

## بررسی پاسخ دینامیکی سازه بتن مسلح طراحی شده مطابق با ضوابط لرزه ای در برابر بارگذاری انفجار

رضا اسمعیل آبادی

عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران  
esmaeilabadi@riau.ac.ir

فریبرز حمیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران  
fariborz.hamidi.ac@gmail.com

کلید واژه‌ها: سازه بتن مسلح، انفجار، شبیه سازی اجزای محدود، تحلیل دینامیکی غیرخطی، ضریب افزایش دینامیکی

### چکیده

درک رفتار سازه ها در برابر بارگذاری انفجار از نیازمندیهای اولیه منظور نمودن پدافند غیرعامل در سازه هاست. سازه های بتن مسلح که مطابق ضوابط لرزه ای طراحی شده اند، به وفور در کشور مورد استفاده قرار می گیرند. برای درک رفتار دینامیکی و آسیب پذیری این سازه ها در برابر بارگذاری فوق العاده انفجار، در ابتدا یک سازه ۶ طبقه بتن مسلح مطابق آیین نامه لرزه ای ایران با استفاده از نرم افزار ETABS طراحی گردید. در گام بعد این سازه تحت تاثیر ماده منفجره در فاصله ۱۰ متری و با وزنهای متفاوت قرار داده شد. مقاومت فشاری و کششی بتن و وزن ماده منفجره متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق بوده‌اند. با توجه به تقارن موجود، تنها نیمی از سازه توسط نرم افزار اجزای محدود اباکوس شبیه سازی گردید. برای شبیه سازی وجه رو به انفجار از المانهای سه بعدی و برای سایر عناصر سازه ای دیگر از المانهای می‌له ای استفاده شد. اثر نرخ کرنش در رفتار مصالح فولاد و بتن با اعمال ضرایب افزایش دینامیکی در نظر گرفته شد. برای اطمینان از دقت نتایج پیش بینی شده توسط مدلها، در ابتدا صحت سنجی با استفاده از آزمایش انجام گرفته بر روی دال تحت تاثیر انفجار که توسط محققین پیشین انجام شده بود صورت گرفت. بعد از اطمینان از دقت نتایج مدلها، به بررسی تاثیر پارمترهای ذکر شده بر رفتار دینامیکی سازه بتن مسلح تحت انفجار پرداخته شد. ملاحظه گردید که وزن ماده منفجره تاثیر قابل توجهی بر پاسخ سازه خواهد داشت. اثر مقاومت فشاری بتن تاثیر کمتری داشته است.

### مقدمه

پدافند غیر عامل به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که به کارگیری جنگ افزارنیاز ندارد و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تاسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری نموده و یا می‌زان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد. وجود تهدیدات خصمانه و تروریستی علیه کشور اهمیت لحاظ نمودن وجوه مختلف پدافند غیرعامل را دو چندان می نماید. انجام اقدامات پدافند غیرعامل در جنگ‌های نامتقارن امروزی برای مقابله با تهاجمات خصمانه و تقلیل خسارت ناشی از حملات هوایی موضوعی بنیادی است که وسعت و گستره آن تمامی زیرساخت‌ها و مراکز حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی، سیاسی، ارتباطی، مواصلاتی نظیر بندر، فرودگاه‌ها، پل‌ها، زیر ساخت‌های محصولات کلیدی نظیر پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، مجتمع‌های بزرگ صنعتی، مراکز هدایت و فرماندهی و جمعیت مردمی کشور را در برمی‌گیرد. در نظر گرفتن پدافند غیرعامل در ساخت و مقاوم سازی سازه های نظامی، صنعتی، تجاری و مسکونی می تواند راهکاری مناسب برای کاهش خسارات جانی و مالی در اثر وقوع انفجار در داخل یا خارج از این سازه‌ها باشد.

یکی از معمول ترین سیستم های ساختمانی در کشور سازه های بتن مسلح هستند و بررسی رفتار این نوع سازه ها تحت اثر بارگذاری ناشی از انفجار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. سازه های بتن مسلح به دلیل مقاطع بزرگتر اعضا و ضخامت بیشتر می توانند مقاومت بیشتری در برابر بارگذاری انفجار نسبت به سازه های فولادی داشته باشند و از این رو اکثر سازه های محافظ در برابر انفجار از نوع سازه بتن مسلح انتخاب می گردد.

تحقیقات در خصوص اثر انفجار بر سازه ها در اواخر دهه ۸۰ میلادی آغاز گردید. بعد از واقعه ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱، این موضوع در مرکز توجه محققین قرار گرفت. از آن زمان تحقیقات آزمایشگاهی و عددی قابل توجهی در خصوص اثر انفجار بر سازه ها انجام گرفته که در ادامه تعدادی از جدیدترین این تحقیقات مرور خواهد شد.



(Jayasooriya et al., 2011) اثر انفجار بر قاب بتنی و مقاومت باقیمانده آن پس از انفجار را مورد بررسی قرار دادند. محل انفجار در نزدیکی سازه در نظر گرفته شده و اثر آن بر اعضای کلیدی سازه مانند ستونها مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل با استفاده از نرم افزارهای SAP2000 و LS-DYNA در دو مرحله انجام شده است. در گام اول با استفاده از نرم افزار SAP تحلیل تاریخچه زمانی خطی برای صحت سنجی رفتار کلی سازه قابی و توانایی آن برای بازیابی تعادل کلی قاب انجام شده است. در گام بعد تحلیل دینامیکی صریح با در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش برای تعیین رفتار غیرخطی المانهای زیرسازه آسیب پذیر تعیین شده در گام اول انجام شده است. مکانیزم های آسیب و شدت آسیب با بررسی تنش های اصلی و کرنش های پلاستیک تعیین شده و برای ارزیابی مقاومت باقیمانده المانهای کلیدی که خرابی آنها می تواند باعث خرابی سازه شود مورد استفاده قرار گرفته است.

(Tay et al., 2014) پاسخ دینامیکی دال بتن مسلح در برابر بارگذاری انفجار را مورد بررسی قرار دادند. شبیه سازی با استفاده از نرم افزار اجزای محدود LS-DYNA انجام شد. صحت سنجی با مقایسه نتایج به دست آمده از مدلسازی اجزای محدود و روابط تجربی موجود انجام گرفت. بعد از اطمینان از صحت نتایج، فاکتورهای موثر بر خرابی دال بتنی در اثر انفجار با انجام شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفت.

(Xiaoshan et al., 2014) پاسخ پانل های بتن مسلح به بارگذاری انفجار را با استفاده از شبیه سازی اجزای محدود و نرم افزار LS-DYNA مورد بررسی قرار دادند. اثر اندازه المانها بر مدل ماده بتن مورد بررسی قرار گرفت و اثرات نرخ کرنش بر مقاومت فشاری و کششی بتن در شبیه سازی در نظر گرفته شد. مدل ساخته شده با استفاده از نتایج تحقیق آزمایشگاهی محققین قبلی صحت سنجی شد. در گام بعد مطالعه پارامتریک برای بررسی تاثیر وزن ماده منفجره، فاصله سازه از مرکز انفجار، ضخامت پانل بتنی و نسبت مساحت آرماتور بر مقاومت پانل بتنی در برابر انفجار انجام شد.

(Hao et al., 2014) تاثیر ضرایب افزایش دینامیکی بر پیش بینی های عددی پاسخ دیوارهای بتن مسلح به بارگذاری انفجار را مورد مطالعه قرار دادند. از آنجایی که مقاومت دینامیکی بتن معمولاً بیشتر از مقاومت استاتیکی آن است، ضرایب افزایش دینامیکی برای تخمین صحیح رفتار ماده به کار برده می شوند. این ضرایب بر اساس انطباق منحنی نتایج آزمایشگاهی به صورت روابط تجربی تعیین می گردند. در این تحقیق با استفاده از روابط افزایش دینامیکی متفاوت، پاسخ دیوار بتنی به انفجار در فاصله ۵ متری با وزن های متفاوت ماده منفجره مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج با هم مقایسه شده است. بر اساس نتایج، محدوده فاصله مقیاس شده ای که در آن روابط ضریب افزایش دینامیکی تاثیر قابل توجهی بر شبیه سازی عددی داشته تعیین شده است.

(shiy and Stewart (2015) آسیب وارده به ستونهای بتن مسلح در اثر انفجار را با استفاده از شبیه سازی اجزای محدود مورد بررسی قرار دادند. ستونها یکی از مهمترین المانهای سازه ای در قابهای بتن مسلح هستند و ستونهای کناری سازه ها نیز در معرض بیشترین خطر آسیب از حملات تروریستی است. چندین پارامتر موثر بر رفتار تحت بار انفجار در تحقیق لحاظ گردیده است. برای انجام شبیه سازی ها از نرم افزار LS-DYNA استفاده شده است تا مقاومت باقیمانده ستونهای بتن مسلح پس از اعمال بار انفجار مورد بررسی قرار گیرد. در تحقیق حاضر، اثر انفجار با شدت های گوناگون بر روی یک سازه ۶ طبقه قاب خمشی بتن مسلح که مطابق ضوابط لرزه ای طراحی شده است مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## بارگذاری ناشی از انفجار

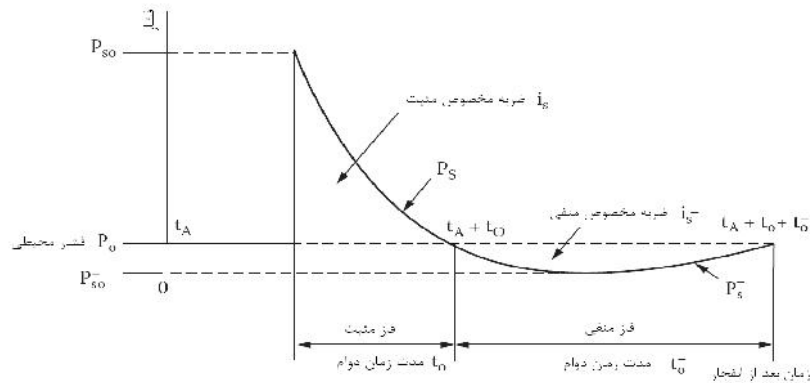
شکل عمومی تاریخچه فشار- زمان مربوط به موج شوک یک انفجار هوایی در هوای آزاد در شکل (۱) نشان داده شده است. جبهه موج به دلیل افزایش ناگهانی فشار ناشی از وقوع انفجار لزوماً عمودی است. فشار حداکثر ناشی از انفجار  $p_{so}$  در انتهای این فاز اولیه (زمان افزایش) قرار دارد. فشار ناشی از وقوع انفجار فشاری است که بر سطح موازی با جهت انتشار وارد می شود. سرعت انتشار  $V$  با زمان و فاصله کاهش می یابد ولی معمولاً از مقدار سرعت صوت در محیط بیشتر است.

ذرات گاز (مولکولهای گاز) با سرعت ذره ای  $u$  حرکت می کنند که کمتر از سرعت انتشار  $V$  است. سرعت ذره ای به فشار دینامیکی ای مربوط است که توسط بادی که از جبهه های شوک انفجار ایجاد شده اند تولید می شود. از آنجایی که شکل موج شوک به انرژی آزاد شده در حجمی که توسط محل جبهه تعیین می شود بستگی دارد، وقتی که جبهه شوک از مرکز انفجار شروع به پخش شدن می کند، فشار حداکثر تولید شده کاهش یافته و مدت بازه زمانی نیز کم می شود.

جبهه شوک در زمان  $t_a$  به هدف می رسد. بعد از گذشت  $t_r$  ثانیه از زمان رسیدن به هدف یعنی  $t_a$ ، فشار به می زان حداکثر خود یعنی  $p_{so}$  خواهد رسید. از آنجایی که فاصله زمانی مابین رسیدن جبهه شوک به هدف و وقوع فشار حداکثر،  $t_r$  بسیار کوتاه است، می توان فرض کرد که رسیدن به مقدار فشار حداکثر بصورت آنی بعد از رسیدن جبهه شوک اتفاق می افتد. فشار حداکثر  $p_{so}$  در مدت زمان  $t_0$  افت نموده و برابر با فشار اولیه محیط می شود که این فاصله به عنوان فاز مثبت ضربه فشار تعریف می گردد. بعد از این مرحله، فاز منفی اتفاق می افتد که به مدت  $t_0^-$  ادامه خواهد داشت و در این فاصله می زان فشار از می زان فشار اولیه محیط کمتر خواهد بود و مسیر باد (حرکت ذرات) معکوس خواهد شد. فاز منفی در طراحی اهمیت چندانی ندارد و معمولاً از آن صرف نظر می شود. مقدار ضربه ای که در اثر موج انفجار به هدف وارد می گردد برابر مساحت زیر



منحنی فاز مثبت منحنی فشار- زمان است و با  $\bar{P}_s$  نمایش داده می شود.



شکل ۱: تغییرات فشار- زمان در محیط باز [7]

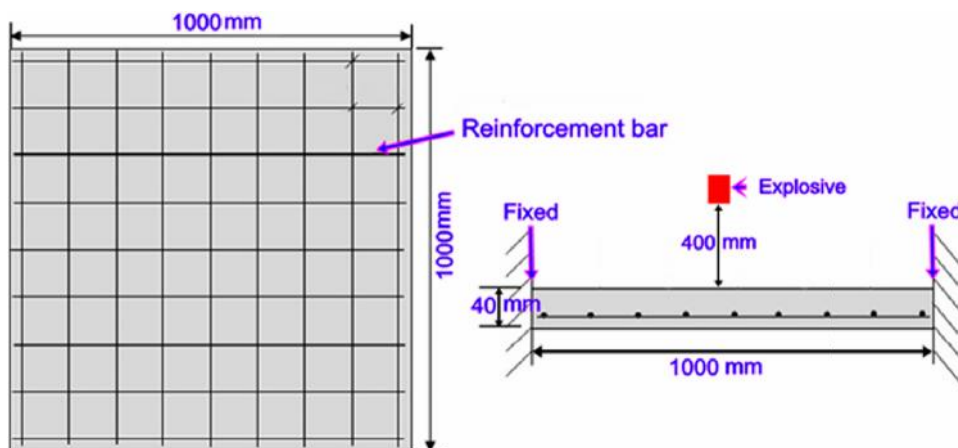
موج شوک تا زمانی که مانعی در برابر آن وجود نداشته باشد طبق رویه ای که در بالا ذکر شد منتشر خواهد شد. در صورتی که موج شوک به سطحی برسد که موازی جهت انتشار نیست (مانند دیوار یا یک سازه)، فشار انعکاسی تولید خواهد شد. فشار انعکاس یافته همان شکل کلی فشار تولید شده را دارد ولی می‌زان فشار حداکثر آن بزرگتر از فشار حداکثر موج اولیه است. فشار انعکاسی به موج اولیه و زاویه مایل بین سطح انعکاس دهنده و راستای انعکاس موج بستگی دارد.

برای شبیه سازی اثر انفجار در این تحقیق از روش Conwep استفاده شده است. کینگری و بولماش (سال ۱۹۸۴) بر پایه آزمایشات انجام شده این معادلات را برای پیش بینی پارامترهای انفجار در هوا ناشی از خرج کروی و نیم کروی ارائه دادند. محدوده آزمایشات مورد استفاده از ۱ کیلوگرم تی ان تی تا ۴۰۰ تن تی ان تی بوده است. این معادلات به طور گسترده مورد توجه واقع شد. در این روش از ساده سازی به صورت مثلث استفاده نمی شود و فشار انفجار به صورت نمایی مطابق رابطه زیر کاهش می یابد.

$$p(t) = P_{so} \left[ 1 - \frac{t - T_a}{t_o} \right] e^{\left[ \frac{-A(t - T_a)}{T_o} \right]} \quad (1)$$

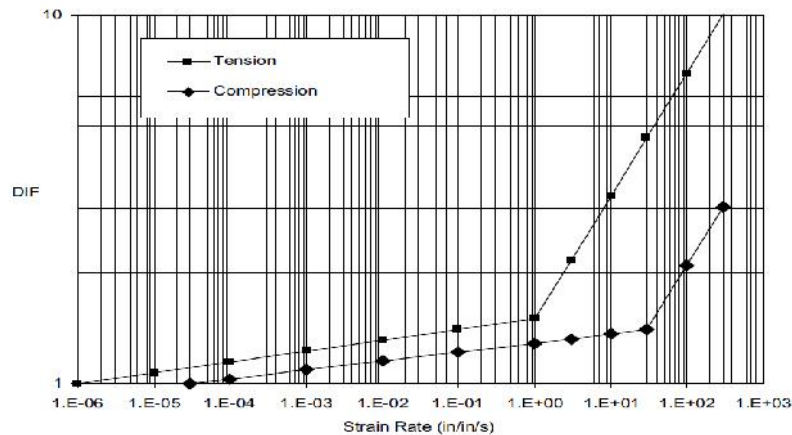
### شبیه سازی اجزای محدود

در ابتدا برای اطمینان از دقت پیش بینی های انجام شده توسط شبیه سازی اجزای محدود با نرم افزار ABAQUS مدل یک آزمایش موجود در ادبیات موضوع ساخته شده و نتایج اندازه گیری شده در آزمایش و نتایج پیش بینی شده توسط مدل اجزای محدود با هم مقایسه خواهند شد. برای انجام صحت سنجی از آزمایشات انجام شده توسط ژائو و چن استفاده شده است. هندسه نمونه در آزمایش انجام شده در شکل (۲) نشان داده شده است. هندسه دال و آرماتورها به دقت مشابه ابعاد ذکر شده برای نمونه آزمایشگاهی ساخته شد. برای مدل رفتاری فولاد از مدل دوخطی با در نظر گرفتن سخت شوندگی کینماتیک استفاده گردید. المانهای سه بعدی شش وجهی ۸ گرهی برای انجام شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفت. برای آرماتورها از المانهای خرابایی استفاده شد.

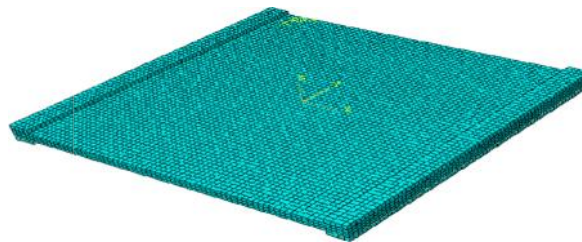


شکل ۲: مشخصات دال آزمایش شده توسط ژائو و چن (6)

اثر نرخ کرنش بر تنش تسلیم فولاد آرماتورها نیز با اعمال ضریب افزایش دینامیکی لحاظ گردیده است. برای شبیه سازی رفتار بتن از مدل پلاستیسیته آسیب دیده استفاده شده است. مقاومت فشاری بتن ۳۹ مگاپاسکال مطابق مقدار ذکر شده در آزمایش در نظر گرفته شده است. آسیب کششی و آسیب فشاری وابسته به می‌زان کرنش کششی و فشاری تعریف شد. اثر نرخ کرنش بر رفتار کششی و فشاری بتن با استفاده از نمودار مندرج در آیین نامه ارتش آمریکا با در نظر گرفتن ضریب افزایش دینامیکی که در شکل (۳) نشان داده شده است اعمال گردید. وزن ماده منفجره برابر ۳۱۰ گرم TNT بوده که در فاصله ۴۰ سانتی متری در بالای دال منفجر شده است. مدل اجزای محدود ساخته شده در شکل (۴) قابل مشاهده است.



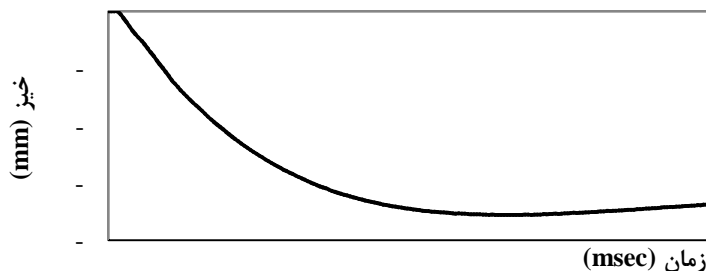
شکل ۳: ضرایب افزایش دینامیکی برای مقاومت کششی و فشاری فولاد با توجه به نرخ کرنش (7)



شکل ۴: مدل اجزای محدود دال آزمایش شده

شرایط تکیه گاهی مطابق آزمایش به صورت نوار فولادی در دو طرف دال در بالا و پایین آن تعبیه شده است. تحلیل دینامیکی صریح با در نظر گرفتن غیرخطی شدگی هندسی و ماده انجام شده است. فشار انفجار با استفاده از روش conwep به دال اعمال شده است. در شکل (۵) تاریخچه فشار وارد شده به مرکز دال در اثر وقوع انفجار قابل مشاهده است. حداکثر می‌زان فشار وارده محاسبه شده با استفاده از روش کانوپ در اثر انفجار برابر ۱۵.۵ مگاپاسکال است.

نمودار خیز وسط دال بر حسب زمان در شکل (۵) قابل مشاهده است. حداکثر می‌زان خیز در آزمایش ۱۵ می‌لیمتر بوده است و می‌زان پیش بینی شده توسط مدل اجزای محدود ۱۴.۱ می‌لیمتر است که خطایی در حدود ۶٪ نسبت به نتیجه آزمایش نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف نتایج قابل قبول بوده و می‌توان به نتایج حاصل از مدل اجزای محدود اطمینان نمود.

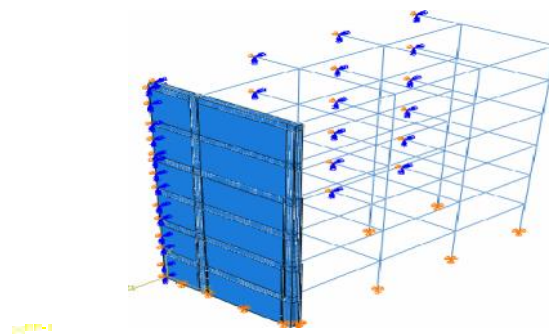


شکل ۵: تاریخچه خیز وسط دال

## طراحی و مدل‌سازی سازه

پس از صحت‌سنجی، سازه بتنی با سیستم قاب‌گیردار با شش طبقه و سه دهانه در هر جهت در نرم‌افزار ETABS برای تحمل بارهای مرده و زنده و زلزله مطابق آیین‌نامه‌های ایران طراحی گردید. ارتفاع طبقات ۳ متر و طول دهانه‌ها ۶ متر در نظر گرفته شده است. پس از تعیین ابعاد تیرها، ستونها و آرماتورها به انجام مدل‌سازی پرداخته شد. همانطور که قبلاً ذکر شد برای انجام شبیه‌سازی از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است. انفجار در فاصله ده متری از وجه خارجی ساختمان و در امتداد مرکز آن انجام می‌شود. به دلیل وجود تقارن، تنها نیمی از سازه مدل‌سازی شده است. برای شبیه‌سازی رفتار فولاد از مدل دو خطی با در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش توسط ضریب افزایش دینامیکی استفاده شده است. رفتار بتن با استفاده از مدل پلاستیسیته آسیب دیده و با در نظر گرفتن ضرایب افزایش دینامیکی برای مقاومت کششی و فشاری بتن تعریف شده است.

وجه رو به انفجار با استفاده از المانهای سه بعدی شش وجهی هشت‌گره‌ای و سایر تیرها و ستونها با استفاده از المانهای تیر شبیه‌سازی شده‌اند. آرماتورها با استفاده از المانهای خریابی شبیه‌سازی شده‌اند. اندرکنش آرماتورها و بتن با مدفون کردن آرماتورها در داخل اعضای بتنی تعریف شده است. وجه خارجی و مابقی سازه در محل اتصال تیر به ستونها به هم بسته شده‌اند. شرایط تکیه‌گاهی گیردار در کف و شرایط مرزی تقارن در وجهی از سازه که در آن از تقارن استفاده شده است تعریف گردیده است. مدل ذکر شده در شکل زیر قابل مشاهده است.

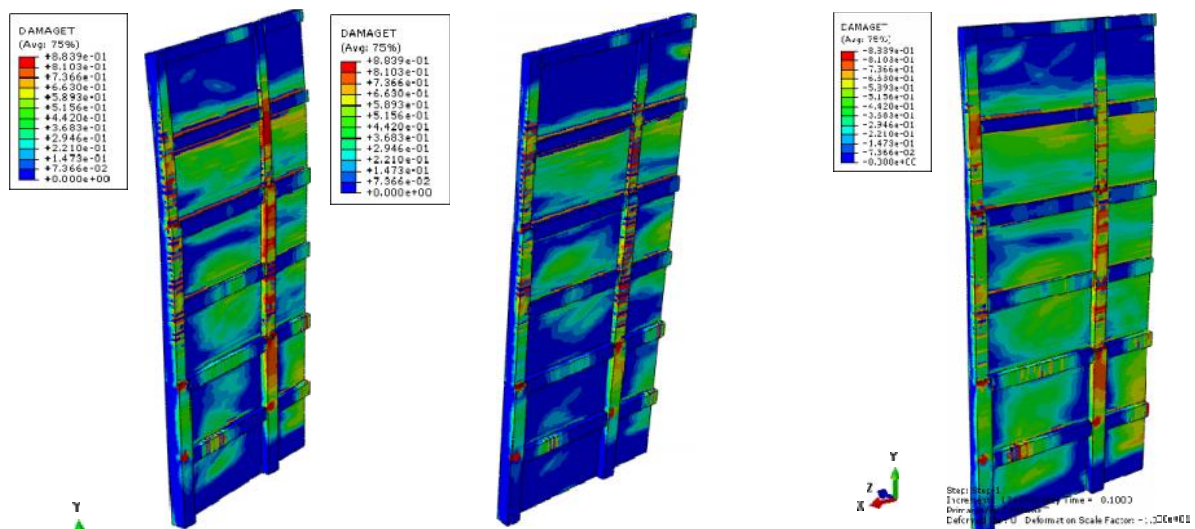


شکل ۶: مدل اجزای محدود و نقاط تکیه‌گاهی تعریف شده

اثر سه پارامتر بر رفتار و آسیب سازه بتنی تحت انفجار مورد بررسی قرار گرفته است. این سه پارامتر عبارتند از: - اثر نوع بتن از نظر مقاومت فشاری (مقاومت فشاری ۲۱، ۳۰ و ۴۵ مگاپاسکال)

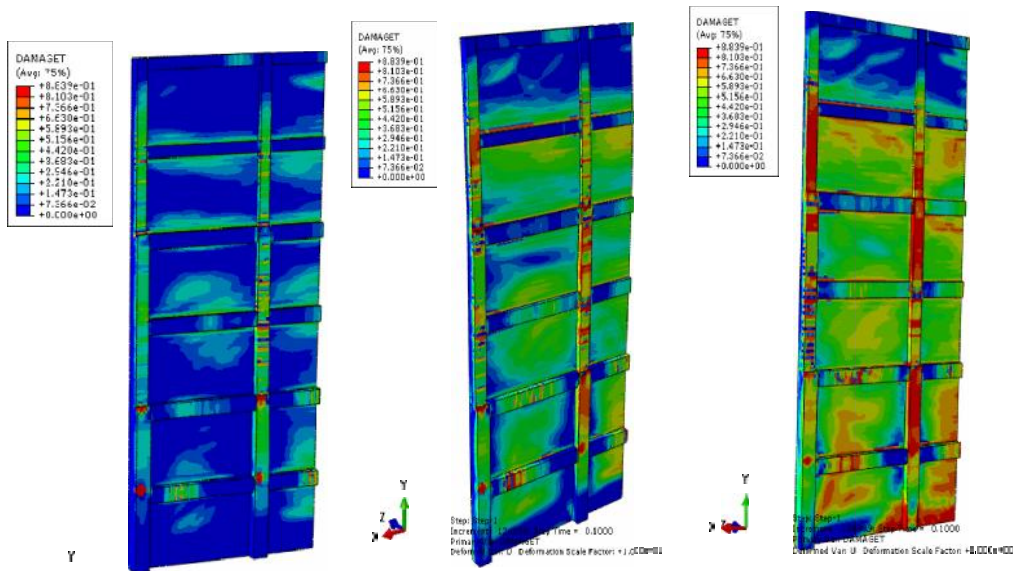
- اثر شدت انفجار (ماده منفجره با وزن‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در فاصله ۱۰ متری از سازه)

تحلیل دینامیکی غیرخطی صریح با در نظر گرفتن اثر نرخ کرنش انجام شده است. در شکل‌های (۷ و ۸) توزیع آسیب کششی در سازه در مدل ذکر شده به ترتیب قابل مشاهده است.



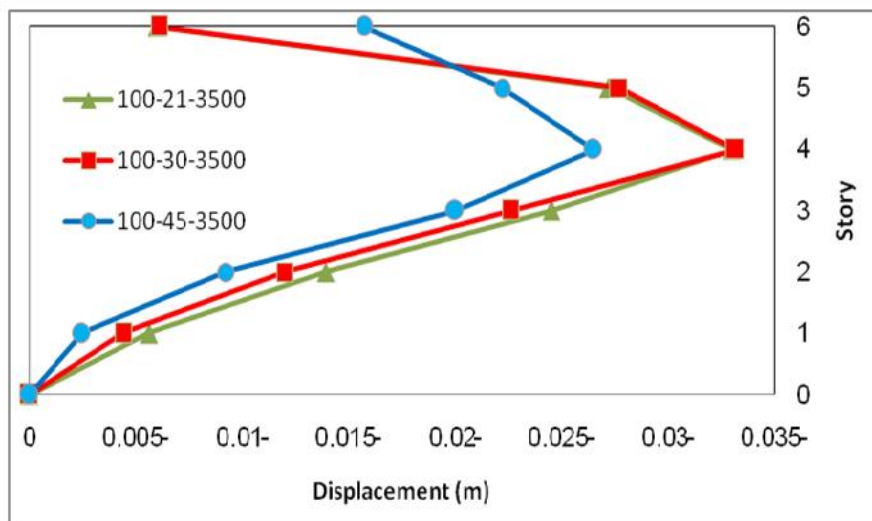
شکل ۷: از راست به چپ، توزیع آسیب کششی در قاب بتنی با مقاومت فشاری ۲۱، ۳۰ و ۴۵ مگاپاسکال



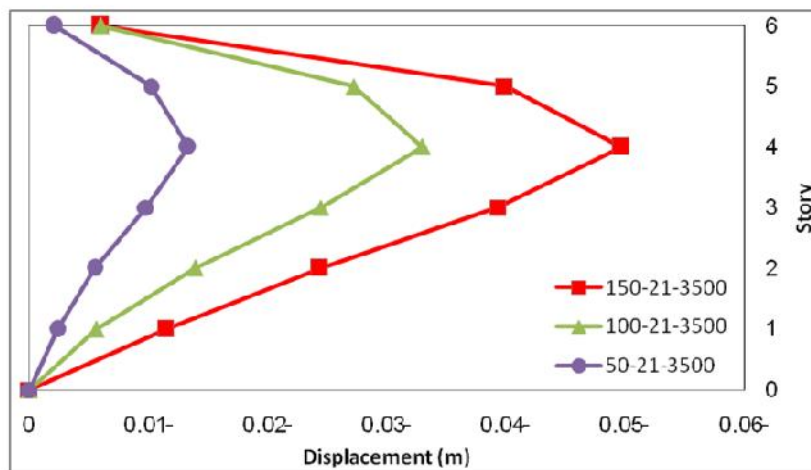


شکل ۸: از راست به چپ، توزیع آسیب کششی در قاب بتنی تحت انفجار به وزن ۱۰۰، ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم TNT

در شکل‌های (۹ و ۱۰) تغییر مکان طبقات شش گانه سازه در دو دسته مقاومت فشاری بتن و وزن ماده منفجره ذکر شده در بالا با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۹: تغییر مکان طبقات در سازه بتن مسلح با مقاومت فشاری ۲۱، ۳۰، ۴۵ مگاپاسکال تحت انفجار به وزن ۱۰۰ کیلوگرم TNT



شکل ۱۰: تغییر مکان طبقات در سازه بتن مسلح تحت انفجار به وزنهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم TNT

## نتیجه گیری

در این تحقیق می‌زان تاثیر وزن ماده منفجره و نیز مقاومت فشاری بتن در پاسخ سازه قاب بتن مسلح در برابر بارگذاری انفجار مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی هر کدام از این پارامترها سه مدل در نظر گرفته شده است. تحلیل دینامیکی صریح غیرخطی با زمان ۱۰۰ می‌لی ثانیه بر روی مدلها انجام شده و نتایج حاصله به صورت کانتور آسیب کششی و نمودار تغییرمکان طبقات مختلف استخراج شده است. نتایج حاصل از تحلیل ها در دو گروه مقاومت فشاری بتن و وزن ماده منفجره به شرح زیر است:

### مقاومت فشاری بتن

در سازه با مقاومت فشاری ۲۱ مگاپاسکال، توزیع آسیب کششی در سازه شامل تیر، ستون و دیوارها یکنواخت تر و گسترده تر است اما شدت آن در مقایسه با دو مدل دیگر را می‌توان کمتر دانست. در مدل با مقاومت فشاری ۳۰ مگا پاسکال، توزیع آسیب محدودتر شده اما آسیب با شدت بیشتر در ستونهای میانی سازه و تیرهای طبقات بالا رخ داده است. توزیع آسیب در سازه با مقاومت فشاری ۴۵ مگاپاسکال باز هم محدودتر شده و شدت آسیب در ستونها از مدل ۳۰ مگاپاسکالی کمتر است. تغییرمکان طبقات پایین مدل ۲۱ مگاپاسکالی اندکی بیشتر از تغییرمکانهای متناظر مدل با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال است. با این حال تغییرمکان طبقات بالاتر در این دو مدل یکسان است. حداکثر تغییرمکان در هر سه مدل در طبقه چهارم اتفاق افتاده است. تغییرمکانهای مدل با مقاومت فشاری ۴۵ مگاپاسکال به طور قابل ملاحظه ای از دو مدل دیگر کمتر است که دلیل آن را می‌توان به مدول الاستیسیته بالاتر آن و الاستیک ماندن بیشتر المانهای قاب مربوط دانست.

### وزن ماده منفجره

در مدلی که وزن ماده منفجره در آن ۵۰ کیلوگرم است آسیب های جزئی رخ داده که بیشتر در محل ستونها و به خصوص در طبقات پایینی قابل مشاهده است. با افزایش وزن ماده منفجره به ۱۰۰ کیلوگرم آسیب دیوارهای بتنی نیز قابل توجه شده اما همچنان بیشترین میزان آسیب در ستونها رخ داده است. با رسیدن وزن ماده منفجره به ۱۵۰ کیلوگرم ستونهای میانی طبقات دوم و چهارم و ستون گوشه طبقه پنجم به طور قابل ملاحظه ای آسیب می‌بینند. در تمامی مدل‌های این گروه بیشترین می‌زان تغییرمکان مربوط به طبقه چهارم است. همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش وزن ماده منفجره، می‌زان تغییرمکان طبقات قاب در اثر انفجار نیز افزایش پیدا می‌کند. تغییرمکان حداکثر در مدل با وزن ماده منفجره ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم به ترتیب ۵ و ۳.۵ برابر مدل با ماده منفجره ۵۰ کیلوگرمی است.

## فهرست مراجع

- CF Zhao, JYChen (2013) Damage mechanism and mode of square reinforced concrete slab subjected to blast loading, Theoretical and Applied Fracture Mechanics 63–64, 54–62.
- Hao H,(2014) Influence of the concrete DIF model on the numerical predictions of RC wall responses to blast loadings, Engineering structures, Volume 73, P.P: 24-38.
- Jayasooriya R, Thambiratnam DP, Perera NJ, Kosse V,(2011) Blast and residual capacity analysis of reinforced concrete framed buildings, Engineering Structures, Vol. 33, Issue 12, P.P: 3483-3495.
- Shiy, Stewart MG ( 2015) Spatial reliability analysis of explosive blast load damage to reinforced concrete columns, Structural Safety, Volume 53, P.P: 13-25.
- Taiy S, Chu T L, Hu HT, Wu JY, (2011) Dynamic response of reinforced concrete slab subjected to air blast load, Theoretical and applied fracture mechanics, Vol. 56, issue 3, P.P: 140-147.
- UFC3-340-02,(2008) Structures to resist the effect of accidental explosions, US army.
- Xiaoshan L, Zhang YX, Hazell PJ, (2014) Modeling the response of reinforced concrete panels under blast loading, Materials and design, 56, P.P: 620-628.