

Numerical investigation of seismic improvement solutions of cold joints in concrete moment frames

Amir Atashi¹, Vahidreza Kalatjari², Ebrahim Zamani Beydokhti^{3*}

1- PhD candidate, Department of civil engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

ABSTRACT

In this research, the effect of cold joint and the use of different solutions to improve and reduce the effect of cold joint in reinforced concrete frame have been investigated. For this purpose, after validating a concrete beam-to-column connection with a cold joint in Abaqus software, 20 models of a one-span, one-story concrete frame were modeled in Abaqus software in different situations. Three types of cold joint reinforcement including shear key, additional rebar and steel box in the cold joint location with different dimensions and geometries were created. All the models were subjected to cyclic loading, and hysteresis envelope diagram, maximum load capacity and resistance loss factor were extracted from the models and compared. The results obtained from this research showed that by creating a cold joint, the maximum load carrying capacity will decrease by 15%. Also, by using the three proposed solutions, the use of boxes, shear keys, and additional rebars at the cold joint location, it is possible to improve the capacity of the maximum load-carrying capacity, among which the greatest impact is related to the use of cans and the least impact is It was to use additional rebar. In models with boxes, with increased cross-section and web thickness, the bearing capacity increased compared to the cold joint model and in some cases compared to the model without cold joint. In the models with shear key, the bearing capacity increased compared to the model with cold joint by increasing the cross-sectional area and decreasing the length of the shear key. In the models with additional rebars, the increase in load capacity compared to the models with cold joints was small, and this increase was improved by increasing the diameter of the rebars.

ARTICLE INFO

Receive Date: 02 June 2024

Revise Date: 31 July 2024

Accept Date: 23 September 2024

Keywords:

Cold joint
Concrete moment frame
Shear key
Additional rebar
Seismic behavior

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.455887.3405](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.455887.3405)

*Corresponding author:
Email address:

بررسی استفاده از راهکارهای بهبود دهنده رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی دارای درز سرد

امیر آتشی^۱، وحیدرضا کلاتجاری^۲، ابراهیم زمانی بیدختی^{۳*}

۱- دانشجوی دکترای سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- دانشیار سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳- استادیار سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

در این پژوهش به بررسی تأثیر درز سرد و استفاده از راهکارهای مختلف جهت بهبود رفتار لرزه‌ای و کاهش تأثیر درز سرد در قاب خمشی بتن مسلح پرداخته است. برای این منظور بعد از صحت‌سنجی یک اتصال تیر به ستون بتنی دارای درز سرد در نرم‌افزار آباکوس، ۲۰ مدل از یک قاب بتنی یک دهانه و یک طبقه، در حالات مختلف در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی شده است. سه نوع تقویت‌کننده درز سرد شامل کلید برشی، میلگرد اضافی و قوطی در محل درز سرد با ابعاد و هندسه‌های مختلف استفاده گردید. تمامی نمونه‌ها تحت بارگذاری سیکلی قرار گرفت و نمودار پوش هیستریزیس، بیشترین ظرفیت باربری و فاکتور افت مقاومت از نمونه‌ها استخراج و مقایسه گردید. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که با ایجاد درز سرد، بیشترین ظرفیت باربری تا مقدار ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با استفاده از سه راهکار پیشنهادی، استفاده از قوطی، کلید برشی و میلگردهای اضافی در محل درز سرد می‌تواند بیشترین ظرفیت باربری و نمودار پوش سازه را بهبود بخشد که در این میان بیشترین تأثیر مربوط به استفاده از قوطی و کمترین تأثیر مربوط به استفاده از میلگرد اضافی است. در آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های بتنی، مشاهده شده است که افزایش مقطع و ضخامت قوطی‌های استفاده شده در این نمونه‌ها منجر به افزایش ظرفیت باربری آنها می‌شود. این افزایش ظرفیت باربری نه تنها در مقایسه با نمونه‌هایی که دارای درز سرد هستند، بلکه در برخی موارد حتی نسبت به نمونه‌هایی که فاقد درز سرد بوده‌اند نیز دیده شده است. همچنین، در نمونه‌هایی که از کلید برشی استفاده شده است، افزایش سطح مقطع کلید برشی و کاهش طول آن، بهبود قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت باربری ایجاد کرده است. کلید برشی با افزایش سطح تماس بین دو بخش بتنی و توزیع یکنواخت‌تر نیروها، موجب افزایش پیوستگی و انسجام ساختاری شده و در نتیجه مقاومت سازه‌ای افزایش یافته است. در نمونه‌های دارای میلگرد اضافی، افزایش ظرفیت باربری نسبت به نمونه دارای درز سرد اندک بود و این افزایش با افزایش قطر میلگردها، بهبود می‌یابد.

کلمات کلیدی: درز سرد، قاب بتن مسلح، کلید برشی، میلگرد اضافی، رفتار لرزه‌ای

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi: 10.22065/jsce.2024.455887.3405
۱۴۰۳/۰۳/۱۳	۱۴۰۳/۰۵/۱۰	۱۴۰۳/۰۷/۰۲	۱۴۰۳/۰۷/۰۲	۱۴۰۴/۰۳/۳۱	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.455887.3405
*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی: zamani.eb@shahroodut.ac.ir					ابراهیم زمانی بیدختی

- مقدمه

بتن یکی از پرکاربردترین موادی است که در ساخت و سازه‌های مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد. گاهی اوقات عملیات بتن‌ریزی دچار وقفه می‌گردد و زمان وقفه به حدی می‌باشد که بتن قدیمی سخت شده و در سطح بین بتن جدید و بتن قدیمی سطحی موسوم به درز سرد ایجاد می‌گردد. همچنین، گاهی اوقات نیاز است که بخشی از سازه بتنی قدیمی با استفاده از بتن جدید، ترمیم گردد و در این مواقع نیز بین بتن قدیمی و بتن جدید، درز سرد ایجاد می‌گردد. علاوه بر این در شیوه‌های مرسوم برای اجرای قاب‌های بتن مسلح، معمولاً در محل اتصال ستون به کف، سقف و شالوده، درز سرد ایجاد می‌شود. به‌طور معمول، درز سرد دارای مقاومت پایین‌ترین نسبت به دو سطح بتن قدیم و جدید دارد و این موضوع باعث می‌گردد که عملکرد سازه تا حد زیادی متأثر از آن می‌شود [۱-۲]. همچنین به دلیل تغییرات سریع سطح تنش و ایجاد تمرکز تنش، خطر شکست بالا در محل درز سرد وجود دارد [۳]. در زمینه نحوه شکست بتن، رفتار بتن، ماتریس سنگ‌دانه و سیمان، و سطح بین بتن و سایر مصالح، پژوهش‌های زیادی انجام شده است ولی مطالعات زیادی در زمینه درز سرد و سطح مشترک بین بتن قدیم و جدید صورت نگرفته و این موضوع به‌خصوص در قاب‌های بتنی جای تحقیق بیشتری دارد [۴].

درزهای سرد معمولاً در جایی رخ می‌دهند که بتن‌ریزی متوقف شده و پس از یک دوره زمانی دوباره آغاز می‌شود، که می‌تواند یکپارچگی ساختاری را تحت تأثیر قرار دهد. در یک تحقیقی به‌طور خاص به تحلیل تأثیر شرایط محیطی مانند تغییرات دما، رطوبت، و حمله شیمیایی بر بتن دارای درزهای سرد پرداخته است. روش‌های آزمایشی مختلفی برای شبیه‌سازی شرایط محیطی واقعی استفاده شده‌اند، از جمله: دوره‌های تر و خشک شدن (برای بررسی اثرات تغییرات رطوبت)، تعرض به یون‌های کلر و سولفات (برای ارزیابی خوردگی) و تغییرات دما (برای بررسی تأثیر انبساط و انقباض حرارتی). نتایج نشان می‌دهد که درزهای سرد می‌توانند فرآیندهای تخریبی مانند کربناتاسیون و حمله یون کلر را تسریع کنند. استفاده از پوشش‌های محافظ و مواد افزودنی خاص به‌عنوان راه‌حل‌های مؤثر پیشنهاد شده است. همچنین نتیجه‌گیری می‌شود که برای بهبود دوام بتن در شرایط محیطی مختلف، نیاز به روش‌های اجرایی بهینه و استفاده از مواد افزودنی مقاوم در برابر شرایط محیطی خاص وجود دارد [۵].

در یک تحقیق دیگر به بررسی اثرات درز سرد بر کیفیت و استحکام سازه‌های بتن مسلح پرداخته شده است. درزهای سرد زمانی ایجاد می‌شوند که بتن‌ریزی جدید بر روی بتن گیرش‌یافته (ولی هنوز کامل نشده) انجام می‌شود، و این موضوع می‌تواند به مشکلات ساختاری و سازه‌ای مانند کاهش مقاومت فشاری، ضعف پیوستگی، تشکیل ترک‌های ساختاری، کاهش دوام و مقاومت محیطی منجر شود. نتیجه این پژوهش این است که کاهش اثر درز سرد از طریق برنامه‌ریزی دقیق، استفاده از مواد افزودنی و کنترل شرایط محیطی ضروری است. بازرسی‌های منظم نیز به شناسایی و رفع مشکلات پیش از تبدیل شدن به مسائل جدی کمک می‌کند [۶]. در یک پژوهش دیگر تأثیر درزهای سرد بر یکپارچگی سازه‌های بتن مسلح بررسی شده است. تمرکز اصلی بر تحلیل کاهش مقاومت کششی و فشاری بتن در حضور درزهای سرد است. نتایج نشان می‌دهد که درزهای سرد به‌طور قابل توجهی استحکام و دوام سازه‌های بتنی را کاهش می‌دهند. توصیه شده که بهبود تکنیک‌های اجرایی و استفاده از افزودنی‌های بهبوددهنده می‌تواند این تأثیرات منفی را کاهش دهد [۷].

خولیو و همکارانش به ارزیابی تأثیر روش‌های زبرسازی بر قدرت چسبندگی اتصال در دو لایه بتنی پرداختند. در این تحقیق، آن‌ها با استفاده از آزمایش‌های کشش و برش شیبدار، نمونه‌هایی را که در آن‌ها سطح بتن بستر با استفاده از تکنیک‌های مختلف زبر شده بود، مورد آزمایش قرار دادند. بدین منظور، آن‌ها از ۵ روش برای مقایسه تأثیر زبری در سطح بستر بتنی استفاده کردند که عبارتند از: زبر نشده، زبر شده با استفاده از دستگاه سنگ فرز و فرچه سیمی، ایجاد شیار و حفره به وسیله دستگاه تخریب سبک، ایجاد شیار و حفره به وسیله دستگاه تخریب سبک، ایجاد شیار و حفره به وسیله دستگاه تخریب سبک به اضافه اشباع سطح بتن بستر با آب ۲۴ ساعت قبل از بتن‌ریزی قسمت دوم، و زبرسازی با استفاده از ماسه‌پاشی. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار مقاومت چسبندگی در کشش و برش از نمونه‌های زبر شده با روش ماسه‌پاشی به دست آمده است. همچنین تأثیر اشباع بودن سطح بتن بستر بر مقاومت‌های چسبندگی نمونه‌ها ناچیز بوده است [۸].

در یک تحقیق جامع تر در سال ۲۰۱۰، شاه و چاندرا کیشن خصوصیات شکست در فصل مشترک ایجاد شده در اتصال بتن با مقاومت‌های متفاوت را با استفاده از اثر بازانت مورد بررسی قرار دادند. از هر اندازه تیر، ۵ نمونه ساختند، به طوری که نمونه اول به صورت تیری یکپارچه و بدون درز سرد با مقاومت فشاری ۳۴ مگاپاسکال و نمونه‌های دیگر دارای درز و در دو مرحله بتن‌ریزی ساخته شده‌اند. مقاومت فشاری بتن نیمه اول در تمامی تیرها ۳۴ مگاپاسکال بود و نیمه دوم آن‌ها بین ۳۴، ۴۵، ۵۴، و ۶۶ مگاپاسکال متفاوت بود. نتایج آزمایش‌های آن‌ها در دو بخش داده‌های نیرو-جابجایی قائم وسط دهانه و نیرو-بازشدگی دهانه ترک تیر ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر سختی اولیه، حداکثر بار تحمل‌شده و مساحت زیر نمودار در منحنی‌های نیرو-جابجایی وسط دهانه تیرها، با کاهش اختلاف مقاومت فشاری بتن‌های دو طرف درز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، هرچه مقاومت فشاری بتن دو طرف درز به یکدیگر نزدیک‌تر باشد، خصوصیات مکانیکی درز بهبود پیدا می‌کند [۹].

روی و همکاران [۱۰] به بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال تیر به ستون با و بدون درز سرد پرداختند. نمونه‌های آزمایش‌شده در نسبت‌های مختلف مقاومت خمشی از ۲/۱، ۴/۱، ۷/۱ و ۲ مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که کاهش ظرفیت اتلاف انرژی در نمونه‌های دارای درز سرد ۲۴ تا ۴۹ درصد در مقایسه با نمونه‌های بدون درز سرد با نسبت مقاومت خمشی مختلف بود. علاوه بر این، نمونه‌های دارای درز سرد ۲۲ تا ۳۶ درصد کاهش شکل‌پذیری در مقایسه با نمونه‌های بدون درز سرد نشان دادند. کاهش سختی اولیه در نمونه‌های دارای درز سرد مشهود بود و تفاوت قابل توجهی در پیک بار بین نمونه‌های بدون درز سرد و دارای درز سرد وجود نداشت. همچنین در این پژوهش، ۴ نمونه تیر با درصد آرماتورهای کششی مختلف تحت بارگذاری استاتیکی قرار گرفتند که در این نمونه‌ها نیز کاهش پیک بار در نمونه‌های دارای درز سرد در مقایسه با نمونه‌های بدون درز سرد ناچیز بود. برای شبیه‌سازی درز سرد در روش‌های عددی و به خصوص در نرم‌افزار آباکوس می‌توان از مدل چسبناک استفاده کرد. مفاهیم اولیه مدل چسبناک^۱ و ناحیه چسبناک (CZM)^۲ بیش از نیم‌قرن پیش توسط پژوهشگرانی مانند دوگدال [۱۱] و بارنبلات [۱۲] ارائه شده است. همچنین تعدادی از روابط مربوط به کشش-جدایش مورد استفاده در مدل‌های چسبناک در آباکوس توسط پارک و همکارانش [۱۳] ارائه و مقایسه شده است. برخی از مسائل مدل‌های ناحیه‌ی چسبناک نیز توسط سلیوانف و چرنوبویان [۱۴] بررسی و راهکارهایی ارائه شده است. بسیاری از خصوصیات مربوط به مکانیک شکست در درز سرد توسط محققان مختلف با استفاده از آزمایشات سه‌نقطه‌ای خمشی در تیرهای بتنی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱-۱۵].

کریمی و کلات جاری [۲۲]، به ارائه مدل عددی پیشنهادی برای شبیه‌سازی مود بازشدگی مکانیک شکست اتصال سرد بتنی پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود، با استفاده از نرم‌افزار آباکوس به شبیه‌سازی اتصال سرد پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود، تیرهایی با تکیه‌گاه ساده تحت خمش سه‌نقطه‌ای، با مقاومت فشاری یکسان را برای نمونه‌های بتنی دارای درز سرد در وسط نمونه‌ها مورد بررسی قرار دادند. همچنین در این پژوهش برای رسیدن به بهترین نتایج در مدل‌سازی عددی، روابط مختلف تنش- کرنش برای بتن در فشار و کشش را بررسی نموده و از بین آن‌ها بهترین رابطه‌ای که نزدیک‌ترین نتایج را به نتایج تجربی داشت، انتخاب نمودند. همچنین برای مدل‌سازی اتصال سرد، از المان چسباننده با ضخامت بسیار ناچیز استفاده کردند. منحنی‌های بار- تغییر مکان و بار- جابه‌جایی در نمونه‌های مختلف ناشی از بازشدگی دهانه ترک مقایسه شدند و نتایج تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی از خود نشان داد.

کوه و همکاران [۲۳]، به بررسی تیرهای بتن مسلح T شکل دارای درز سرد پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود بیان نمودند که غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند اثرات مخربی بر روی درز سرد در سازه‌های بتنی داشته باشد. بنابراین آن‌ها در پژوهش خود آزمایش کریناته شدن تسریع شده را برای نمونه‌های مختلف دارای درز سرد انجام دادند. سپس نمونه‌ها را تحت تست‌های کششی و فشاری قرار دادند و نتایج نشان‌دهنده کاهش عمر مفید سازه به خصوص در بخش کشش در نمونه‌های دارای درز سرد کریناته شده بود.

¹ Cohesive model

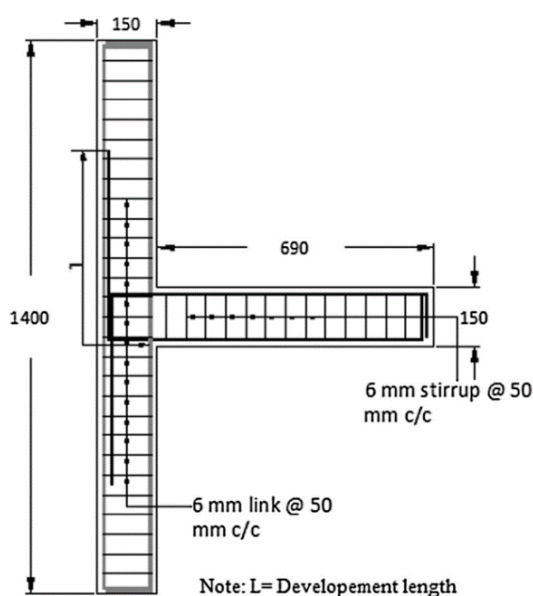
² cohesive zone model

ایلانگاکون و همکاران [۲۴]، به بررسی تشکیل درز سرد در سازه‌های بتنی در شرایط آب و هوایی گرم پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که عملکرد یک سازه بتنی می‌تواند تا حد زیادی تحت تأثیر وجود درز سرد قرار داشته باشد. وجود درز سرد باعث، خرابی آرماتور فولادی در بتن، کاهش مقاومت و تخریب بتن می‌گردد. احتمال تشکیل درز سرد در شرایط آب و هوایی گرم، به دلیل اینکه گیرش بتن سریع‌تر می‌گردد، بیشتر می‌شود. آن‌ها هدف از پژوهش خود را تأثیر دمای محیط بر تشکیل درز سرد بیان نموده و اثر تشکیل درز سرد را با بررسی مقاومت خمشی در تیر بتنی مورد بررسی قرار دادند بتن تازه دارای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود و در دو شرایط دمایی ۲۴ و ۴۵ درجه نمونه‌ها مطالعه شدند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش نشان داد اتصال سرد زمانی شکل می‌گیرد که تأخیر در قرارگیری بین دولایه متوالی بیشتر از زمان گیرش اولیه بتن، باشد. همچنین مشخص گردید که درز سرد زمانی تشکیل می‌شوند که مقاومت نفوذ بیشتر از 0.5 N/mm^2 باشد و این مقاومت نفوذ مستقل از دمای محیط است.

سلطانی و همکاران [۲۵]، به بررسی تأثیر درز سرد در اتصال تیر به ستون در قاب خمشی بتنی متوسط پرداختند. در این پژوهش سازه‌های قاب خمشی ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه در دو حالت بدون درز سرد و با درز سرد مورد بررسی قرار گرفتند و حد شکل‌پذیری متوسط این قاب‌ها تحلیل شد و سپس عملکرد آن‌ها با استفاده از ضوابط و منحنی‌های به‌دست‌آمده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که وجود درز سرد تأثیر قابل‌توجهی بر رفتار قاب ندارد. نجفی و همکاران [۲۶]، به مدل‌سازی انتقال برش اصطکاک در فصل مشترک بتن جدید و قدیم پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود برش اصطکاک را در فصل مشترک بین بتن قدیم و جدید با استفاده از نرم‌افزار آباکوس و تحلیل شبه استاتیکی مدل‌سازی نمودند. مدل عددی آن‌ها دقت خوبی در شبیه‌سازی مقاومت برش اصطکاک بین سطح دو بتن و میزان لغزش دو قطعه بتنی نسبت به همدیگر از خود نشان داد.

۲- مدل صحت‌سنجی

در این بخش مشخصات مربوط به مدل‌سازی نمونه صحت‌سنجی در نرم‌افزار آباکوس ارائه شده است. نمونه شبیه‌سازی شده شامل اتصال تیر به ستون بتنی است که از مقاله مرجع [۱۰]، انتخاب شده است. شماتیک از مدل آزمایشگاهی مورد بررسی در این مقاله در شکل ۱، نشان داده شده است.



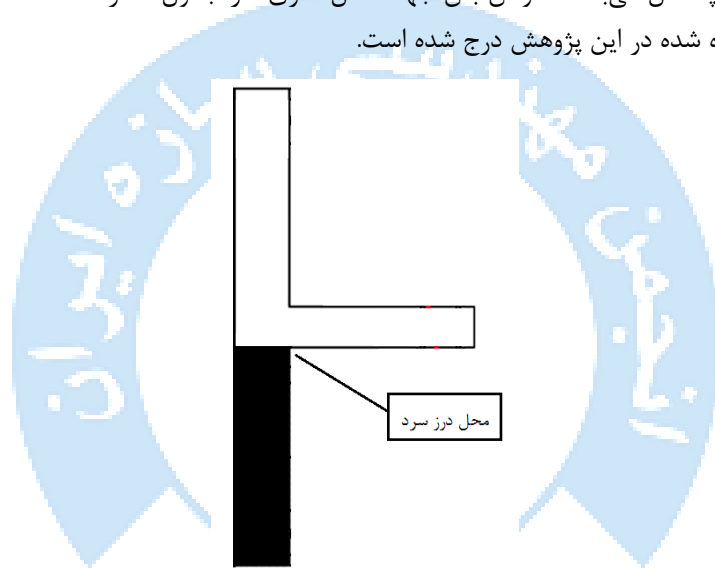
شکل ۱: شماتیک اتصال تیر به ستون در مدل صحت‌سنجی [۱۰].

مشخصات مربوط به ابعاد تیر و ستون و میلگردها و خاموت‌های به کار رفته در مدل صحت‌سنجی در جدول ۱، ارائه شده است. لازم به ذکر است که نمونه انتخاب شده برای صحت‌سنجی، دارای نسبت مقاومت خمشی برابر با ۱/۲ است.

جدول ۱: مشخصات اتصال تیر به ستون در نمونه صحت سنجی [۱۰].

بخش مورد نظر	ابعاد (میلی متر)
تیر	۱۵۰×۱۲۰
ستون	۱۵۰×۱۲۰
میلگردهای تیر	۴ عدد قطر ۸
میلگردهای ستون	۴ عدد قطر ۶
خاموت‌ها	قطر ۶

مطابق با شکل ۲ درز سرد در بالای ستون پایینی، در نظر گرفته شده است. مواد به کار رفته برای بخش بتنی، بتن C20 است که دارای بیشترین مقاومت فشاری ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد. خواص بتن جهت مدل سازی، در جدول ۲، ارائه شده است. همچنین در جدول شماره ۳ خواص میلگردها و قوطی استفاده شده در این پژوهش درج شده است.



شکل ۲: شماتیکی از نمونه صحت سنجی دارای درز سرد.

جدول ۲: خواص بتن به کار رفته در مدل صحت سنجی.

مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)	ضریب پواسون	بیشترین مقاومت فشاری (مگاپاسکال)
۲۰/۵	۰/۲	۲۰

جدول ۳: خواص مکانیکی میلگردها و قوطی استفاده شده.

ضریب ارتجاعی (گیگاپاسکال)	ضریب پواسون	تنش تسلیم (مگاپاسکال)	تنش نهایی (مگاپاسکال)	قوطی
۲۰۰	0.3	۲۴۰	۳۶۰	
۲۰۰	0.3	۴۰۰	۵۰۰	میلگردها

میلگردهای به کار رفته در داخل بتن با استفاده از قید مدفون در بتن و بدون لغزش^۳، در نمونه بدون درز سرد و دارای درز سرد فرض شده است. برای شبیه‌سازی درز سرد از المان چسبنده^۴ در نرم‌افزار آباکوس استفاده شد. برای این منظور از خواص ارائه‌شده در مرجع [۲۲]، برای شبیه‌سازی درز سرد و ناحیه چسبنده استفاده شده است.

۱-۲ مدل سازی رفتار بتن

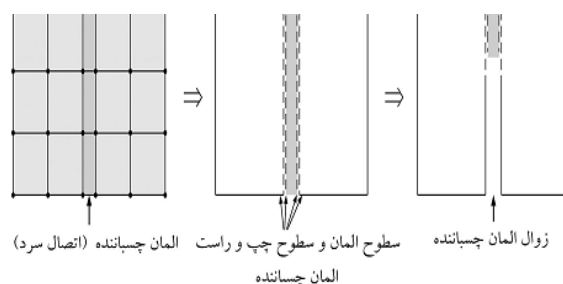
نوع المان به کار رفته برای بتن، المان C3D8R که المان سه بعدی ۸ گرهی و المان به کار رفته برای میلگردها و خاموت‌ها، المان T3D2 می‌باشد که المان خرابی سه بعدی ۲ گرهی می‌باشد. همچنین برای مدل سازی رفتار بتن از مدل خسارت خمیری بتن^۵ CDP استفاده شده است. مدل خسارت پلاستیک بتن، یک مدل پیوسته مبتنی بر تئوری پلاستیسیته است که برای پیش‌بینی رفتار بتن تحت بارهای مختلف به کار می‌رود. این مدل خرابی بتن را عمدتاً ناشی از دو نوع آسیب می‌داند، ترک خوردگی ناشی از کشش و خردشدگی ناشی از فشار. میزان این خرابی‌ها توسط دو متغیر سخت‌شوندگی یعنی کرنش پلاستیک کششی معادل و کرنش پلاستیک فشاری معادل تعیین می‌شود [۲۷]. خصوصیات مصالح بتن و مقادیر مربوط به متغیرهای خرابی استفاده شده برای مدل CDP در جدول شماره ۴ آمده است. مشخصات آورده شده در جدول شماره ۴ به این صورت است که، زاویه اتساع: زاویه اصطکاک داخلی بتن، خروج از مرکزیت: نسبت مقاومت کششی بتن به مقاومت فشاری بتن که عدد بسیار کوچکی است و برابر ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر f_{b0}/f_{c0} به ترتیب مقاومت تسلیم فشاری در حالت تک محوره و دو محوره K_c در مدل خسارت پلاستیک بتن مقداری برابر $\frac{2}{3}$ در نظر گرفته می‌شود که بر اساس آزمایش فشاری سه محوره و تحلیل عددی پیشنهاد شده است. پارامتر ویسکوزیته این پارامتر به مدل اجازه می‌دهد تا رفتار خزشی (creep) و تأخیر زمانی در پاسخ بتن را شبیه‌سازی کند. محاسبه پارامتر ویسکوزیته معمولاً به صورت تجربی یا با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود است [۲۸-۳۰].

جدول ۴: خواص به کار رفته در مدل CDP [۲۲].

پارامتر ویسکوزیته	K_c	f_{b0}/f_{c0}	خروج از مرکزیت	زاویه اتساع
۰	۰/۱۶۶۷	۱/۱۶	۰/۱	۳۶

۲-۲ مدل سازی درز سرد

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، درز سرد یک سطح بسیار نازک است که خصوصیات مکانیکی متفاوتی نسبت به بتن موجود در هر دو سمت خود دارد. این درز که به عنوان یک اتصال بین دو لایه بتن عمل می‌کند، دارای ضخامت کمی است و به عنوان سطح چسباننده شناخته می‌شود. وظیفه اصلی این سطح، انتقال تنش‌های برشی و همچنین تنش‌های عمود بر سطح می‌باشد. این انتقال تنش‌ها برای حفظ یکپارچگی سازه و جلوگیری از شکست در محل اتصال بسیار حائز اهمیت است. در صورتی که المان درز سرد تخریب شود، دو سطح بتن قدیمی و جدید به حالت تماسی در خواهند آمد. این وضعیت می‌تواند منجر به کاهش استحکام و یکپارچگی سازه شود، زیرا انتقال تنش‌ها به درستی صورت نمی‌گیرد و ممکن است باعث ترک خوردگی یا جدا شدن لایه‌ها شود.



³ Embedded Region

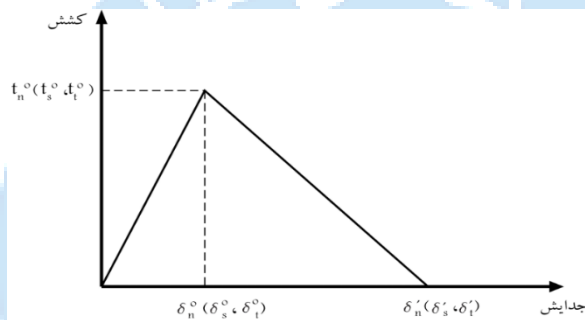
⁴ Cohesive

⁵ Concrete damage plastic

شکل ۳: نحوه عملکرد المان چسباننده [۲۲].

درز سرد به دلیل ضخامت کم خود یک سطح چسباننده نازک ایجاد می‌کند که نقش مهمی در انتقال تنش‌های بین دو لایه بتن ایفا می‌کند. رابطه‌ی کشش-جدایش به تعیین نحوه‌ی تغییر تنش‌ها و جدایش‌ها در این سطح چسباننده کمک می‌کند. شکل ۴ پاسخ عمومی کشش-جدایش در یک سطح نازک مانده درز سرد را نشان می‌دهد. شکل ۴ معرف دو دسته متغییر می‌باشد:

- ۱- پارامترهای تنش مقاوم اسمی که به ترتیب می‌توان گفت، t_n^0 نشان‌دهنده حداکثر تنش مقاوم اسمی است که زمانی ایجاد می‌شود که نیروها به طور عمودی (عمود بر سطح) اعمال شوند t_s^0 ، t_t^0 به ترتیب نشان‌دهنده حداکثر تنش مقاوم اسمی در هنگام اعمال نیروهای برشی اصلی هستند. این نیروها معمولاً در جهات مختلف (مانند افقی) عمل می‌کنند.
- ۲- پارامترهای جدایش اسمی δ_n^0 ، δ_s^0 و δ_t^0 که این پارامترها نشان‌دهنده میزان جدایش در سطح درز سرد هستند زمانی که به حداکثر تنش مقاوم اسمی رسیده‌ایم. به عبارتی، این پارامترها نشان می‌دهند که در چه میزان جدایش، تنش‌های مقاوم به بیشترین حد خود می‌رسند.



شکل ۴: پاسخ عمومی کشش-جدایش [۲۲].

در این پژوهش پاسخ اولیه المان درز سرد به بارگذاری، کشسان خطی فرض شده است. این بدین معنی است که در ابتدای بارگذاری، تنش‌ها و تغییر شکل‌ها به صورت خطی مرتبط هستند؛ یعنی اگر بار دو برابر شود، تغییر شکل نیز دو برابر می‌شود. این رفتار تا زمانی ادامه دارد که تنش به یک مقدار بحرانی برسد که پس از آن ممکن است رفتار غیرخطی یا شکست رخ دهد. مزیت این مدل سازی این است که کمک می‌کند تا بتوانند پایداری و استحکام سازه‌های بتنی را در حضور درزهای سرد ارزیابی کرد و در طراحی و ساخت سازه‌ها، اقداماتی برای بهبود کیفیت اتصال و جلوگیری از مشکلات ناشی از این درزها انجام داده شود. خواص به کار رفته در بخش چسبنده در جدول ۵ و محل استفاده از این خاصیت مطابق با آنچه در مقاله [۱۰] بیان شده است محل درز سرد، سطح فوقانی ستون پایین اتصال بخش پایینی ستون که در شکل ۵، نشان داده شده است.

جدول ۵: خواص چسبندگی برای شبیه‌سازی درز سرد [۲۲].

t_n^0 (MPa)	t_s^0 (MPa)	t_t^0 (MPa)	E(E _{nn}) (GPa)	G1(E _{ss}) (GPa)	G2(E _{tt}) (GPa)	Gf (J)
۳/۱۴۹	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲	۱۰/۹۱۳	۴/۵۸۵	۴/۵۸۵	۱۱۱/۳

سایر پارامترهای موجود در جدول شماره ۵ شامل موارد زیر هستند:

G_f : این پارامتر نمایانگر مقدار انرژی شکست⁶ است که نشان دهنده مقدار انرژی مورد نیاز برای ایجاد واحد سطح ترک در ماده است. G_1 و G_2 : این مقادیر مدول‌های برشی⁷ در دو راستای عمود بر هم در سطح درز سرد هستند. این پارامترها توصیف کننده مقاومت ماده در برابر تغییر شکل برشی در این راستاها می‌باشند.

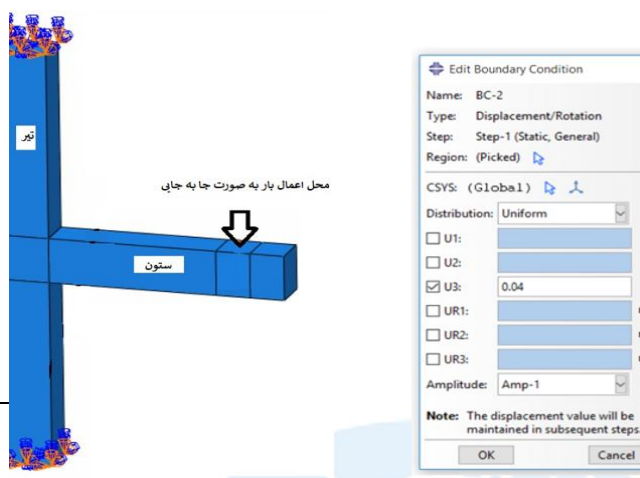
E : این مقدار بیانگر مدول کشسانی⁸ سطح درز سرد است. مدول کشسانی معیاری از سختی ماده و توانایی آن در بازگشت به شکل اولیه پس از حذف بار است. این مقدار از منحنی بار-جابجایی ناشی از بازشدگی دهانه ترک⁹ به دست می‌آید، که نشان دهنده رفتار مکانیکی ماده تحت تنش‌های کششی است. [۲۲].



شکل ۵: محل درز سرد و استفاده از المان چسبنده در مدلسازی عددی نرم افزار آباکوس.

۲-۳ شرایط مرزی و بارگذاری

شرایط مرزی در دو مدل صحت‌سنجی دارای درز سرد و بدون درز سرد، مطابق با آنچه در مقاله [۱۰]، بیان شده است، به مدل اعمال می‌گردد. بدین صورت که ستون در وضعیت افقی قرار گرفته و تیر به صورت عمودی همچنین جا به جایی به انتهای ستون اعمال می‌شود. بخش بالا و پایین ستون مطابق با شکل ۶، مقید شده و بار لرزه‌ای مطابق با شکل ۷، به محل مشخص شده اعمال می‌گردد.



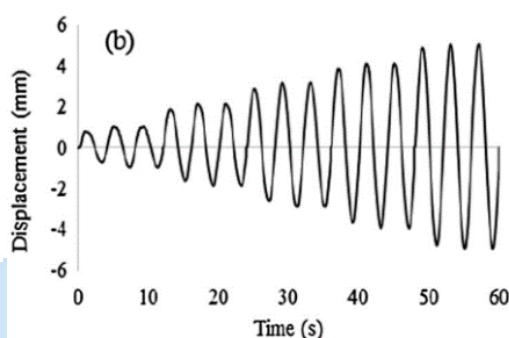
⁶ Fracture Energy

⁷ Shear Moduli

⁸ Elastic Modulus

⁹ Crack Opening

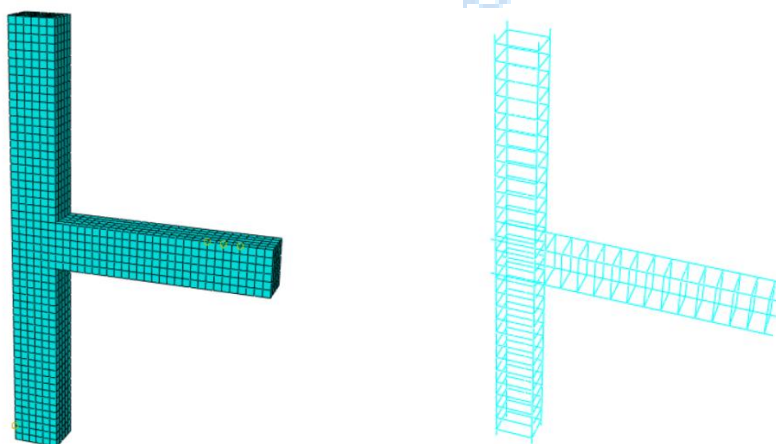
شکل ۶: مقید نمودن بخش بالا و پایین ستون.



شکل ۷: محل و پروتکل اعمال بار لرزه‌ای به مدل‌های صحت‌سنجی.

مش بندی به تحلیل دقیق‌تر توزیع تنش‌ها و تغییر شکل‌ها در سازه کمک می‌کند. این امر به‌ویژه در نواحی با تغییرات شدید تنش، مانند محل‌های اتصال، ترک‌ها، یا محل‌های تمرکز بار، اهمیت دارد. در تیر و ستون بتنی، که ممکن است تحت بارهای شدید به رفتار غیرخطی (مانند ترک خوردگی یا جاری شدن آرماتورها) برسند، مش بندی دقیق به مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار مواد کمک می‌کند [۳۱].

برای بهبود دقت مدل‌سازی و دستیابی به همگرایی بیشتر نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی، اندازه المان‌های مختلف مطابق جدول ۶ مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، پس از اعمال اندازه‌های مختلف المان‌ها و ارزیابی نتایج، که همگرایی آنها در جدول ۶ ارائه شده است، اندازه المان ۵ سانتی‌متر برای بخش بتنی و ۱۰ سانتی‌متر برای آرماتورها و خاموت‌ها انتخاب شد. مش بندی مدل صحت‌سنجی در شکل ۸ نیز نشان داده شده است.



شکل ۸: مش بندی نمونه صحت سنجی (بخش بتنی و آرماتورها و خاموت‌ها).

جدول ۶: تعیین اندازه مناسب المان بر اساس نتایج همگرایی در نمونه صحت‌سنجی (برای پیک بار).

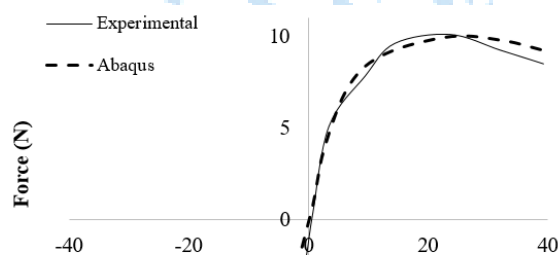
اختلاف (%)	بیشینه بار (کیلو نیوتن)	اندازه المان در آرماتورها (سانتی‌متر)	اندازه المان در بخش بتنی (سانتی‌متر)
۱۴/۸	۱۳/۵	۴۰	۲۰
۱۲	۱۱/۵	۲۰	۱۰
۳	۱۰/۱	۱۰	۵
-	۹/۸	۵	۲/۵

۳- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی

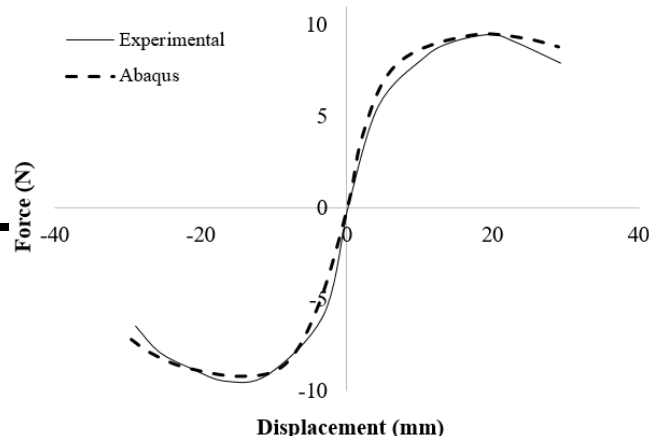
در راستای تحلیل تطبیقی، مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی نشان‌دهنده هم‌پوشانی قابل توجهی است، که بیانگر دقت و اعتبار مدل‌سازی عددی در بازنمایی رفتار واقعی سازه می‌باشد. مقایسه نتایج منحنی پوش نیرو - جابجایی مربوط به مدل‌های صحت‌سنجی و نتایج آزمایشگاهی در مرجع [۱۰]، که شامل نمونه‌های بدون درز و دارای درز سرد است، در شکل ۹ و ۱۰، نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل نرم‌افزار آباکوس به‌طور قابل توجهی با نتایج آزمایشگاهی همخوانی دارند. این همخوانی نشان‌دهنده دقت و اعتبار بالای مدل‌سازی عددی در بازنمایی رفتار واقعی سازه‌های بتنی است. اختلافات بسیار اندکی که بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مشاهده می‌شود، ممکن است به عوامل مختلفی نسبت داده شود. این عوامل شامل فرضیات ساده‌شده در مدل‌سازی عددی، عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های ورودی، و تفاوت‌های ذاتی میان شرایط آزمایشگاهی و شرایط واقعی می‌باشند. به عنوان مثال، در مدل‌سازی عددی ممکن است برخی پارامترها مانند خصوصیات مواد، شرایط مرزی و بارگذاری‌ها به‌طور دقیق مشخص نشوند یا تقریب زده شوند، که می‌تواند منجر به تفاوت‌های جزئی در نتایج شود. علاوه بر این، عوامل دیگری مانند ناهمگنی‌های میکروسکوپی در بتن و تغییرات دما و رطوبت در طول آزمایش نیز می‌توانند به اختلافات جزئی منجر شوند. با این حال، تطابق کلی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی به‌طور واضح نشان‌دهنده قابلیت اعتماد و کارایی مدل‌سازی عددی در پیش‌بینی عملکرد سازه‌های بتنی تحت شرایط مختلف

بارگذاری است.



هیستریزیس در نمونه بدون



شکل ۹: مقایسه پوش

درز سرد.

شکل ۱۰: مقایسه پوش هیستریزیس در نمونه دارای درز سرد.

۴- مدل سازی نمونه های این تحقیق

در بخش قبلی پژوهش، صحت و اعتبار مدل های عددی که برای شبیه سازی قاب های بتنی استفاده شده اند، مورد ارزیابی قرار گرفت. این مرحله بسیار مهم است زیرا تأیید می کند که مدل های شبیه سازی شده قادر به بازنمایی دقیق رفتار واقعی سازه های بتنی هستند. در این بخش از پژوهش، تمرکز بر معرفی و تحلیل مدل های اصلی است که برای بررسی رفتار قاب های خمشی بتن مسلح انتخاب شده اند. این مدل ها نمایانگر انواع مختلف قاب های بتنی هستند که هر یک در شرایط خاصی مورد آزمایش قرار گرفته اند. منظور از شرایط مختلف می تواند عواملی نظیر وجود یا عدم وجود درز سرد در محل های مختلف سازه، تغییر در نحوه مسلح سازی، و یا استفاده از تکنیک های مختلف بهبود عملکرد سازه باشد. هدف از تحلیل این مدل ها، درک بهتر و جامع تر از چگونگی عملکرد و رفتار قاب های بتنی خمشی تحت تاثیر وجود یا عدم وجود درز سرد در شرایط مختلف است. این پژوهش با هدف تحلیل دقیق تر رفتار قاب های بتنی تحت شرایط مختلف، و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد سازه ها در برابر نیروهای مختلف، به انجام رسیده است. نتایج این بررسی ها می تواند به عنوان مرجعی برای طراحی و اجرای سازه های بتنی با درز سرد و بدون درز سرد مورد استفاده قرار گیرد. مدل های استفاده شده در این پژوهش، مدل ۱ به عنوان مدل مرجع و مینا در نظر گرفته شده است. این مدل یک قاب بدون درز سرد است که به صورت یکپارچه طراحی شده است. مدل ۲ شامل یک قاب با درز سرد در محل اتصال تیر به ستون و ستون به فونداسیون است. در مدل های ۳ تا ۲۰، قاب هایی با درز سرد تحلیل شده اند که در آن ها از تکنیک های مختلفی نظیر استفاده از کلید برشی، میلگرد اضافی و قوطی در محل درز سرد استفاده شده است تا رفتار سازه های قاب های بتنی دارای درز سرد بهبود یابد. در شکل های ۱۳ و ۱۴ انواع سیستم های تقویت قاب های با درز سرد را نمایش داده است.

۷، انواع

تقویت

ارائه شده

پژوهش،

با تیر و

ابعاد ۳۰

شده است.

در نزدیکی

میلی متر

مقاومت و

بحرانی

در جدول شماره

قاب ها و روش های

آنها به طور مفصل

است. در این

از قاب های بتنی

ستون هایی به

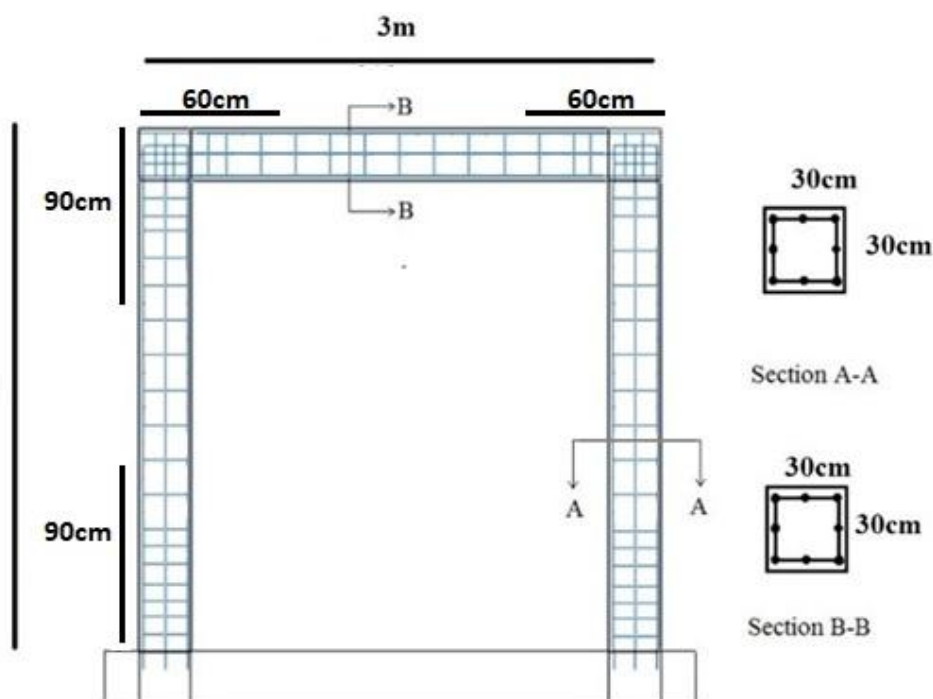
سانتی متر استفاده

فاصله خاموت ها

تکیه گاه ها به ۸۰

کاهش یافته تا

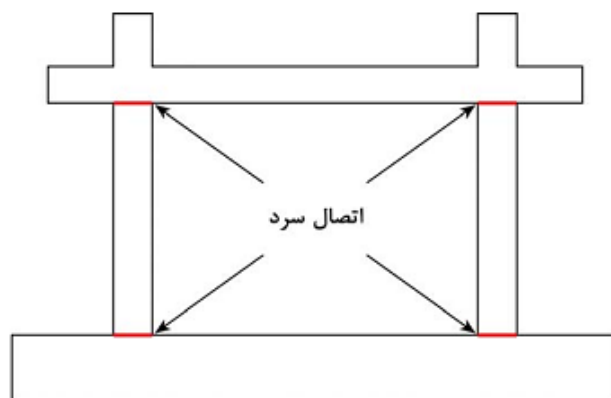
پایداری در نواحی



افزایش یابد، در حالی که در سایر نواحی این فاصله به ۱۰۰ میلی‌متر تنظیم شده است. قطر خاموت‌ها ۶ میلی‌متر و تعداد میلگردهای به‌کاررفته در تیر و ستون‌ها ۸ عدد با قطر ۵ میلی‌متر است که برای تأمین مقاومت کششی و خمشی لازم در سازه طراحی شده‌اند. شکل شماره ۱۱ هندسه دقیق قاب‌های مدل‌سازی شده را به نمایش می‌گذارد و شکل شماره ۱۲ محل قرارگیری درز سرد در قاب‌ها را نشان می‌دهد، که برای بررسی تأثیر این درز بر عملکرد سازه و تحلیل اتصالات استفاده شده است.

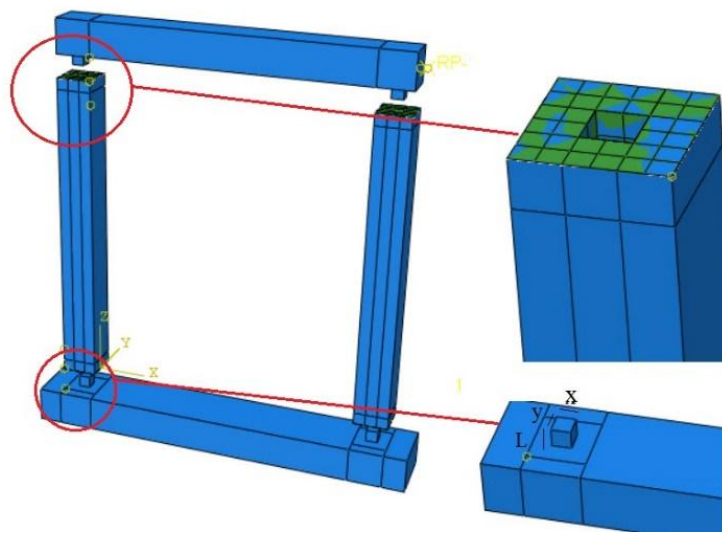


شکل ۱۱: هندسه قاب بتن مسلح تحلیل‌شده در این پژوهش به همراه مقطع تیر و ستون آن.

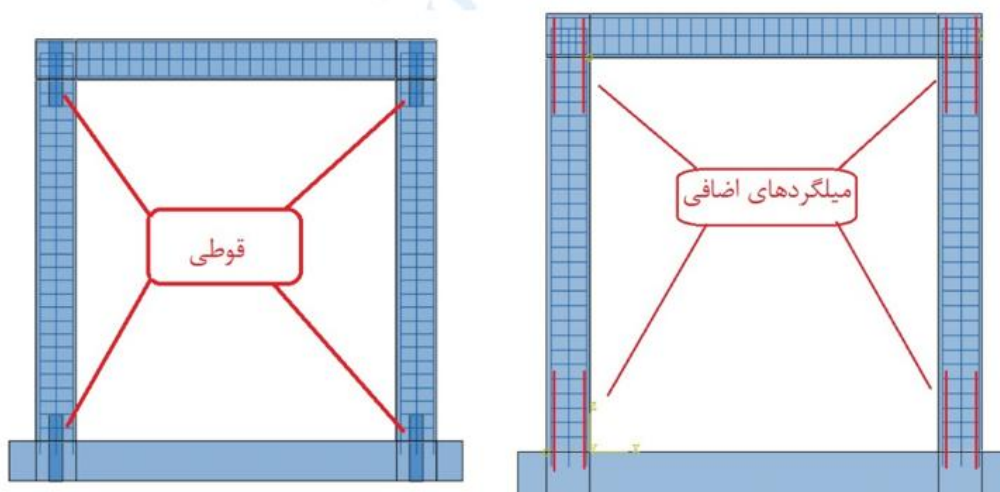


درز سرد در قاب

شکل ۱۲: محل قرارگیری بتنی در مدل ۲ تا ۲۰.



شکل ۱۳: نمونه‌های دارای کلید برشی در قاب بتنی دارای درز سرد.



شکل ۱۴: نمونه‌های قاب بتن مسلح دارای میلگرد اضافی و قوطی.

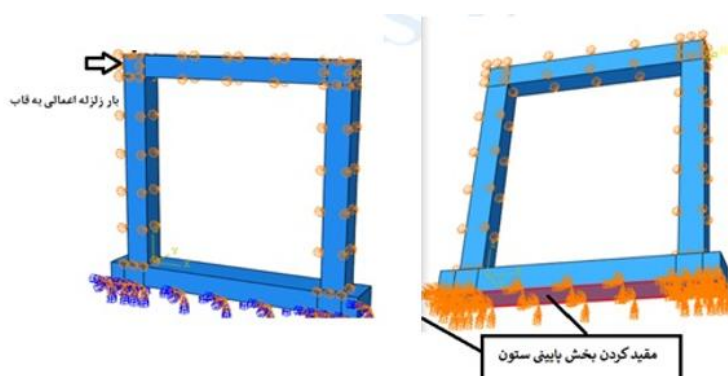
جدول ۷: مشخصات قاب‌های بتنی تحلیل شده در این پژوهش.

نام مدل	نوع قاب	مشخصات تقویت در محل درز سرد (میلی‌متر)	توضیحات
مدل شماره ۱	بدون درز سرد	-	-
مدل شماره ۲	با درز سرد	-	-
مدل شماره ۳	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر	طول ۱۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۴	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر	طول ۱۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۵	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر	طول ۱۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۶	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر	طول ۲۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۷	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر	طول ۲۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۸	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر	طول ۲۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۹	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ میلی‌متر	طول ۳۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۱۰	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر	طول ۳۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۱۱	با درز سرد و کلید برشی	کلید برشی با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر	طول ۳۰ سانتی‌متر
مدل شماره ۱۲	با درز سرد و میلگرد اضافی	قطر ۶ میلی‌متر	طول ۶۵۰ میلی‌متر
مدل شماره ۱۳	با درز سرد و میلگرد اضافی	قطر ۸ میلی‌متر	طول ۶۵۰ میلی‌متر
مدل شماره ۱۴	با درز سرد و میلگرد اضافی	قطر ۱۰ میلی‌متر	طول ۶۵۰ میلی‌متر

مدل شماره ۱۵	با درز سرد و قوطی	قوطی با مقطع ۱۰۰×۱۰۰	طول ۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر
مدل شماره ۱۶	با درز سرد و قوطی	قوطی با مقطع ۱۴۰×۱۴۰	طول ۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر
مدل شماره ۱۷	با درز سرد و قوطی	قوطی با مقطع ۲۰۰×۲۰۰	طول ۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر
مدل شماره ۱۸	با درز سرد و قوطی	قوطی با مقطع ۱۰۰×۱۰۰	طول ۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۵ میلی متر
مدل شماره ۱۹	با درز سرد و قوطی	قوطی با مقطع ۱۴۰×۱۴۰	طول ۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۵ میلی متر
مدل شماره ۲۰	با درز سرد و قوطی	قوطی با مقطع ۲۰۰×۲۰۰	طول ۵۰۰ میلی متر و ضخامت ۵ میلی متر

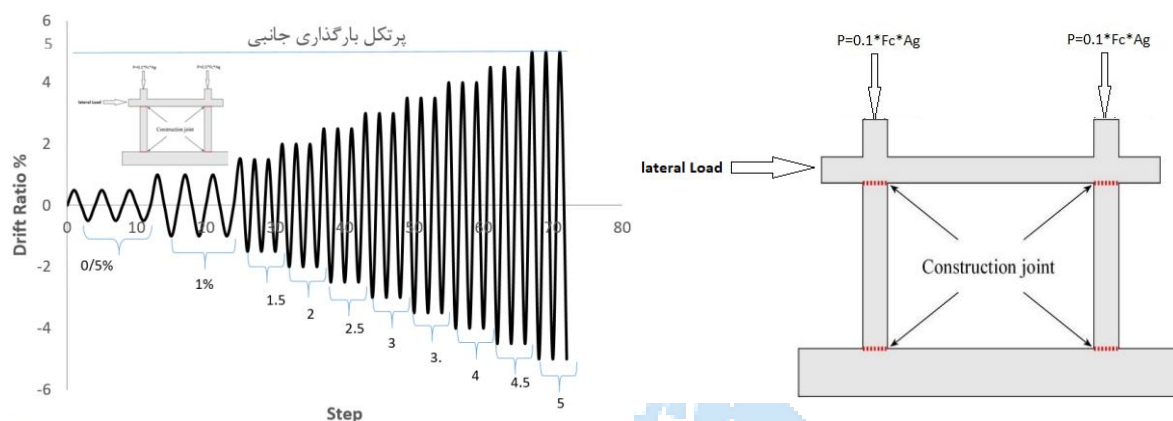
میلگردها، خاموت‌ها و سایر میلگردهای اضافی به همراه قوطی‌های فلزی درون هسته بتنی به گونه‌ای تعریف شده‌اند که هیچ‌گونه لغزش یا جابجایی بین آن‌ها و بتن رخ نمی‌دهد. این وضعیت به این معناست که این اجزا به طور کامل با بتن اطراف خود پیوسته و به آن چسبیده‌اند، که این امر برای اطمینان از انتقال مناسب نیروها و یکپارچگی سازه بسیار حائز اهمیت است. برای دستیابی به این پیوستگی کامل، در نقاطی که احتمال وقوع درز سرد وجود دارد، از المان‌های چسبیده استفاده شده است. این روش‌ها و تکنیک‌ها به طور کلی به منظور افزایش ایمنی و عملکرد سازه‌ها تحت بارهای مختلف استفاده می‌شوند، و تضمین می‌کنند که نیروها به‌طور مناسب و بدون ایجاد نقاط ضعف در سراسر سازه منتقل شوند.

برای شبیه‌سازی دقیق‌تر و نزدیک‌تر به واقعیت رفتار سازه، در مدل‌سازی عددی قاب، قیود حرکتی به‌طور دقیق تنظیم شده‌اند تا قاب تنها در یک راستا اجازه حرکت داشته باشد و در سایر جهات به‌طور کامل مهار شود. این روش به شبیه‌سازی رفتار واقعی سازه تحت شرایط بارگذاری خاص کمک می‌کند. در نرم‌افزار آباکوس، این قیود حرکتی با استفاده از ویژگی‌های نرم‌افزار، مانند اعمال قیود کنترلی و تعریف شرایط مرزی دقیق، پیاده‌سازی می‌شوند. به طور خاص، این تنظیمات می‌توانند شامل محدودیت‌هایی برای جابجایی‌های افقی، عمودی، چرخش‌ها یا ترکیبی از این‌ها باشند که با استفاده از امکانات نرم‌افزار آباکوس به‌دقت تعریف و اعمال می‌شوند. این رویکرد به‌ویژه برای تحلیل رفتار سازه تحت بارهای جانبی مانند زلزله یا بارهای عمودی (مانند وزن سازه و تجهیزات) اهمیت دارد. در این پژوهش، قاب تحت اثر همزمان بار محوری بر روی ستون‌ها و بار جانبی قرار دارد. قیود حرکتی محدودیت‌هایی هستند که به مدل‌سازی دقیق‌تر نیروها و تغییر شکل‌ها کمک می‌کنند. در واقع، این قیود شرایط واقعی را شبیه‌سازی می‌کنند، جایی که سازه‌ها ممکن است به دلیل عوامل مختلف، مانند طراحی یا شرایط محیطی، محدودیت‌های خاصی در جابجایی داشته باشند. شکل شماره ۱۵ این قیود به کار رفته در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



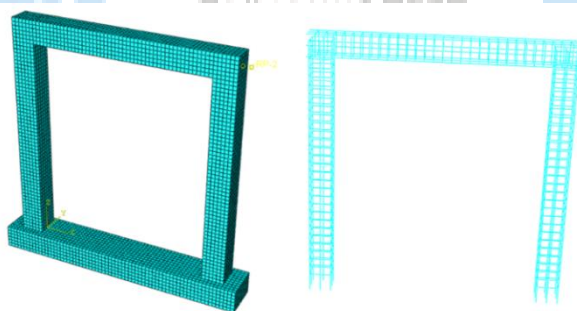
شکل ۱۵: مقید نمودن بخش پایینی ستون (شکل سمت راست) و اعمال بار لرزه‌ای به بالا - سمت چپ قاب (شکل سمت چپ).

بارگذاری این قاب شامل دو نوع بار اصلی است: بار محوری و بار جانبی. بار محوری به صورت بارهای فشاری به ستون‌ها اعمال می‌شود، در حالی که بار جانبی به صورت جابجایی به سازه وارد می‌شود و به تحلیل رفتار سازه تحت اثرات مختلف می‌پردازد. در شکل ۱۶، موقعیت دقیق اعمال این بارها و نحوه توزیع آن‌ها در سازه به تصویر کشیده شده است. این بارگذاری‌ها به منظور ارزیابی پاسخ قاب در برابر بارهای واقعی و شرایط عملیاتی طراحی شده‌اند و تحلیل نتایج این بارگذاری‌ها به درک بهتر رفتار سازه و طراحی مؤثر کمک می‌کند.



شکل ۱۶: بارگذاری محوری و جانبی قاب‌ها.

در نهایت، سازه با استفاده از اندازه‌های استاندارد به دست آمده در مرحله صحت‌سنجی، مش‌بندی شده است. در واقع، مش‌بندی سازه به منظور تحلیل دقیق‌تر و بررسی بهتر رفتار آن تحت شرایط مختلف صورت گرفته است. به عنوان نمونه‌ای از این فرایند، شکل ۱۷ مش‌بندی یکی از نمونه‌ها را نمایش می‌دهد. این مش‌بندی کمک می‌کند تا تحلیل‌های عددی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری با دقت بیشتری انجام شوند، و نتایج حاصله به بهبود طراحی و عملکرد نهایی سازه کمک کنند.



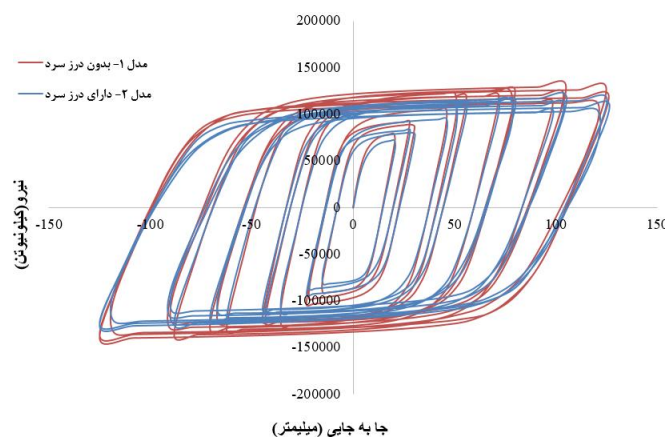
شکل ۱۷: مش‌بندی آرماتورها و قاب بتنی.

۵- ارائه نتایج

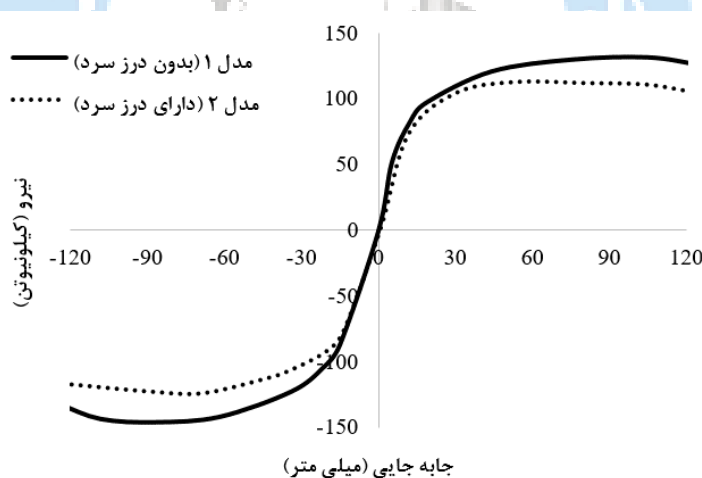
در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده به تفصیل ارائه شده‌اند. این نتایج شامل نمودارهای پوش هیستریزس، حداکثر ظرفیت باربری، و مقایسه فاکتور افت مقاومت در مدل‌های تحلیل شده می‌باشند. نمودارهای پوش هیستریزس به وضوح نشان‌دهنده رفتار دینامیکی و ظرفیت جذب انرژی سازه تحت بارگذاری‌های مختلف هستند. همچنین، بررسی حداکثر ظرفیت باربری اطلاعات مهمی درباره استحکام نهایی سازه فراهم می‌کند. مقایسه فاکتور افت مقاومت نیز به تحلیل دقیق‌تر و شناخت بهتر ضعف‌ها و نقاط قوت مدل‌های مختلف کمک می‌کند، که این اطلاعات برای بهینه‌سازی طراحی و افزایش ایمنی سازه بسیار ارزشمند است.

۵-۱ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب های با درز سرد و بدون درز سرد (مدل ۱ و ۲)

در این بخش، نمودارهای هیستریزیس و پوش هیستریزیس و مقایسه آن‌ها برای مدل های قاب با درز سرد و قاب بدون درز سرد ارائه شده است. این نمودارها به بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌ها در دو حالت با درز سرد و بدون درز سرد می‌پردازند. طبق نتایج مشاهده شده در شکل ۱۸ و ۱۹ وجود درز سرد در قاب بتن مسلح مدل ۲ منجر به کاهش ۱۵ درصدی در ظرفیت باربری نهایی نمودار پوش هیستریزیس شده است. این کاهش بیانگر افت قابل توجهی در مقاومت سازه‌ای است که ناشی از تشکیل درز سرد بوده و تأثیر منفی بر یکپارچگی و عملکرد لرزه‌ای سازه دارد. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت کنترل کیفیت اجرای بتن و جلوگیری از ایجاد درز سرد برای حفظ ظرفیت باربری و اطمینان از ایمنی سازه می‌باشد.

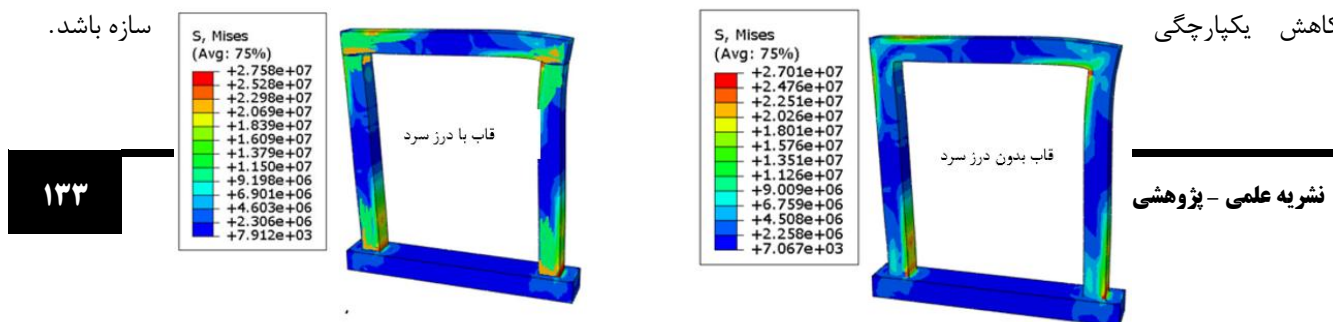


شکل ۱۸: مقایسه نمودار هیستریزیس برای مدل ۱ (بدون درز سرد) و مدل ۲ (دارای درز سرد).



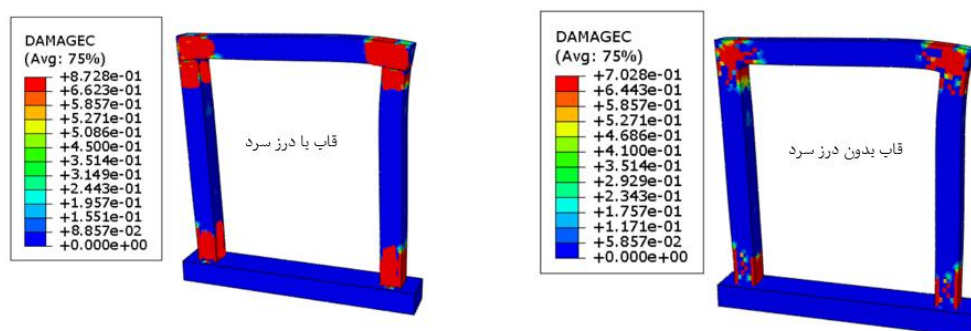
شکل ۱۹: مقایسه پوش هیستریزیس برای مدل ۱ (بدون درز سرد) و مدل ۲ (دارای درز سرد).

در شکل شماره ۲۰، کانتورهای مربوط به توزیع تنش در دو حالت قاب بتن مسلح، یعنی قاب بدون درز سرد و قاب با درز سرد، ارائه شده‌اند. این کانتورهای تنش، توزیع و شدت تنش‌ها را در سازه نشان می‌دهند. بر اساس این شکل، مشاهده می‌شود که حداکثر تنش در قاب دارای درز سرد حدود ۲ درصد بیشتر از قاب بدون درز سرد است. این افزایش در حداکثر تنش ناشی از وجود درز سرد می‌تواند به دلیل تمرکز تنش‌ها کاهش یکپارچگی

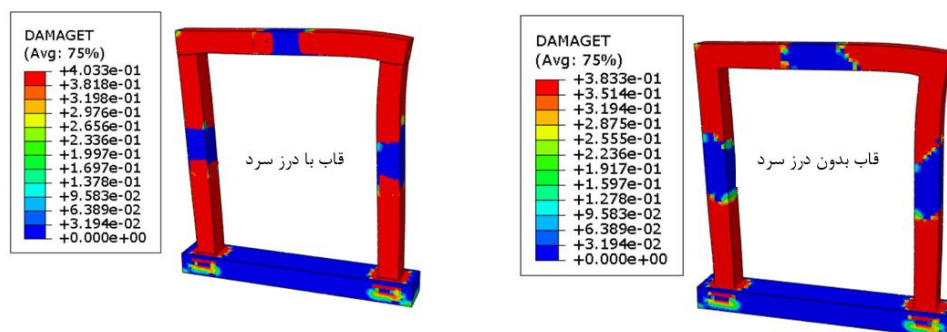


شکل ۲۰: کانتورهای توزیع تنش در قاب بدون درز سرد و قاب با درز سرد

شکل‌های ۲۱ و ۲۲ به ترتیب کانتورهای مربوط به توزیع خسارت‌های فشاری و کششی در دو نوع قاب بتن مسلح، یعنی قاب بدون درز سرد و قاب با درز سرد، را نشان می‌دهند. این کانتورها نشان‌دهنده شدت و محل وقوع آسیب‌ها در سازه تحت بارگذاری‌های مختلف هستند. در این شکل‌ها، می‌توان مشاهده کرد که میزان آسیب‌های فشاری و کششی در قاب دارای درز سرد بیشتر از قاب بدون درز سرد است. این افزایش آسیب‌ها در قاب با درز سرد ممکن است به دلیل نقص در پیوستگی بتن در ناحیه درز باشد که می‌تواند منجر به کاهش یکپارچگی و کاهش توانایی سازه در تحمل و انتقال نیروها شود.



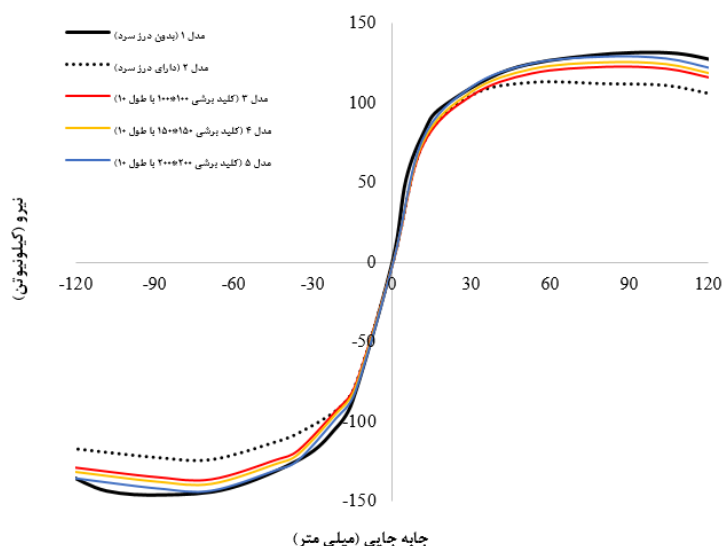
شکل ۲۱: کانتورهای آسیب فشاری در قاب بدون درز سرد و قاب با درز سرد



شکل ۲۲: کانتورهای آسیب کششی در قاب بدون درز سرد و قاب با درز سرد

۲-۵ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب‌های با درز سرد به همراه کلید برشی با طول ۱۰ سانتی‌متر (مدل‌های ۳ تا ۵)

همانطور که در شکل ۲۳، مشاهده می‌گردد با به کار بردن کلید برشی با ابعاد 10×10 سانتی‌متر در مدل شماره ۳، مقدار ظرفیت باربری نسبت به حالت دارای درز سرد افزایش داشته است. با افزایش ابعاد کلید برشی به 15×15 و 20×20 سانتی‌متر و افزایش سطح درگیری در مقطع دارای درز سرد با استفاده از کلید برشی، ظرفیت باربری باز هم افزایش از خود نشان داده است ولی هنوز به ظرفیت باربری نمونه بدون درز سرد نرسیده است. در مدل شماره ۵، با مقطع کلید برشی 20×20 سانتی‌متر، ظرفیت باربری قاب به میزان ۸۰ درصد به ظرفیت باربری قاب بدون درز سرد نزدیک شده است.

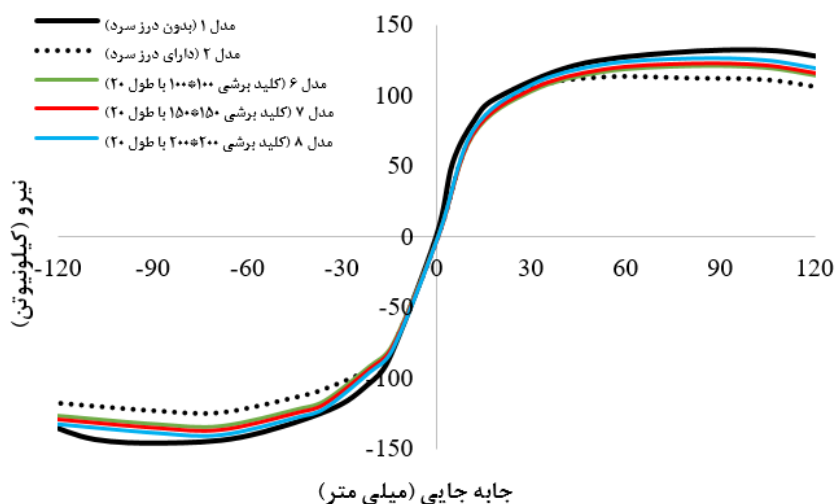


شکل ۲۳: مقایسه پوش

هیستریزیس در

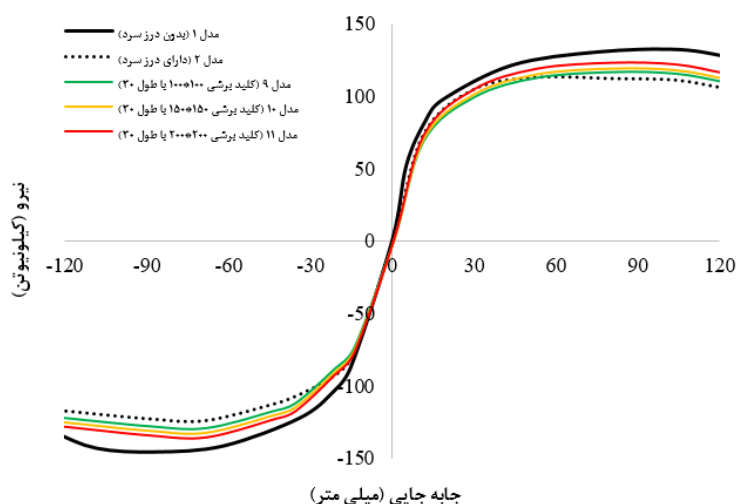
مدل‌های ۱ (بدون درز سرد)، مدل ۲ (دارای درز سرد) و مدل‌های ۳ تا ۵ با کلیدهای برشی با طول ۱۰ سانتی‌متر.

۳-۵ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب‌های با درز سرد به همراه کلید برشی با طول ۲۰ سانتی‌متر (مدل‌های ۶ تا ۸)



شکل ۲۴: مقایسه پوش هیستریزیس در مدل‌های ۱ (بدون درز سرد)، مدل ۲ (دارای درز سرد) و مدل‌های ۶ تا ۸ با کلیدهای برشی با طول ۲۰ سانتی‌متر.

۴-۵ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب‌های با درز سرد به همراه کلید برشی با طول ۳۰ سانتی‌متر (مدل‌های ۹ تا ۱۱)



شکل ۲۵: مقایسه پوش

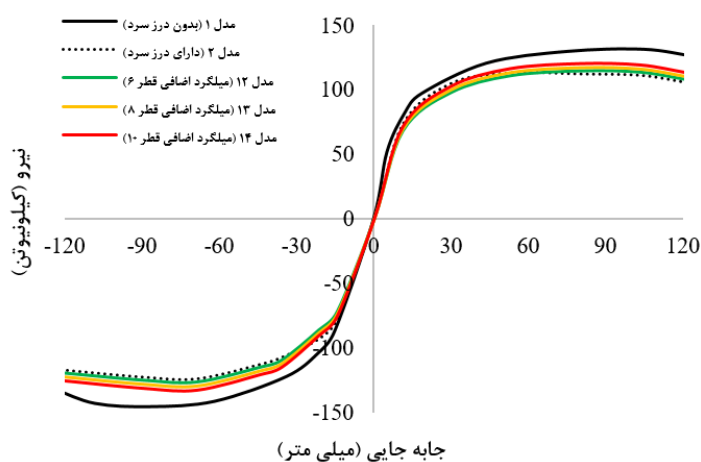
هیستریزیس در مدل -

های ۱ (بدون درز سرد)، مدل ۲ (دارای درز سرد) و مدل‌های ۹ تا ۱۱ با کلیدهای برشی با طول ۳۰ سانتی‌متر.

همان‌طور که در شکل‌های ۲۴ و ۲۵ نشان داده شده است، روند افزایش ظرفیت باربری در این دو دسته مشابه با دسته قبلی است که در شکل ۲۳ مشاهده شد. تفاوت عمده در این است که در مدل‌های دسته‌های ۶ تا ۸ و ۹ تا ۱۱، با افزایش طول کلید برشی از ۱۰ به ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر، ظرفیت باربری نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های با طول ۱۰ سانتی‌متر، به میزان ۲ تا ۵ درصد کاهش یافته است. این کاهش ممکن است به دلایلی نظیر ایجاد سوراخ‌های بلندتر برای جای‌گذاری کلید برشی، ایجاد تمرکز تنش، تغییر در توزیع تنش و نیرو در محل درز سرد، و کاهش تماس مستقیم بین سطوح بتنی در محل اتصال کلید برشی باشد که می‌تواند موجب تضعیف سازه شود. همچنین، افزایش طول کلید برشی ممکن است منجر به تغییر مکانیزم از برش به خمش گردد که این تغییر معمولاً باعث کاهش کارایی سازه می‌شود. بنابراین، افزایش طول کلید برشی به تنهایی نمی‌تواند بهبود عملکرد را تضمین کند و حتی ممکن است تأثیرات منفی داشته باشد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که با افزایش سطح مقطع کلید برشی در محل درز سرد، ظرفیت باربری سازه افزایش می‌یابد، که این امر به دلیل بهبود اتصال و انتقال نیروها از طریق کلید برشی است. با این حال، افزایش طول کلید برشی به ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر منجر به کاهش ظرفیت باربری می‌شود. به طور کلی، استفاده از کلید برشی می‌تواند به طور مؤثری ظرفیت باربری قاب‌های بتن مسلح دارای درز سرد را بهبود بخشد، اما لازم است که ابعاد کلید برشی با دقت انتخاب شود تا از تمرکز تنش و کاهش ظرفیت جلوگیری شود و عملکرد بهینه سازه تضمین گردد.

۵-۵ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب‌های با درز سرد به همراه میلگردهای اضافی (مدل‌های ۱۲ تا ۱۴)

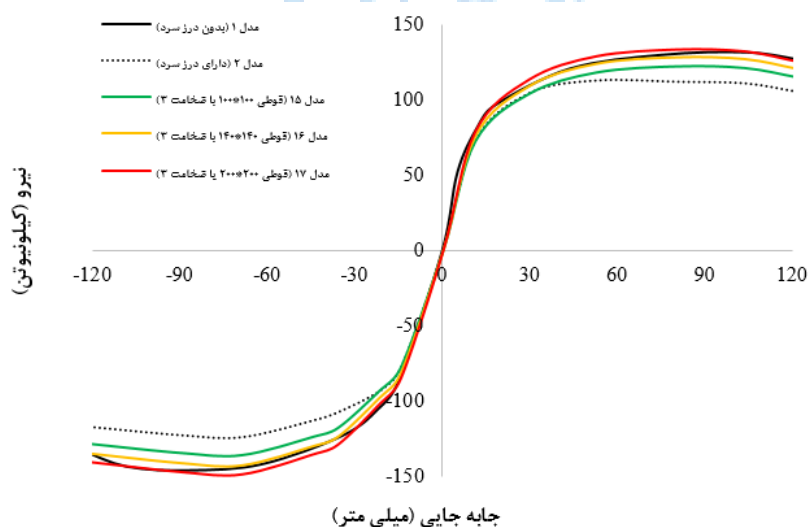
بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۲۶، افزودن میلگردهای اضافی به قاب‌های بتنی با درز سرد (مدل ۲) موجب افزایش کمی در ظرفیت باربری شده است. این افزایش، اگرچه قابل توجه است، اما همچنان نسبت به ظرفیت باربری نمونه‌های بدون درز سرد (مدل ۱) قابل‌ملاحظه نیست. با تغییر قطر میلگردها از ۶ به ۸ و ۱۰ میلی‌متر در مدل‌های ۱۲ تا ۱۴، مشاهده می‌شود که ظرفیت باربری به طور متوسط تنها حدود ۱ تا ۳ درصد افزایش یافته است. این تغییرات اندک نشان‌دهنده آن است که افزایش قطر میلگردها به تنهایی تأثیر زیادی بر بهبود ظرفیت باربری ندارد و این افزایش از نظر عملی کمتر محسوس است. در این دسته، بیشترین ظرفیت باربری مربوط به نمونه شماره ۱۴ است، که همچنان حدود ۵ درصد کمتر از ظرفیت باربری نمونه‌های دارای کلید برشی است. این مقایسه نشان می‌دهد که استفاده از کلید برشی در بهبود و افزایش ظرفیت باربری و رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای درز سرد، مؤثرتر از افزودن میلگردهای اضافی است.



شکل ۲۶: مقایسه پوش هیستریزیس در مدل‌های ۱ (بدون درز سرد)، مدل ۲ (دارای درز سرد) و مدل‌های ۱۲ تا ۱۴ با میلگردهای اضافی

۵-۶ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب‌های با درز سرد به همراه قوطی (مدل‌های ۱۵ تا ۱۷)

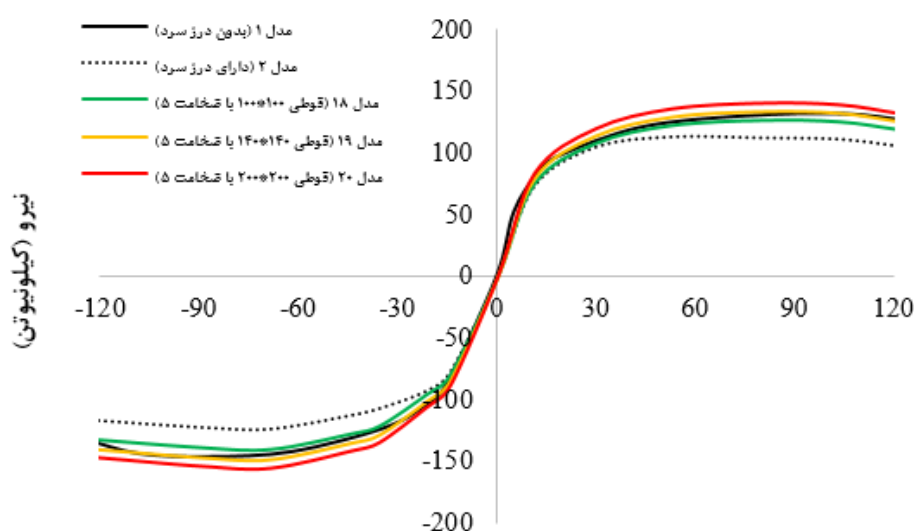
طبق نتایج ارائه شده در شکل ۲۷، به کارگیری قوطی در درز سرد در مدل شماره ۲ منجر به افزایش قابل توجه ظرفیت باربری در نمونه‌ها شده است. این بهبود ظرفیت باربری به‌ویژه در مدل‌های ۱۵ و ۱۶ مشاهده شده است که نشان‌دهنده اثر مثبت قوطی در تقویت سازه است. با این حال، مدل شماره ۱۷، که دارای قوطی با طول ۵۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر است، به‌طور برجسته‌ای بیشتر از ظرفیت باربری نمونه‌های بدون درز سرد، به میزان حدود ۵ درصد، افزایش یافته است. این افزایش قابل توجه به دلیل بهبود قابل ملاحظه در انتقال و توزیع بارها به علت استفاده از قوطی با ابعاد خاص آن است. این نتایج نشان می‌دهند که افزایش ابعاد قوطی از جمله طول و ضخامت می‌تواند تأثیر زیادی بر افزایش ظرفیت باربری داشته باشد. در این زمینه، قوطی به‌عنوان یک تقویت‌کننده مؤثر در درز سرد عمل کرده و می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد ساختاری و افزایش استحکام سازه‌های بتنی با درز سرد ایفا کند.



شکل ۲۷: مقایسه پوش هیستریزیس در مدل‌های ۱ (بدون درز سرد)، مدل ۲ (دارای درز سرد) و مدل‌های ۱۵ تا ۱۷ با قوطی با طول ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر و ابعاد مختلف.

۷-۵ ارائه نتایج مربوط به نمونه قاب‌های با درز سرد به همراه قوطی (مدل‌های ۱۸ تا ۲۰)

این روند به‌طور قابل‌توجهی در شکل ۲۸ با افزایش ضخامت قوطی از ۳ به ۵ میلی‌متر تشدید شده است. در این حالت، ظرفیت باربری مدل شماره ۱۸ به میزان زیادی به ظرفیت باربری نمونه‌های بدون درز سرد نزدیک شده و حتی دو نمونه دیگر از این ظرفیت (تا حدود ۵ و ۱۰ درصد) فراتر رفته‌اند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از قوطی به‌عنوان تقویت‌کننده در درز سرد نه تنها ظرفیت باربری را به‌طور مؤثری افزایش می‌دهد، بلکه با افزایش مقطع و ضخامت قوطی، این افزایش ظرفیت باربری به‌طور چشمگیری بیشتر می‌شود. در نتیجه، به‌کارگیری قوطی به‌ویژه با ضخامت و مقطع بیشتر، بهترین عملکرد را در بهبود ظرفیت باربری سازه‌های دارای درز سرد نشان می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر در تقویت و افزایش عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بتنی با درز سرد مورد استفاده قرار گیرد.

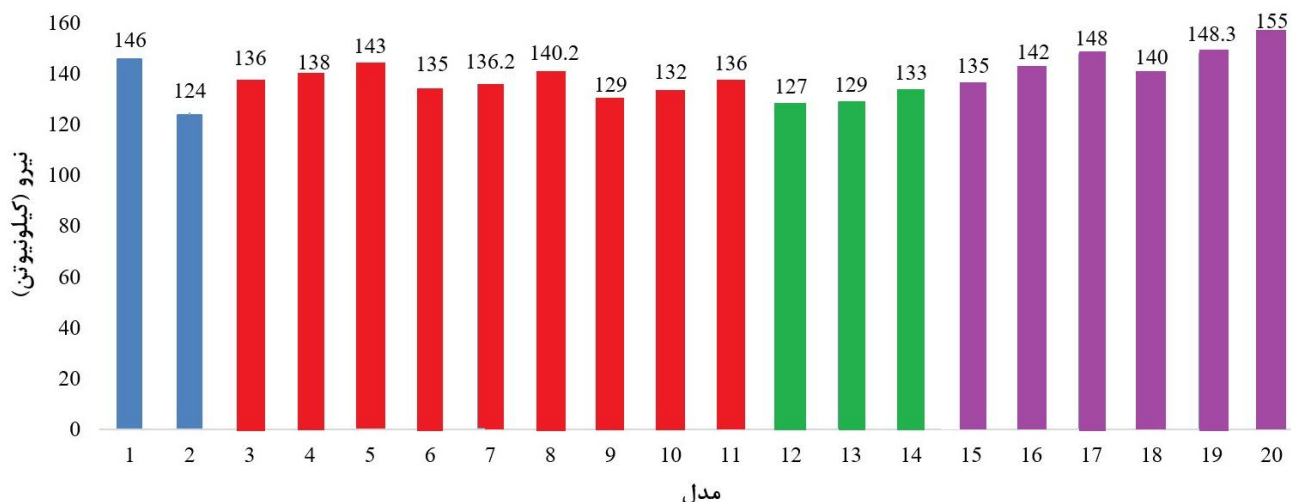


جابه‌جایی (میلی‌متر)

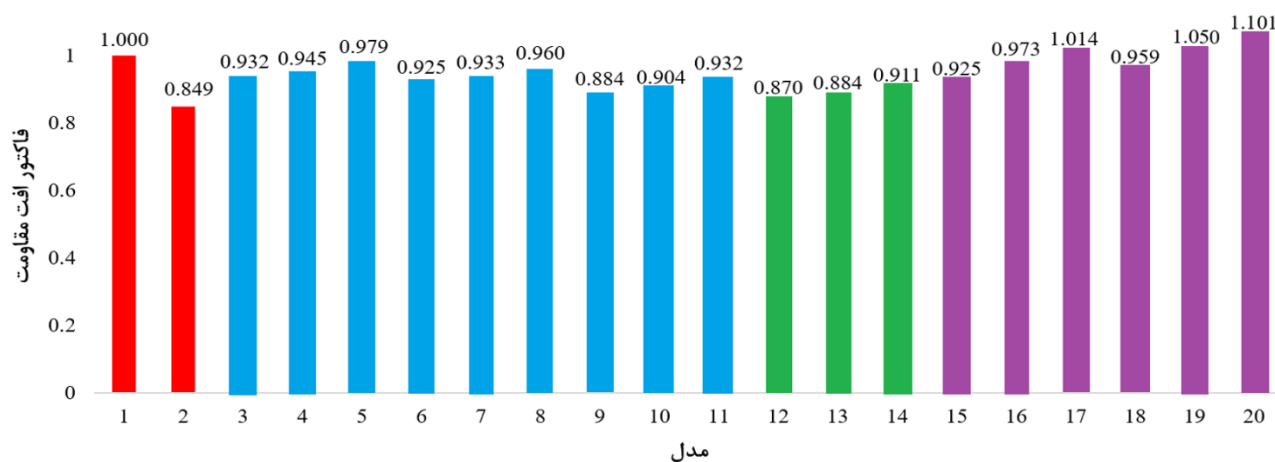
شکل ۲۸: مقایسه پوش هیستریزیس در مدل‌های ۱ (بدون درز سرد)، مدل ۲ (دارای درز سرد) و مدل‌های ۱۸ تا ۲۰ با قوطی با طول ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت ۵ میلی‌متر و ابعاد مختلف.

۶- مقایسه ظرفیت باربری و فاکتور افت مقاومت

مقاومت به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی عملکرد سازه‌ای در نظر گرفته شده است. برای محاسبه فاکتور افت مقاومت، بیشترین ظرفیت باربری هر نمونه با بیشترین ظرفیت باربری نمونه مرجع، یعنی نمونه بدون درز سرد (مدل شماره ۱)، مقایسه می‌شود. این فاکتور از طریق تقسیم بیشترین ظرفیت باربری نمونه مورد نظر به بیشترین ظرفیت باربری نمونه بدون درز سرد محاسبه می‌گردد. شکل شماره ۲۹ مقایسه بیشترین ظرفیت باربری در نمونه‌های مختلف و تحلیل فاکتور افت مقاومت است. فاکتور افت این روش به‌طور دقیق نشان می‌دهد که وجود درز سرد یا دیگر تغییرات در ساختار چگونه می‌تواند بر ظرفیت باربری سازه تأثیر بگذارد. فاکتور افت مقاومت به دست آمده، بیانگر نسبت ظرفیت باربری نمونه تغییر یافته به نمونه مرجع است.



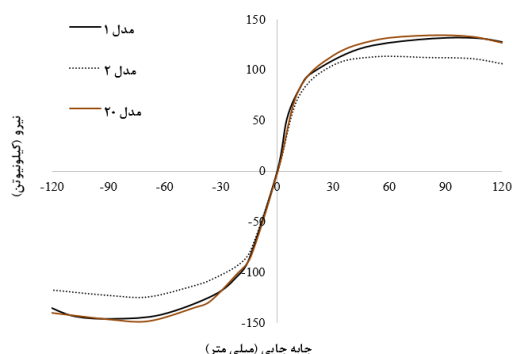
شکل ۲۹: مقایسه بیشترین ظرفیت باربری در نمونه‌های تحلیل شده در این پژوهش.



شکل ۳۰: مقایسه فاکتور افت مقاومت در نمونه‌های تحلیل شده در این پژوهش.

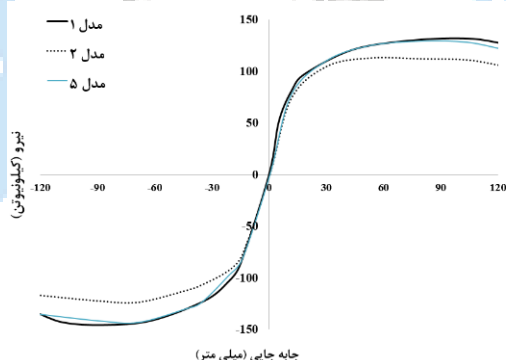
همان‌طور که در شکل‌های ۲۹ و ۳۰ مشاهده می‌شود، مقایسه بین بیشترین ظرفیت باربری و فاکتور افت مقاومت برای مدل‌های مختلف شامل مدل‌های دارای قوطی، کلید برشی و میلگرد اضافی، نشان‌دهنده تأثیرات متفاوت هر یک از این روش‌ها بر عملکرد سازه است.

مدل‌های دارای قوطی: این مدل‌ها به‌طور قابل توجهی بیشترین ظرفیت باربری را نسبت به مدل‌های دارای درز سرد نشان داده‌اند و حتی در برخی موارد، ظرفیت باربری این مدل‌ها از ظرفیت باربری نمونه‌های بدون درز سرد نیز فراتر رفته است. به علاوه، فاکتور افت مقاومت در این نمونه‌ها تنها به میزان کمی کاهش یافته است. این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر مثبت قابل توجه قوطی‌ها در بهبود عملکرد سازه در محل درز سرد است، به‌ویژه در زمینه افزایش ظرفیت باربری و کاهش میزان افت مقاومت. در میان مدل‌های استفاده شده از پروفیل‌های قوطی، مدل شماره ۲۰ با ابعاد ۲۰۰*۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۵ میلی‌متر، بهترین بازدهی و عملکرد را نشان داده است. در شکل ۳۳، نمودار مقایسه‌ای این مدل با مدل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود این مدل افت مقاومت نداشته بلکه افزایش مقاومت نیز داشته است.



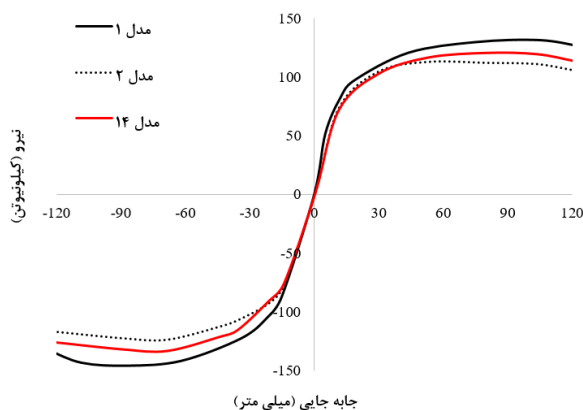
شکل ۳۱: مقایسه پوش نمودار هیستریزیس مدل ۲۰ با مدل قاب بدون درز سرد (مدل ۱) و قاب با درز سرد (مدل ۲).

مدل‌های دارای کلید برشی: در این دسته، با افزایش مساحت کلید برشی در محل درز سرد، ظرفیت باربری نسبت به مدل‌های دارای درز سرد به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و فاکتور افت مقاومت بهبود یافته است. این بهبود به دلیل افزایش سطح تماس و تقویت ناحیه درز سرد است که موجب توزیع بهتر بارها و کاهش تمرکز تنش می‌شود. با این حال، افزایش طول کلید برشی منجر به کاهش ظرفیت باربری و افت عملکرد می‌شود، که به دلیل ایجاد تمرکز تنش، تغییر در توزیع تنش، تغییر در توزیع نیرو در محل درز سرد و همچنین کاهش میزان تماس مستقیم بین سطوح بتنی در محل اتصال کلید برشی است. در میان مدل‌های استفاده شده از کلید برشی، مدل شماره ۵ با ابعاد 200×200 میلیمتر و ضخامت ۱۰۰ میلیمتر بهترین عملکرد را داشته است. در شکل شماره ۳۲، نمودار پوش مقایسه‌ای این مدل با مدل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. این مدل رفتاری شبیه به یک قاب بدون درز سرد از خود نشان داده است.



شکل ۳۲: مقایسه پوش نمودار هیستریزیس مدل ۵ با مدل قاب بدون درز سرد (مدل ۱) و قاب با درز سرد (مدل ۲).

مدل‌های دارای میلگرد اضافی: با افزایش قطر میلگردهای اضافی، ظرفیت باربری به‌طور اندکی افزایش یافته و فاکتور افت مقاومت نیز به‌طور جزئی بهبود یافته است. این بهبودهای اندک نشان‌دهنده این است که میلگردهای اضافی به تنهایی تأثیر محدودی بر بهبود عملکرد سازه در محل درز سرد دارند و نمی‌توانند به اندازه قوطی‌ها یا کلید برشی بر ظرفیت باربری تأثیر بگذارند. در مجموع، استفاده از قوطی به‌طور مؤثرترین روش برای افزایش ظرفیت باربری و کاهش افت مقاومت در سازه‌های دارای درز سرد شناخته شده است، در حالی که کلید برشی و میلگرد اضافی نیز به نوبه خود مزایایی دارند اما به اندازه قوطی‌ها مؤثر نبوده و ممکن است نیاز به طراحی دقیق‌تری داشته باشند. در میان نمونه‌های میلگرد مورد استفاده، نمونه شماره ۱۴ (میلگرد با قطر ۱۰ میلی‌متر) بهترین عملکرد را نشان داده است. در شکل ۳۳، نمودار مقایسه پوش هیستریزیس این نمونه با نمونه‌های ۱ و ۲ مقایسه شده است.



شکل ۲۳: مقایسه پوش نمودار هیستریزیس مدل ۱۴ با مدل قاب بدون درز سرد (مدل ۱) و قاب با درز سرد (مدل ۲).

۷- نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی تأثیر درز سرد و ارزیابی راهکارهای مختلف برای بهبود رفتار لرزه‌ای و کاهش اثرات منفی درز سرد در قاب‌های بتن مسلح پرداخته است. برای این هدف، از مقاله [۱۰] استفاده شده و یک اتصال تیر به ستون، در دو حالت مختلف، یعنی بدون درز سرد و با درز سرد در محل اتصال ستون تحتانی به تیر، مدل‌سازی و صحت‌سنجی در نرم‌افزار آباکوس انجام شده است. در ادامه، ۲۰ مدل از یک قاب بتنی با یک دهانه و یک طبقه در شرایط مختلف در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی شده‌اند. در میان این ۲۰ مدل، مدل شماره ۱ به‌عنوان مدل مبنا و بدون درز سرد در نظر گرفته شد. مدل شماره ۲ شامل درز سرد در محل اتصال تیر به ستون و ستون به فونداسیون است. همچنین، در ۱۸ مدل دیگر، سه نوع تقویت‌کننده برای بهبود عملکرد درز سرد، شامل کلید برشی، میلگرد اضافی و قوطی، با ابعاد و هندسه‌های مختلف در محل درز سرد اعمال شد. تمامی نمونه‌ها تحت بارگذاری سیکلی قرار گرفتند و نتایج به‌دست‌آمده شامل نمودار پوش هیستریزیس، بیشترین ظرفیت باربری و فاکتور افت مقاومت استخراج و مقایسه شدند. نتایج این پژوهش به‌طور کلی به شرح زیر است:

۱- ایجاد درز سرد در سازه در مدل شماره ۲ منجر به کاهش حداکثر ظرفیت باربری تا حدود ۱۵ درصد نسبت به مدل بدون درز سرد شده است. این کاهش قابل توجه تأثیر منفی وجود درز سرد بر عملکرد سازه را نشان می‌دهد.

۲- استفاده از کلید برشی در نمونه‌های مدل‌های دارای کلید برشی (۳ تا ۱۱) منجر به بهبود ظرفیت باربری نسبت به مدل دارای درز سرد شده است. این بهبود با افزایش سطح مقطع کلید برشی در محل درز سرد به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، اما با افزایش طول کلید برشی، ظرفیت باربری به‌طور نسبی کاهش می‌یابد. این کاهش ظرفیت باربری ممکن است به دلیل ایجاد سوراخ‌های بلندتر برای جای‌گذاری کلید برشی و نیز ایجاد تمرکز تنش، تغییر در توزیع تنش، تغییر در توزیع نیرو در محل درز سرد و همچنین کاهش میزان تماس مستقیم بین سطوح بتنی در محل اتصال کلید برشی باشد که موجب تضعیف سازه می‌شود همچنین کلیدهای برشی زمانی که طولشان زیاد می‌شود، ممکن است از مکانیزم برشی به مکانیزم خمشی منتقل شوند، که این تغییر معمولاً به کاهش کارایی سازه منجر می‌شود. بنابراین، افزایش ارتفاع کلید برشی نیز به‌طور مستقیم نمی‌تواند باعث بهبود عملکرد آن شود و حتی ممکن است تأثیرات منفی داشته باشد.

۳- افزودن میلگردهای اضافی به قاب بتن مسلح در محل درز سرد منجر به افزایش محدودی در ظرفیت باربری شده است، که این افزایش در مقایسه با بهبودهای چشمگیر حاصل از استفاده از کلید برشی بسیار ناچیز است. این یافته حاکی از آن است که میلگردهای اضافی

به‌تنهایی تأثیر کمی بر افزایش ظرفیت باربری دارند. به‌عبارت دیگر، اگرچه اضافه کردن میلگرد می‌تواند به تقویت ساختار کمک کند، اما این روش به‌تنهایی نمی‌تواند به اندازه‌ای مؤثر باشد که از کاهش ظرفیت باربری در محل درز سرد جلوگیری کند. این نتایج اهمیت استفاده از روش‌های مؤثرتر مانند کلیدهای برشی را در بهبود عملکرد سازه‌های بتنی تأکید می‌کند.

۴- استفاده از قوطی در محل درز سرد به‌طور چشمگیری ظرفیت باربری سازه را افزایش داده است. در برخی از نمونه‌ها، این افزایش چنان قابل توجه بوده که حتی ظرفیت باربری از نمونه‌های بدون درز سرد نیز فراتر رفته است. این نتیجه به وضوح نشان می‌دهد که قوطی‌ها نقش مهمی در بهبود عملکرد سازه ایفا می‌کنند. علاوه بر این، با افزایش ابعاد مقطع و ضخامت قوطی، شاهد افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در ظرفیت باربری هستیم، که این امر نشان‌دهنده تأثیر قوی و مثبت قوطی‌ها در بهبود و تقویت استحکام اتصال سازه‌های بتنی است. این یافته‌ها بر اهمیت طراحی و استفاده از قوطی‌های مناسب برای افزایش کارایی و ایمنی در اتصالات سازه‌های بتنی تأکید می‌کنند.

۵- به‌طور کلی، از میان روش‌های تقویتی پیشنهاد شده، استفاده از قوطی‌ها، کلید برشی، و میلگردهای اضافی به ترتیب بیشترین تا کمترین افزایش در ظرفیت باربری را نسبت به حالت دارای درز سرد نشان داده‌اند. این رتبه‌بندی بر اهمیت و کارایی قوطی‌ها به عنوان مؤثرترین روش برای بهبود عملکرد سازه‌های دارای درز سرد تأکید می‌کند. در این میان، کلیدهای برشی در رتبه دوم قرار دارند و میلگردهای اضافی، که تأثیر کمتری دارند، در رتبه سوم جای گرفته‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که برای بهبود قابل‌ملاحظه ظرفیت باربری سازه‌های بتنی، انتخاب روش مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است و استفاده از قوطی‌ها می‌تواند به‌عنوان بهترین راهکار مطرح باشد.

مراجع

- [1] Golewski, G.L. (2019). *Measurement of fracture mechanics parameters of concrete containing y ash thanks to use of Digital Image. Measurement*, 135, pp. 96-105.
- [2] Kishen, J.C. Rao, P.S. (2007). *Fracture of cold jointed concrete interfaces, Engineering Fracture Mechanics*. 74(1), pp. 122-131.
- [3] Lim, Y.M. Kim, M.K. Shin, S.K. (2001). *Numerical simulation for quasi-brittle interface fracture in cementitious bi-material system*. In Proceedings of the 4th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete Structures, 1, pp.73-80.
- [4] Shah, S.G. and Kishen, J.C. (2010). *Fracture behavior of concrete-concrete interface using acoustic emission tech nique, Engineering Fracture Mechanics*, 77(6), pp. 908924 (2010).
- [5] H. P. Stang, S. N. Spiesz, J. Bijen.(2015). *"Evaluating the Durability of Concrete with Cold Joints under Various Environmental Conditions"*. Cement and Concrete Research.2016
- [6] V.R.rathi,P.Kolase.(2013) *"Effects of Cold Joints on the Structural Integrity of Reinforced Concrete Members"*. Cement and Concrete Composites.2013
- [7] J. L. Clarke, R. E. Hobbs.(2015). *" Effects of Cold Joints on the Structural Integrity of Reinforced Concrete Members"*.Cement and Concrete Composites.2015
- [8] E. N. Julio, F. A .Branco, and V. t. D. Silva, *"Concrete-to-concrete bond strength. Influence of the roughness of the substrate surface," Construction and Building materials*, vol. 18, no. 9, pp. 675-681, 2004
- [9] S. G. Shah and J. C. Kishen.(2010) *"Nonlinear fracture properties of concrete–concrete interfaces," Mechanics of Materials*, vol. 42, no. 10, pp. 916-931, 2010
- [10] Roy, B. Islam Laskar, A. (2017). *Cyclic behavior of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column*. *Engineering Structures*, 132, 822–833.
- [11] Dugdale, D.S. (1960). *Yielding of steel sheets containing slits, Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 8(2), pp. 100-104.

- [12] Barenblat, G.I. (1959). *The formation of equilibrium cracks during brittle fracture, general ideas and hypotheses, axially-symmetric cracks*. Applied Mathematics and Mechanics, 23(3), pp. 622-636.
- [13] Park, K. Choi, H. Paulino, G.H. (2016). *Assessment of cohesive traction-separation relationships in ABAQUS: A comparative study*. Mechanics Research Communications, 78, pp. 71-78 .
- [14] Selivanov, M.F. Chornoivan, Y.O. (2018). *A semianalytical solution method for problems of cohesive fracture and some of its applications*. International Journal of Fracture, 212(2), pp. 113-121.
- [15] Muralidhara, S. Raghu Prasad, B.K. Eskandari, H. (2010). *Fracture process zone size and true fracture energy of concrete using acoustic emission*. Construction and Building Materials, 24(4), pp. 479-486.
- [16] Park, K. Paulino, G.H. Roesler, J. (2010). *Cohesive fracture model for functionally graded fiber reinforced concrete*. Cement and Concrete Research, 40(6), pp. 956- 965.
- [17] Hoover, C.G. Bauant, Z.P. (2013). *Comprehensive concrete fracture tests: size effects of types 1 & 2, crack length effect and postpeak*. Engineering Fracture Mechanics, 110, pp. 281-289.
- [18] Hoover, C.G. and Ba uant, Z.P. (2014). *Universal size-shape effect law based on comprehensive concrete fracture tests*, Journal of Engineering Mechanics, 140(3), pp. 473-479.
- [19] Kumar, S. Pandey, S.R. Srivastava, A. (2014). *Determination of double-K fracture parameters of concrete using peak load method*. Engineering Fracture Mechanics, 131, pp. 471-484.
- [20] Koz lowski, M., Kadela, M. and Kukie lka, A. (2015). *Fracture energy of foamed concrete based on three-point bending test on notched beams*. Procedia Engineering, 108, pp. 349-354.
- [21] Gil, D. Golewski, G. (2018). *Effect of Silica Fume and Siliceous Fly Ash Addition on the Fracture Toughness of Plain Concrete in Mode I*. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing.
- [22] Karimi, A., & Kalat Jari, V. (2020). *Presenting a Proposed Numerical Model for Simulating the Opening Mode of Fracture Mechanics in Cold Joint Concrete Connections*. Sharif Civil Engineering Journal, Vol. 36-2, No. 1/2, pp. 61-70.
- [23] Koh, T. H. Kim, M. K. Yang, K.Y. Yoon, Y. S. Kwon, S. J. (2019). *Service life evaluation of RC T-girder under carbonation considering cold joint and loading effects*. Construction and Building Materials 226, 106–116.
- [24] Illangakoon., G. B. Asamoto, S. Nanayakkara, A. Trong, L. N. (2019). *Concrete cold joint formation in hot weather conditions*. Construction and Building Materials 209, 406–415.
- [25] Soltani, M., & Naserabadi, H. (2015). *Investigating the Effect of Cold Joints in Beam-to-Column Connections on the Behavior of Medium Concrete Moment Frames*. Third Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urban Development, Shahid Beheshti University (In Persian).
- [26] Najafi Manzari, A., Jandaghi Alaei, F., & Tavakoli, S. M. (2016). *Modeling of Shear Friction Transfer at the Interface of New and Old Concrete*. First National Conference on Applied Research in Construction Engineering and Construction Management, Sharif University of Technology (In Persian).
- [27] P. Kmiecik and M. Kamiński. *Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration*. Archives of civil and mechanical engineering, vol. 11, no. 3, pp. 623-636, 2011.
- [28] Youngbin Lim., “CoMat - Abaqus input file generator for concrete damaged plasticity model”, 2024.
- [29] Wahalathantri, Buddhi Lankananda, Thambiratnam, D.P., Chan, T.H.T., Fawzia, S., “A material model for flexural crack simulation in reinforced concrete elements using ABAQUS. In”, Infrastructure, Transport and Urban Development, 2011.
- [30] ABAQUS, \ABAQUS 6.14 user's manual", Dassault Systemes Simulia Corp, Providence, RI, USA (2014).
- [31] K. Maekawa, A. Pimanmas, H. Okamura, 2003, Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures. Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete. 2003