



Research Article

## Investigating the performance of arched concrete shear wall with opening against blast loads

Mohammad Memar Eftekhari<sup>1\*</sup>, Mohammad Amin Kadivar<sup>2</sup>, Mohammad Rezaei<sup>3</sup>

1\*- Lecturer of Civil Department, Zagros Institute of Higher Education, Kermanshah, Iran

Email:

2- Lecturer of Civil Department, Zagros Institute of Higher Education, Kermanshah, Iran

3- Master's student in Civil Engineering, Zagros Institute of Higher Education, Kermanshah, Iran

Received: 11 October 2023; Revised: 14 November 2023; Accepted: 17 November 2023; Published: 21 November 2023

### ABSTRACT

Blast load is a load with a dynamic nature similar to an earthquake, with the difference that its effects take much less time than an earthquake, are more intense, and directly affect the structure itself. Therefore, in this case, in addition to carrying out the usual retrofitting, it is necessary to reduce this explosive effect by changing the architecture of the structure. One of the solutions for this problem is the dual-purpose use of seismic elements such as shear walls, which can not only resist earthquakes but also resist explosive loads. Meanwhile, concrete structures have shown good resistance to explosion compared to steel structures, and one of the design methods in these types of structures is the use of concrete shear walls. One of the solutions to reduce the dimensions of the columns is to use a concrete shear wall. One of the capabilities of this method is the possibility of creating an opening in it, and it reduces the limitations created in the architectural discussion. In this research, the performance of arched concrete shear wall with opening against explosive load has been investigated, and the considered samples with and without opening have been compared. Also, the effect of compressive strength of concrete has been investigated. Finally, it was determined that when creating the opening, full care and inspection should be done and the area around the opening should be reinforced. Arched concrete shear wall with 10 cm thick opening has performed best against explosive load.

**Keywords:** Arched concrete shear wall, explosive load, opening, finite element, passive defense

**Cite this article as:** Memar Eftekhari, M., Kadivar, M. A., & Rezaei, M. (1402). Investigating the performance of arched concrete shear wall with opening against blast loads. Civil and Project, 5(8), 38-60. <https://doi.org/10.22034/cpj.2023.429753.1234>

**ISSN:** 2676-511X / **Copyright:** © 2023 by the authors.

**Open Access:** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Journal's Note:** CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

\*Corresponding author E-mail address: [m.memareftekhari@zagros.ac.ir](mailto:m.memareftekhari@zagros.ac.ir)



## نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

### بررسی عملکرد دیوار برشی بتنی قوس دار با بازشو در برابر بارهای انفجاری

محمد معمار افتخاری<sup>۱\*</sup>، محمد امین کدیور<sup>۲</sup>، محمد رضایی<sup>۳</sup>

\*-مدرس گروه عمران، موسسه آموزش عالی زاگرس، کرمانشاه، ایران

۲- مدرس گروه عمران، موسسه آموزش عالی زاگرس، کرمانشاه، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران سازه، موسسه آموزش عالی زاگرس، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹ مهر ۱۴۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۲۳ آبان ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۲۶ آبان ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۳۰ آبان ۱۴۰۲

#### چکیده

بار انفجاری یک بار با ماهیت دینامیکی همانند زلزله است با این تفاوت که اثرات آن در زمان بسیار کمتر از زلزله و با شدت بیشتر و بصورت مستقیم به خود سازه وارد می‌شود. لذا در این حالت علاوه بر انجام مقاوم‌سازی‌های معمول، نیاز است با تغییر شکل در معماری سازه این اثر انفجاری را کاهش داد. یکی از راهکارها برای این مسئله استفاده دو منظوره از المان‌های لرزه‌ای همانند دیوار برشی‌ها می‌باشد که می‌تواند علاوه بر مقاومت در برابر زلزله با تغییر شکل در برابر بار انفجاری نیز مقاومت نماید. سازه‌های بتنی در این میان مقاومت مناسبی را در برابر انفجار به نسبت سازه‌های فولادی از خود نشان داده‌اند و یکی از روش‌های طراحی در این نوع سازه‌ها استفاده از دیوار برشی بتنی است. یکی از راهکارها برای کاهش ابعاد ستون‌ها استفاده از دیوار برشی بتنی است و از قابلیت‌های این روش امکان ایجاد بازشو در آن می‌باشد و محدودیت‌های ایجاد شده در بحث معماری را کاهش می‌دهد. در این تحقیق به بررسی عملکردی دیوار برشی بتنی قوس دار با بازشو در برابر بار انفجاری پرداخته شده و نمونه‌های مدنظر با و بدون بازشو مقایسه و همچنین اثر مقاومت فشاری بتن نیز بررسی شده است. در نهایت مشخص گردید که در هنگام ایجاد بازشو بایستی دقت و بررسی کامل انجام گرفته و اطراف بازشو مقاوم‌سازی گردد. دیوار برشی بتنی قوس دار با بازشو به ضخامت ۱۰ سانتیمتر بهترین عملکرد را در برابر بار انفجاری داشته است.

کلمات کلیدی: دیوار برشی بتنی قوس دار، بار انفجاری، بازشو، المان محدود، پدافند غیرعامل

پست الکترونیکی نویسنده مسوول: [m.memareftekhari@zagros.ac.ir](mailto:m.memareftekhari@zagros.ac.ir)

## ۱- مقدمه

راهکارهای متعددی برای کاهش اثرات بارهای جانبی از سوی جامعه علمی مهندسی ارائه شده است که از این میان برای سازه‌های بتنی دو روش گسترش بیشتری داشته و در سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از: قاب خمشی و دیوار برشی که استفاده از دیوار برشی بتنی به جای قاب خمشی می‌تواند تا حد زیادی ضخامت ستون‌ها را کاهش داده و نیز امکان استفاده از بازشو را نیز فراهم سازد. سازه‌های بتنی یکی از مواردی است که بیشتر در مواقع تهدید انفجاری مورد استفاده قرار می‌دهند و دیوار برشی می‌تواند با توجه به ماهیت آن عملکرد بهتری در برابر بار انفجاری داشته باشد. در خصوص اثر انفجار بر سازه‌های بتنی و بخصوص دیوار برشی تحقیقات متعددی انجام گرفته که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره شده است.

وی و همکاران در پژوهشی به بررسی ارزیابی خرابی دیوارهای برشی بتنی تحت انفجار محبوس بر اساس مدل آسیب ویسکوز پرداختند در این تحقیق شکست دیوارهای برشی بتن مسلح بر اساس تحلیل عددی ارزیابی شده و با معرفی نرخ تنش ناشی از آسیب از نوع Duvaut-Lions، یک قانون تکامل آسیب ویسکوز دینامیکی برای مصالح بتن براساس تئوری آسیب الاستوپلاستیک ساخته شده است. افزایش مقاومت بتن ناشی از اثر سرعت به خوبی توسط مدل پیشنهادی ثبت شده است. بر اساس تأیید تجربی، شکست یک سری از دیوارهای برشی بتن مسلح تحت بارهای انفجار در فواصل مقیاس‌بندی شده مختلف شبیه‌سازی می‌شود و ظرفیت باربری باقیمانده پس از انفجار با استفاده از فرآیند تحلیل بارگذاری سه مرحله‌ای محاسبه می‌گردد (Wei et al., 2023).

فاتیما و همکاران در تحقیقی دیگر به بررسی پاسخ ساختمان با قاب بتنی در برابر شکل‌های مختلف پالس انفجاری پرداخته‌اند. این تحقیق شامل سه هدف عمده به‌عنوان کمی‌سازی بار انفجار و شکل‌گیری شکل‌های مختلف پالس، مدل‌سازی عددی ساختمان بتن مسلح با اعمال بارهای انفجار با استفاده از روش اجزای محدود و ارزیابی پاسخ با تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی است. به طور کلی، دیوارهای پرکننده بنایی به عنوان عناصر غیر سازه‌ای در نظر گرفته و اغلب در تحلیل و طراحی سازه نادیده گرفته می‌شوند. این مطالعه شامل بررسی اثر پر کردن بنایی تنها در جهت درون صفحه بارهای انفجار با اشکال پالس‌های مختلف است. نتایج نشان می‌دهد که آسیب قابل توجهی به ویژه در نمای جلویی به دلیل شکل‌های پالس انفجار سینوس شکل مقعر و نیم چرخه است. در عین حال، استحکام درون صفحه و سفتی پرکننده‌های بنایی به طور قابل توجهی آسیب کلی در اجزای سازه را کاهش داده است (Fatima et al., 2023).

روی و همکاران به بررسی مکانیک آسیب در اعضای بتن مسلح تحت سناریوی آتش سوزی پس از انفجار پرداخته و برای این منظور از مدل المان محدود سه بعدی استفاده شده و در معرض سناریوی انفجار قرار گرفته که در آن اثر دینامیکی بارگذاری انفجار با استفاده از مدل‌های وابسته به نرخ کرنش بتن و فولاد گنجانده شده است. نتایج این تحقیق مشخص می‌نماید که پاسخ‌های به‌دست‌آمده تحت سناریوی بارگذاری شدید نشان‌دهنده آسیب قابل توجهی است که به پانل دیواری بتن مسلح در مقایسه با آسیب ناشی از قرار گرفتن در معرض هر یک از خطرات خاص وارد شده است (Roy et al., 2021).

پاچیده و همکاران در پژوهشی به بررسی اثر آتش بر پایداری و مقاومت جانبی دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک پرداختند. در این مقاله اثر حرارت ناشی از آتش سوزی بر پایداری، سختی الاستیک و مقاومت تسلیم یک دیوار برشی فولادی سه طبقه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج تحلیل‌های همبند تنش-حرارت نشان داد که افزایش ضخامت ورق باعث کاهش چشمگیر تغییر شکل ستون می‌شود. همچنین افزایش ضخامت و تنش تسلیم ورق در کاهش کمتر مقاومت تسلیم و سختی الاستیک سیستم پس از آتش‌سوزی موثر بوده اما در ضخامت ثابت ورق، سختی الاستیک سیستم با افزایش تنش تسلیم ثابت می‌ماند (Pachideh et al., 2020).

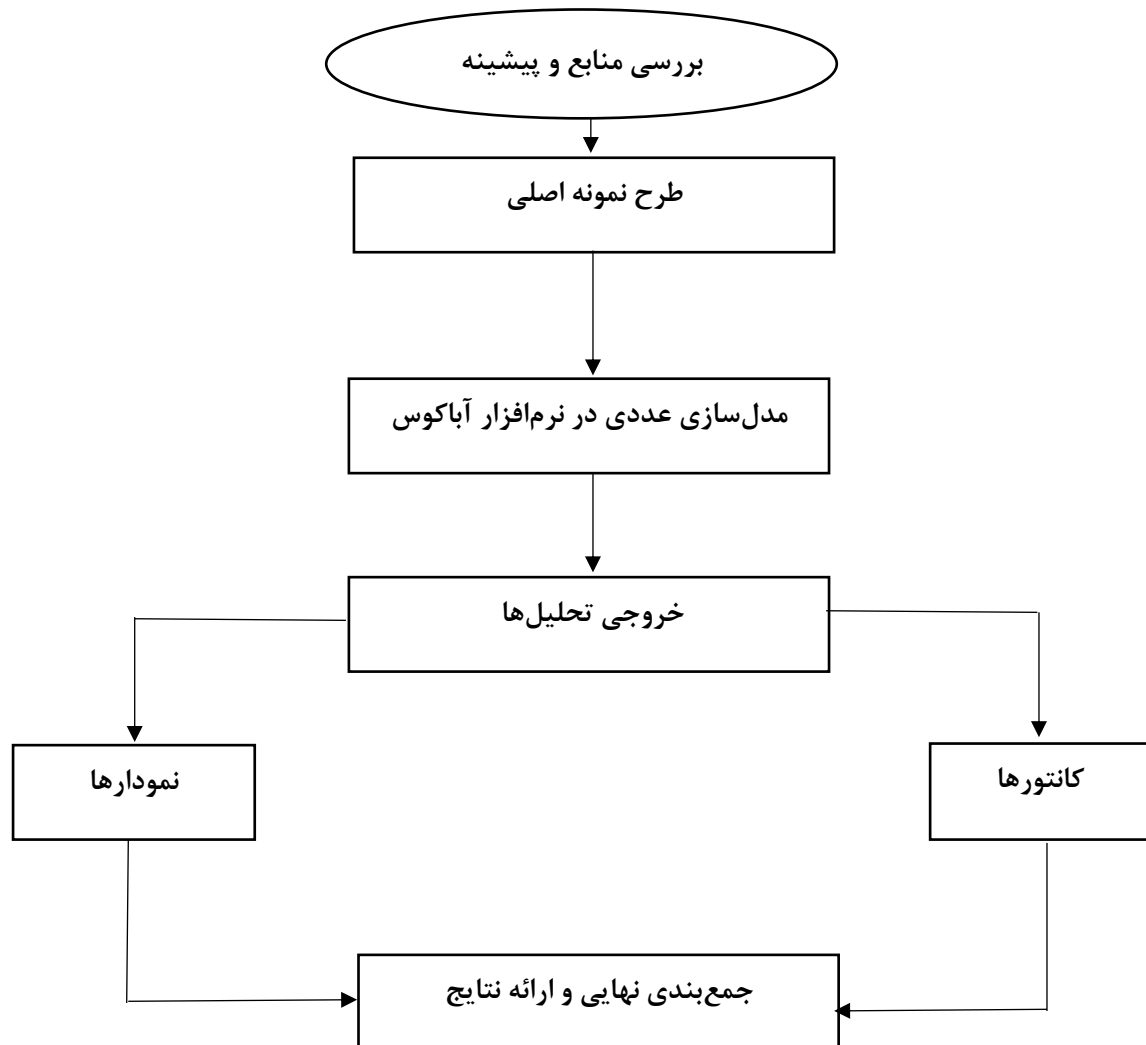
عباس و همکاران اثر انفجار را بر روی دیوارهای ساندویچ پنل بتنی بررسی نموده‌اند برای این منظور آزمایش بار انفجار بر روی چهار نمونه ایستاده آزاد در ۱۷ سناریو مختلف انجام شد و رفتار فیزیکی از طریق تصاویر با کیفیت بالا و منحنی‌های شکنندگی ایجاد شد. منحنی شکنندگی رابطه بین شدت آسیب با اندازه بار و مقیاس فاصله را تفسیر می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده پانل‌های مذکور در مقایسه با سایر سیستم‌های ساختمانی معمولی مورد استفاده، توانایی بیشتری در جذب و اتلاف انرژی تولید شده توسط انفجار و پایداری در برابر جداشتگی دارند (Abbas et al., 2019).

وئو و همکاران در پژوهشی به بررسی المان محدود اثر استفاده از روکش فوم در کاهش اثرات انفجار بر روی پانل بتن مسلح پرداختند تحقیقات ایشان نشان می‌دهد که استفاد از لایه فوم می‌تواند اثرات کاهش‌دهنده برای بار انفجاری داشته باشد (Wu et al., 2013). زائو و همکاران در تحقیقی به بررسی مکانیسم آسیب و پاسخ سازه بتن مسلح تحت بارگذاری انفجار داخلی پرداختند در این تحقیق که بصورت عددی و با کمک نرم‌افزار LS-DYNA انجام شده است مشخص گردید فواصل، مقیاس و کیفیت مش‌بندی سازه بر پاسخ دینامیکی و مکانیسم آسیب سازه برای ارزیابی قابلیت مقاومت در برابر انفجار تاثیرگذار است (Zhao et al., 2012).

در پژوهشی برون و همکاران محاسبات همزمان چند مرحله‌ای صریح / ضمنی را برای تجزیه و تحلیل انفجار در سازه قاب بتن مسلح انجام دادند نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که علی‌رغم تعداد گره‌های واسط در گیر در پارتیشن بندی زیردامنه، محاسبات همزمان چند مرحله‌ای صریح/ ضمنی، پارامترهای پاسخ کلی و محلی بسیار دقیقی را از نظر حداکثر رانش‌های بین طبقاتی، حداکثر رانش‌های ستون در ارتفاع متوسط یا کرنش‌های شدید ارائه می‌کنند (Brun et al., 2012).

در تحقیقی جایسوریا و همکاران به بررسی انفجار و ظرفیت باقی مانده تحلیل قاب بتنی مسلح پرداخته‌اند در این پژوهش که از دو نرم افزار SAP2000 و LS-DYNA استفاده شده است مکانیسم‌های آسیب و میزان آسیب با استفاده از نمودارهای تنش اصلی همراه با نمودارهای کرنش پلاستیک را مورد مطالعه قرار داده و برای ارزیابی ظرفیت مقاومت باقی مانده عناصر کلیدی که می‌توانند باعث شکست فاجعه‌بار بخش‌های بزرگ ساختمان و انتشار فروپاشی پیش‌رونده شوند، استفاده شده‌اند (Jayasooriya et al., 2011).

همانطور که در تحقیقات پیشین مشخص گردید دیوار و دال بتنی مورد استفاده از نوع تخت و بدون انحنا می‌باشد. هرچند که برخی از تحقیقات نشان می‌دهد شکل سازه بخصوص در صورت داشتن انحنا می‌تواند عملکرد مناسب تری داشته باشد. در این تحقیق این موضوع لحاظ شده و علاوه بر بررسی و مقایسه عملکرد دیوار برشی بتنی قوس‌دار با و بدون بازشو در برابر بار انفجاری به بررسی اثر مقاومت فشاری نیز پرداخته شده و نقاط ضعف این بازشو در برابر بار انفجاری نیز مشخص و راهکار ارائه شده است. در شکل ۱ روند نما و مراحل مدل‌سازی عددی ارائه شده است.



شکل ۱: نمودار روندنمای مراحل مدل سازی عددی

## ۲- دیوار برشی بتنی

دیوار برشی به صورت یک صفحه بتنی از فونداسیون شروع شده و با قابها و سقف درگیر می‌شود. به طور کلی، دیوار برشی برای ساختمان‌های بین ۳۰ تا ۴۰ طبقه اقتصادی می‌باشد. در ساختمان‌های بلندتر، تنش‌های ناشی از نیروهای جانبی باعث می‌شود که افزایش ضخامت دیوار برشی، کارایی و اقتصادی بودن سیستم را کاهش دهد. شکل ۲ نمایی از دیوار برشی بتنی با بازشو را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: نمایی از دیوار برشی بتنی با بازشو

رفتار دیوار برشی در برابر بارهای جانبی داخل صفحه، با توجه به ابعاد و هندسه آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. به طور کلی رفتار دیوارهای برشی کوتاه یک یا دو طبقه، در برابر بارهای جانبی به صورت برشی می‌باشد؛ در این حالت، دیوار دچار تغییر شکل‌های برشی می‌شود. نسبت ارتفاع به طول دیوار با رفتار برشی کمتر یا برابر یک بوده و به این دیوارها، دیوارهای کوتاه هم گفته می‌شود. این دیوارها در برابر لنگر خمشی، رفتار بهتری نسبت به نیروهای برشی دارند.

اگر دیوار بیشتر از ۳ یا ۴ طبقه ارتفاع داشته باشد، بارهای جانبی عمدتاً با عملکرد خمشی دیوار طره‌ای تحمل می‌گردند. معمولاً در دیوارهای برشی لاغر و بلند با نسبت ارتفاع به طول بزرگ‌تر یا مساوی ۳، دیوار برشی به صورت یک تیر طره عمل می‌کند و با ایجاد تغییر شکل‌های خمشی، برش را تحمل می‌نماید.

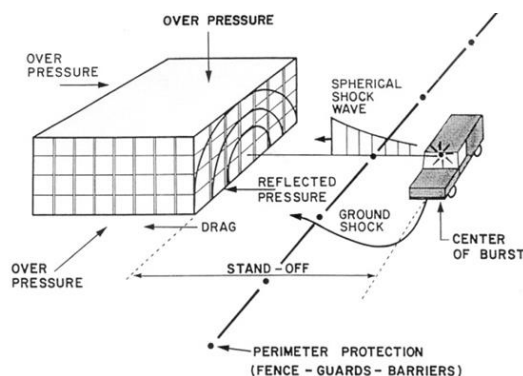
مقایسه اقتصادی بین سیستم قاب خمشی و سیستم مختلط قاب و دیوار برشی در استاندارد 2800 نشان می‌دهد که، برای ساختمان‌های بلندتر از ۵ طبقه، در سیستم قاب خمشی، ستون‌ها و تیرها ابعاد بزرگ‌تری دارند، ولی ابعاد فونداسیون مورد نیاز برای آن‌ها کوچک‌تر است. در مجموع بایستی گفت که سیستم مختلط نیاز به فولاد کم‌تری دارد ولی بتن مصرفی در آن بیشتر است.

در ساختمان‌های دارای دیوار برشی، اگر سازه از ارتفاع مشخصی بلندتر باشد، در طبقات فوقانی دیوار برشی نه تنها در تحمل زلزله نقش مثبتی ایفا نمی‌کند، بلکه به علت شیب به وجود آمده در دیوار برشی (به علت رفتار طره‌ای) یک کشش مضاعف از سوی دیوار به قاب اعمال خواهد شد.

از نظر اقتصادی با توجه به مقاومت بالای این دیوارها، استفاده از آن‌ها در ساختمان‌های بلند مرتبه به صرفه بوده ولی در مورد ساختمان‌های با ارتفاع کم و متوسط، مسائل جانبی از قبیل تقویت اجزای سازه‌ای مجاور به دیوار، مانند: تقویت فونداسیون و مسائل اجرایی، تأثیر زیادی بر جنبه‌های اقتصادی آن می‌گذارد.

### ۳- انفجار و اثر آن بر روی سازه

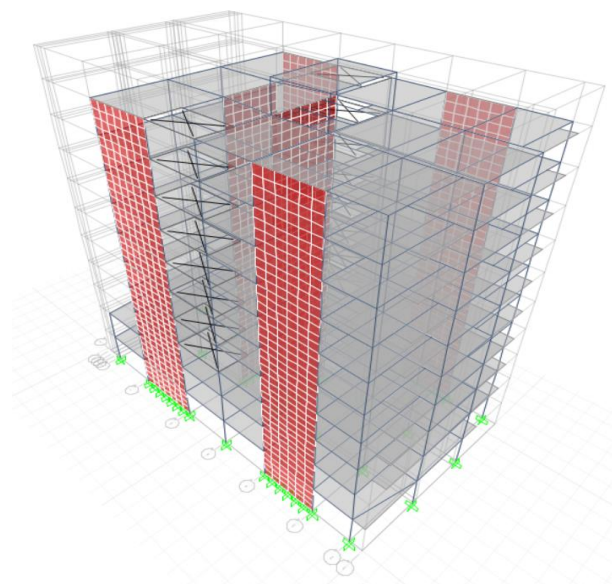
مواد منفجره ترکیبات شیمیایی هستند که بوسیله ضربه، حرارت، اصطکاک و یا ترکیبی از اینها، به سرعت تغییر حالت داده و از حالت مایع و یا جامد به حالت گاز تبدیل شده و در اثر این واکنش مقدار زیادی انرژی آزاد مینمایند. تجزیه یا سوختن سریع مواد منفجره را که منجر به آزاد شدن بسیار سریع گاز و حرارت میگردد را انفجار می‌نامند انفجار می‌تواند فیزیکی، شیمیایی و یا هسته‌ای باشد. شکل ۳ نمایی از اثر انفجار ناشی از انهدام یک خودرو، بر روی یک سازه و پارامترهای مرتبط و همچنین نحوه اثرگذاری بار انفجاری را بصورت نمادین نمایش می‌دهد. همانطور که در تصویر مشخص می‌باشد بیشترین اثر برای وجه مقابل به انفجار است.



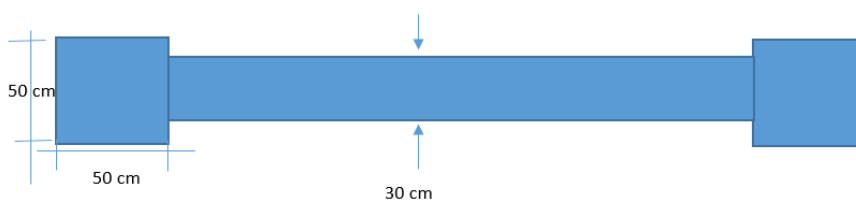
شکل ۳: نمایی از اثر انفجار بر روی سازه.

### ۴- مدل المان محدود، فرضیات و مشخصات مصالح

یک ساختمان بتن مسلح ۱۰ طبقه شامل ۸ طبقه مسکونی و ۲ طبقه پیلوت با سیستم سازه قاب خمشی و دیوار برشی با استفاده از نرم افزار ایتبس تحلیل و طراحی شده و سپس یکی از دیوارهای آن جداسازی و مبنای مدل‌سازی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس قرار گرفته است. در شکل ۴ نمای سه بعدی را در نرم‌افزار ایتبس و در شکل ۵ جزئیات دیوار برشی بتنی مدنظر نمایش داده شده است.



شکل ۴: نمای سه بعدی ساختمان مدنظر در نرم‌افزار ایتبس.



شکل ۵: جزئیات دیوار برشی مدنظر.

- برای مدل سازی دیوار برشی و تحلیل انفجاری بر روی آن فرضیاتی را بایستی در نظر گرفت که این فرضیات با توجه به راهنمای نرم افزار و همچنین براساس تجربیات مدل سازی به شرح جزئیات زیر ارائه شده است.
- برای مدل سازی سطح بتنی دیوار برشی و همچنین ستون های کناری از المان حجمی سه بعدی<sup>۱</sup> استفاده شده است.
  - برای مدل سازی میلگردها از المان خرابی<sup>۲</sup> بصورت میله ای<sup>۳</sup> استفاده شده است.
  - انتهای دیوار برشی بصورت کاملاً گیردار فرض می گردد.
  - از اثر لغزش میلگردها در بتن صرف نظر گردیده است.
  - انفجار مدنظر از نوع خارجی و در هوای آزاد می باشد و برای بارگذاری از روابط تجربی استفاده شده است.
  - از اثرات هوا و بازتاب انفجاری صرف نظر گردیده است.
  - برای بررسی اثرات و محل های آسیب بتن خرابی از مدل خرابی پلاستیک بتن<sup>۴</sup> استفاده شده است.
  - نوع تحلیل مدنظر دینامیک ضمنی<sup>۵</sup> است. که برای مدل سازی انفجاری و به عبارت دیگر تغییر شکل های بزرگ مناسب و نتایج قابل قبولی را ارائه می نماید.
  - ابعاد مش بهینه برای استفاده در نرم افزار پس از انجام آنالیز حساسیت برابر ۰,۳ لحاظ شده است.
  - مصالح مدنظر برای این تحلیل بتن و فولاد می باشند که مشخصات فولاد در جدول ۱ و شکل ۶ و مشخصات بتن در جدول ۲ و جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی آرماتورهای مصرفی

مقادیر	پارامترها
۷۸۵۰	$\rho$ (چگالی) ( $\text{kg/m}^3$ )
۲۱۰	E (مدول الاستیسیته یا مدول یانگ) ( MPa )
۰/۳	$\nu$ (ضریب پواسون)

<sup>1</sup> Solid

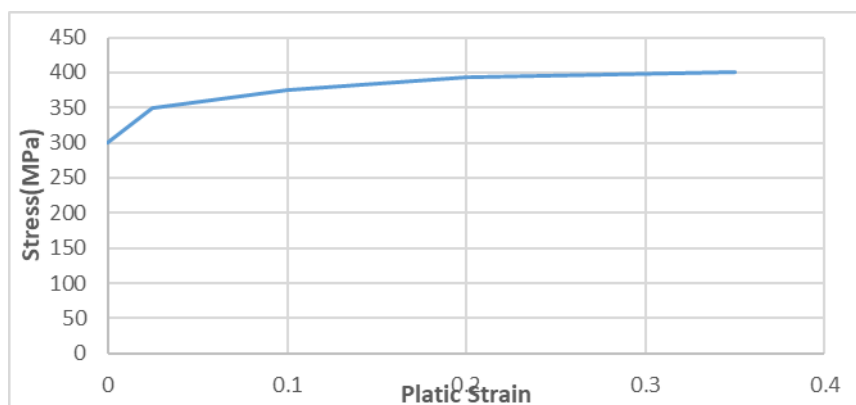
<sup>2</sup> Truss

<sup>3</sup> Wire

<sup>4</sup> Concrete damage plasticity

<sup>5</sup> DYNAMIC EXPLISIT





شکل ۶: نمودار تنش - کرنش پلاستیک فولاد مصرفی.

جدول ۲: پارامترهای بتن مورد استفاده در نرم افزار.

مقدار	پارامترها
۲۵۰۰	$\rho$ (چگالی) ( $\text{kg/m}^3$ )
۲۳/۵	E (مدول الاستیسیته یا مدول یانگ) - ( GPa )
۰/۲	$\nu$ (ضریب پواسون)

جدول ۳: پارامترهای مورد استفاده در مدل خرابی بتن.

مقادیر	توضیحات
۳۰	زاویه اتساع برشی <sup>۶</sup>
۰/۱	خروج از مرکزیت
۱/۱۶	نسبت تنش تسلیم فشاری تک محوره به تنش تسلیم فشاری دو محوره ( $f_{bo} / f_{co}$ )
۰/۶۶۷	نسبت ثابت دوم تنش انحرافی در صفحه کششی به صفحه فشاری (K)
۰/۰۱	پارامتر ویسکوزیته

- برای اعمال بار از روش محاسبه بار با استفاده از روابط تجربی استفاده شد و با توجه به فرضیات بیان شده، ابتدا فاصله مقیاس شده را بدست آورده و سپس بیش فشار وارده بر سطوح را از رابطه براد (Brode) محاسبه شده است.

<sup>6</sup> Dilation Angle

$$W=576 \times 0.4536 = 250 \text{ kg}$$

$$R = 16 \text{ m} \Rightarrow Z = \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} \Rightarrow Z = \frac{16}{(250)^{\frac{1}{3}}} \Rightarrow Z = 2.54 \text{ m/kg}^{\frac{1}{3}}$$

$$P_{so} = \frac{6.7}{Z^3} + 1 \Rightarrow P_{so} = \frac{6.7}{(2.54)^3} + 1 = 1.40 < 10 \rightarrow P_{so} = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.455}{Z^2} + \frac{5.85}{Z^3} - 0.019$$

$$P_{so} = \frac{0.975}{2.54} + \frac{1.455}{(2.54)^2} + \frac{5.85}{(2.54)^3} - 0.019 \Rightarrow P_{so} = 0.92 \text{ bar}$$

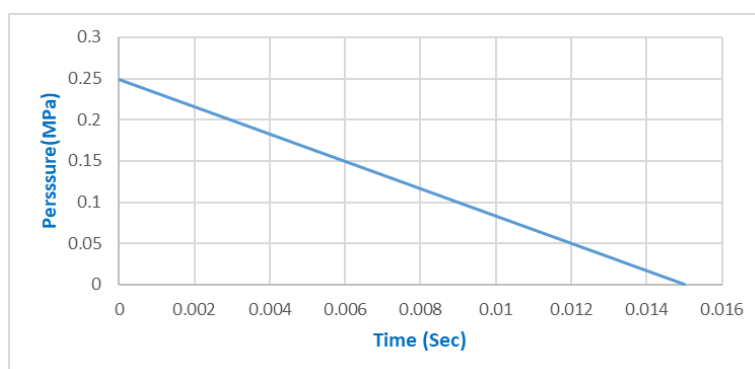
$$P_r = 2P_{so} \left[ \frac{7P_o + 4P_{so}}{7P_o + P_{so}} \right] = 2.49$$

حال زمان مورد نظر را از رابطه زیر (لن و اسمیت) استفاده شده است.

$$T_s = W^{1/3} 10^{[-2.75 + 0.27 \log(R/W^{1/3})]}$$

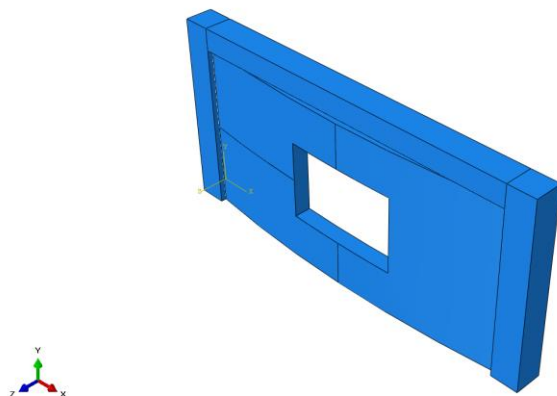
$$T_s = 0.015 \text{ sec} = 15 \text{ msec}$$

در نهایت نمودار فشار برحسب زمان ترسیم و همانند شکل ۷ به نرم افزار معرفی شده است. (برای ساده سازی از بخش منفی صرف نظر شده و تنها بخش مثبت بصورت مثلثی اعمال شده است).



شکل ۷: نمودار بیش فشار - زمان بصورت ساده شده (مثلثی).

به ترتیب زیر و با توجه به ماژول های نرم افزار آباکوس مدل سازی انجام گرفته است. شکل ۷ مدل ایجاد شده در محیط Assembly را نمایش می دهد

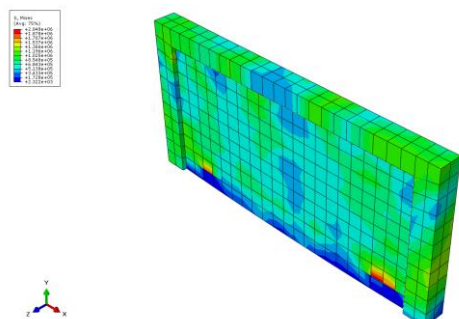


شکل ۸: نمای دیوار برشی در مازول Assembly.

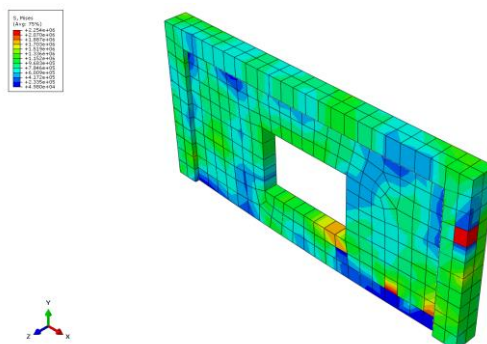
## ۵- خروجی های نرم افزار

### ۵-۱- کانتور تنش در مدل های مختلف

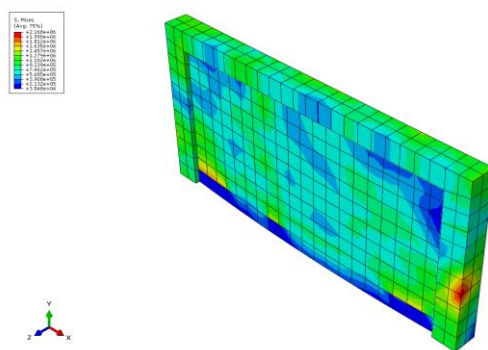
یکی از مواردی که از تحلیل نرم افزاری، نتیجه گیری و بررسی شده است کانتور تنش است که در اینجا از تنش مایسز استفاده شده و در شکل های ۹ تا ۱۶ ارائه شده اند. المان هایی که با رنگ قرمز مشخص شده بیشترین تنش را دارند. و به ترتیب به المان های آبی کمترین تنش وارد شده است. با ایجاد بازو همانطور که در تصاویر مشخص می باشد تنش در اطراف بازوها متمرکز شده و همچنین تنش در ستون و تیر نیز به نسبت حالت بدون بازو افزایش یافته است.



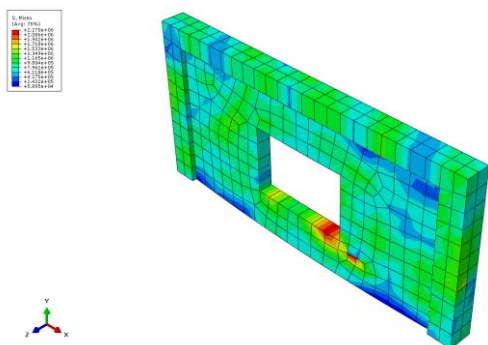
شکل ۹: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر بدون بازو.



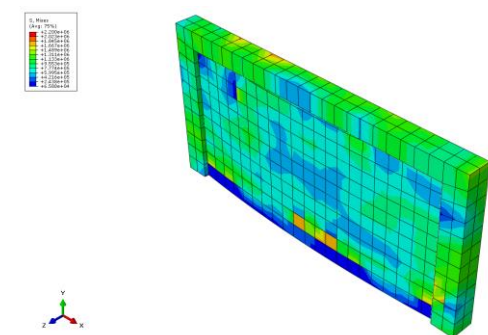
شکل ۱۰: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر با بازو.



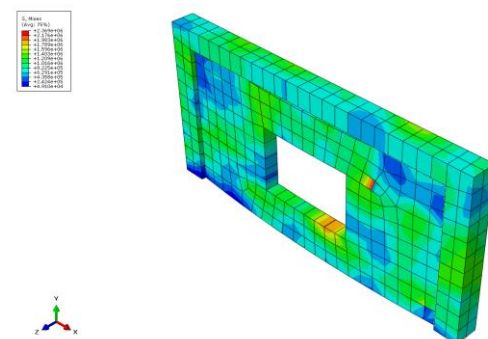
شکل ۱۱: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر بدون بازشو.



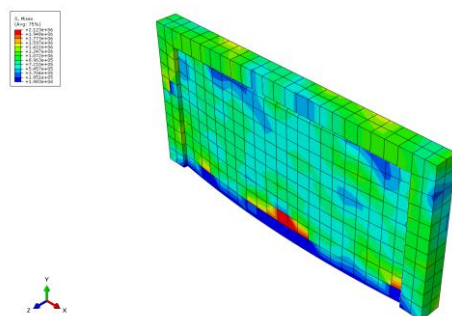
شکل ۱۲: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر با بازشو.



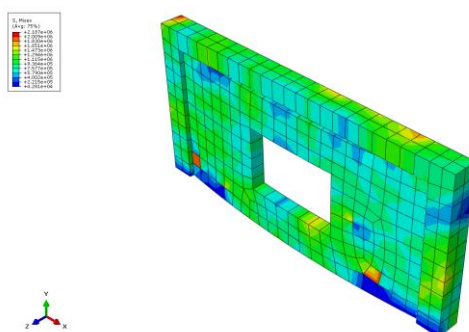
شکل ۱۳: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر بدون بازشو.



شکل ۱۴: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر با بازشو.



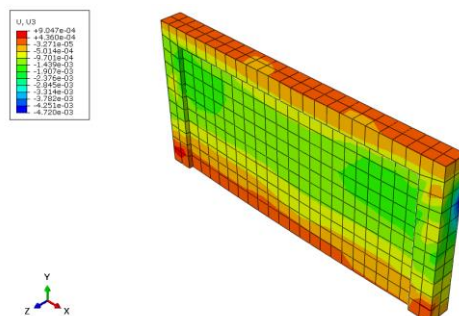
شکل ۱۵: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر بدون بازشو.



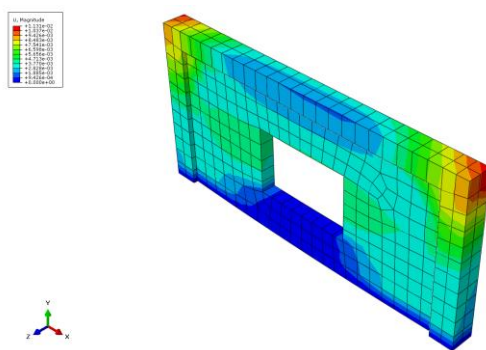
شکل ۱۶: کانتور تنش دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر با بازشو.

## ۲-۵- کانتور جابه جایی در راستای اعمال بار انفجاری

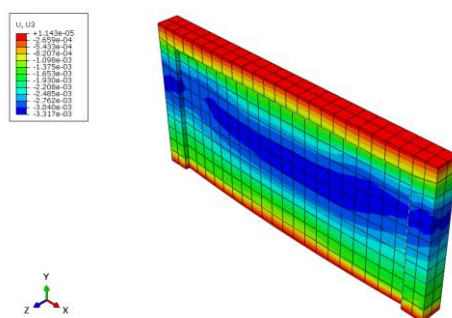
یکی دیگر از پارامترهای مهم در بحث انفجار جابه جایی های ایجاد شده بصورت شکلی در کانتور جابه جایی است که در شکل های ۱۷ تا ۲۴ ارائه گردیده است. رنگ قرمز نمادی از بیشترین جابه جایی و رنگ آبی نمادی از کمترین جابه جایی می باشد و همانطور که در تصاویر مشخص می باشد بیشترین جابه جایی در بخش پائینی دیوار ایجاد شده است. با ایجاد بازشو میزان جابه جایی کاهش یافته است.



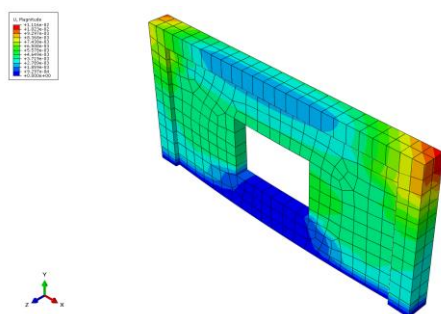
شکل ۱۷: کانتور جابه جایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر بدون بازشو.



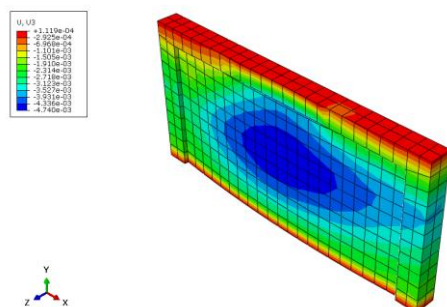
شکل ۱۸: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر با باز شو.



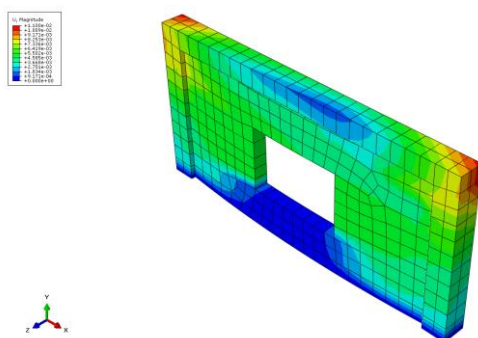
شکل ۱۹: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر بدون باز شو.



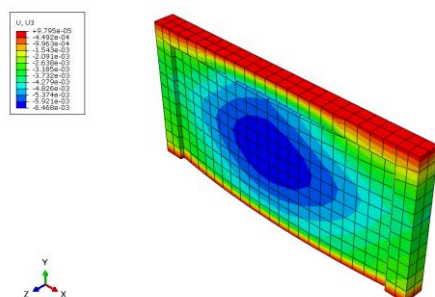
شکل ۲۰: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر با باز شو.



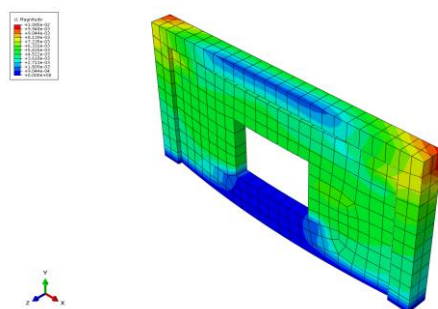
شکل ۲۱: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر بدون باز شو.



شکل ۲۲: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر با بازشو.



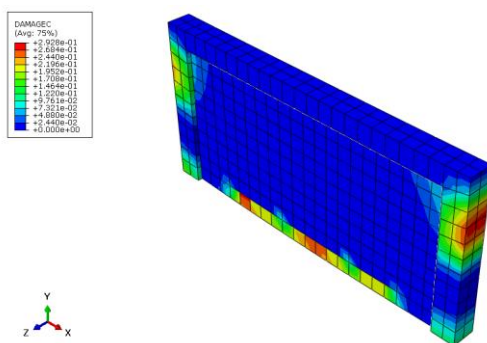
شکل ۲۳: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر بدون بازشو.



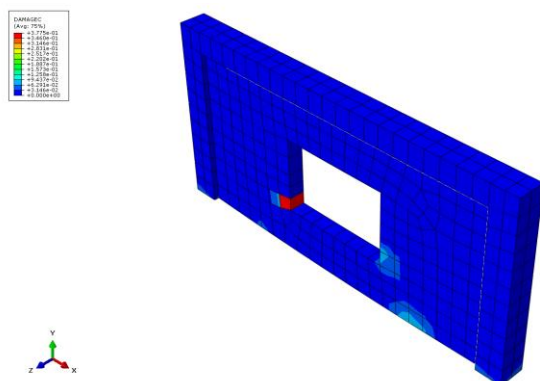
شکل ۲۴: کانتور جابجایی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر با بازشو.

### ۳-۵- کانتور خرابی فشاری بتن

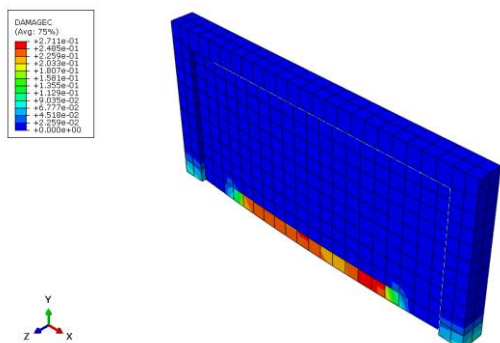
این کانتور نیز دارای اهمیت خاصی بوده هرچند که خرابی‌های ایجاد شده در بتن بیشتر در حالت کششی است. در شکل‌های ۲۵ تا ۳۲ این کانتورها نمایش داده شده است. خرابی‌های فشاری بیشتر در محل تکیه گاه رخ داده است و در اطراف بازشو نیز آسیب‌های فشاری کاملاً مشهود می‌باشد و با المان‌های قرمز مشخص شده است و عملاً در این کانتور بخش‌های آسیب ندیده و یا ترک نخورده با آبی و محل‌های خرابی و ترک با قرمز مشخص شده است.



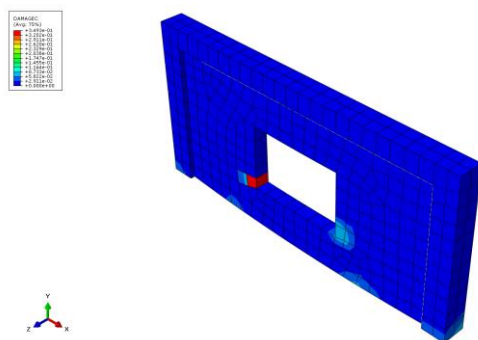
شکل ۲۵: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر بدون بازشو.



شکل ۲۶: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر با بازشو.

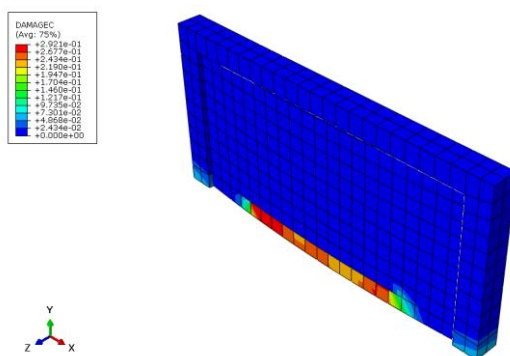


شکل ۲۷: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر به خارج بدون بازشو.

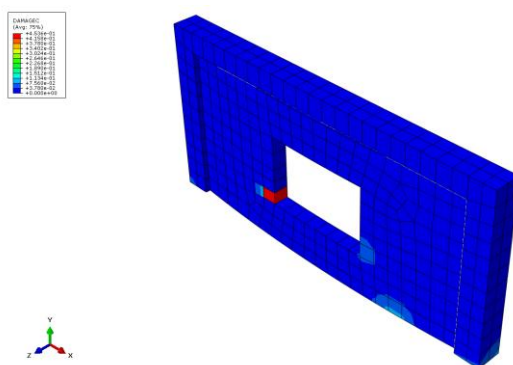


شکل ۲۸: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر با بازشو.

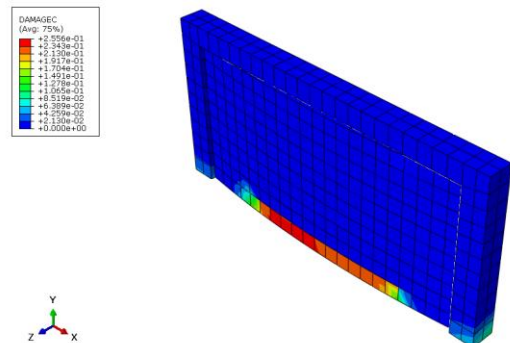




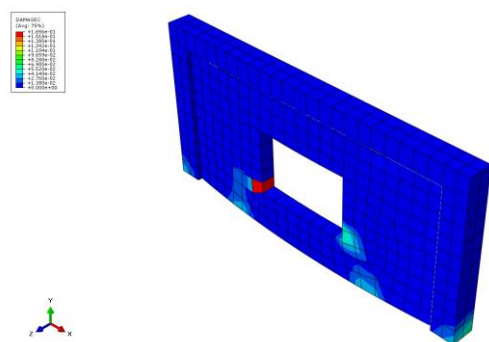
شکل ۲۹: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر بدون بازشو.



شکل ۳۰: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر با بازشو.



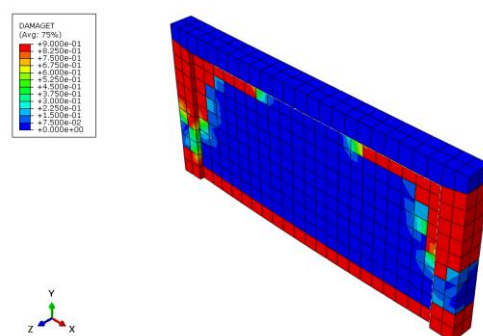
شکل ۳۱: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر بدون بازشو.



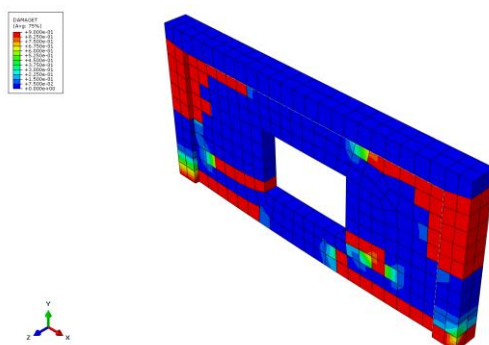
شکل ۳۲: کانتور خرابی فشاری دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر با بازشو.

#### ۴-۵- کانتور خرابی کششی بتن

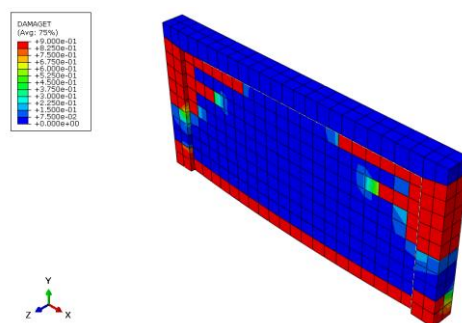
این پارامتر بسیار با اهمیت بوده و عملاً جهت‌های خرابی را می‌توان در مدل‌ها مشاهده نمود که در شکل‌های ۳۳ تا ۴۰ ارائه شده و نتایج بدست آمده در بخش نتیجه‌گیری جمع‌بندی و ارائه شده است. یکی از مهمترین پارامترها خرابی کششی است زیرا مهمترین ضعف بتن، در کشش می‌باشد نقاط و بخش‌های آبی رنگ نماد از عدم ترک و خرابی و نقاط قرمز نمایانگر خرابی و ترک است که بیشتر در محل اتصال دیوار به ستون‌ها ایجاد شده که کاملاً نیز قابل پذیرش و واضح است و با افزایش قوس بدلیل ایجاد تمرکز تنش در این محل اتصال، خرابی بیشتر شده است.



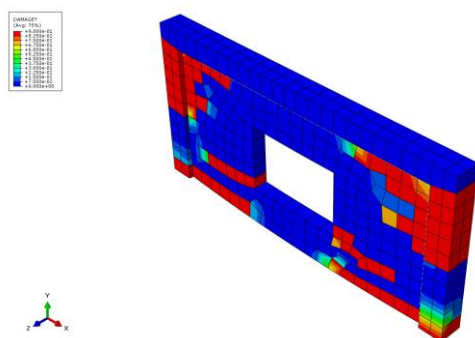
شکل ۳۳: کانتور خرابی کششی دیوار قوس‌دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر بدون بازشو.



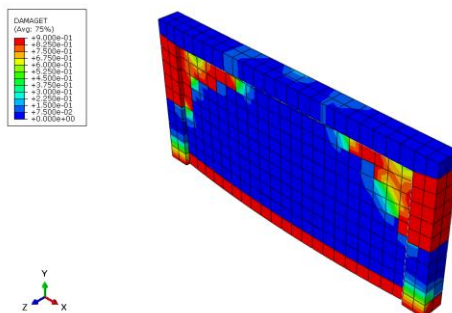
شکل ۳۴: کانتور خرابی کششی دیوار قوس‌دار با انحراف از مرکز ۵ سانتیمتر با بازشو.



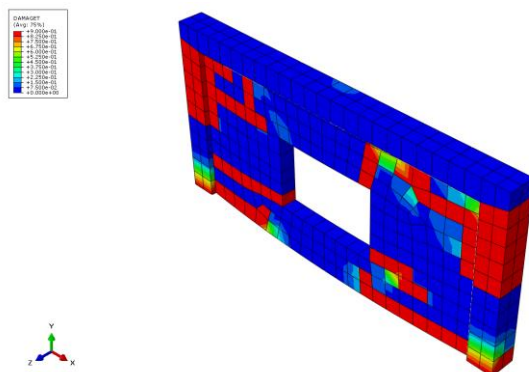
شکل ۳۵: کانتور خرابی کششی دیوار قوس‌دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر بدون بازشو.



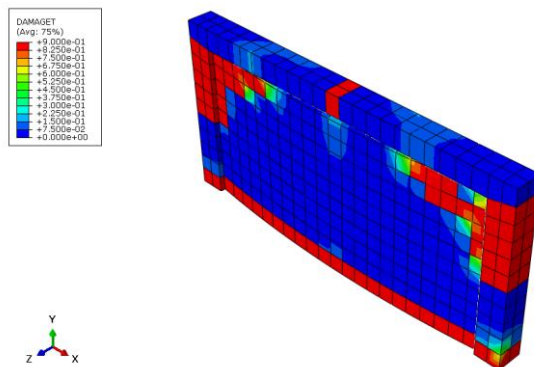
شکل ۳۶: کانتور خرابی کششی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۰ سانتیمتر با بازشو.



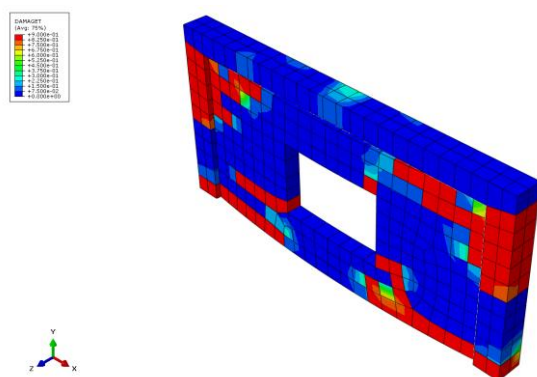
شکل ۳۷: کانتور خرابی کششی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر بدون بازشو.



شکل ۳۸: کانتور خرابی کششی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۱۵ سانتیمتر با بازشو.



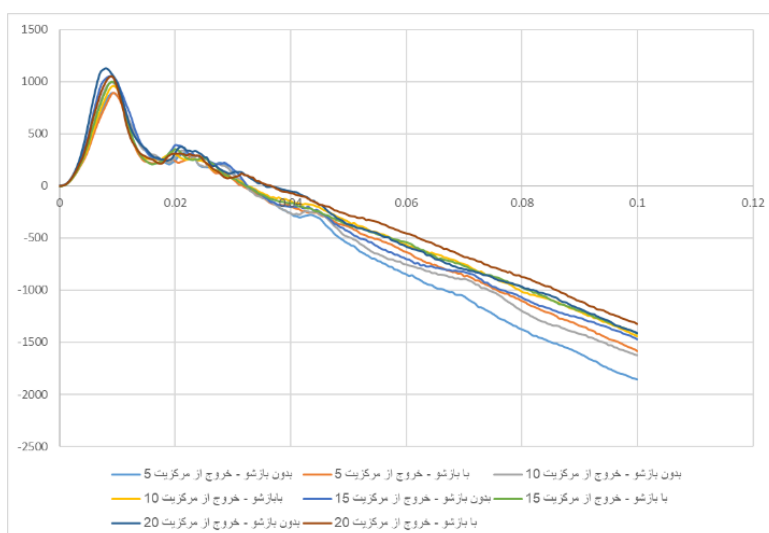
شکل ۳۹: کانتور خرابی کششی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر بدون بازشو.



شکل ۴۰: کانتور خرابی کششی دیوار قوس دار با انحراف از مرکز ۲۰ سانتیمتر با بازشو.

### ۵-۵- نمودار انرژی در واحد زمان

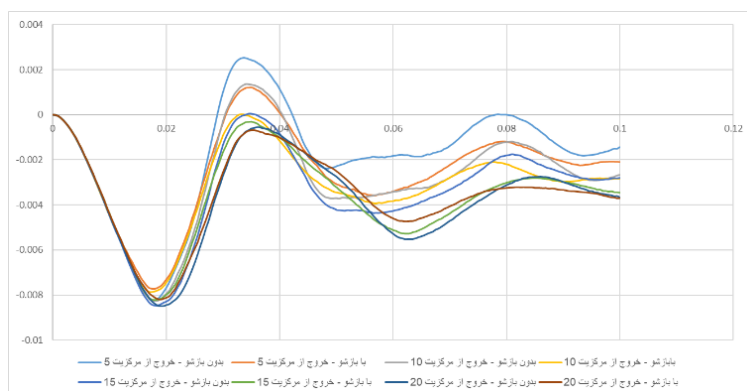
یکی از پارامترهایی که در بین نمونه‌ها مقایسه شده است انرژی کرنشی ایجاد شده در سازه می‌باشد که در شکل ۴۱ نمایش داده شده است. کمترین جذب برای مدل بدون بازشو و ضخامت ۵ سانتیمتر و بیشترین جذب برای مدل با بازشو و ضخامت ۱۰ سانتیمتر است.



شکل ۴۱: نمودار انرژی در واحد زمان.

### ۵-۶- نمودار جابه‌جایی در محل اتصال دیوار به ستون

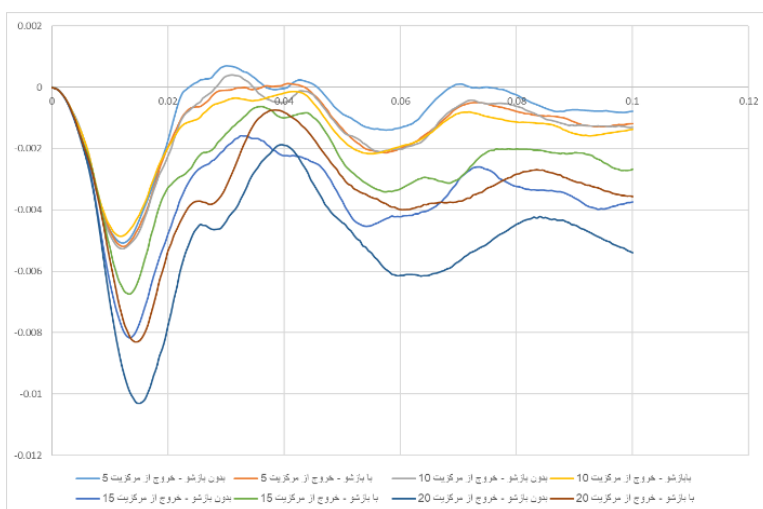
برای بررسی وضعیت جابه‌جایی در واحد زمان در محل اتصال دیوار برشی به ستون نمودار مقایسه‌ای ترسیم شده که در شکل ۴۲ نمایش داده شده است. دیوار با ضخامت ۵ سانتیمتر و بدون بازشو بیشترین جابه‌جایی را در محل اتصال دیوار دارد و کمترین جابه‌جایی مرتبط با نمونه بدون بازشو و ضخامت ۱۰ سانتیمتر می‌باشد.



شکل ۴۲: نمودار جابه جایی در محل اتصال دیوار به ستون.

#### ۷-۵- نمودار جابجایی در محل اتصال دیوار به تیر

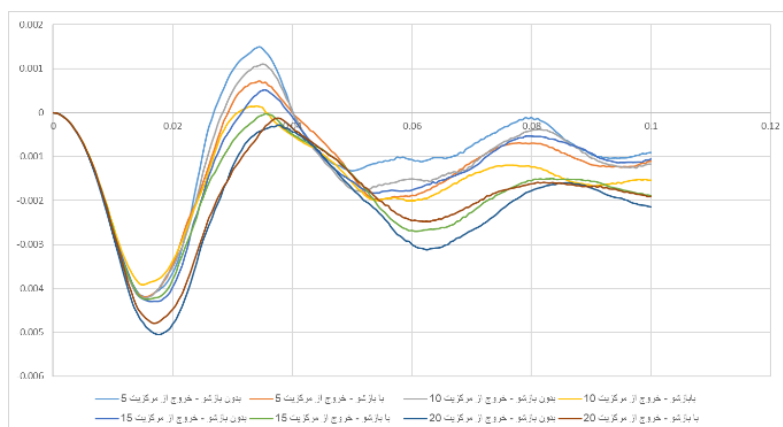
در محل اتصال دیوار برشی به تیر فوقانی نیز یک نقطه کمکی تعریف و نمودار در حالات مختلف در این نقطه بررسی شده و در شکل ۴۳ به نمایش درآمده است. مدل با ضخامت ۱۵ سانتیمتر بدون بازشو بیشترین جابه جایی در محل اتصال دیوار به تیر را دارد و با ضخامت ۱۰ سانتیمتر و با بازشو کمترین جابه جایی را دارد.



شکل ۴۳: نمودار جابه جایی در محل اتصال تیر.

#### ۸-۵- نمودار جابه جایی محل اتصال تیر و ستون با دیوار

در محل اتصال تیر به ستون و دیوار برشی در گوشه نقطه‌ای تعریف و نمودار مقایسه برای حالات مختلف ترسیم و در شکل ۴۴ نمایش داده شده است. در این حالت نیز نمونه با ضخامت ۵ سانتیمتر و بدون بازشو بیشترین جابه جایی و نمونه با ضخامت ۱۰ سانتیمتر و با بازشو کمترین جابه جایی را دارد.



شکل ۴۴: نمودار جابه‌جایی در محل اتصال تیر به ستون و دیوار.

## ۶- نتیجه‌گیری

- با توجه به مباحثی که تا کنون مطرح گردید و همچنین خروجی‌های نرم‌افزار موارد ذیل جمع‌بندی و ارائه شده است:
- یکی از پارامترهایی که مورد ارزیابی قرار گرفته کانتور تنش می‌باشد و همانطور که در تصویر مربوطه نیز مشخص است با ایجاد بازشو در اطراف آن، تنش افزایش یافته است. بویژه در ضخامت ۱۰ سانتیمتر این موضوع مشهود می‌باشد.
  - پارامتر بعدی که مدنظر قرار گرفته کانتور جابه‌جایی است که با ایجاد بازشو جابه‌جایی ایجاد شده در بالای تیرها کاهش یافته است.
  - پارامتر دیگر کانتور خرابی فشاری است که با ایجاد بازشو خرابی در گوشه بازشو کاملاً مشخص می‌باشد. این نقطه نیازمند تقویت است و خرابی در محل اتصال دیوار به زمین کاهش یافته است.
  - پارامتر دیگری که مدنظر قرار گرفته است کانتور خرابی کششی می‌باشد که با اضافه نمودن بازشو به دیوار یکی از مشکلات ایجاد شده همانند بخش خرابی فشاری در گوشه‌های بازشو است و همانطور که عنوان شد بایستی تقویت گردد اما خرابی در محل اتصال دیوار به زمین کاهش یافته است.
  - با بررسی نمودار انرژی در واحد زمان مشخص گردید با افزایش بازشو تا حدی پیک انرژی کاهش می‌یابد و در ضخامت‌های مختلف با افزایش ضخامت نیز این انرژی افزایش یافته و بهترین حالت برای ضخامت ۱۰ سانتیمتر می‌باشد.
  - با توجه به نمودارهای جابه‌جایی ایجاد شده در واحد زمان در محل‌های مختلف اتصال دیوار به تیر، ستون و محل اتصال تیر و ستون به دیوار، مشخص گردید که ایجاد بازشو سبب افزایش جابه‌جایی شده و در بین نمونه‌ها ضخامت ۱۰ سانتیمتر کمترین جابه‌جایی را در بین نمونه‌های با بازشو داشته است.
  - در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که ایجاد بازشوها باید با دقت و بررسی کامل صورت گیرد و اطراف بازشو بایستی کاملاً مقاوم سازی گردد و همچنین ضخامت ۱۰ سانتیمتر بهترین عملکرد را برای حالت با بازشو دارد.

## مراجع

- Abbas, A., Adil, M., Ahmad, N., & Ahmad, I. (2019). Behavior of reinforced concrete sandwiched panels (RCSPs) under blast load. *Engineering Structures*, 181, 476-490.
- Brun, M., Batti, A., Limam, A., & Gravouil, A. (2012). Explicit/implicit multi-time step co-computations for blast analyses on a reinforced concrete frame structure. *Finite Elements in Analysis and Design*, 52, 41-59.
- Defense, U. D. o. (2008). Structures to resist the effects of accidental explosions. UFC 3-340-02.
- Fatima, A., Sangi, A. J., Mohammad, A. F., & Joohi, M. (2023). Global response of reinforced concrete framed building under varying blast load pulse shapes. *Structures*, 50, 482-493.
- Jayasooriya, R., Thambiratnam, D. P., Perera, N. J., & Kosse, V. (2011). Blast and residual capacity analysis of reinforced concrete framed buildings. *Engineering Structures*, 33(12), 3483-3495.
- Pachideh, G., Gholhaki, M., & Noori, Y., (2020). An Investigation into the Impact of Fire on Lateral Stability and Strength of Thin Steel Plate Shear Walls. *Amirkabir Journal of Civil Engineering* 52 (4), 859-872.
- Roy, T., & Matsagar, V. (2021). Mechanics of damage in reinforced concrete member under post-blast fire scenario. *Structures*, 31, 740-760.
- Wei, X., & Ren, X. (2023). Failure assessment of concrete shear walls under close-in blast based on viscous damage model. *Engineering Failure Analysis*, 107858.
- Wu, C., & Sheikh, H. (2013). A finite element modelling to investigate the mitigation of blast effects on reinforced concrete panel using foam cladding. *International Journal of Impact Engineering*, 55, 24-33.
- Zhao, C. F., Chen, J. Y., Wang, Y., & Lu, S. J. (2012). Damage mechanism and response of reinforced concrete containment structure under internal blast loading. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 61, 12-20.