight Time 2017

Step: Step-1
 Increment 2489: Step Time = 1.0000E-02
 Primary Var: DAMAGET

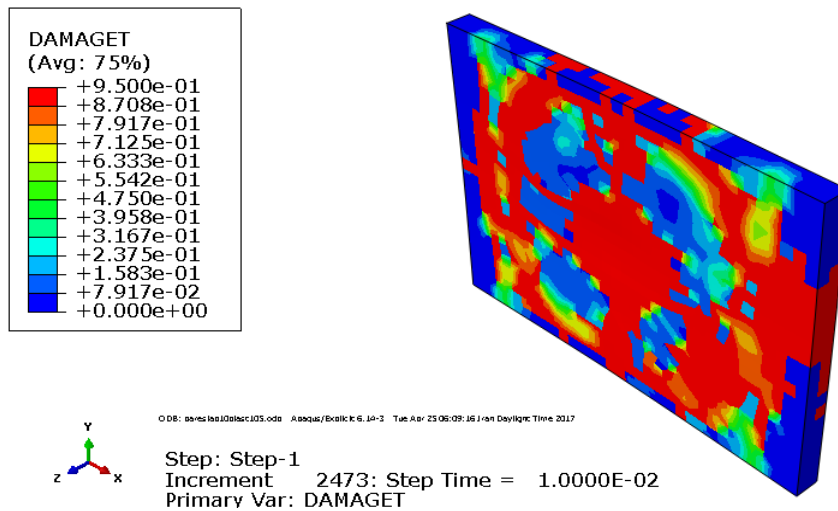
شکل ۵- میزان خرابی در دال ۱۰ سانتی متری با ۰/۵ کیلوگرم TNT در فاصله ۰/۵ متری



O DB: dggq.oda Aseque/Bralk k: 6, j4-1 Tue Apr 25 06:01:11 J /an Daylight Time 2017

Step: Step-1
 Increment 2434: Step Time = 1.0000E-02
 Primary Var: DAMAGET

شکل ۶- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری با ۱ کیلوگرم TNT در فاصله ۰/۵ متری



شکل ۷- میزان خرابی در دال ۱۰ سانتی متری با ۱ کیلوگرم TNT در فاصله ۰/۵ متری

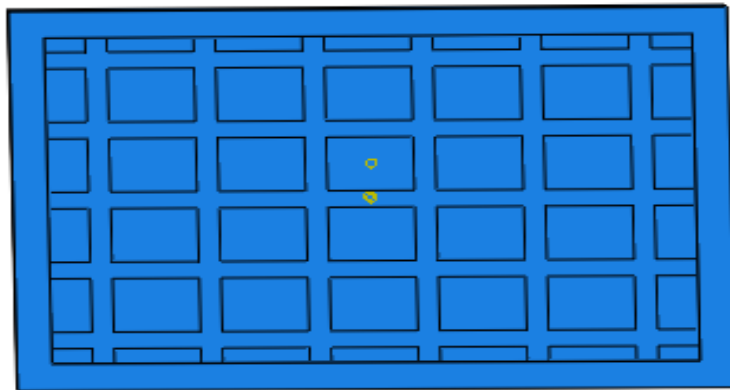
مشخصات آنها در این تحقیق (۵-۱) در این بخش ۸ دال با ضخامت ۷ و ۱۰ سانتی متر بررسی شده است که در جدول آورده شده است.

نام مدل	ابعاد دال	ضخامت دال	FRP ضخامت
Bare slab ^۷	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۷۰ میلی متر	تقویت نشده
Slab ^{۷-۱}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۷۰ میلی متر	۰/۵ میلی متر
Slab ^{۷-۲}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۷۰ میلی متر	۱ میلی متر
Slab ^{۷-۳}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۷۰ میلی متر	۱/۴ میلی متر
Bare slab ^{۱۰}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۱۰۰ میلی متر	تقویت نشده
Slab ^{۱۰-۱}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۱۰۰ میلی متر	۰/۵ میلی متر
Slab ^{۱۰-۲}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۱۰۰ میلی متر	۱ میلی متر
Slab ^{۱۰-۳}	میلی متر ۱۶۵۰×۱۱۵۰	۱۰۰ میلی متر	۱/۴ میلی متر

جدول ۱: مشخصات دالهای مورد استفاده در این تحقیق



همانطور که پیش از این گفته شد در این بخش هدف بررسی اثرات انفجار بر روی دال ها و بررسی رفتار دال های مشخص می شود) bare slab (که در اینجا با FRP می باشد. بنابراین ابتداء دال بدون FRP تقویت شده با کامپوزیتهای با ضخامت های مختلف (۵/۰، ۱ و ۴/۱ میلی متر) FRP سپس در مورد هر دال ۳ نوع مختلف از نوارهای بارگذاری شد و مطابق شکل (۵-۶) نصب و سپس نتایج مورد بررسی قرار گرفت. یادآور می گرد که در کلیه مدلها براساس مدل صحت به زیر دال و بصورت نوارهای ۵ سانتی متری عمود بر هم نصب شده است. بنابراین در نهایت FRP سنجی شده لایه های در این بخش ۸ مدل (۴ مدل برای هر دال) ارزیابی گردید که در بخش بعد به بررسی و مقایسه این نتایج خواهیم پرداخت.



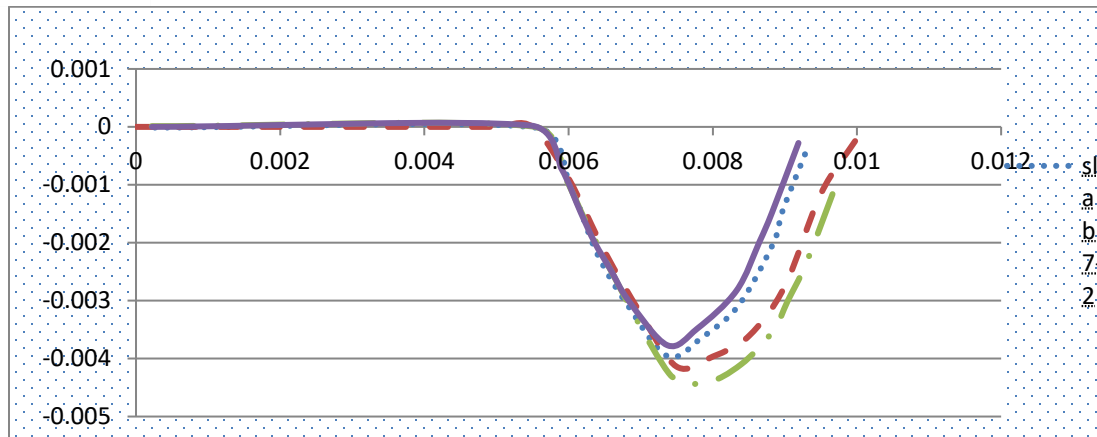
شکل ۸- نحوه قرارگیری نوارهای FRP به زیر دال

نتایج اثرات انفجار در فاصله ۱ متری با ۱ کیلوگرم TNT بر روی دال ۷ سانتی متری

تعیین میزان تغییر مکان نقطه وسط دال

FRP یکی از مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق تعیین ماکزیموم تغییر مکان نقطه وسط دال ها و تاثیرات لایه های بروی این تغییر مکان ها می باشد. در این قسمت سعی شده تغییر مکان نقطه وسط کلیه دال های ۷ سانتی متری با نمودار که در شکل ۵-۷ نمایش داده شده با هم مقایسه گردند.

Time (s)

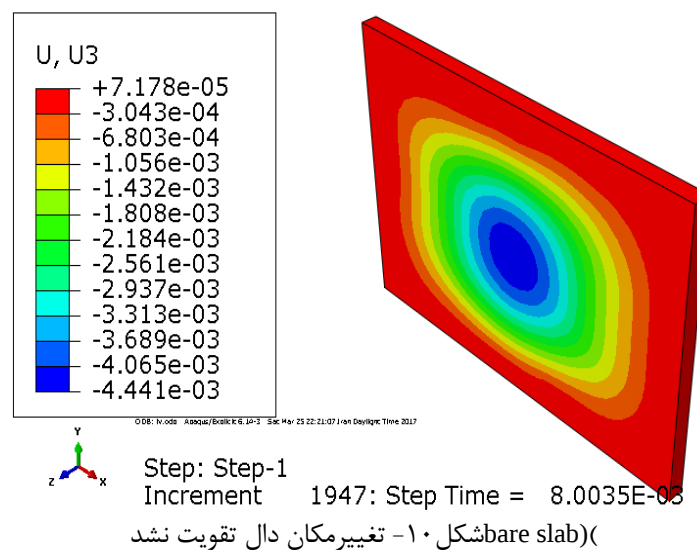


شکل ۹- نمودار تغییر مکان دال های ۷ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده با FRP

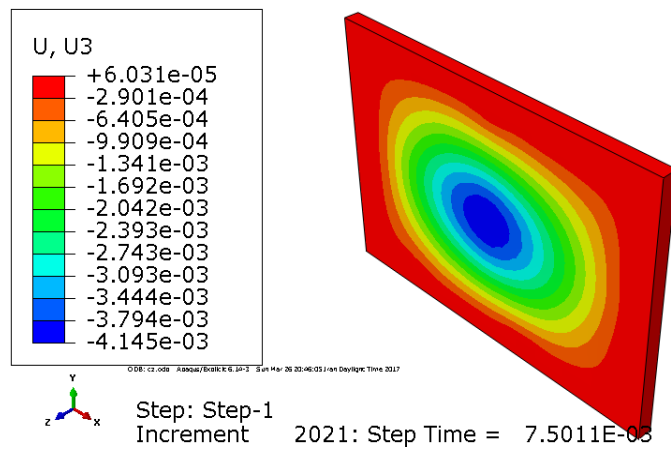
۵-۸ تا ۵-۱۱ کانتورهای جابجایی میزان تغییر مکان ها آورده شده است. که در جدول (۲) و در شکل های

Model	Disp(mm)
Bare slab	۴/۴۴۱
Slab-۱	۴/۱۴۵
Slab-۲	۳/۹۴۸
Slab-۳	۳/۸۰۹

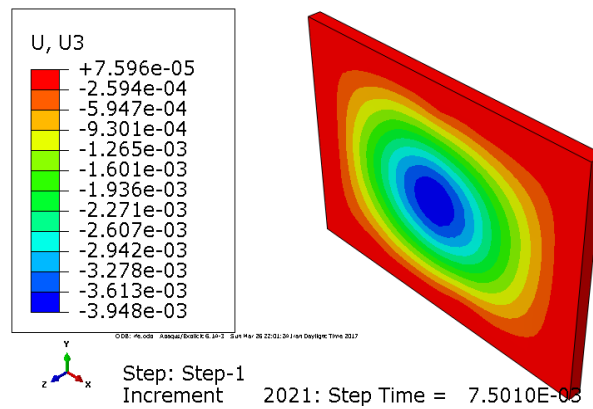
جدول ۲: نتایج تغییر مکان دال ۷ سانتی متری



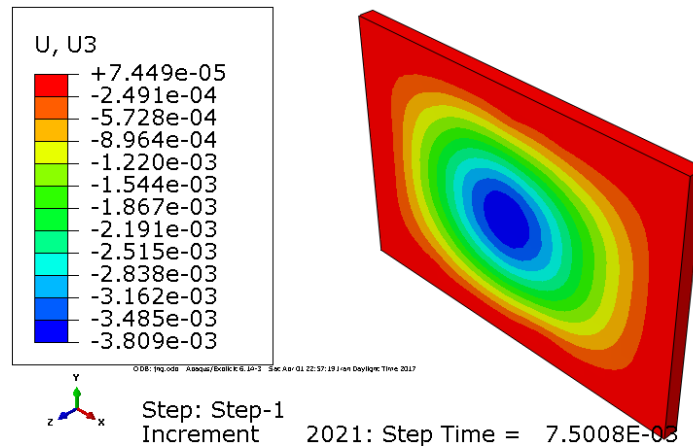
(bare slab) شکل ۱۰- تغییر مکان دال تقویت نشده



شکل ۱۱- تغییر مکان دال تقویت شده با FRP به ضخامت ۰/۵ میلی متر (slab ۷-۱)

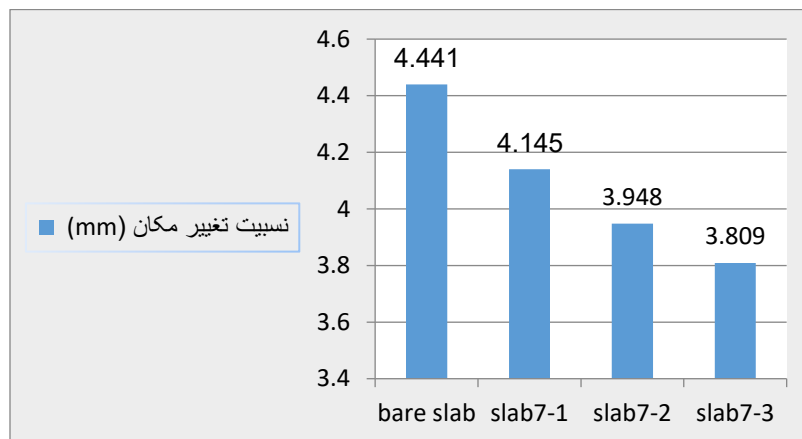


شکل ۱۲- تغییر مکان دال تقویت شده با FRP به ضخامت ۱ میلی متر (slab ۷-۲)



شکل ۱۳- تغییر مکان دال تقویت شده با FRP به ضخامت ۱/۴ میلی متر (۳-۷ slab)

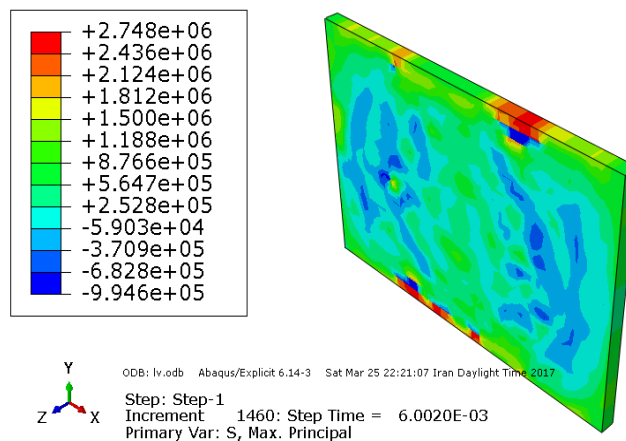
همانطور از مقادیر جدول ۵-۱۲ بر می آید و البته انتظار نیز می رود با مقاوم سازی تغییر مکان وسط دهانه کاهش می یابد. با FRP با مقدار ۴/۴۱ میلی متر در دال بدون تقویت به مقدار ۳/۸۰۹ میلی متر در دال تقویت شده با (استفاده شده رابطه وارونه میزان ضخامت CFRP ضخامت ۱/۴ میلی متر رسیده ایم. با مقایسه تغییر مکان و ضخامت ورق) تا ۱/۴ میلی متر بیشینه تغییر مکان CFRP با مقادیر بیشینه تغییر مکان مشخص می شود که با افزایش ضخامت ورق (مرکزی تا حدود ۱۳/۶ درصد کاهش می یابد.



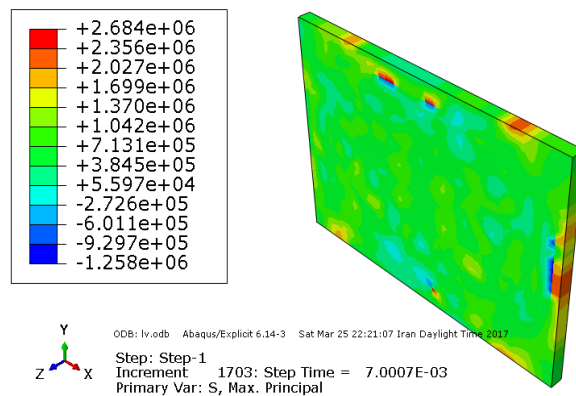
شکل ۱۴- مقایسه تغییر مکان دال های ۷ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده با (FRP)

تغییرات تنش در دال ۷ سانتی متری

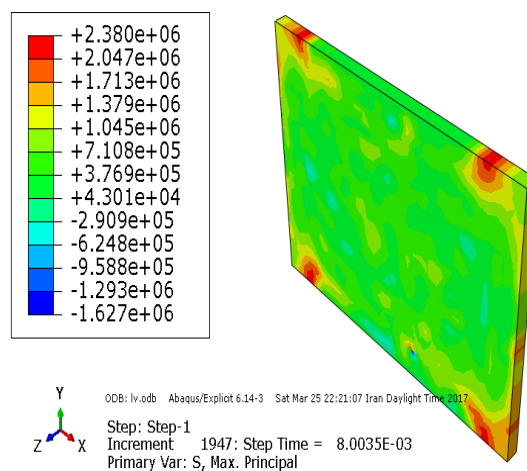
اساساً لایه های کامپوزیت سبب افزایش محصورشدگی در دال ها شده و میزان تنش قابل تحمل را در آن بالا می برند. تغییر شکل جذب انرژی در دال های با محصورشدگی ضعیف تر به ناچار باید از طریق تغییرشکلهای بیشتر صورت پذیرد زیاد می تواند موجب آسیب بیش از حد سازه ای و غیر سازه ای و در نتیجه افزایش هزینه های تعمیر پس از رخداد مورد نظر نماید. با یک طرح مناسب برای مقاوم سازی و افزایش توان دال در تحمل تنش، جذب انرژی به شیوه ای ساده تر انجام می گیرد. هدف اصلی در این بخش، بررسی تاثیر کامپوزیتها در میزان تنش قابل تحمل در دال است. در شکل های ۵- به ضخامت ۱/۴ (FRP) و تقویت شده با نوار bare slab تقویت نشده (۱۳ لغایت ۲۲ کانتور تنش ایجاد شده در دال میلی متر در زمان های ۰/۰۰۶ ثانیه تا ۰/۰۱ ثانیه پس از وقوع انفجار نمایش داده شده است. همانطور که دیده می شود bare slab به ضخامت ۱/۴ میلی متر و کمترین تنش مربوط به دال تقویت نشده (FRP بیشترین تنش در دال تقویت شده با دهد و ظرفیت تحمل بار را در دال افزایش می (FRP) اتفاق افتاده است. بنابراین (Support) می باشد و در تکیه گاه (slab بار) در نتیجه انرژی) وارده به همه دال ها موجب تحمل تنش های بیشتری در آن شده است و با توجه به اینکه میزان یکسان است سایر دال ها که تنش کمتری را نتیجه می دهند مجبور به تحمل تغییرشکلهای بزرگتری خواهند شد. همانگونه که در شکل های ۵-۱۵ لغایت ۲۴ کانتورهای تنش دیده می شود بیشینه تنش در زمان هایی از انفجار کاهش یافته و این بدان معنی است که با وارد شدن بتن دال از کشسان به مومسان، مقداری از انرژی ماده ی منفجره با آسیب دیدگی بتن میرا می شود که در مورد این آسیب دیدگی ها در بخش های بعدی صحبت خواهد شد.



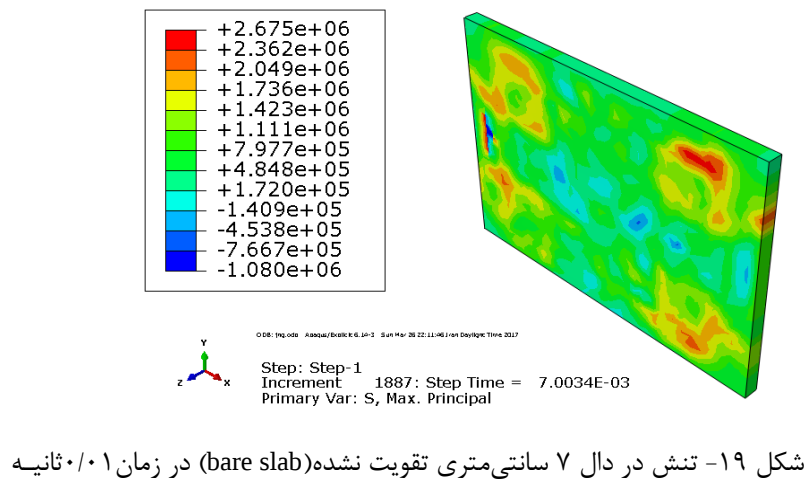
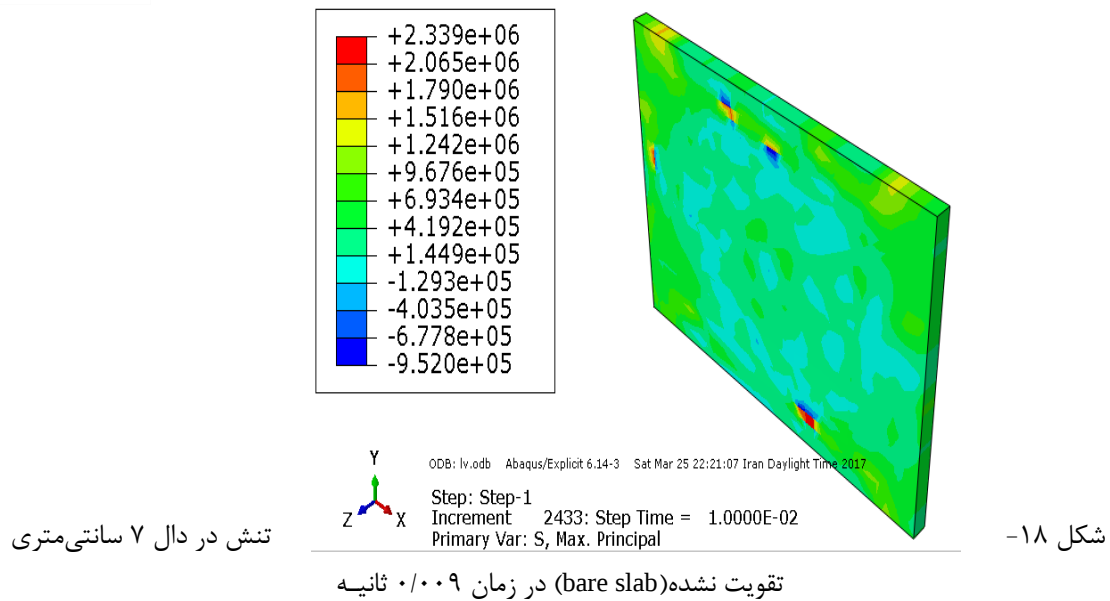
شکل ۱۵- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۰۶ ثانیه

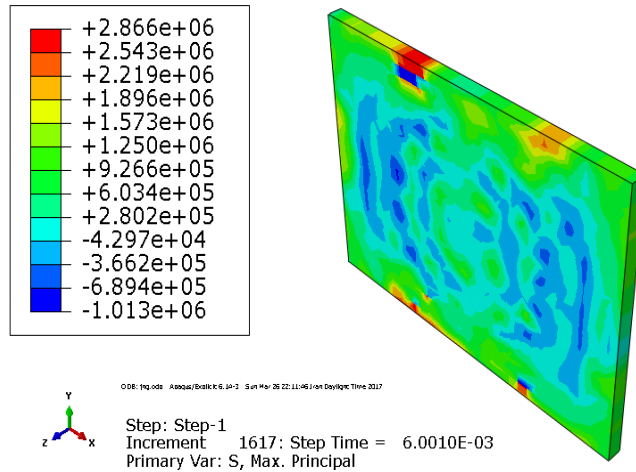


شکل ۱۶- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۰۷ ثانیه

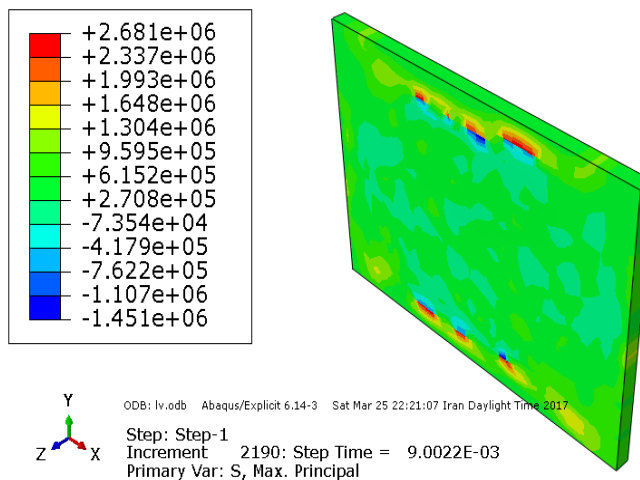


شکل ۱۷- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۰۸ ثانیه

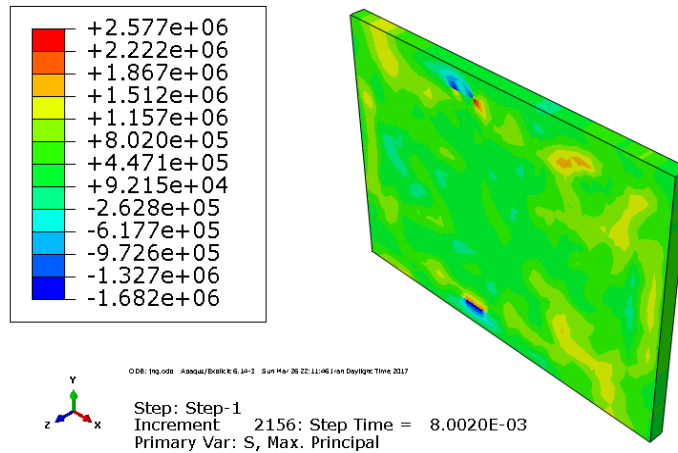




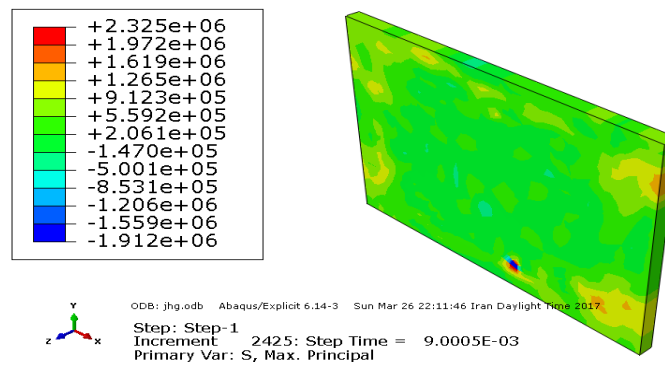
شکل ۲۰- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با FRP به ضخامت ۱/۴ میلی متری (۷-۳ slab) در زمان ۰/۰۰۶ ثانیه



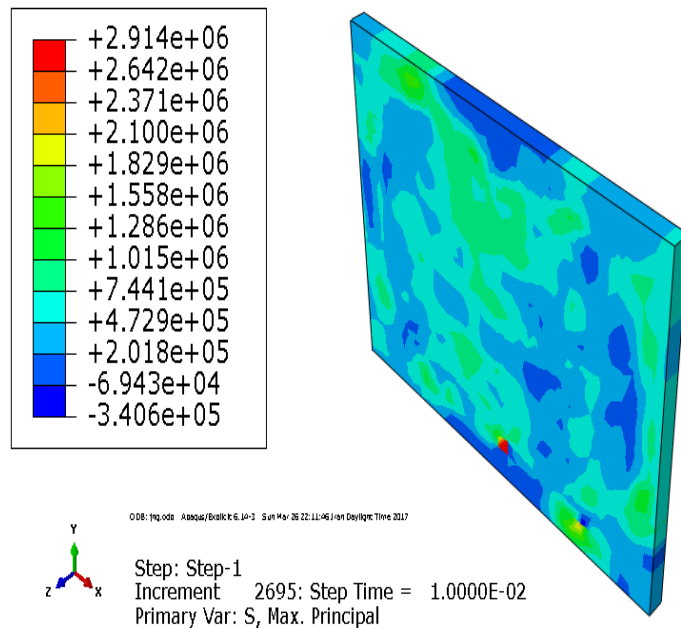
شکل ۲۱- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با FRP به ضخامت ۱/۴ میلی متری (۷-۳ slab) در زمان ۰/۰۰۷ ثانیه



شکل ۲۲- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با FRP با ضخامت ۱/۴ میلی متری (۳-۷ slab) در زمان ۰/۰۰۸ ثانیه



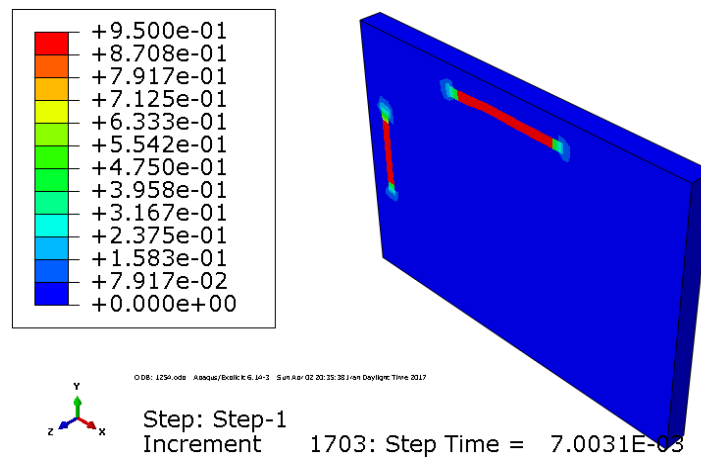
شکل ۲۳- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با FRP با ضخامت ۱/۴ میلی متری (۳-۷ slab) در زمان ۰/۰۰۹ ثانیه



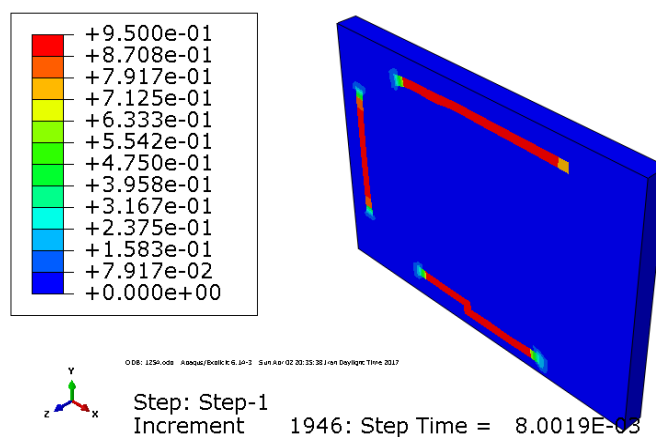
شکل ۲۴- تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با FRP ۱/۴ میلی متری (۳-۷ slab) در زمان ۰/۰۱ ثانیه

بررسی اثر انفجار بر آسیب دیدگی و خرابی دال ۷ سانتی متری

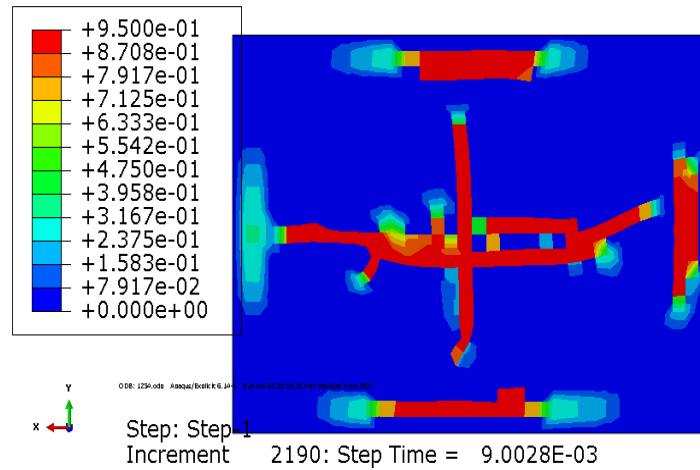
برای ارزیابی آسیب دیدگی فشاری و کششی و همچنین اندازه ی آسیب پدید آمده، نمودارهای رنگی پخش آسیب فشاری و کششی برای دال بتنی تقویت نشده با ضخامت ۷ سانتی متر و با دوری ۱ متر نهاده ی انفجار از میانه دال در شکل های ۵-۲۳ تا ۵-۳۰ نشان داده شده است. که این آسیب فشاری و کششی در نرم افزار آباکوس به کمک نمودارهای رنگی به خوبی نمایان می باشد. در این نمودارها رنگ آبی نشان دهنده ی بخشی از دال بدون آسیب دیدگی است که با افزایش آسیب دیدگی ها، رنگ ها از آبی به قرمز می گراید. مبنای خرابی دال همان طور که ذکر شد، خرابی کششی و فشاری بتن بر اساس روابط ۴-۲۴ و ۴-۲۵ تعیین می گردند. با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده، مشاهده شد که خرابی ها در تکیه گاه دال شروع شده و رفته رفته در ناحیه کششی دال تا مرکز دال نیز ادامه پیدا می کند.



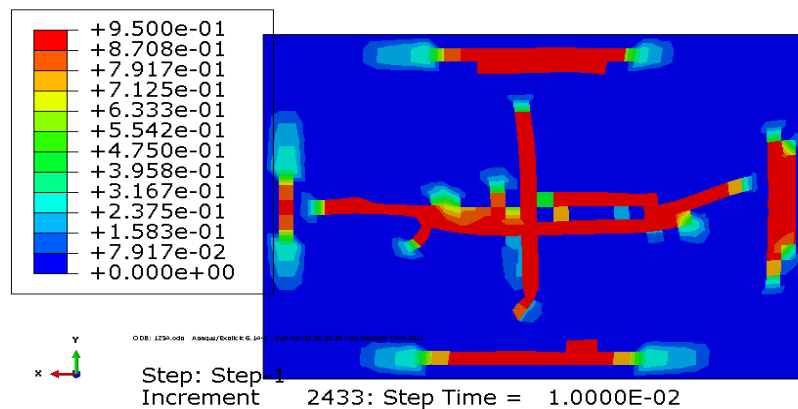
شکل ۲۵- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۰۷ ثانیه



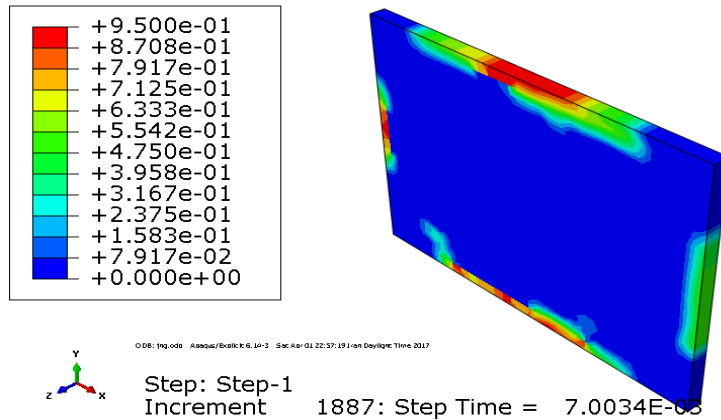
شکل ۲۶- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۰۸ ثانیه



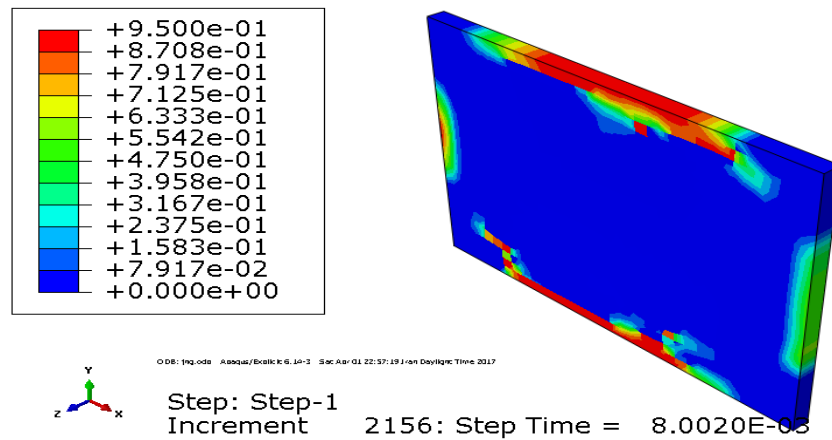
شکل ۲۷- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۰۹ ثانیه در نمای پشت به انفجار



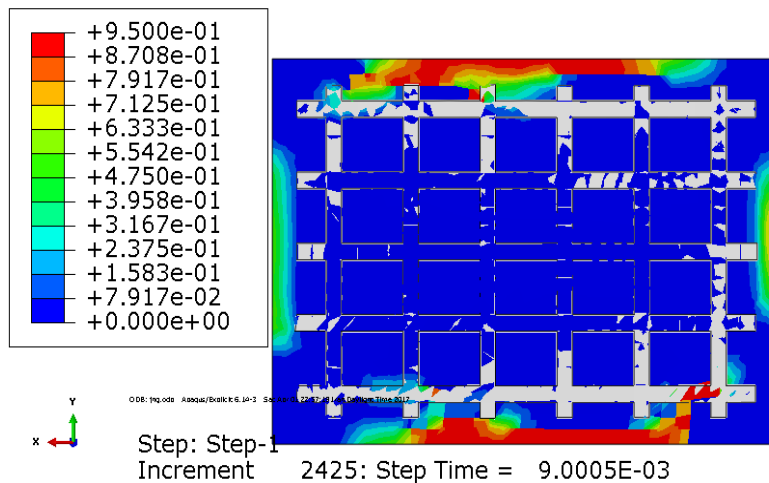
شکل ۲۸- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده (bare slab) در زمان ۰/۰۱ ثانیه در نمای پشت به انفجار
 به ضخامت ۱/۴ میلی متر این مقدار خرابی ها همانگونه که در شکل های FRP با تقویت دال ۷ سانتی متری با نوارهای
 ۲۹-۵ تا ۳۱-۵ مشخص می باشد در ناحیه مرکزی دال کاهش پیدا نموده و فقط در تکیه گاه که فاقد این نوارهای تقویتی
 می باشد باقی مانده اند.



شکل ۲۹- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با نوارهای FRP (۳-۷ slab) در زمان ۰/۰۰۷ ثانیه

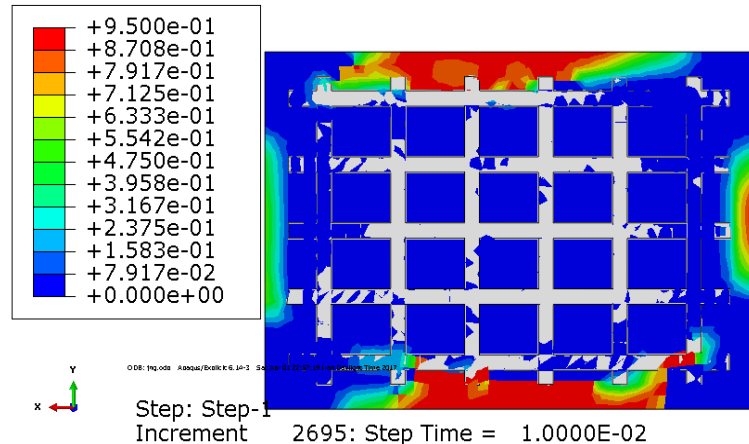


شکل ۳۰- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با نوارهای FRP (۳-۷ slab) در زمان ۰/۰۰۸ ثانیه





شکل ۳۱- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با نوارهای FRP (bare slab) در زمان ۰/۰۰۹ ثانیه در نمای پشت به انفجار



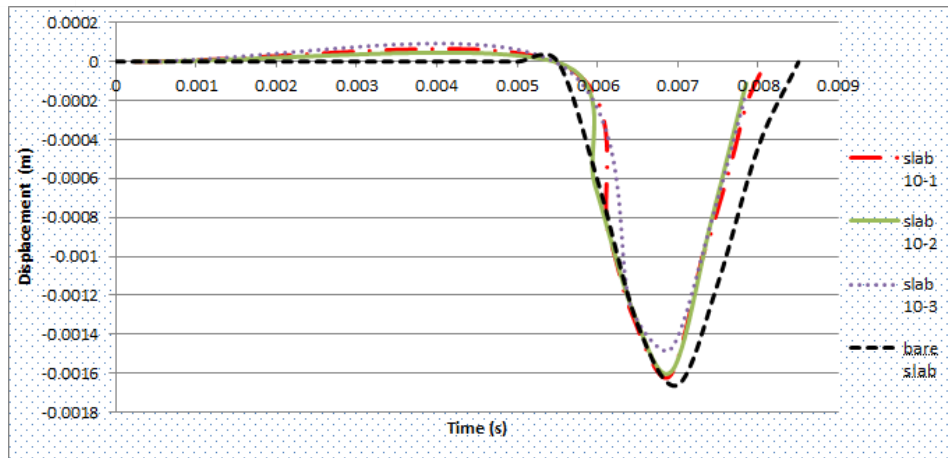
شکل ۳۲- میزان خرابی در دال ۷ سانتی متری تقویت شده با نوارهای FRP (bare slab) در زمان ۰/۰۱ ثانیه در نمای پشت به انفجار

نتایج اثرات انفجار در فاصله ۱ متری با ۱ کیلوگرم TNT بر روی دال ۱۰ سانتی متری:

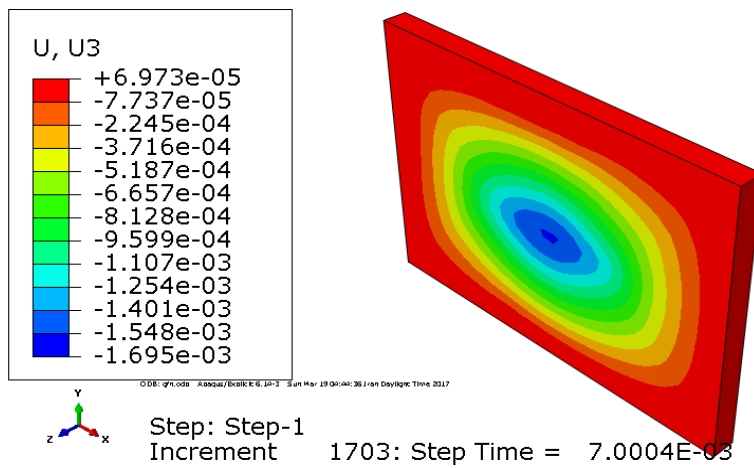
TNT در این بخش ضخامت دال را باندازه ۳ سانتی متر نسبت به مدل قبل افزایش داده و اثرات منفجر نمودن ۱ کیلوگرم در فاصله ۱ متری از مرکز دال را مورد ارزیابی قرار می دهیم. ۴ نوع دال با ابعادی که در بخش های قبل ذکر شد با ضخامت های ۰/۵، FRP و تقویت شده با نوارهای bare slab (۱۰۰*۱۵۰*۱۶۵۰ میلی متر) به صورت تقویت نشده (۱ و ۱/۴ میلی متر مدل گردیده و نتایج اثرات این انفجار بروی تغییر مکان، تنش و میزان خرابی دال ها را بررسی می نماییم.

تعیین میزان تغییر مکان دال ۱۰ سانتی متری

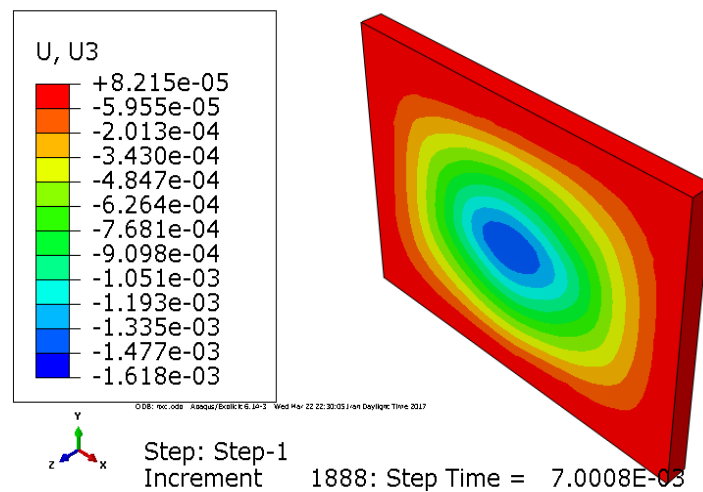
(دارای تغییر مکان بیشتری بوده که با اضافه کردن نوارهای bare slab همانطور که مشخص است دال تقویت نشده) با هر ضخامتی از میزان تغییر مکان وسط دال به مقداری کاسته شده است که میزان تغییر مکان دال ها در طول FRP زمان انفجار در نمودار ۵-۳۱ و ماکزیموم این تغییر مکان در شکل های ۵-۳۲ تا ۵-۳۵ و در جدول ۵-۳۶ مشخص گردیده است.



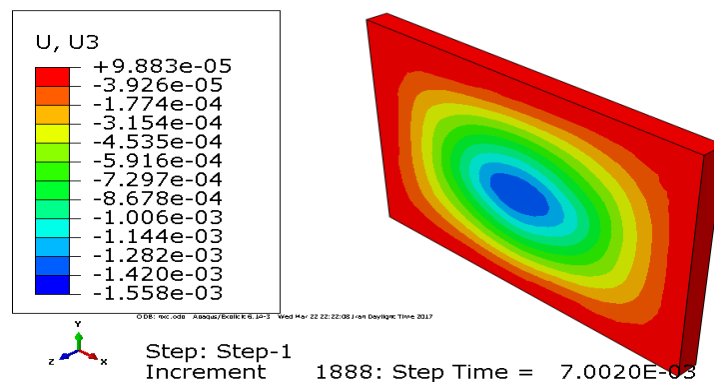
شکل ۳۳- نمودار تغییر مکان دال های ۱۰ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده با FRP



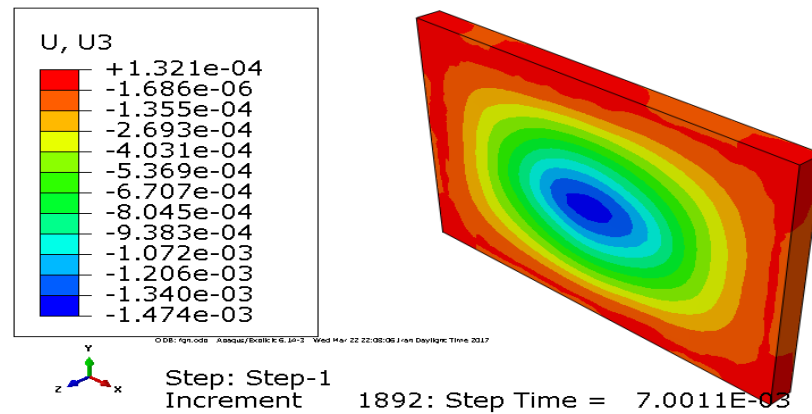
شکل ۳۴- تغییر مکان دال ۱۰ سانتی متری تقویت نشده (bare slab)



شکل ۳۶- تغییر مکان دال ۱۰ سانتی متری تقویت شده با FRP به ضخامت ۰/۵ میلی متر (۱-۱۰ slab)



شکل ۳۶- تغییر مکان دال ۱۰ سانتی متری تقویت شده با FRP به ضخامت ۱ میلی متر (۲-۱۰ slab)



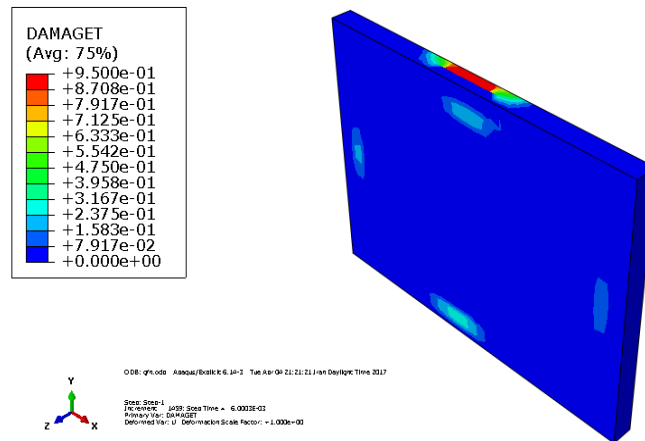
شکل ۳۷- تغییر مکان دال ۱۰ سانتی متری تقویت شده با FRP به ضخامت ۱/۴ میلی متر (۱۰-۳ slab)

Model	Disp(mm)
Bare slab	۱.۶۹۵
Slab ۱۰-۱	۱.۶۱۸
Slab ۱۰-۲	۱.۵۵۸
Slab ۱۰-۳	۱.۴۷۴

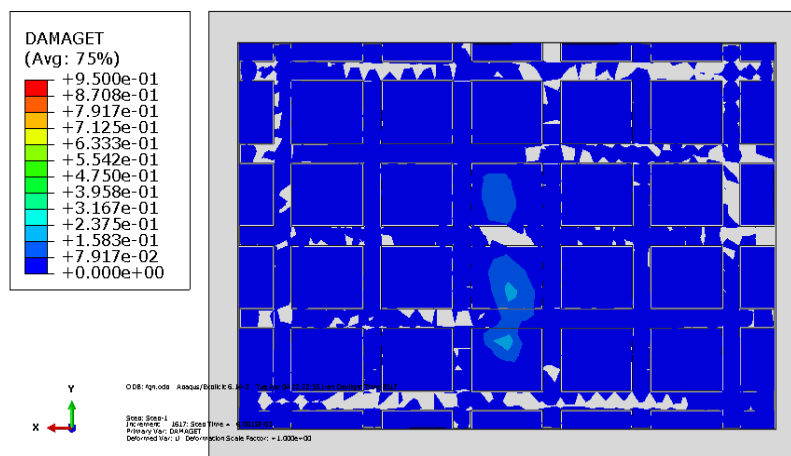
جدول ۳- نتایج تغییر مکان دال ۱۰ سانتی متری

بررسی اثر انفجار بر آسیب دیدگی و خرابی در دال ۱۰ سانتی متری

در اثر امواج تولید شده ناشی از انفجار، قسمتی از آن توسط دال بتنی به بیرون بازتاب داده شده و قسمتی از آن بصورت تنش کششی در سمت پشت به انفجار جذب شده و سبب خرابی بتن می شود. در دال بتنی ۱۰ سانتی متری تقویت نشده ها این خرابی ها بصورت ترکهای کششی در (با توجه به ضخامت و سختی دال ۱۰-۳ slab) و تقویت شده (bare slab) زیر تکیه گاه نمایان شده است که در شکل ۴۶-۵ تا ۴۷-۵ میزان این خرابی ها نمایش داده شده است.



شکل ۳۸- میزان خرابی در دال ۱۰ سانتی متری تقویت نشده (bare slab)



شکل ۳۹- میزان خرابی در دال ۱۰ سانتی متری تقویت شده (slsb ۱۰-۳) در نمای پشت به انفجار

همانگونه که در دال ۱۰ سانتی متری مشاهده می شود میزان خرابی دال به زیر تکیه گاه محدود شده و در وسط دال با توجه به تغییر شکل کم، میزان خرابی نیز بسیار کم شده است.

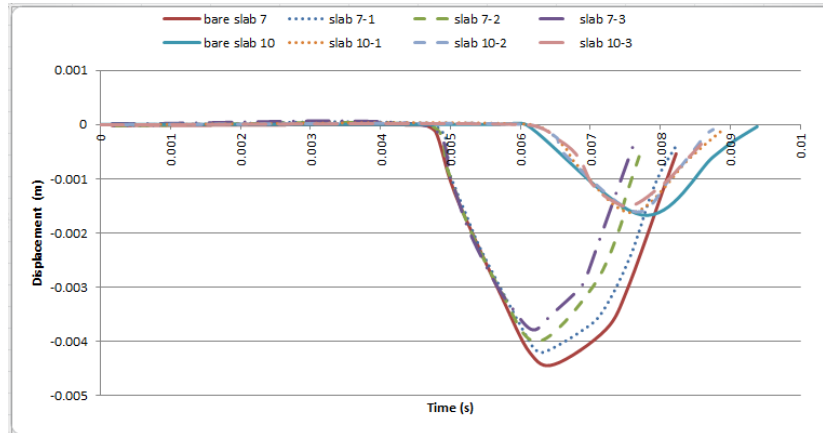
مقایسه نتایج اثرات انفجار در فاصله ۱ متری با ۱ کیلوگرم TNT بر روی دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری

مقایسه تغییر مکان وسط دال ها

همانطور که از نتایج اثرات انفجار بروی دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری حاصل گردیده مشاهده می شود (شکل ۵-۴۸) در (با افزایش ضخامت دال از ۷ سانتی متر به ۱۰ سانتی متر تغییر مکان وسط دال از ۴/۴۱ bare slab) حالت تقویت نشده سانتی متر به ۱/۶۹۵ سانتی متر رسیده است. یعنی با افزایش ضخامت، میزان تغییر مکان وسط دال تقریباً ۶۱ درصد



کاهش داشته است و این نشان دهنده این است که افزایش ضخامت دال به تنهایی نقش بسزایی در کاهش تغییر مکان (و دال ۱۰-۳ slab به ضخامت ۱/۴ میلی متر در دال ۷ سانتی متری (FRP وسط دال دارد. در حالت تقویت شده با نوار (این تغییر مکان ها بترتیب ۳/۸۰۹ و ۱/۴۴۷ میلی متر می باشد که نسبت به دال تقویت نشده ۱۰-۳ slab سانتی متر) هر کدام بترتیب ۱۴/۲ و ۱۳/۰۳ درصد کاهش داشته است.



شکل ۴۰- نمودار مقایسه تغییر مکان دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده با نوارهای FRP

Model	Disp(mm)	Model	Disp(mm)
Bare slab ۷	۴/۴۴۱	Bare slab ۱۰	۱/۶۹۵
Slab ۷-۱	۴/۱۴۵	Slab ۱۰-۱	۱/۶۱۸
Slab ۷-۲	۳/۹۸۴	Slab ۱۰-۲	۱/۵۵۸
Slab ۷-۳	۳/۸۰۹	Slab ۱۰-۳	۱/۴۷۴

جدول ۴: نتایج تغییر مکان دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده با نوارهای FRP

مقایسه تنش وارده بر دال ها

در این بخش به مقایسه تنش ایجاد شده تحت بار انفجار در دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده با به ضخامت ۱/۴ میلی متر می پردازیم. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد با افزایش ضخامت دال و همچنین افزایش FRP نوار محصورشدگی بوسیله نوارهای کامپوزیت میزان تنش قابل تحمل در دال نیز بالا می رود. با مقایسه میزان تنش در دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده مطابق جدول ۵-۴ مشاهده می شود دال های قویتر تنش بیشتری را (۵/۷ درصد نسبت به حالت ۷-۳ slab) تحمل نموده اند بطوریکه ماکزیموم تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت شده



(۱۳/۴ درصد نسبت به ۱۰-۳ slab) و ماکزیموم تنش در دال ۱۰ سانتی متری تقویت شده (bare slab ۷) تقویت نشده (bare slab ۱۰) همچنین ماکزیموم تنش در دال تقویت نشده ۱۰ سانتی متری (bare slab ۱۰) حالت تقویت نشده (bare slab ۷) ۲۰/۳ درصد و دال تقویت شده ۱۰ سانتی متری (bare slab ۱۰-۳) ۲۶/۳۵ درصد افزایش تنش دارد (۷-۳ slab) نسبت به دال تقویت شده ۷ سانتی متری .

Stress (Mpa) Time (S)	Bare slab ۷	Slab ۷-۳	Bare slab ۱۰	Slab ۱۰-۳
۰/۰۰۵	۰	۰	۰	۰
۰/۰۰۶	۲/۷۴۸	۲/۸۶۶	-۳/۴۴۱	-۳/۹۵۷
۰/۰۰۷	۲/۶۸۴	۲/۶۷۵	۲/۵۹	۲/۶۱۱
۰/۰۰۸	۲/۳۸	۲/۵۷۷	۲/۸۱۷	۲/۹۶
۰/۰۰۹	۲/۶۸۱	۲/۳۲۵	۳/۰۰۶	۳/۰۰۶
۰/۰۱	۲/۳۳۹	۲/۹۱۴	۲/۷۷۴	۲/۳۹۱

جدول ۵- نتایج تنش وارد بر دال های ۷ و ۱۰ سانتی متری تقویت نشده و تقویت شده

بحث و نتیجه گیری

- میزان خرابی و آسیب دیدگی دال ها در فاصله ۰/۵ متری با ۰/۵ کیلوگرم TNT در مقایسه با میزان خرابی و آسیب دیدگی در همان دال ها در فاصله ۱ متری با ۱ کیلوگرم TNT بیشتر می باشد. این حالت نشان می دهد که قدرت تخریب مواد منفجره با نزدیک شدن به هدف، بیشتر از حالت با افزایش مواد منفجره در فواصل دورتر می باشد.
- میزان خرابی و آسیب ایجاد شده ناشی از انفجار در دال ضخیم تر (دال ۱۰ سانتی متری) عموماً کمتر از دال نازک تر (دال ۷ سانتی متری) می باشد، همچنین در دال های تقویت شده با FRP های ضخیم تر بدلیل مقاومت بیشتر، میزان خرابی کمتر از حالت های تقویت شده با FRP های نازک تر و حالت تقویت نشده می باشد.
- نتایج نشان داد لایه های FRP سبب افزایش محصورشدگی در دال ها شده و میزان تنش قابل تحمل را در آن بالا می برند. جذب انرژی در دال های با محصورشدگی ضعیف تر به ناچار باید از طریق تغییر شکل های بیشتر صورت پذیرد. بیشترین تنش در دال های بررسی شده در دال ۱۰ سانتی متری تقویت شده با FRP به ضخامت ۱/۴ میلی متری و کمترین تنش در دال ۷ سانتی متری تقویت نشده ایجاد شده است. بنابراین افزایش ضخامت دال و افزایش ضخامت FRP ظرفیت تحمل بار را در دال افزایش می دهد و موجب تحمل



تنش های بیشتری در آن شده است و در نتیجه با توجه به اینکه میزان بار (و در نتیجه انرژی) وارده به همه دال ها یکسان است سایر نمونه های دال ها که تنش کمتری را نتیجه می دهند مجبور به تحمل تغییر شکل های بزرگتری خواهند شد.

➤ در تحلیل های صورت گرفته در دال های ضخیم تر ظرفیت باربری سیستم افزایش یافته، در نتیجه میزان تغییر مکان ایجاد شده وسط دال کاهش می یابد، بطوریکه مشخص است دال تقویت نشده دارای تغییر مکان بیشتری بوده که با اضافه کردن نوارهای FRP با هر ضخامتی از میزان تغییر مکان وسط دال کاسته شده است در حالت تقویت نشده با افزایش ضخامت دال از ۷ سانتی متر به ۱۰ سانتی متر تغییر مکان وسط دال از ۴/۴۴۱ سانتی متر به ۱/۶۹۵ سانتی متر رسیده است، یعنی با افزایش ضخامت، میزان تغییر مکان وسط دال تقریباً ۶۱ درصد کاهش داشته است. در حالت تقویت شده با نوار FRP به ضخامت ۱/۴ میلی متر در دال ۷ سانتی متری (slab ۷-۳) و دال ۱۰ سانتی متری (slab ۱۰-۳) این تغییر مکان ها بترتیب ۳/۸۰۹ و ۱/۴۴۷ میلی متر می باشد که نسبت به دال تقویت نشده هر کدام بترتیب ۱۴/۲ و ۱۳/۰۳ درصد کاهش داشته است. با توجه به نتایج پژوهش این پیشنهادها ارائه می شود:

- بررسی ظرفیت خمشی دال های سه طرف بسته و یک طرف باز (دال های کنسولی) تقویت شده با FRP با استفاده از نرم افزارهای اجزاء محدود.
- بررسی رفتار دال های کنسولی تقویت شده با FRP در مقابل انفجار در حالتی که لبه دال تحت یک بار خطی قرار داشته باشد.
- بررسی ظرفیت برشی دال های دو طرفه و یک طرفه تقویت شده با FRP در مقابل انفجار.

منابع

- [۱] Nam, J.W., Kim, H.J., Kim, S.B., Yi, N.H., Jay Kim, J.H. (۲۰۱۰). "Numerical evaluation of the retrofit effectiveness for GFRP retrofitted concrete slab subjected to blast pressure. "Composite Structures., pp. ۱۲۱۲-۱۲۲۲.
- های ها تحت اثر بارگذاری، صادقی، ج (۱۳۸۷). بررسی اثر میراگرهای جاری شونده بر رفتار قاب. سعیدمنیر، ح [۲]
- ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ماه، تهران، ایران. انفجاری، چهارمین کنگره
- [۳] Wang, W., Zhang, D., Lu, F., Wang, S.C., Tang, F. (۲۰۱۲). "Experimental Study on Scaling the explosion resistance Of a One-Way square reinforced concrete slab under a close-in blast loading." Intrnational Journal of Impact Engineering., vol. ۴۹, pp. ۱۵۸-۱۶۴.



[۴] Hsin, L., Hong, H., MA G.W. (۱۹۹۸). "Numerical Simulation Of Dynamic Responses of RC Slabs Under Blast Loading. "International symposium on strength theory., Application development & prospects for ۲۱st century.

[۵] Hsin Yu, L., Hong, H. (۲۰۰۱). "Reliability analysis of reinforced concrete slabs under explosive loading. "Structural Safety., Vol. ۲۳, Issue ۲, pp. ۱۵۷-۱۷۸.

[۶] Lin, X., Zhang, Y. X., Hazell, P. J. (۲۰۱۴). "Modeling the Response of Reinforced Concrete Panels under Blast Loading. "Mater Design ۲۰۱۴, ۵۶, pp. ۶۲۰-۶۲۸.

[۷] Leppanen, J. (۲۰۰۵). "Experimentals and numerical analyses of blast and fragment impacts on concrete." International Journal of Impact Engineering., Vol. ۳۱, pp. ۸۴۳-۸۶۰.

[۸] María, L.B., Mariela, L. (۲۰۰۶). "Concrete pavement slab under blast loads/International Journal of Impact Engineering. "Volume ۳۲, Issue ۸, pp. ۱۲۴۸-۱۲۶۶.

Abaqus. ۲۰۱۵. Version ۶.۱۴.۱[۹]-Analysis User Manual.