

هیات ویژه گزارش ملی بررسی حادثه ساختمان پلاسکو

سناریوی خرابی و تحلیل اثرات حرارت بر سازه ساختمان

علی اکبر آقاچوک، صادق گریوانی، علی شهماری، مهدی حشمتی

با تشکر از

ابوالحسن آستانه اصل، سید رسول میرقادری، شاپور طاحونی

محمد عالم باقری

خرداد ماه ۱۳۹۶

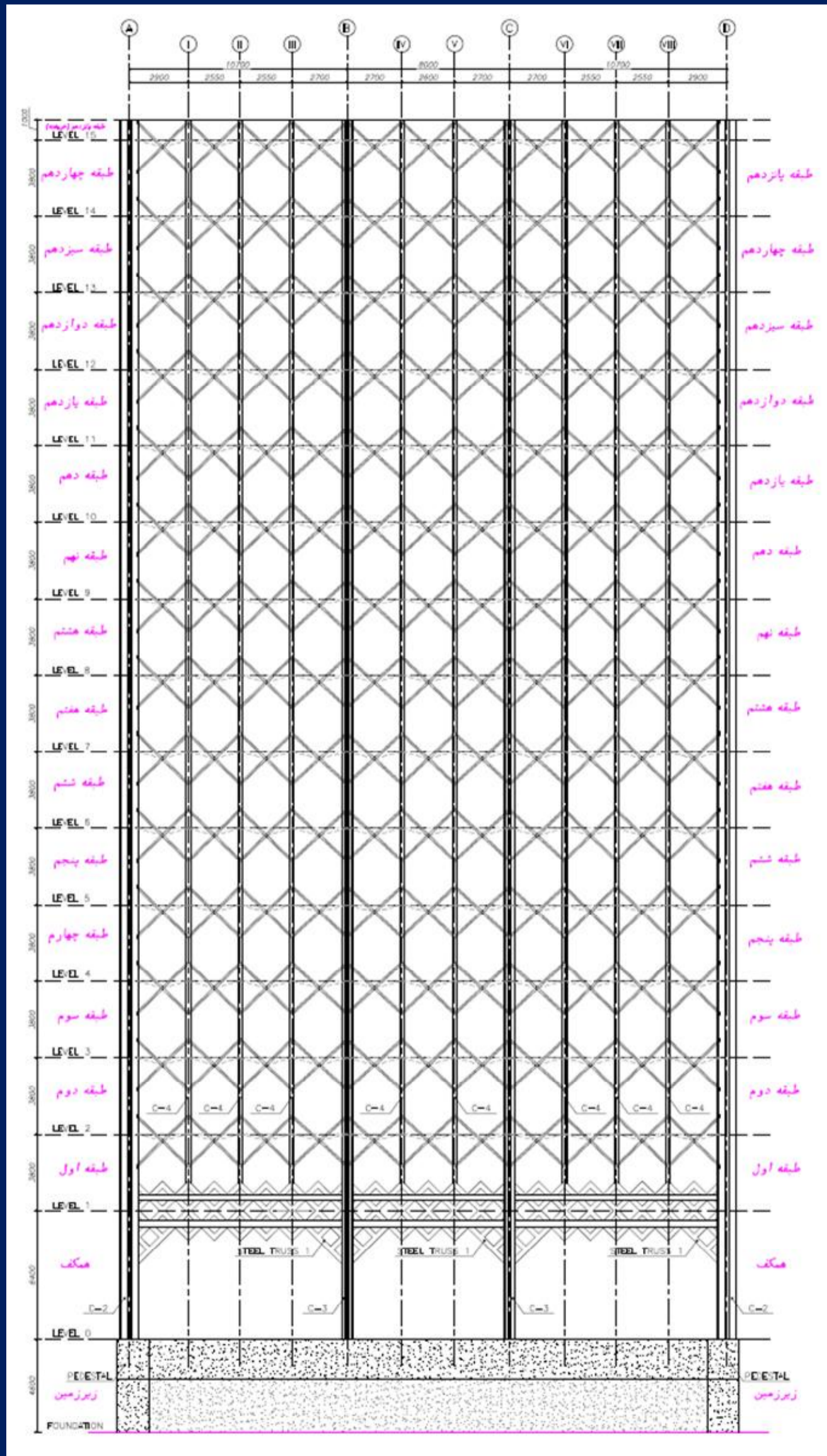
سیستم سازه ساختمانی

سیستم سازه‌ای کل ساختمان شبیه به یک سیستم سازه‌ای لوله‌ای بوده است.

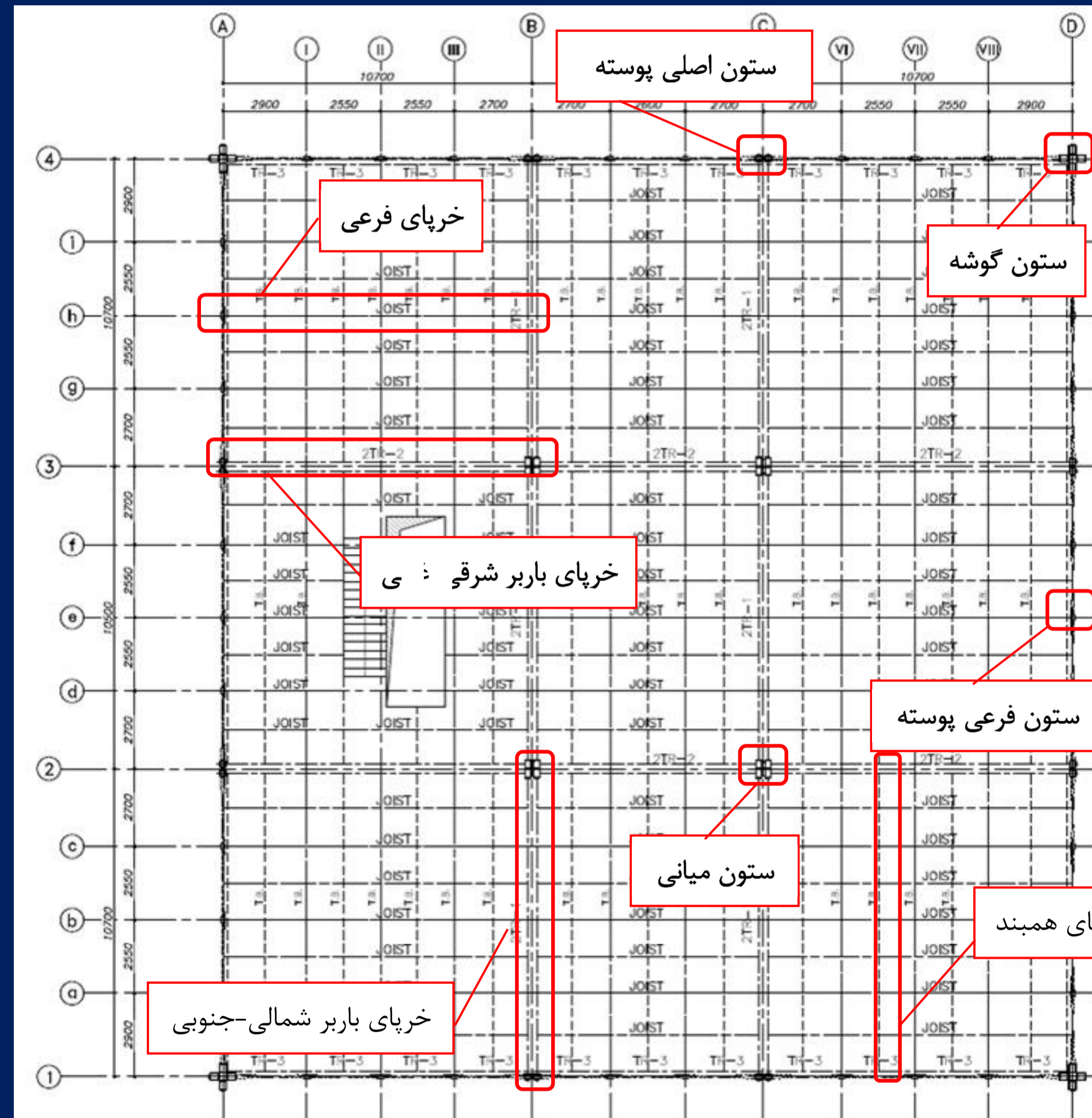
چهار ستون مرکزی، وظیفه تحمل بخش قابل توجهی از بارهای ثقیلی را بر عهده داشته‌اند.

مقاطع ستون‌ها مرکب بوده‌اند.

نتایج تحلیل سازه تحت اثر بارهای ثقیلی تخمینی روز حادثه، نشان می‌دهد قبل از اثر آتش و حرارت بر اجزای ساختمان، سازه حاشیه اطمینان کافی برای تحمل بارهای ثقیلی را داشته است.



شماره گذاری طبقات



آرایش اعضای سازه‌ای در پلان

سناریوی خرابی ساختمان

نام گذاری بنیاد
مستضعفان

15th Story

14th Story

13th Story

12th Story

11th Story

10th Story

9th Story

8th Story

7th Story

6th Story

5th Story

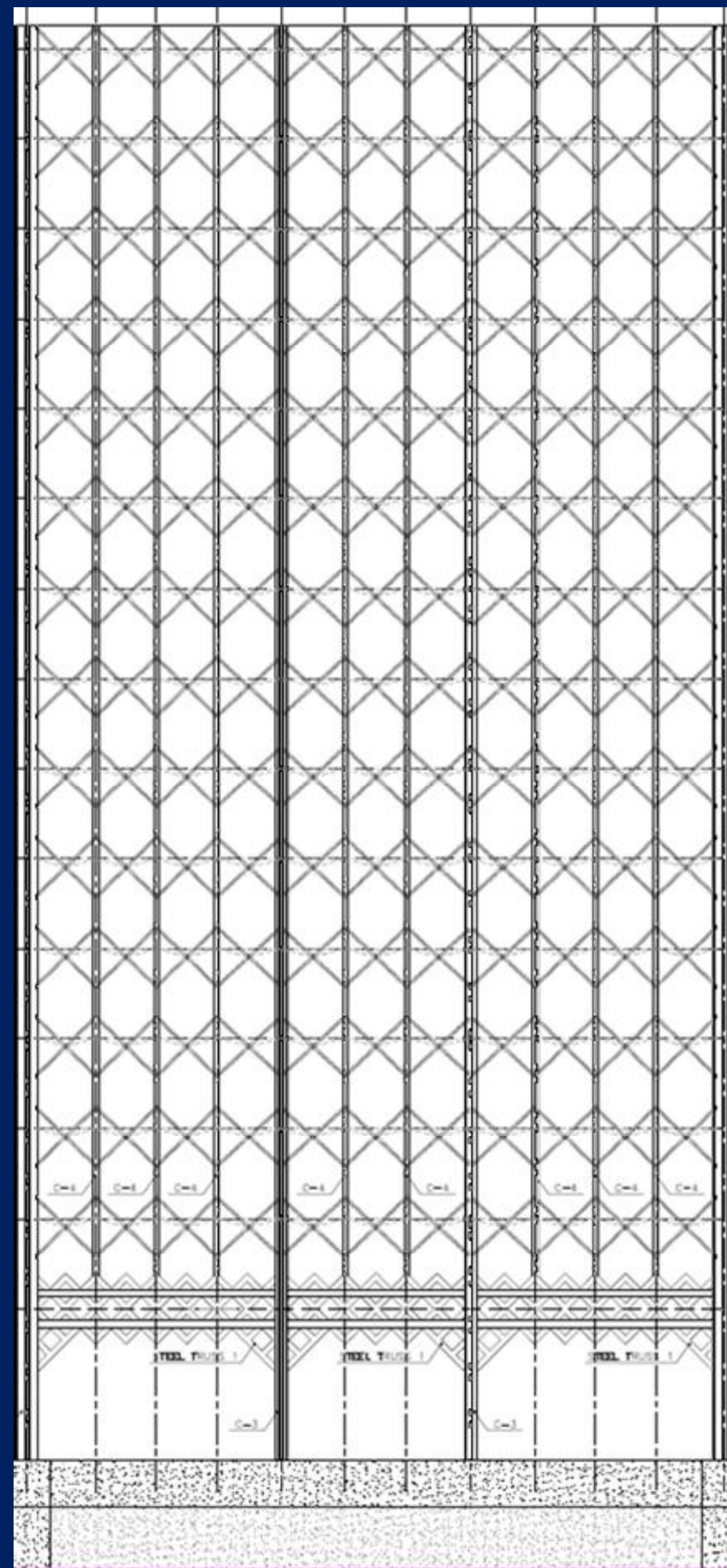
3th Story

2th Story

1th Story

Ground Floor

Underground



14th Story

13th Story

12th Story

11th Story

10th Story

9th Story

8th Story

7th Story

6th Story

5th Story

4th Story

3th Story

2th Story

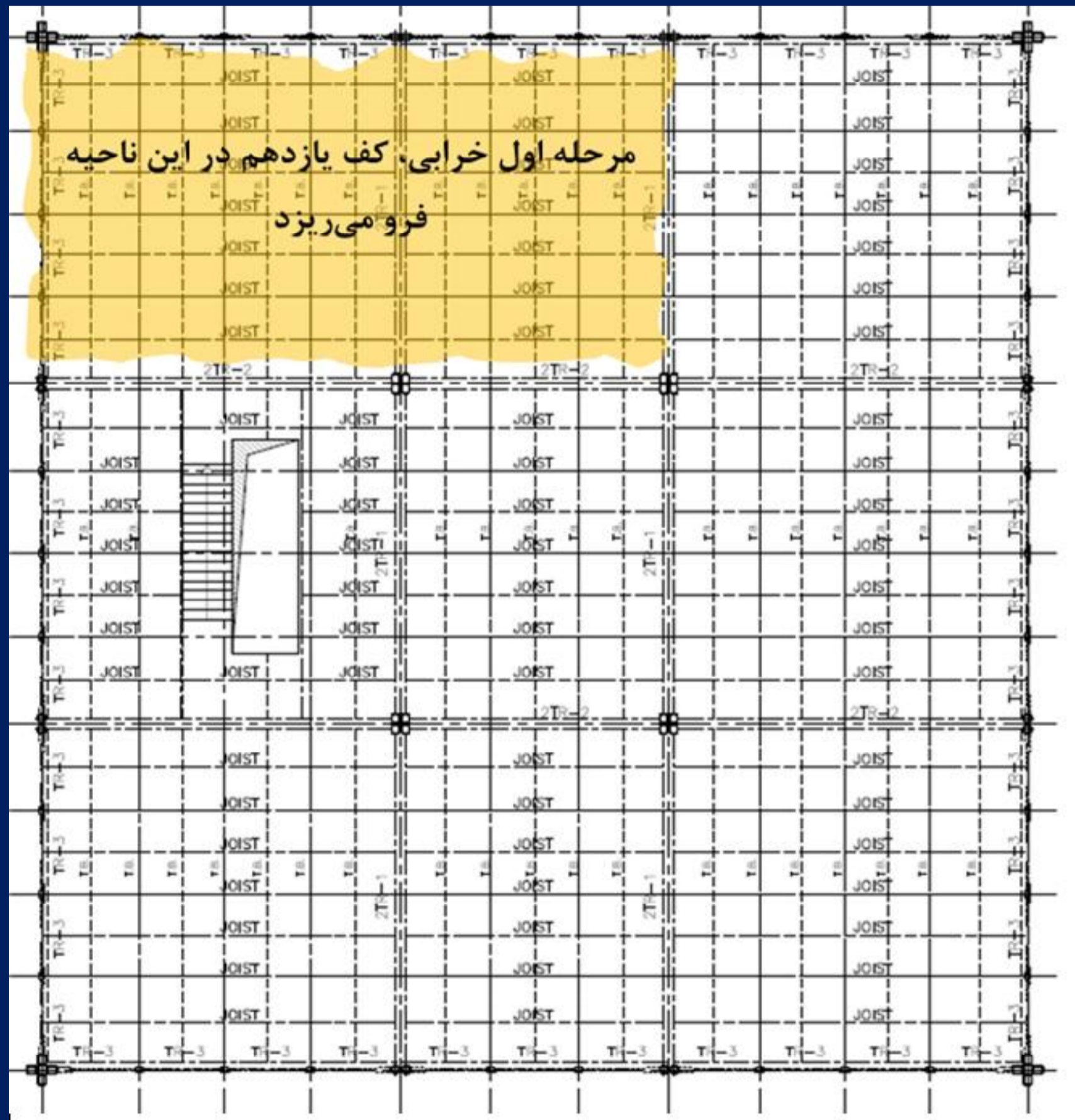
1th Story

Ground Floor

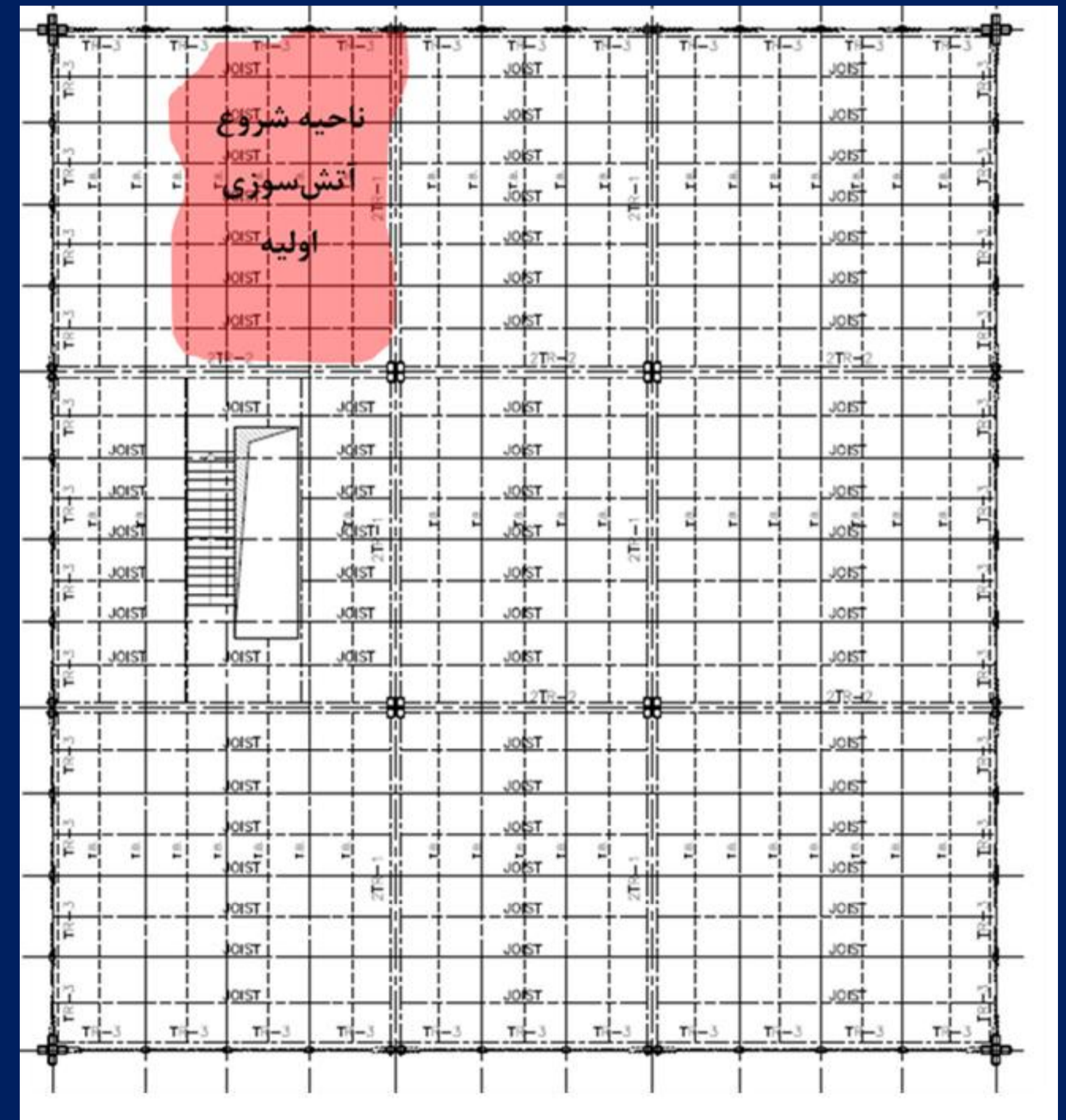
Underground

نام گذاری بر اساس
توالی طبقات

سناریوی خرابی ساختمان



خرابی در سه مرحله اتفاق افتاده است



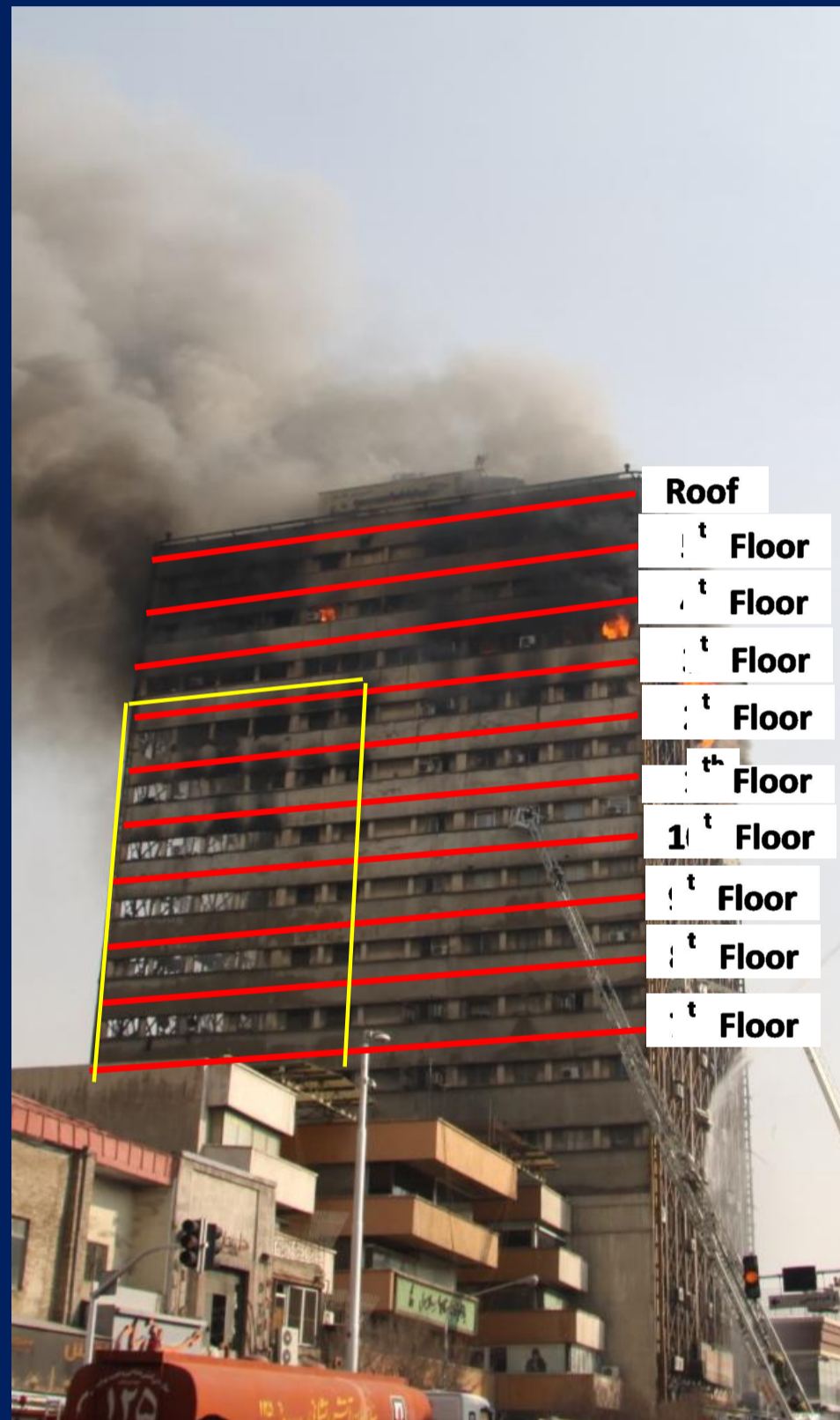
پلان طبقه یازدهم و ناحیه خرابی اولیه

پلان طبقه دهم و ناحیه شروع آتش سوزی

سناریوی خرابی ساختمان



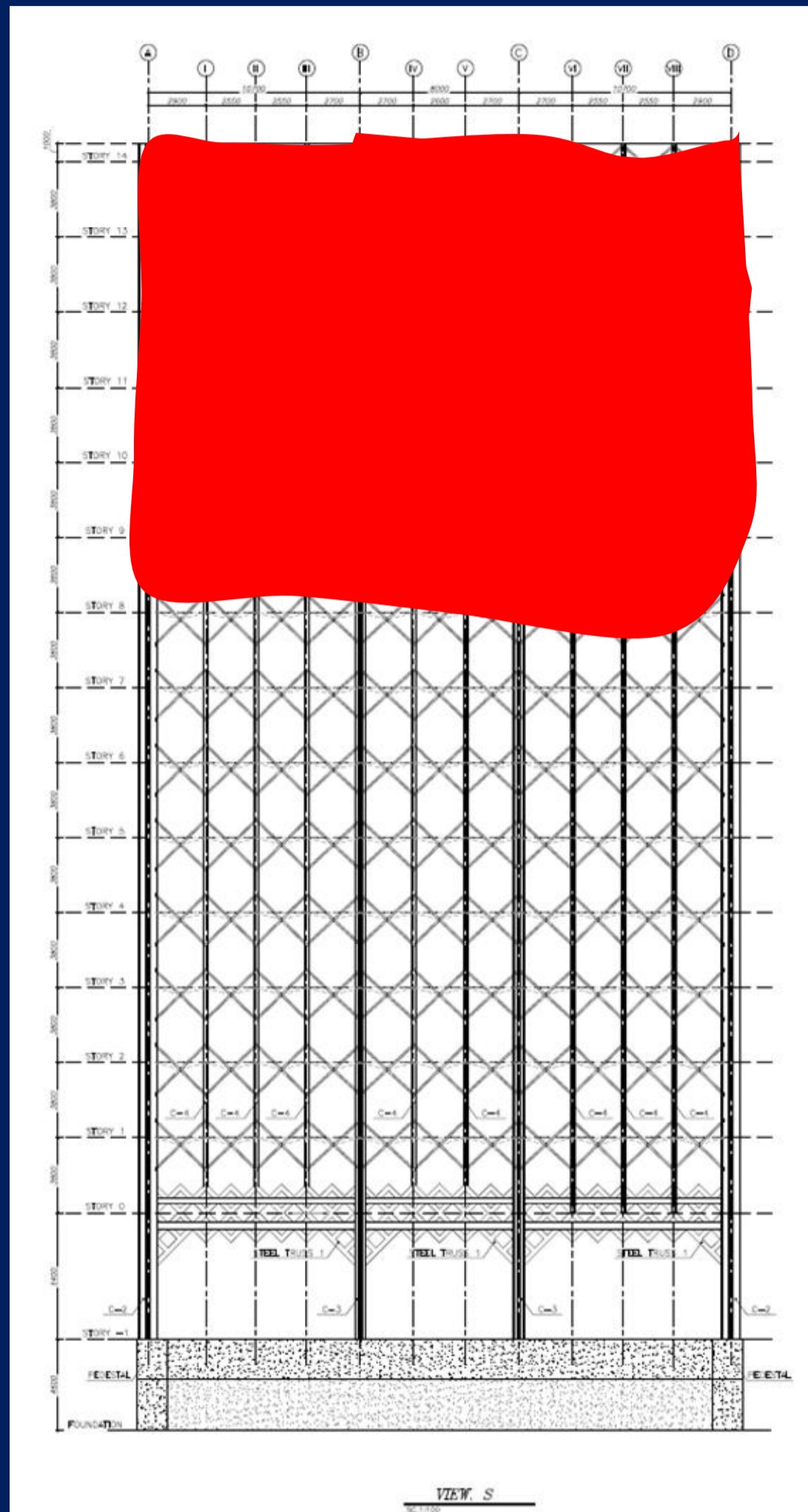
سناریوی خرابی ساختمان



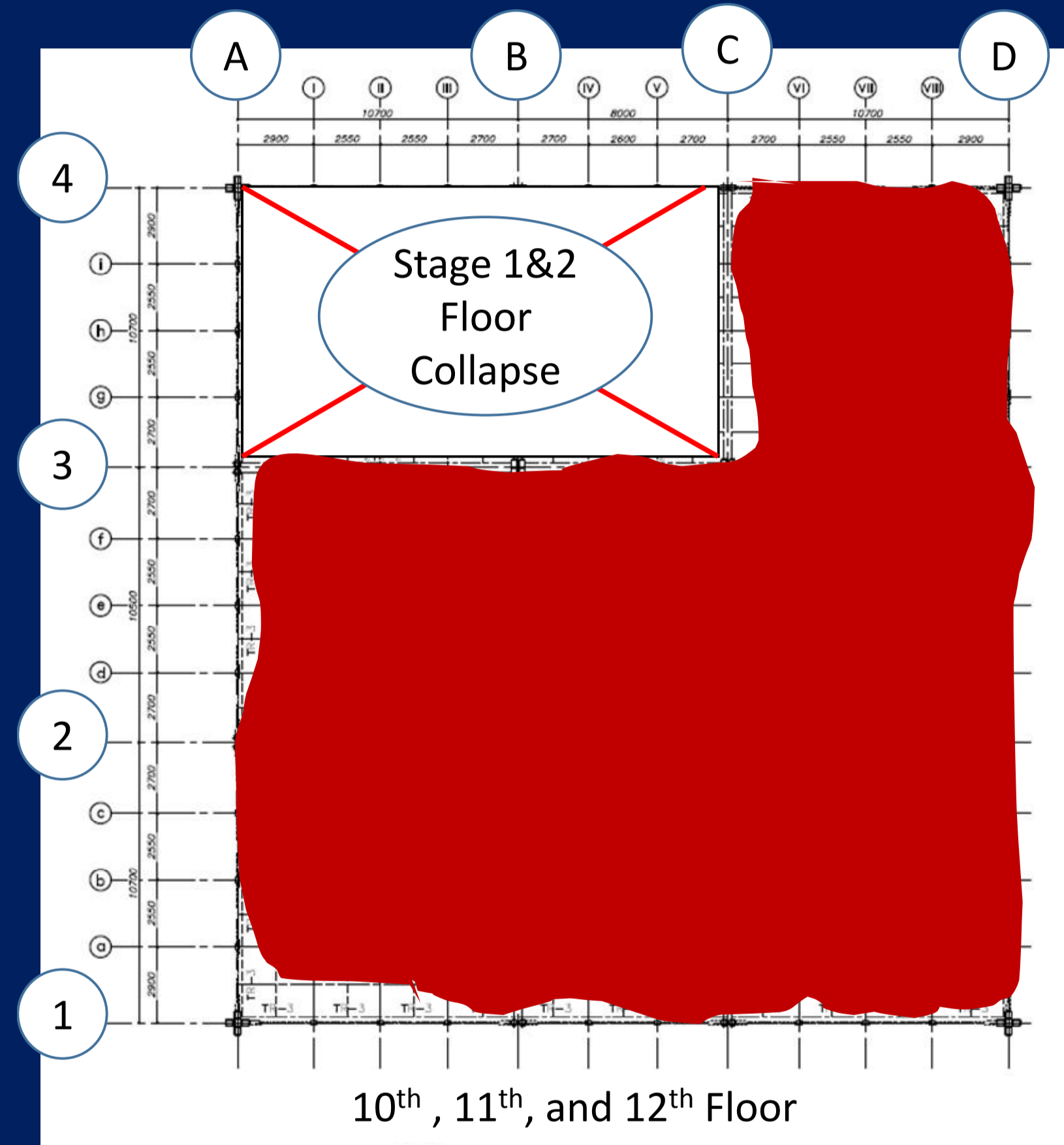
نمای نزدیک-تر ضلع غربی پس از خرابی-های مرحله اول و دوم

در مرحله دوم سقف قسمت‌های
مشخص شده فرو می‌ریزد

سناریوی خرابی ساختمان



طبقات درگیر آتش در نما (قبل از خرابی نهایی)

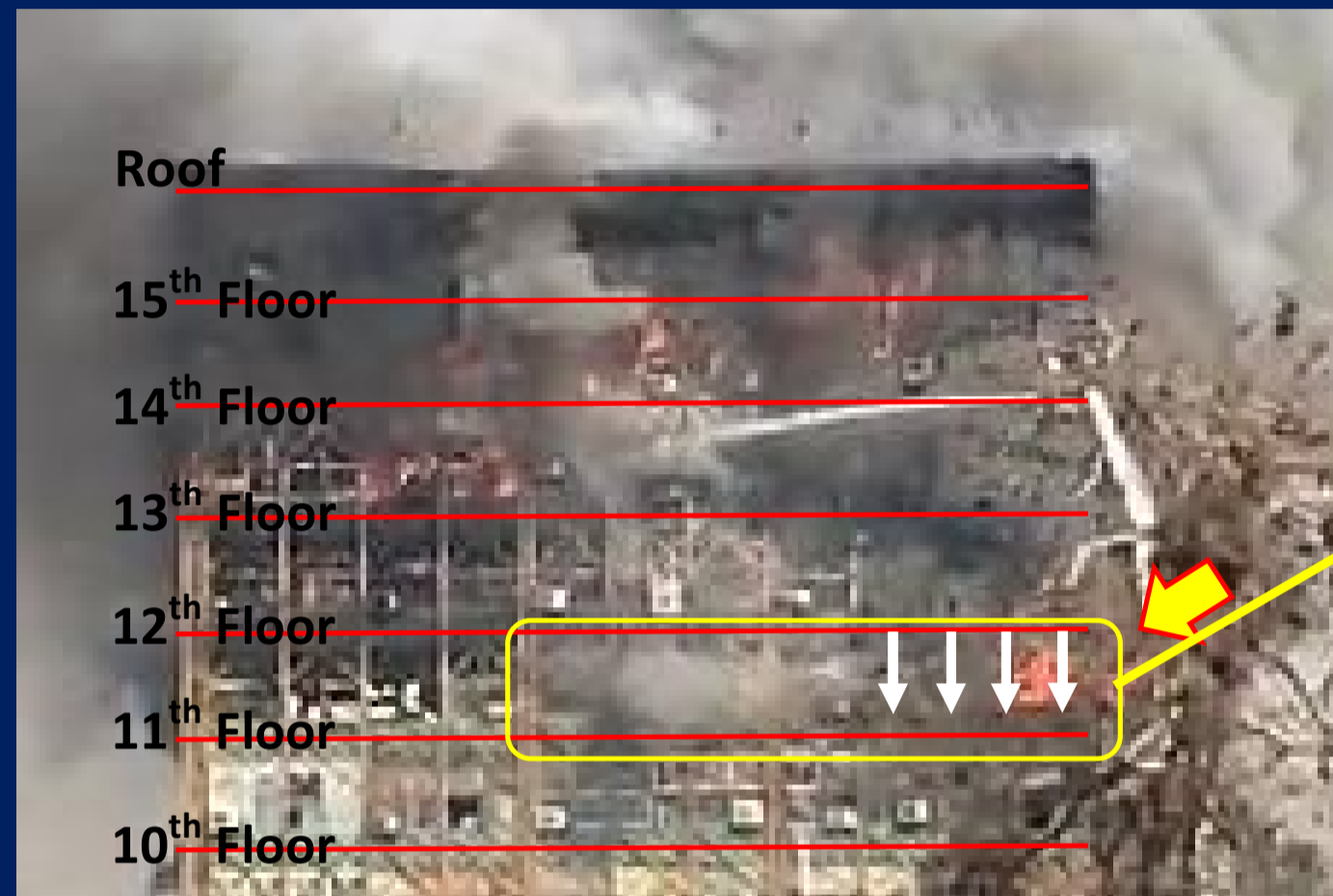


توزیع آتش در طبقات ۱۰ به بالاتر (قبل از خرابی نهایی)

سناریوی خرابی ساختمان



حباب آتش اول



الف) ریزش کف دوازدهم
بر روی کف یازدهم

ب) اولین حباب آتش و گرد و خاک از فضای بین کف‌های دوازدهم و یازدهم بیرون می‌آید.

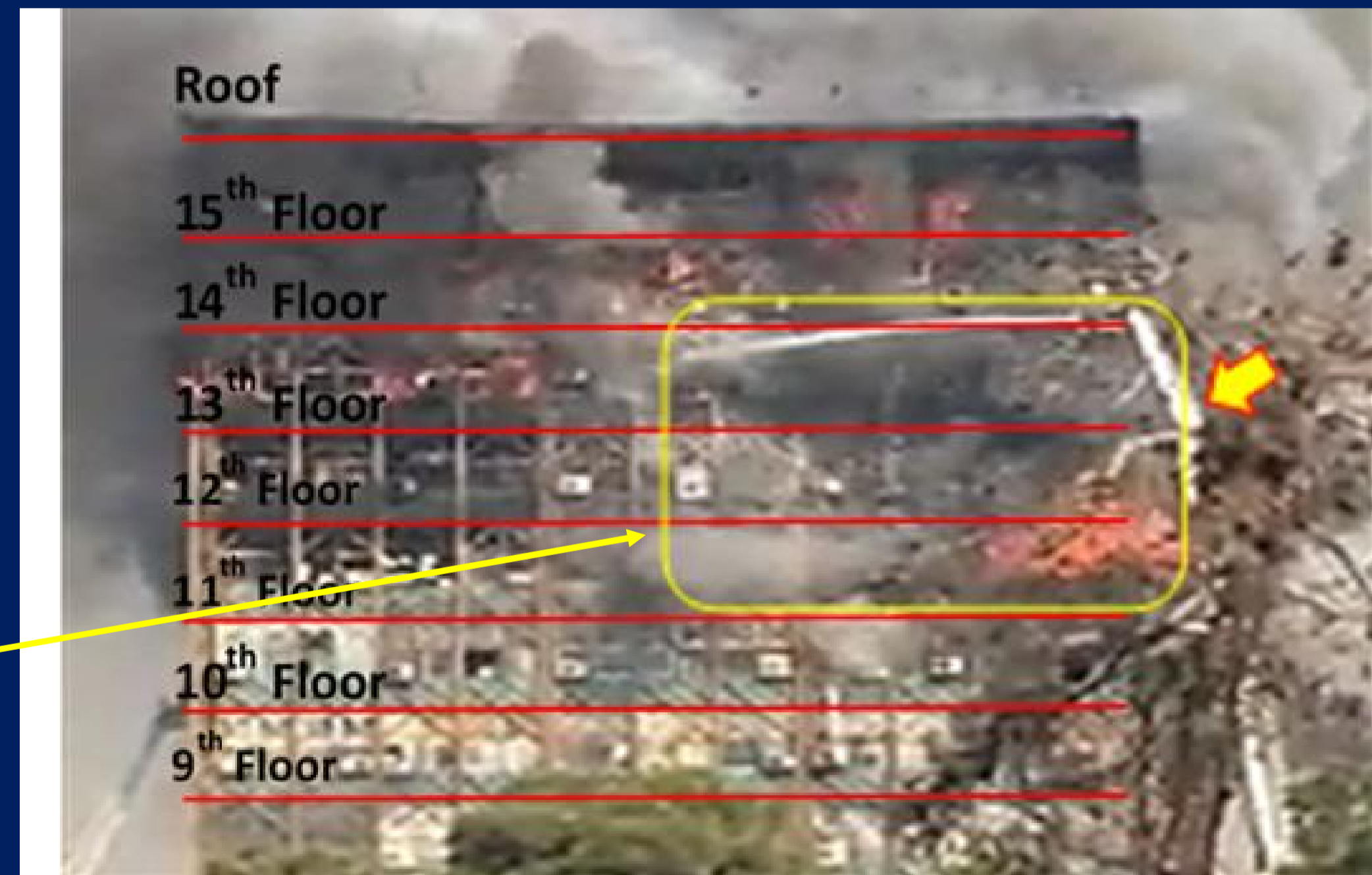


سناریوی خرابی ساختمان

ج) ریزش کف سیزدهم
بر روی کف یازدهم

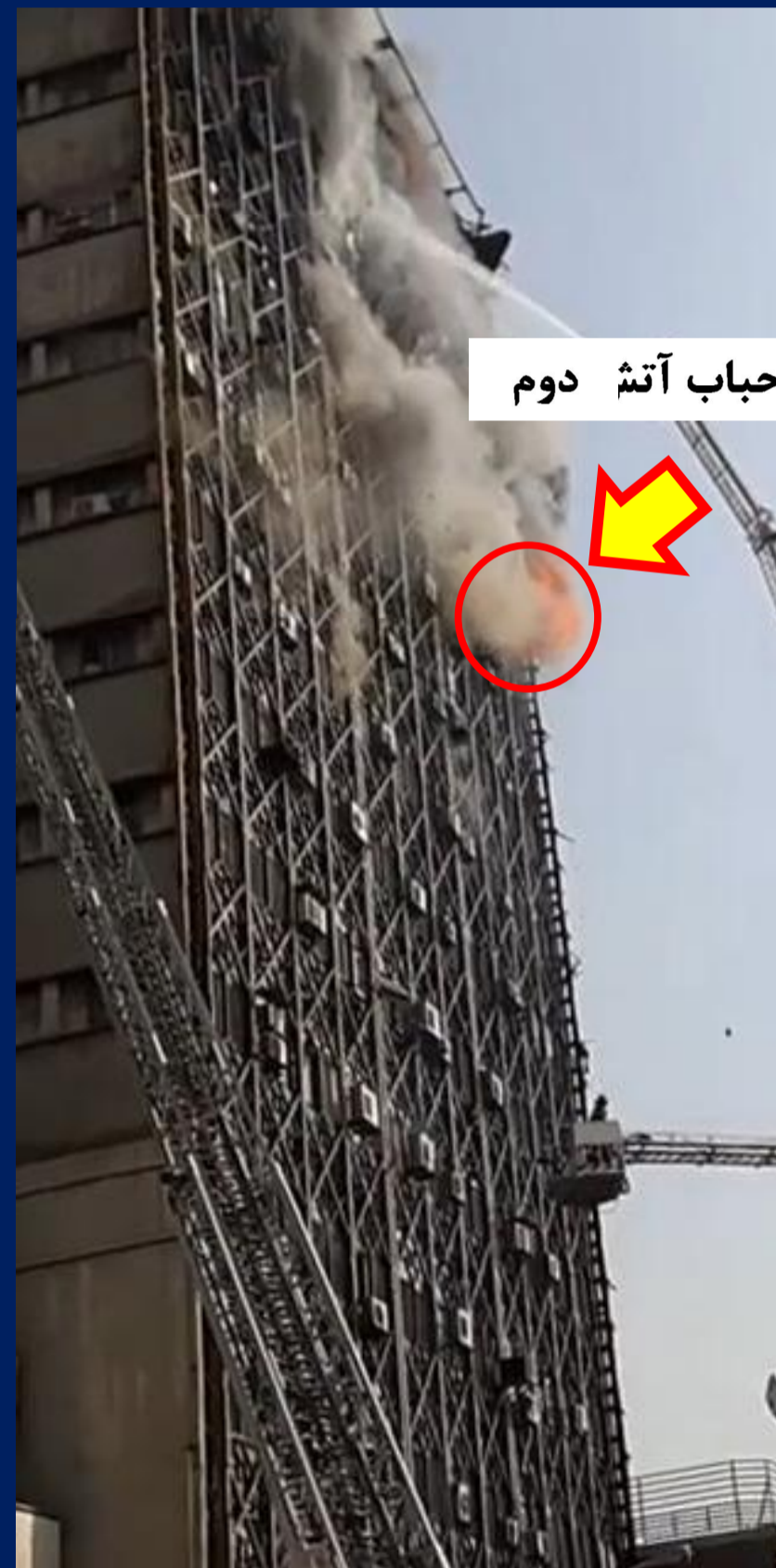


د) دومین حباب آتش و گرد و
خاک بیرون می آید.



سناریوی خرابی ساختمان

ظهور حباب آتش اول نمای جنوبی



ظهور حباب آتش اول نمای شرقی



سناریوی خرابی ساختمان

نمای جنوبی - ۴۰ فریم بعد از حباب آتش دوم



پیشروی خرابی
کفها مشاهده
نشده و حجم
دود قبلی
افزایش می یابد.

نمای شرقی - ۴۰ فریم بعد از حباب آتش دوم



ریزش سقفها و خرابی به
طبقه ششم رسیده است.

سناریوی خرابی ساختمان

نمای جنوبی - ۶۰ فریم بعد از حباب آتش دوم



نمای شرقی - ۶۰ فریم بعد از حباب آتش دوم



طبقه چهارم نیز فرو می‌ریزد.



سناریوی خرابی ساختمان

خم شدن بام، همزمان با کمانش ستون C1



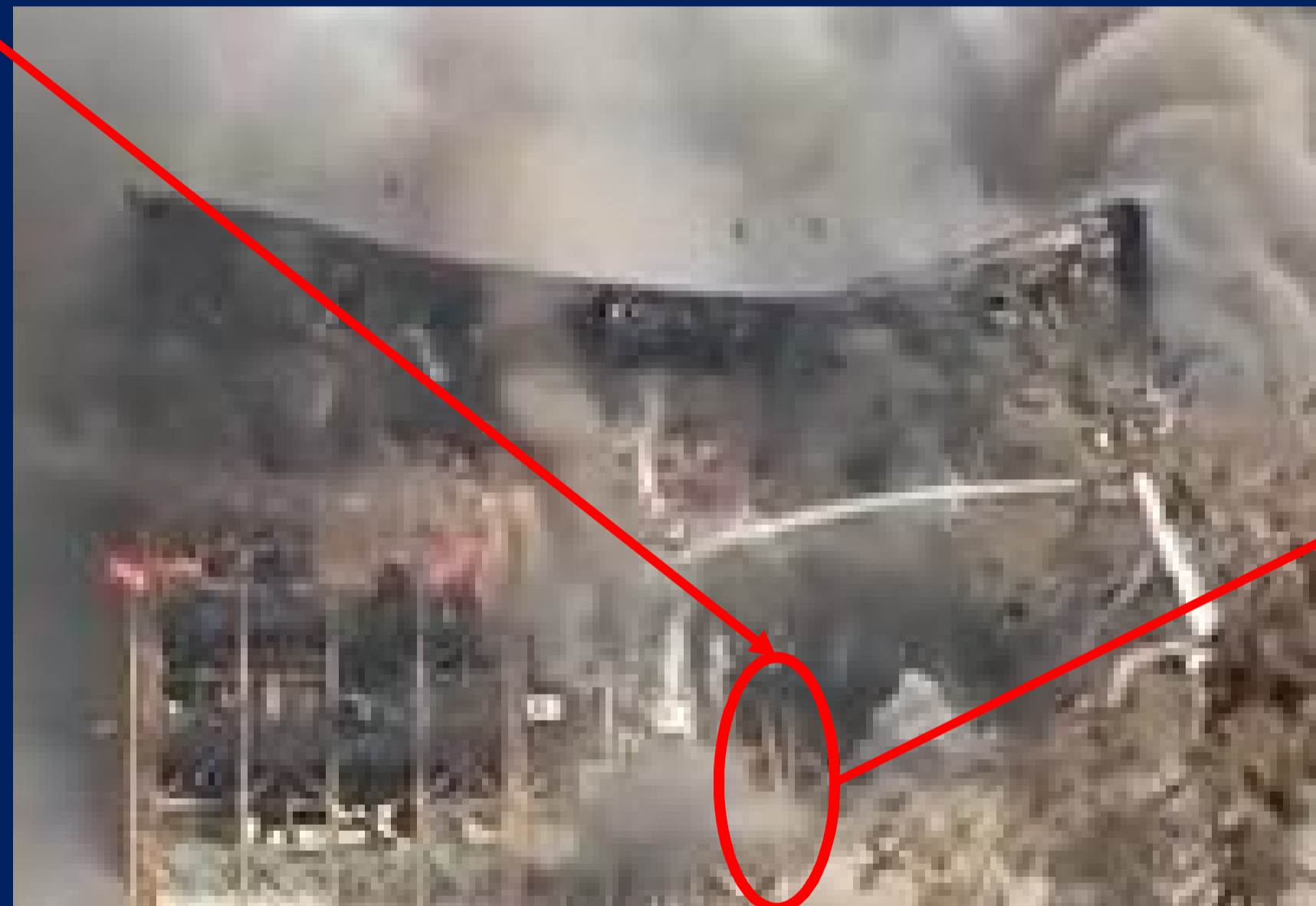
سناریوی خرابی ساختمان

خم شدن بام، همزمان با کمانش ستون C1



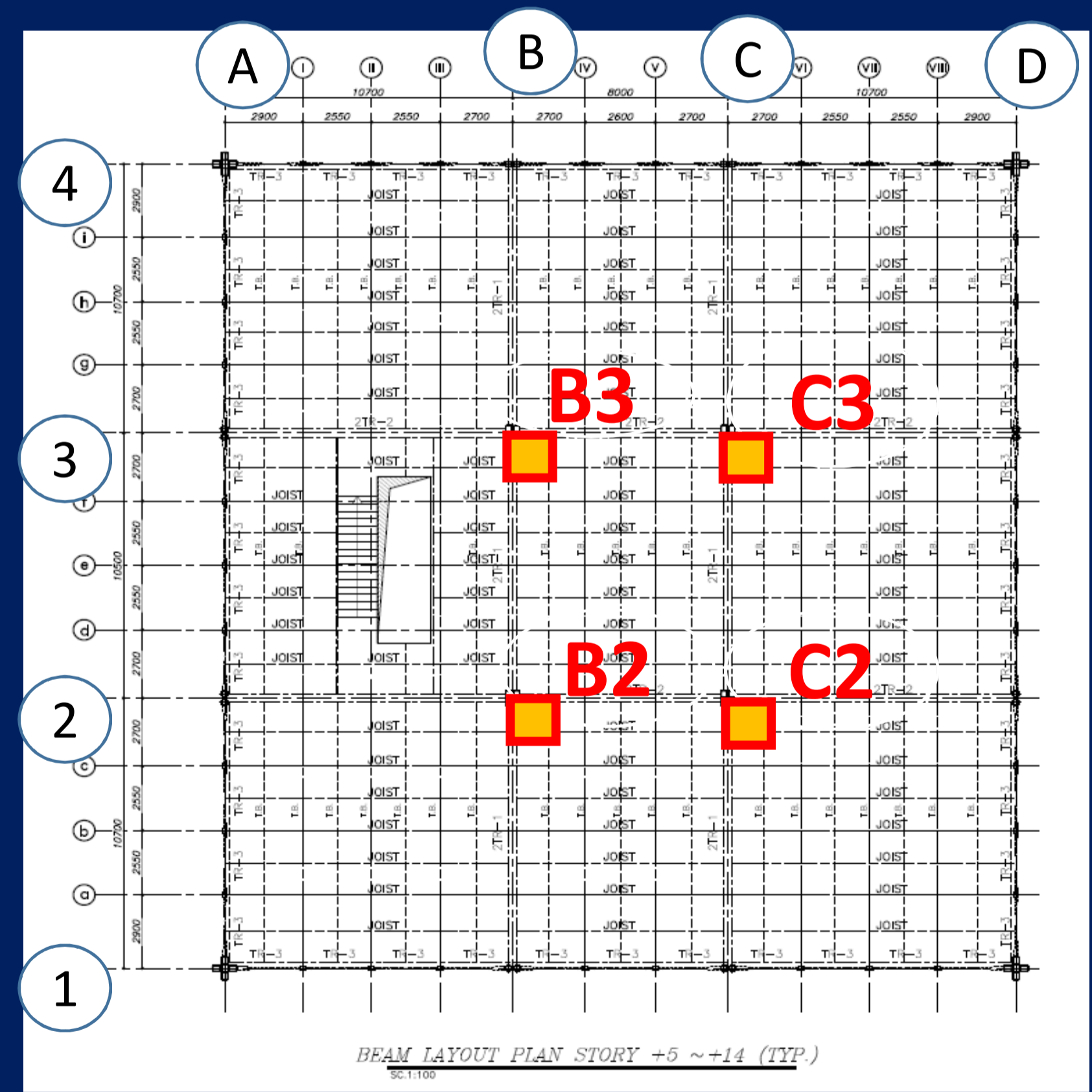
سناریوی خرابی ساختمان

باز شدن ستون C1



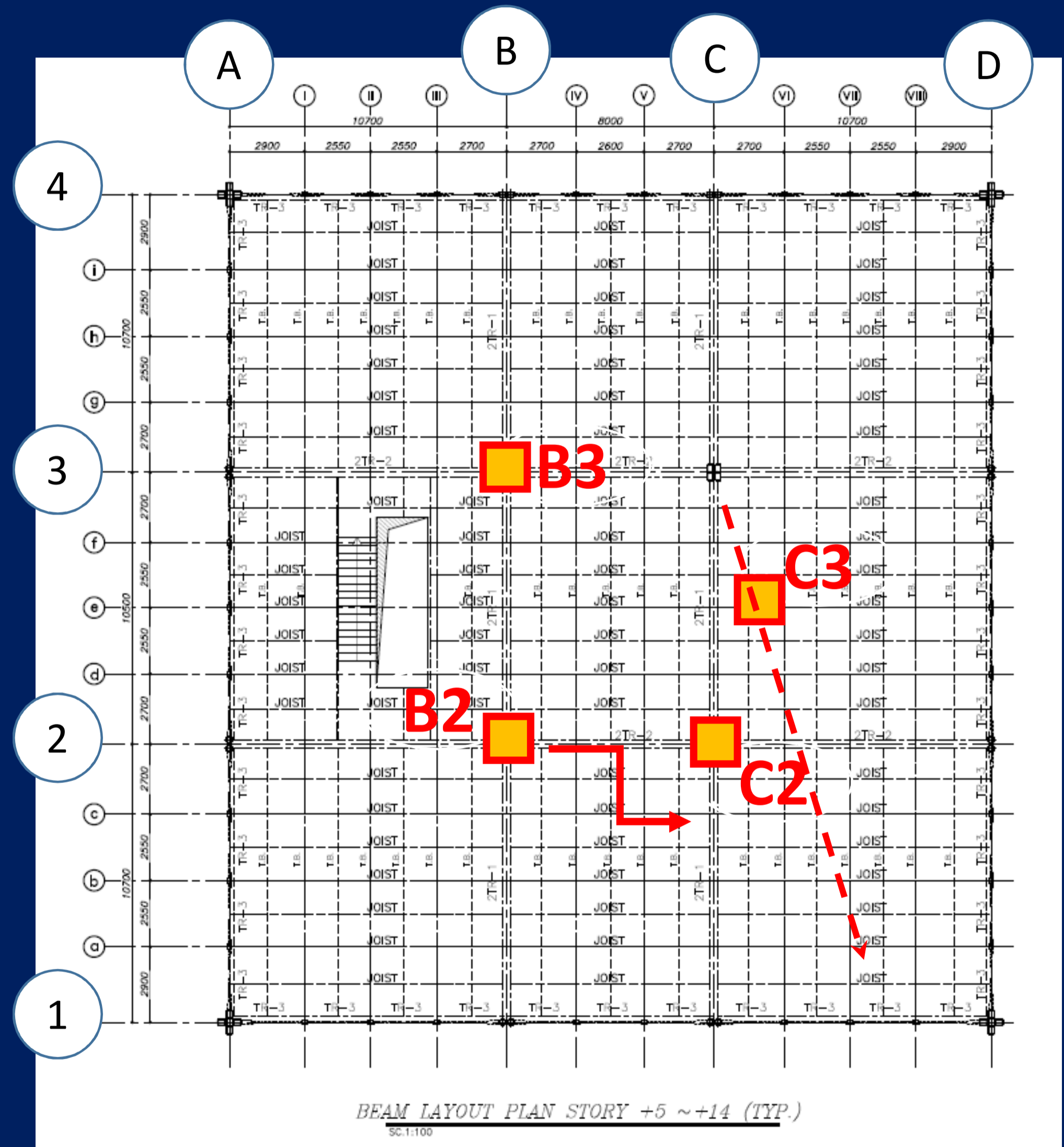
سناریوی خرابی ساختمان

توالی سقوط ستون‌های مرکزی





NasimFun.com



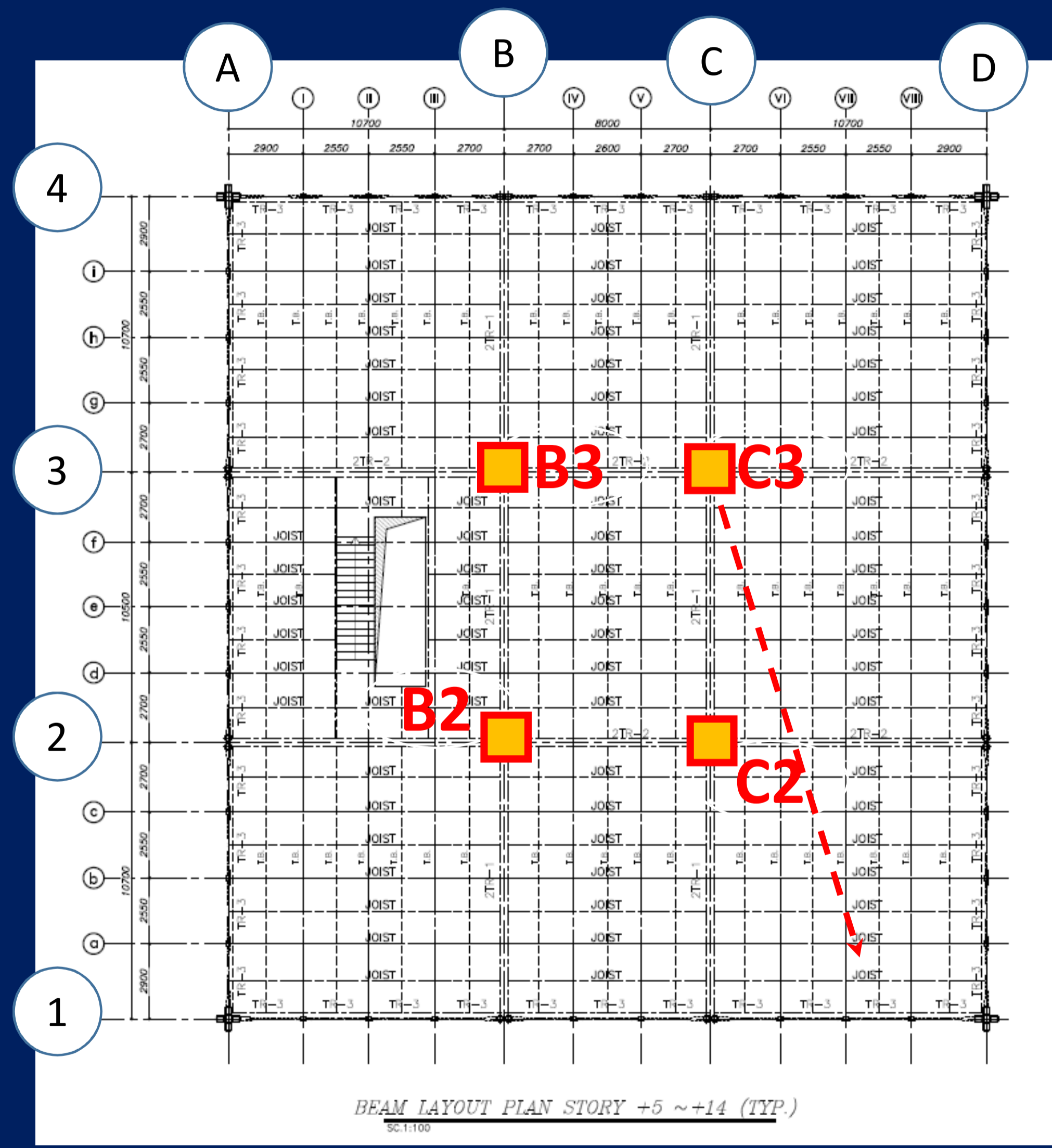
VideoMach unregistered



اقتصادی آتش سوزی در مجتمع تجاری پلاسکو

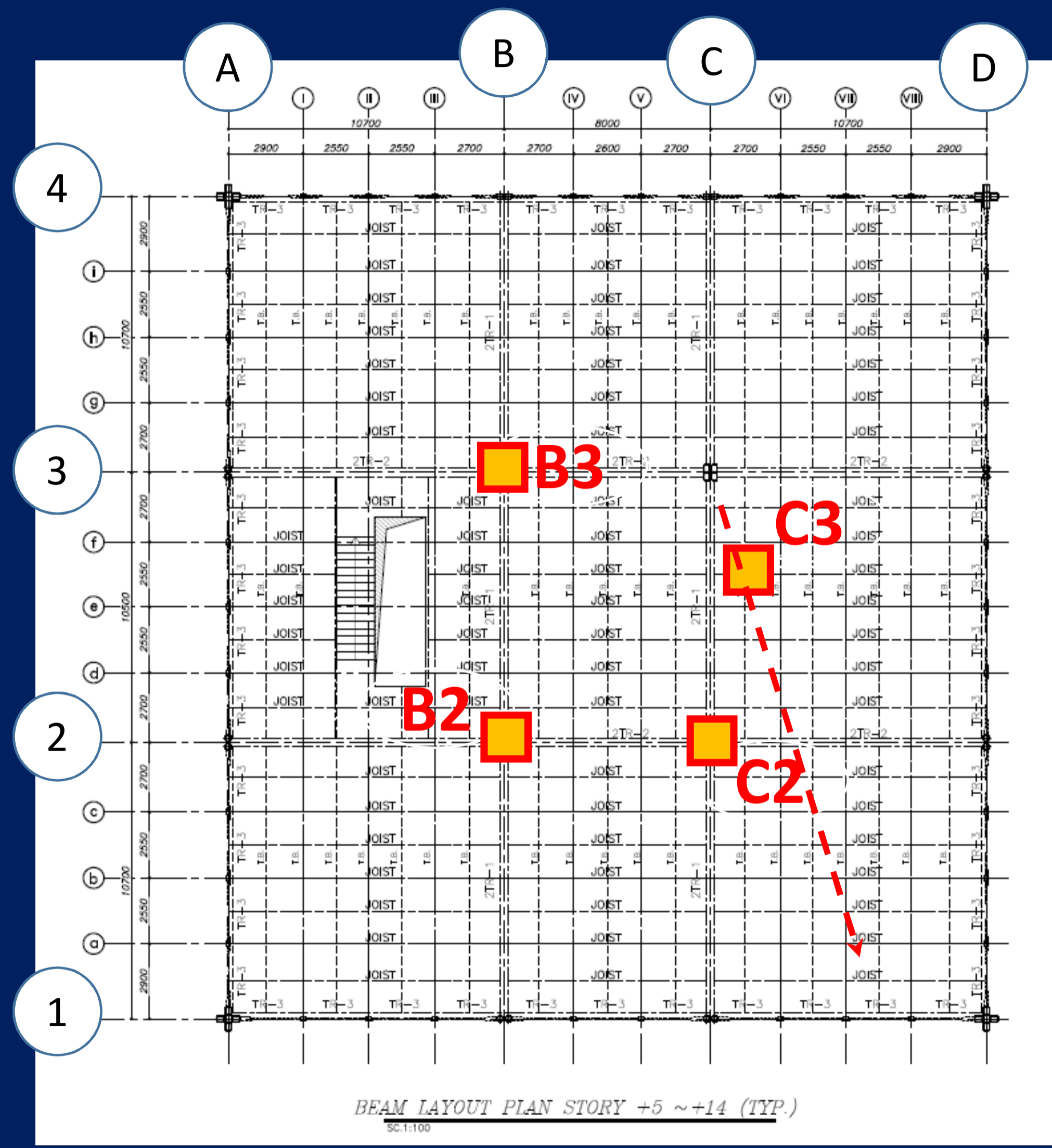
پلاسکو در خیابان جمهوری تهران به علت آتش سوزی گسترده فرو ریخت

aparat.com



BEAM LAYOUT PLAN STORY +5 ~ +14 (TYP.)
SC:1:100

VideoMach unregistered



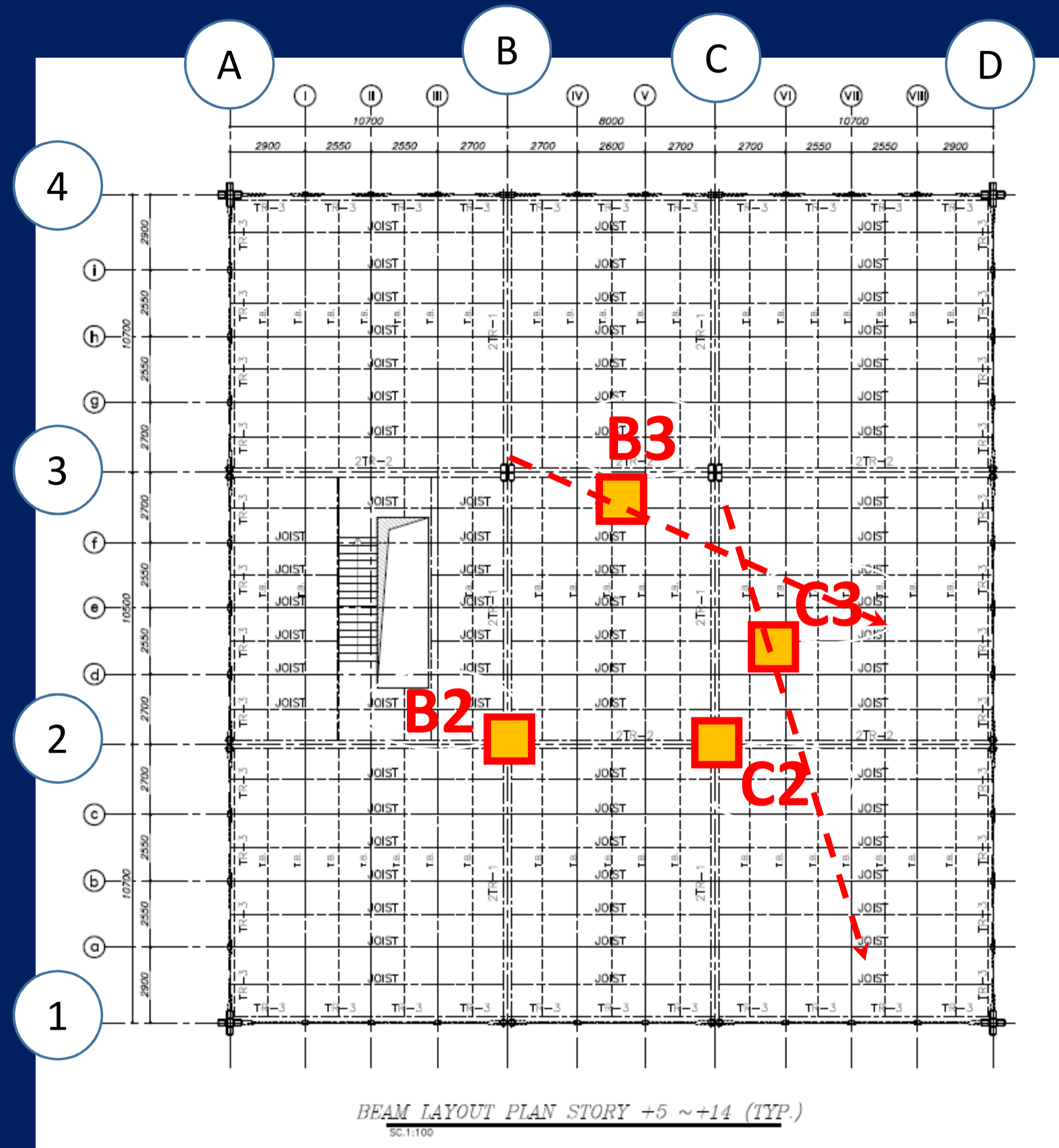
VideoMach unregistered



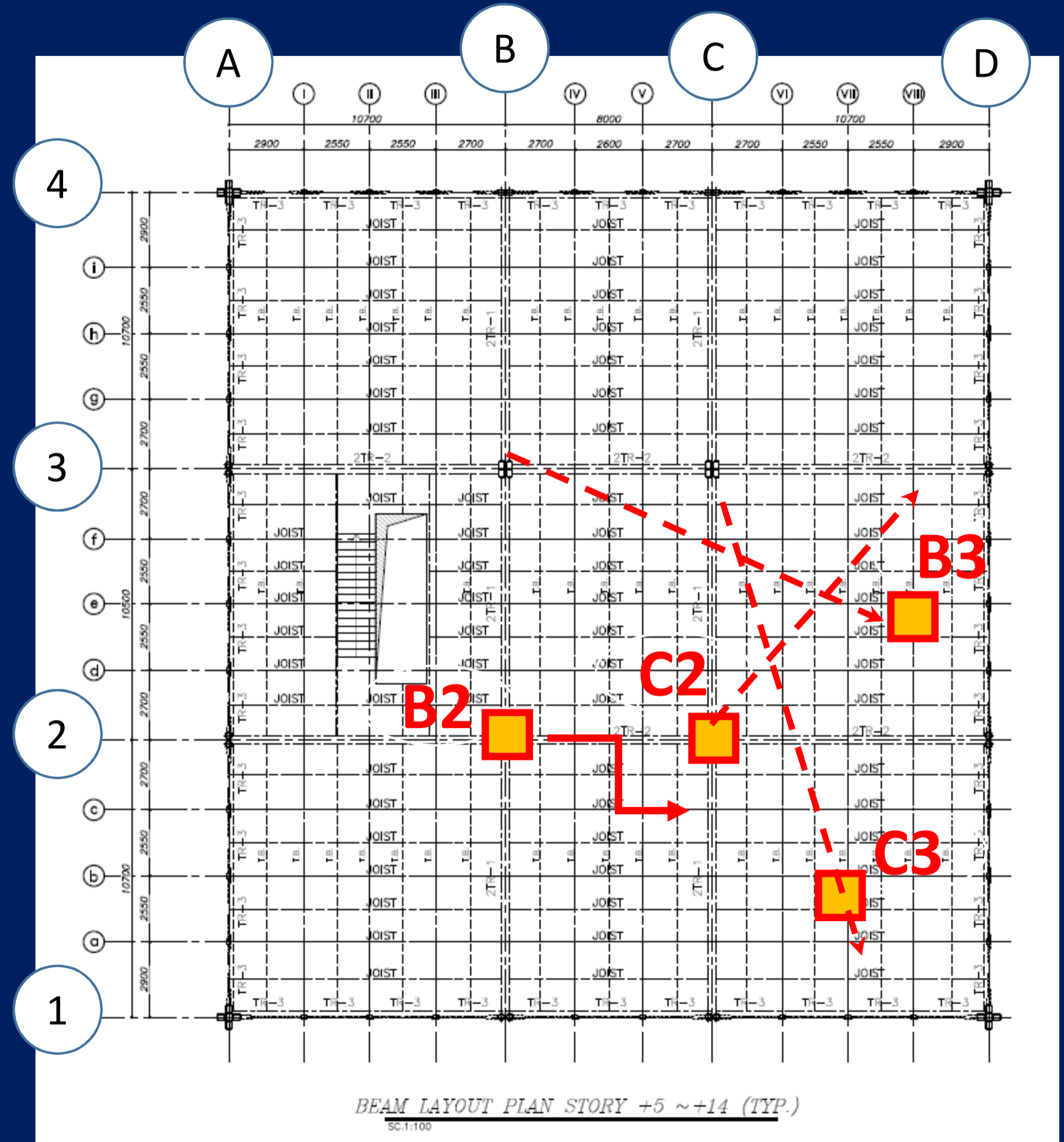
بادی آتش سوزی در مجتمع تجاری پلاسکو

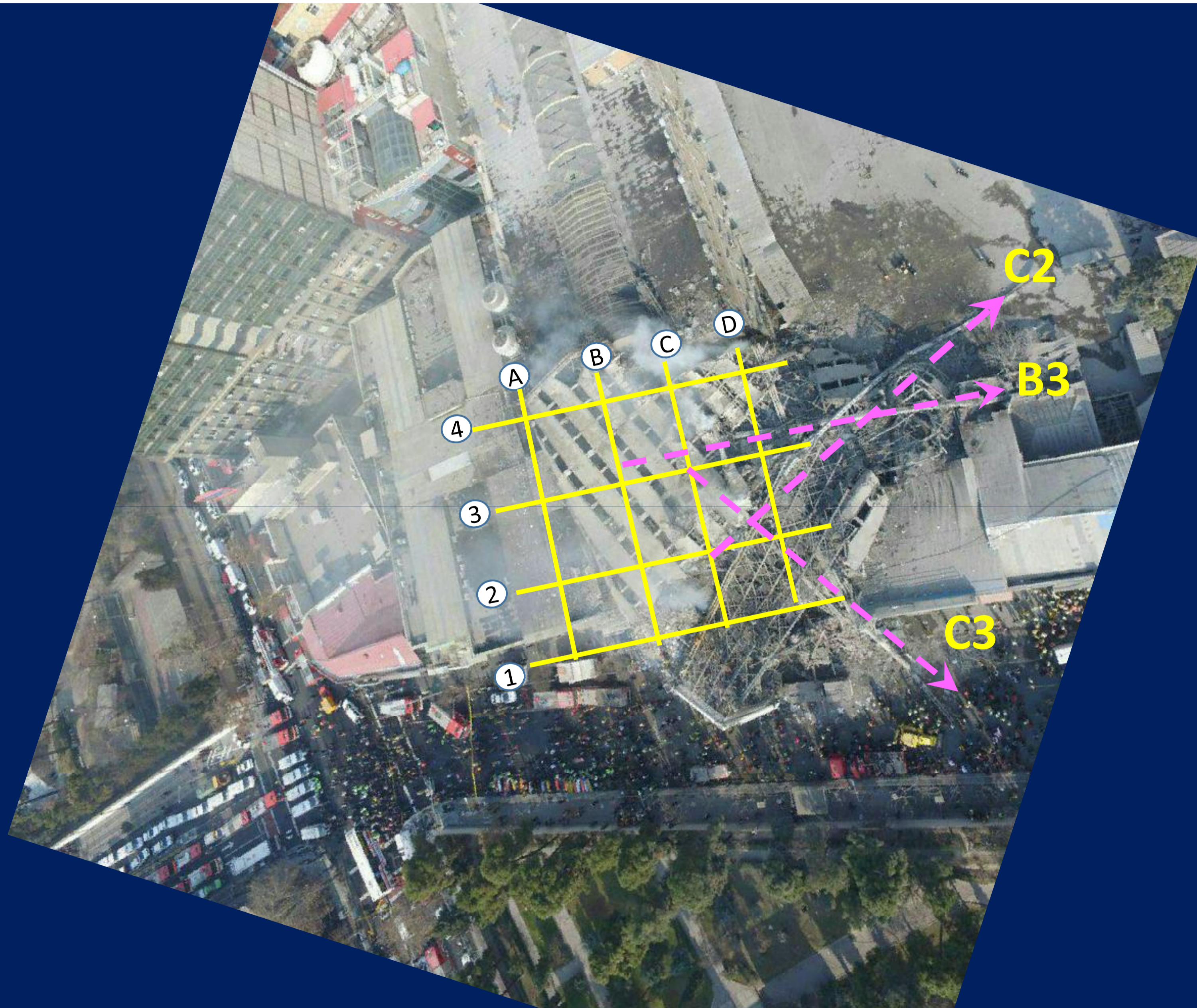
ن به علت آتش سوزی گسترده فرو ریخت شعله های آتش

aparat.com/md/

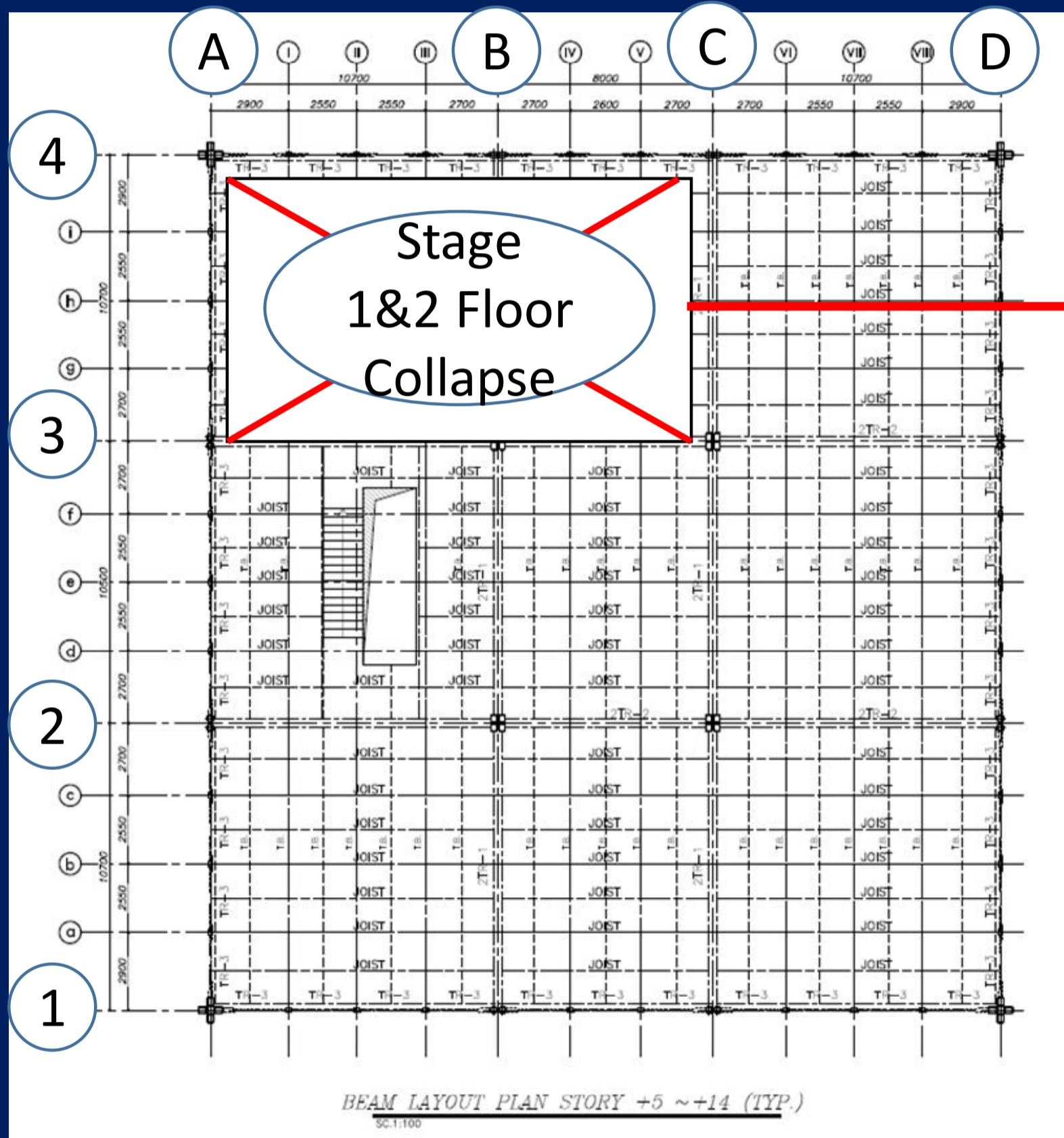


VideoMach unregistered





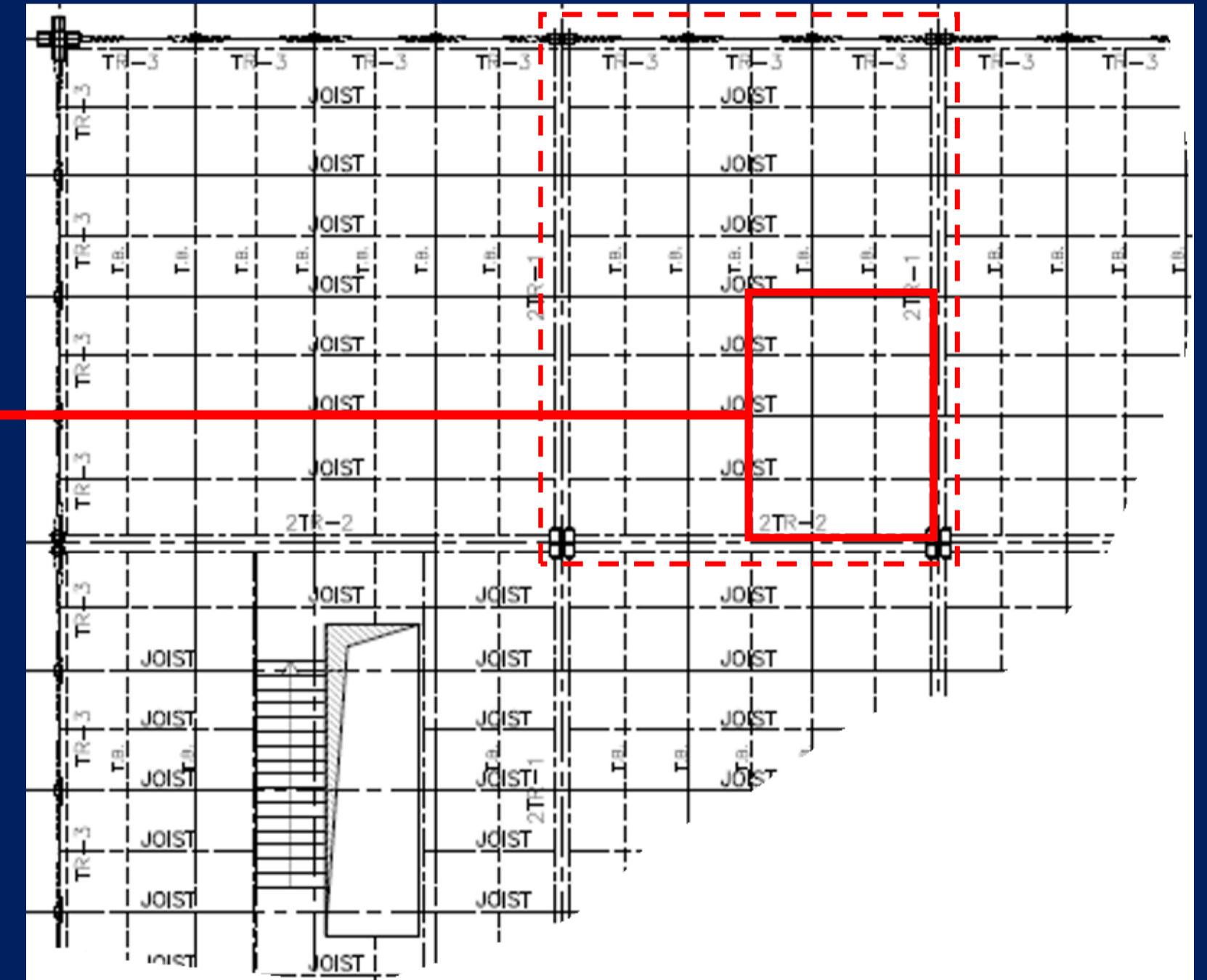
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



پلان طبقات

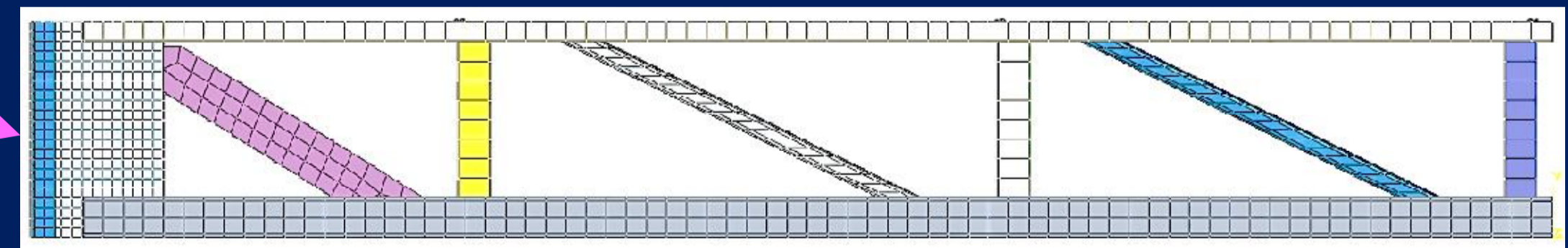
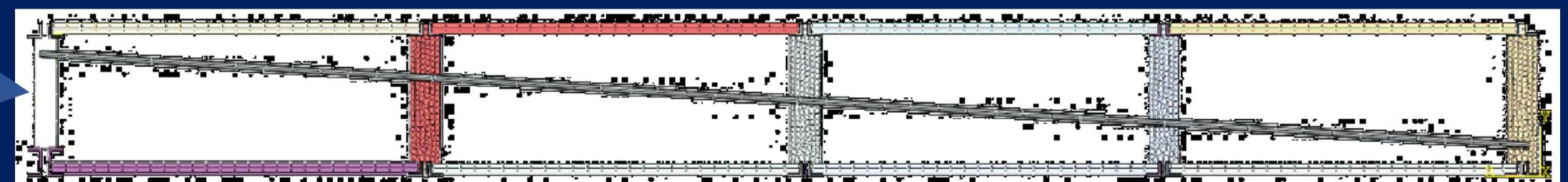
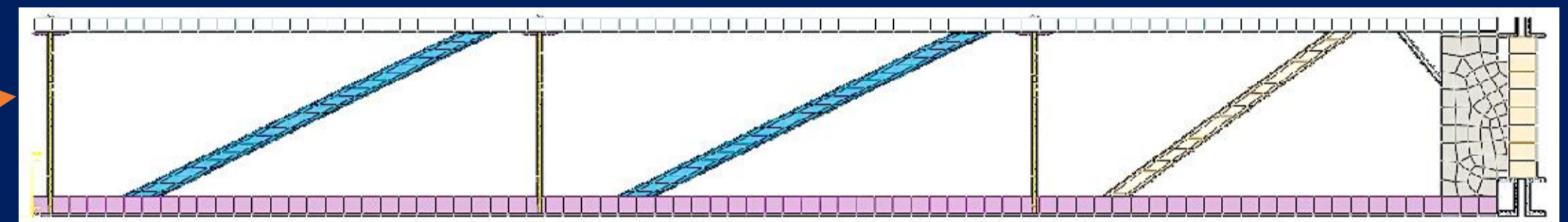
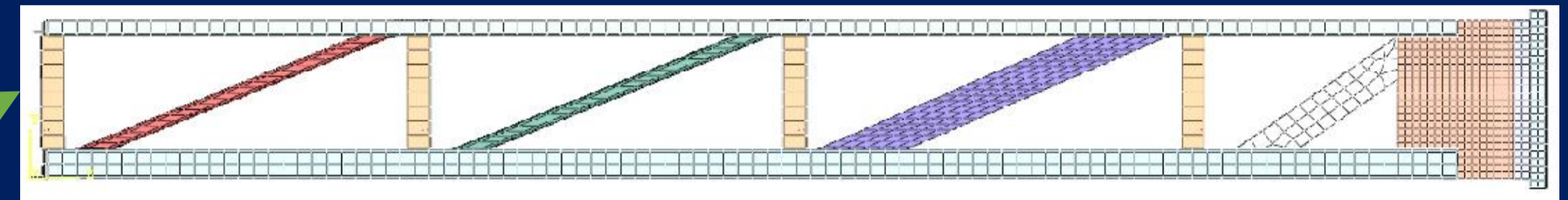
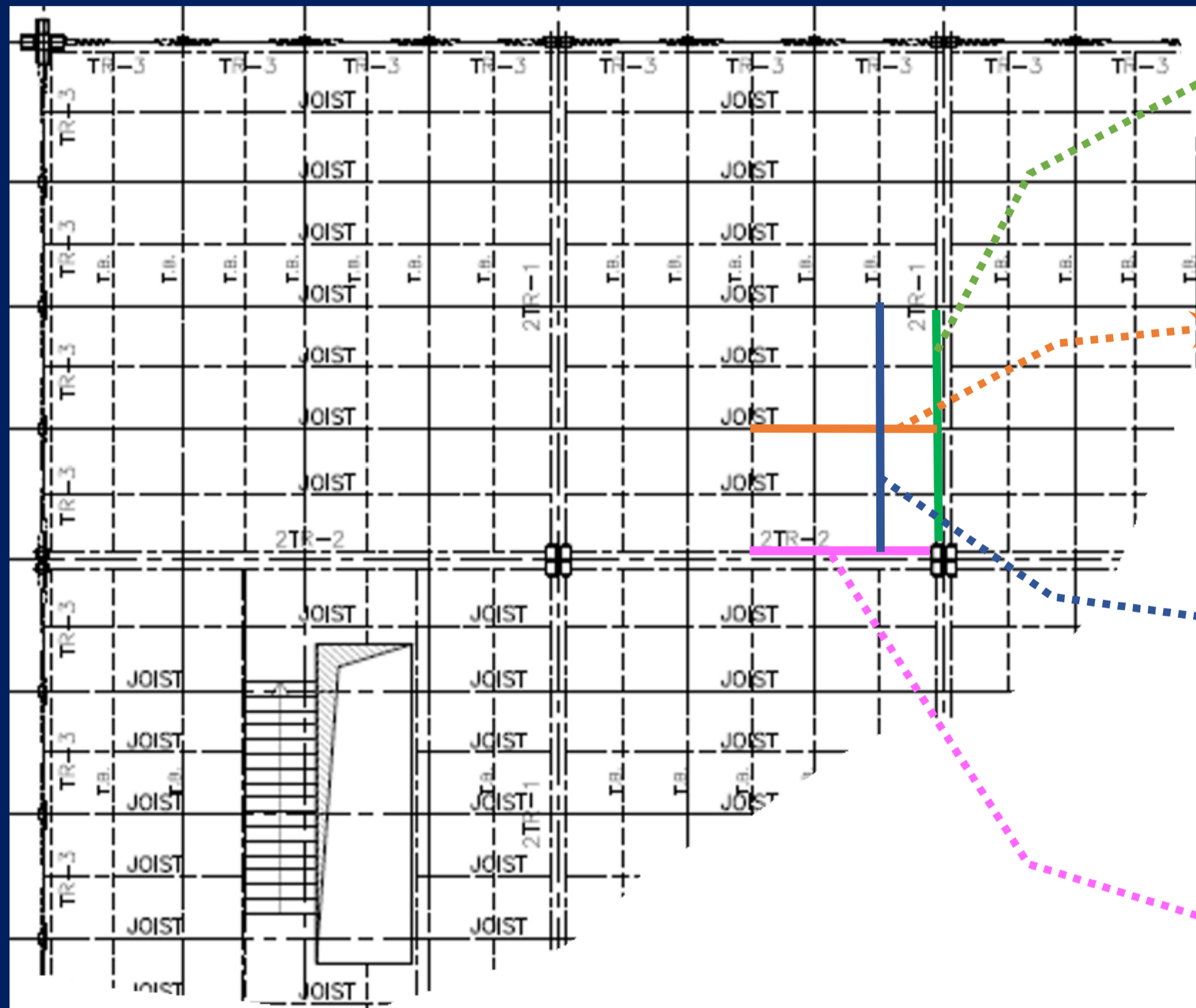
قسمت شبیه سازی شده
در نرم افزار آباکوس

در مرحله اول و دوم
این قسمت از سقف فرو
ریخته است.

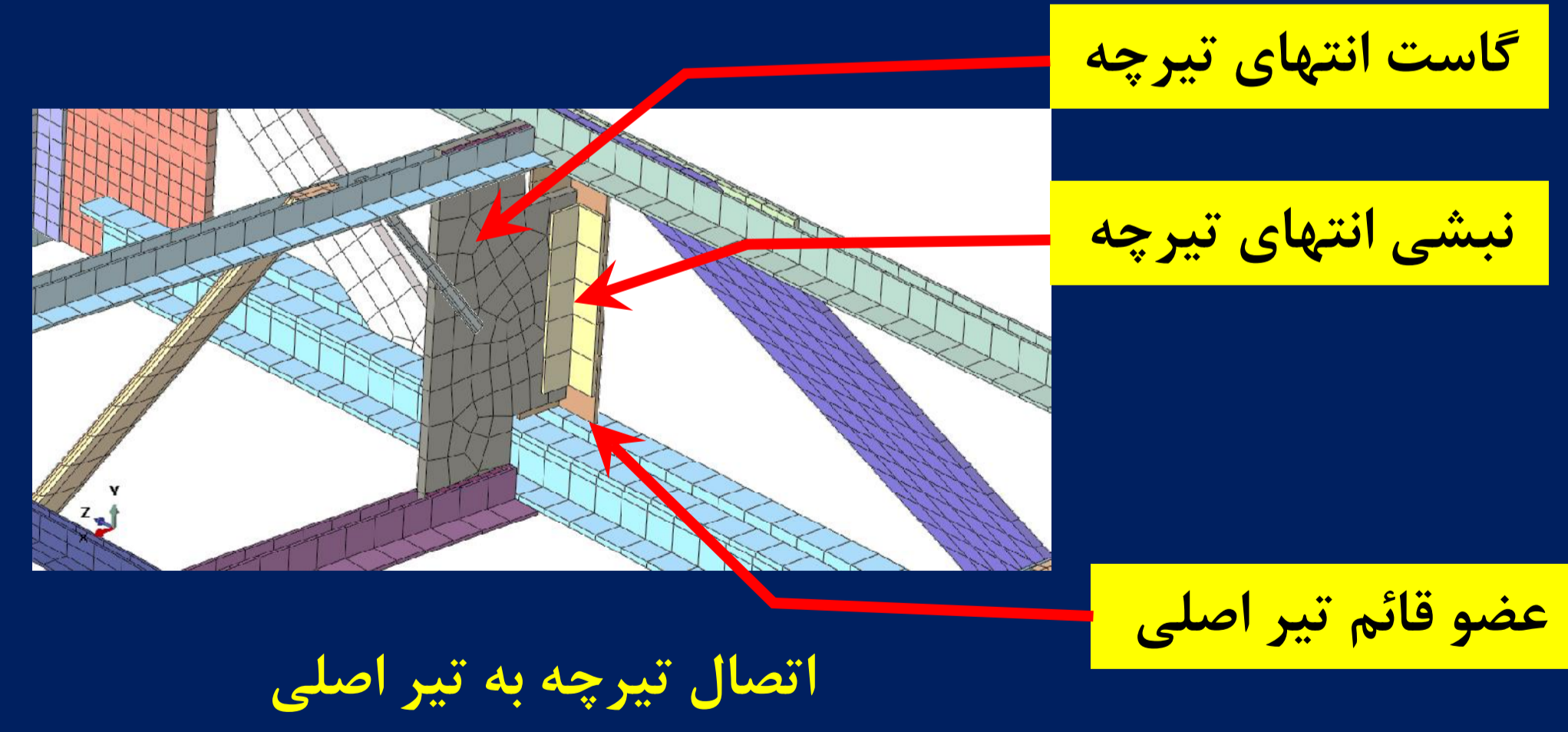
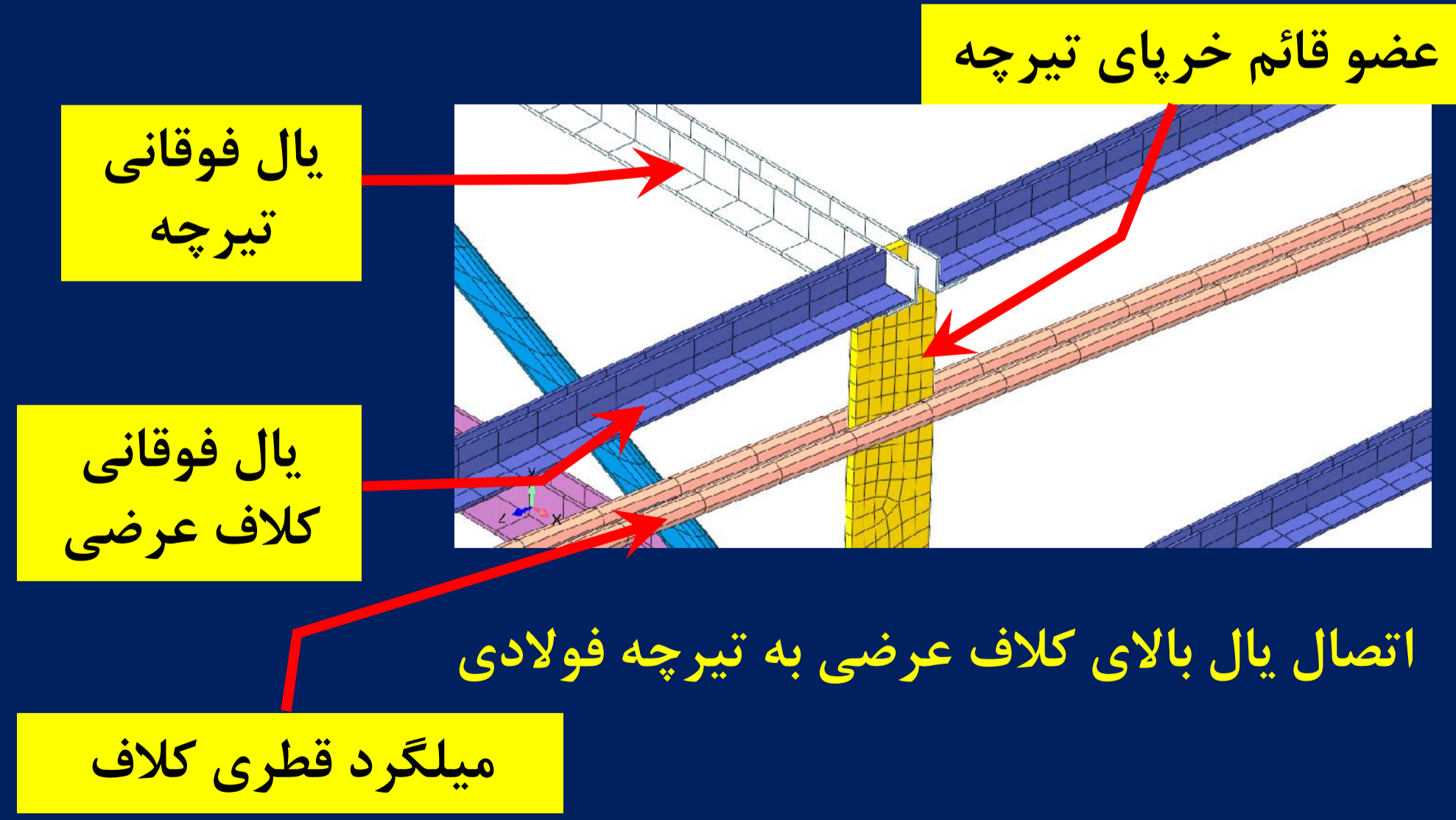
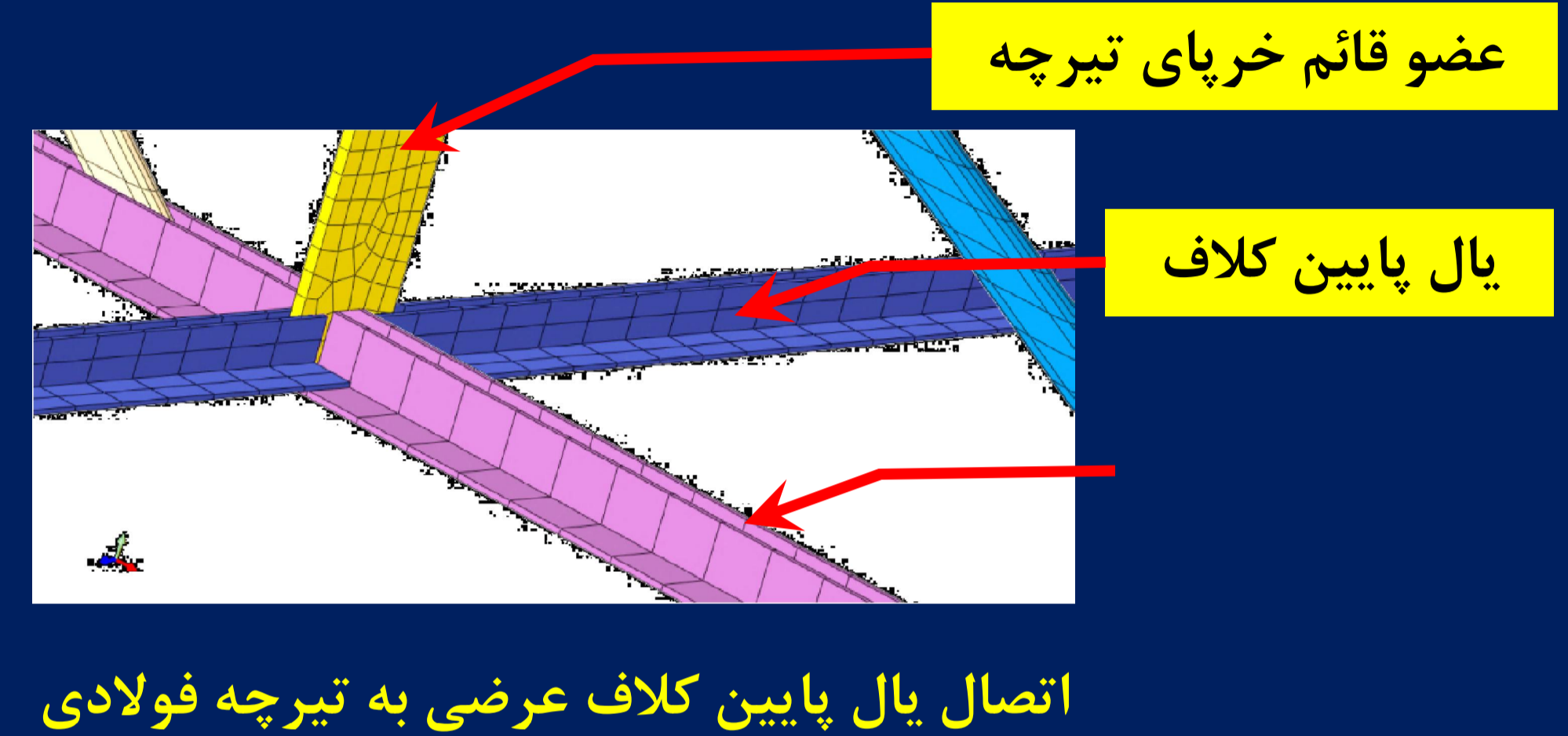
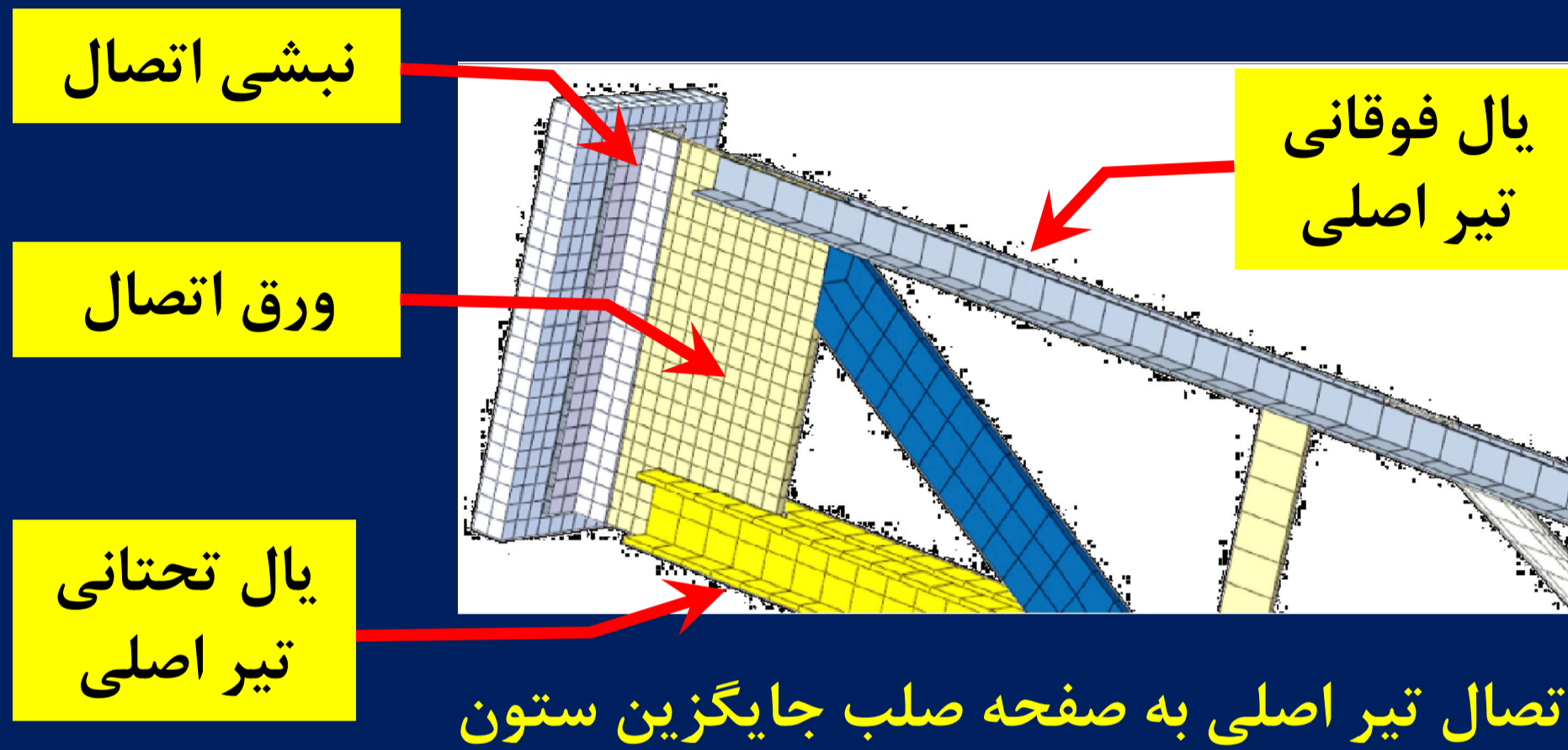


بخشی از پلان طبقه یازدهم

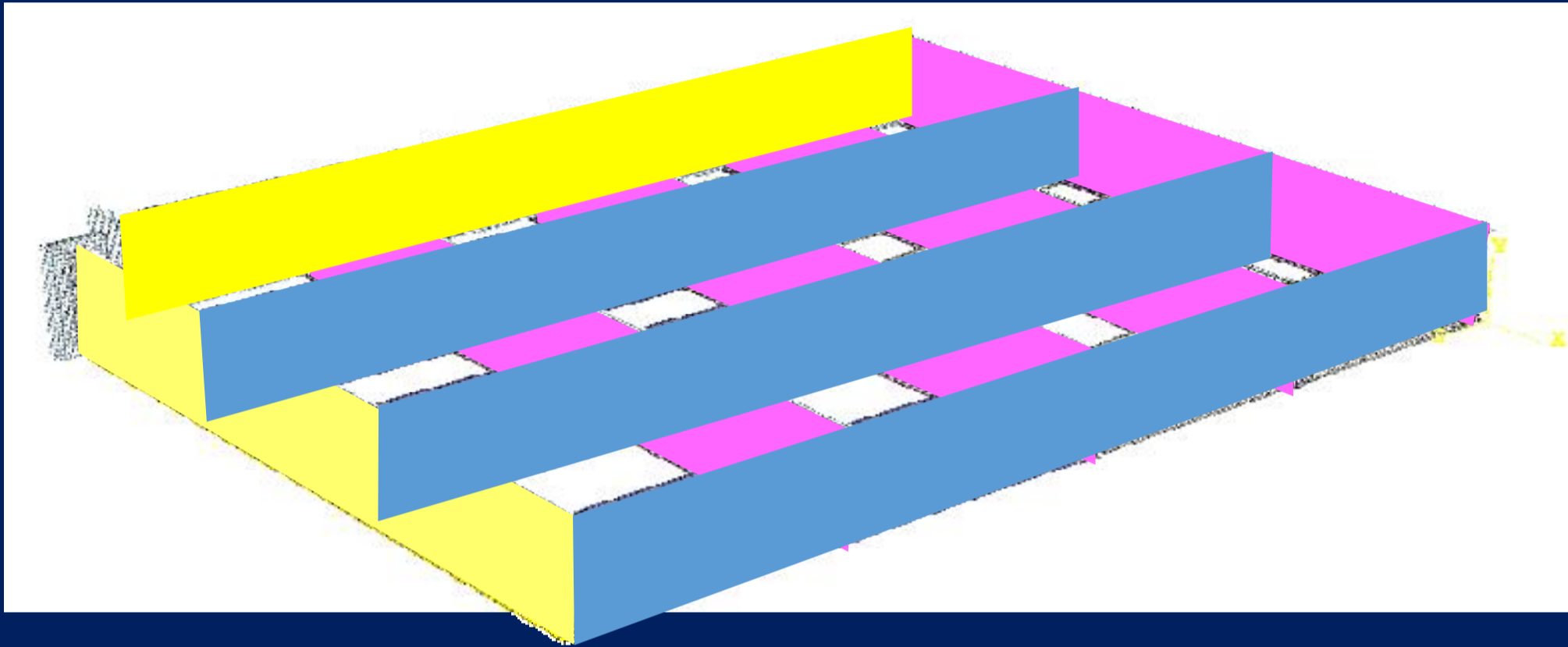
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



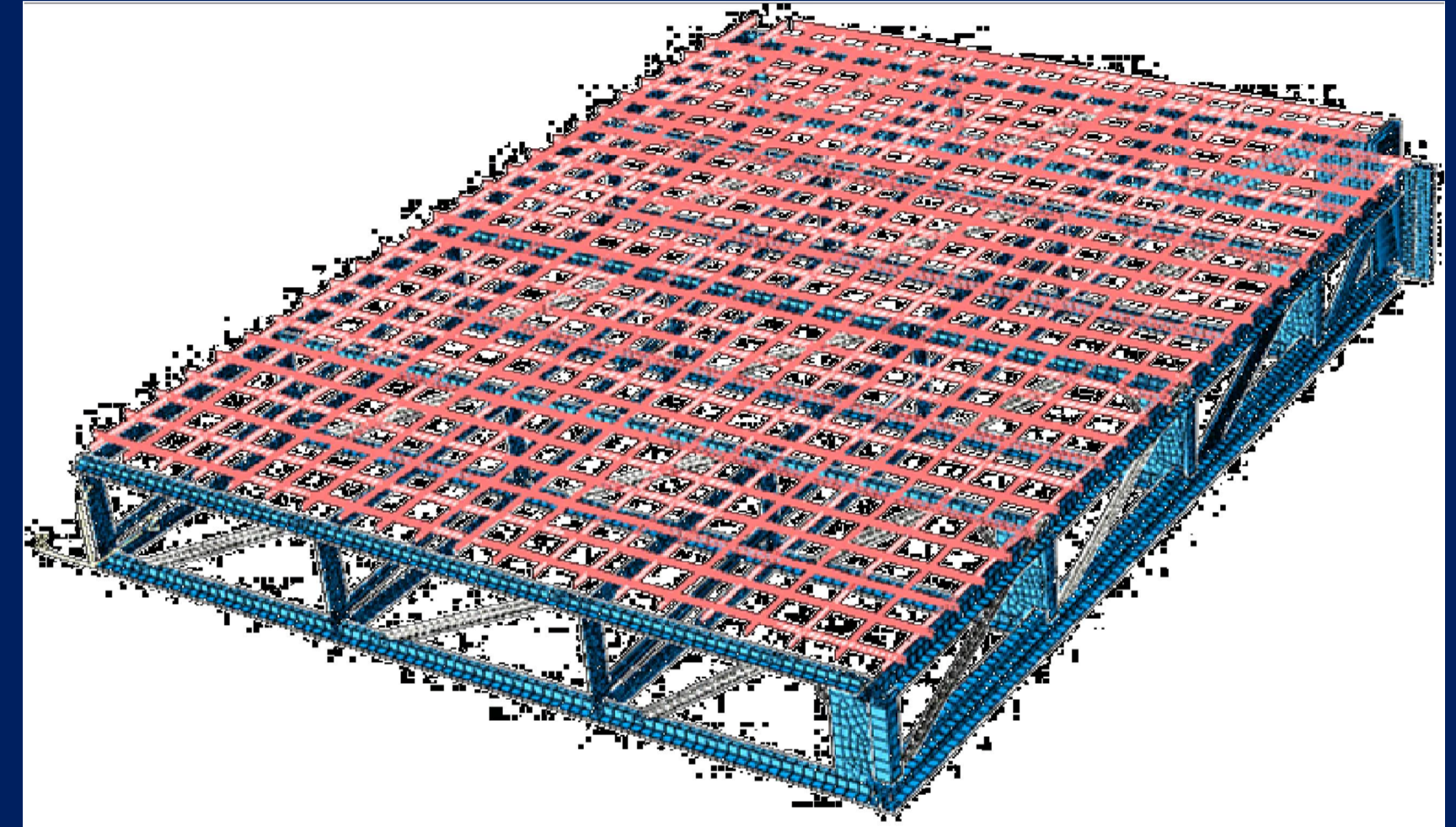
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



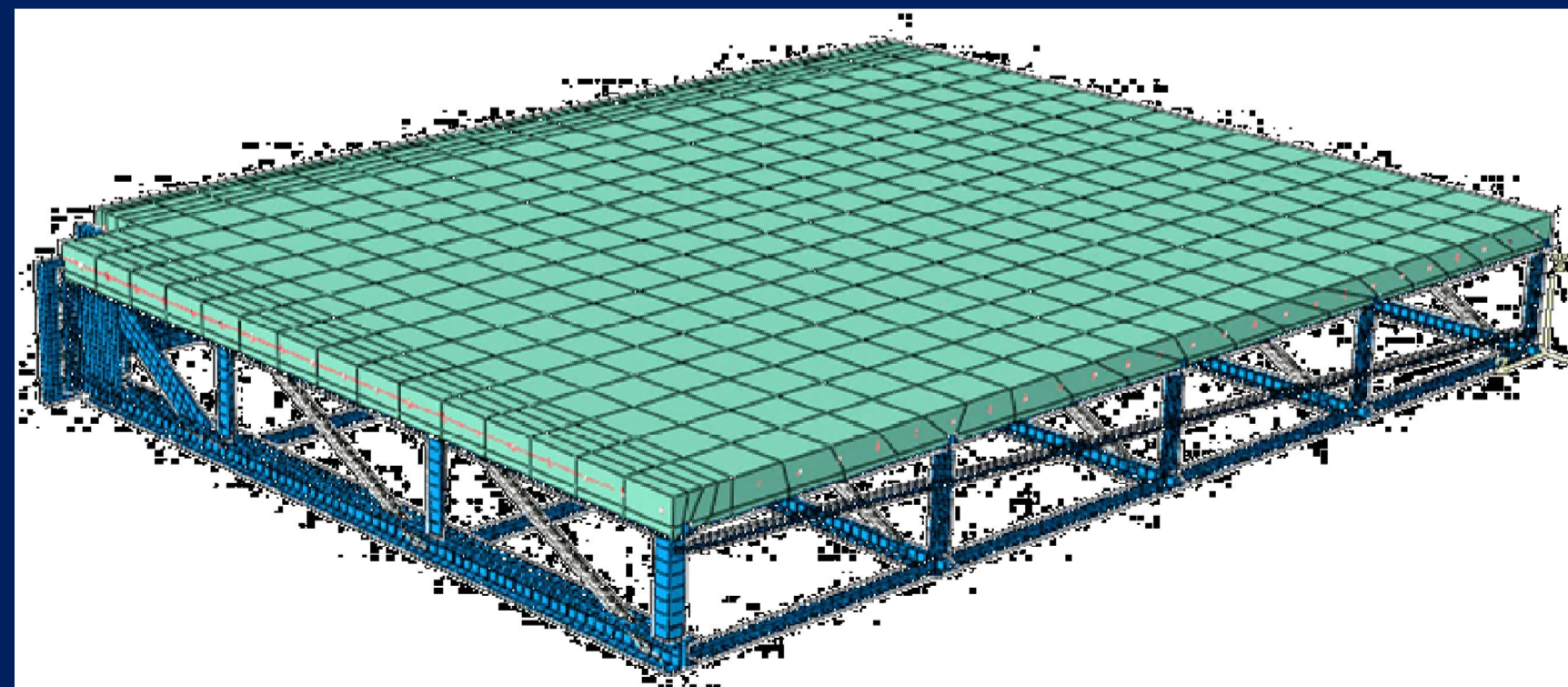
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



هندسه اجزای فلزی سقف

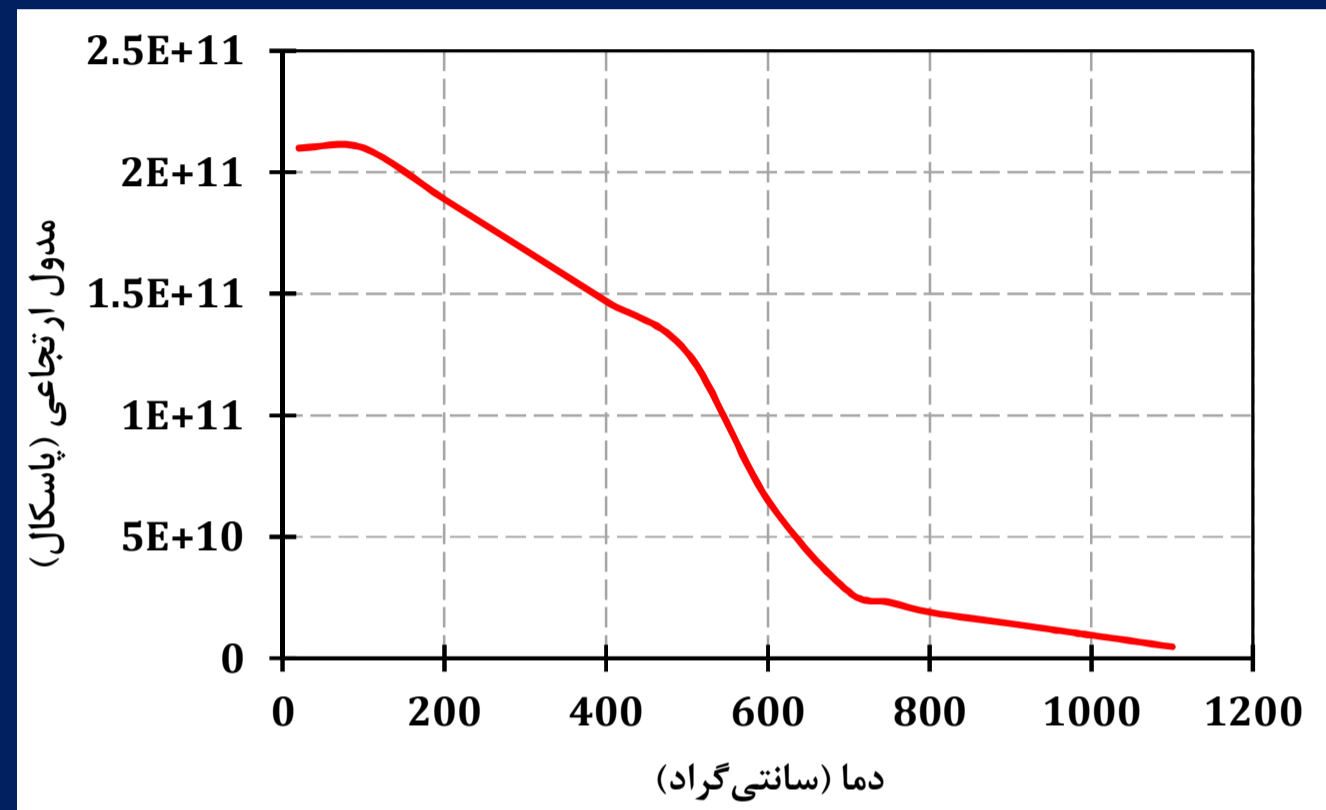


سفره آرماتورهای مسلح کننده دال بتنی

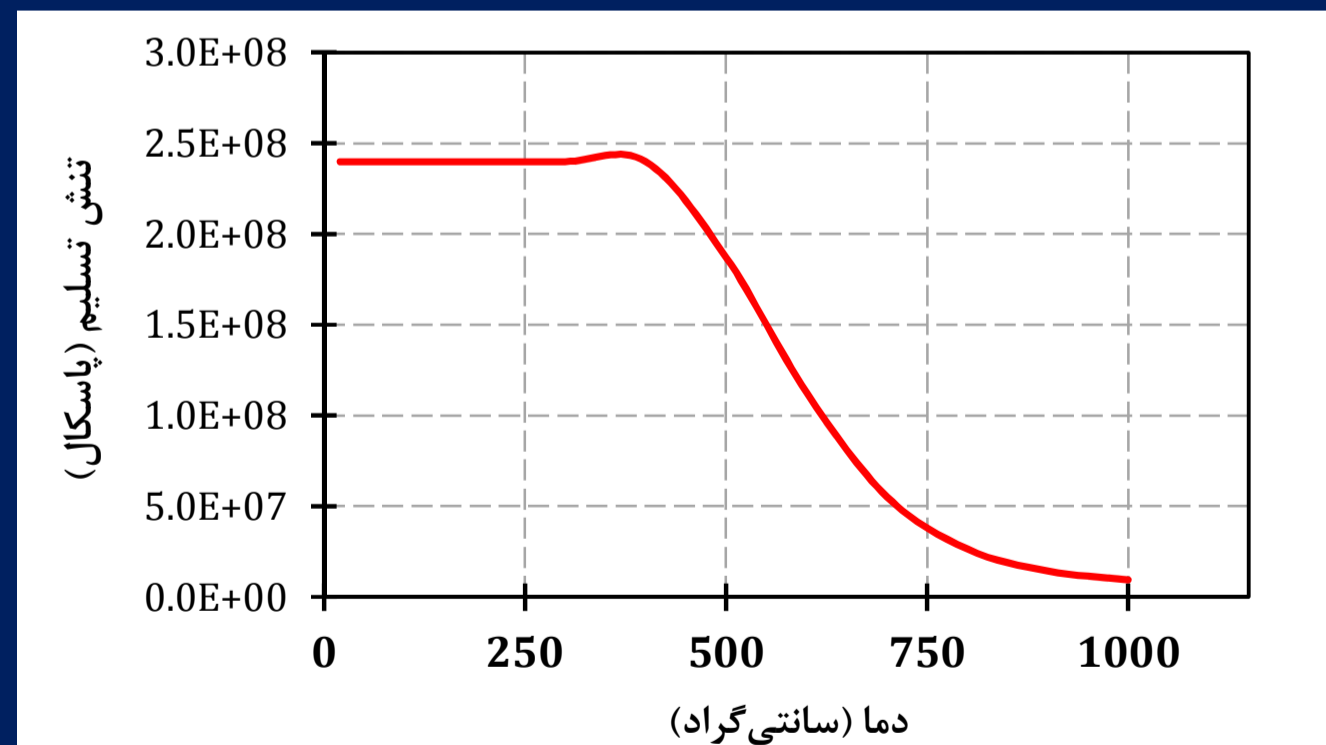


دال بتنی همراه با اجزای فلزی

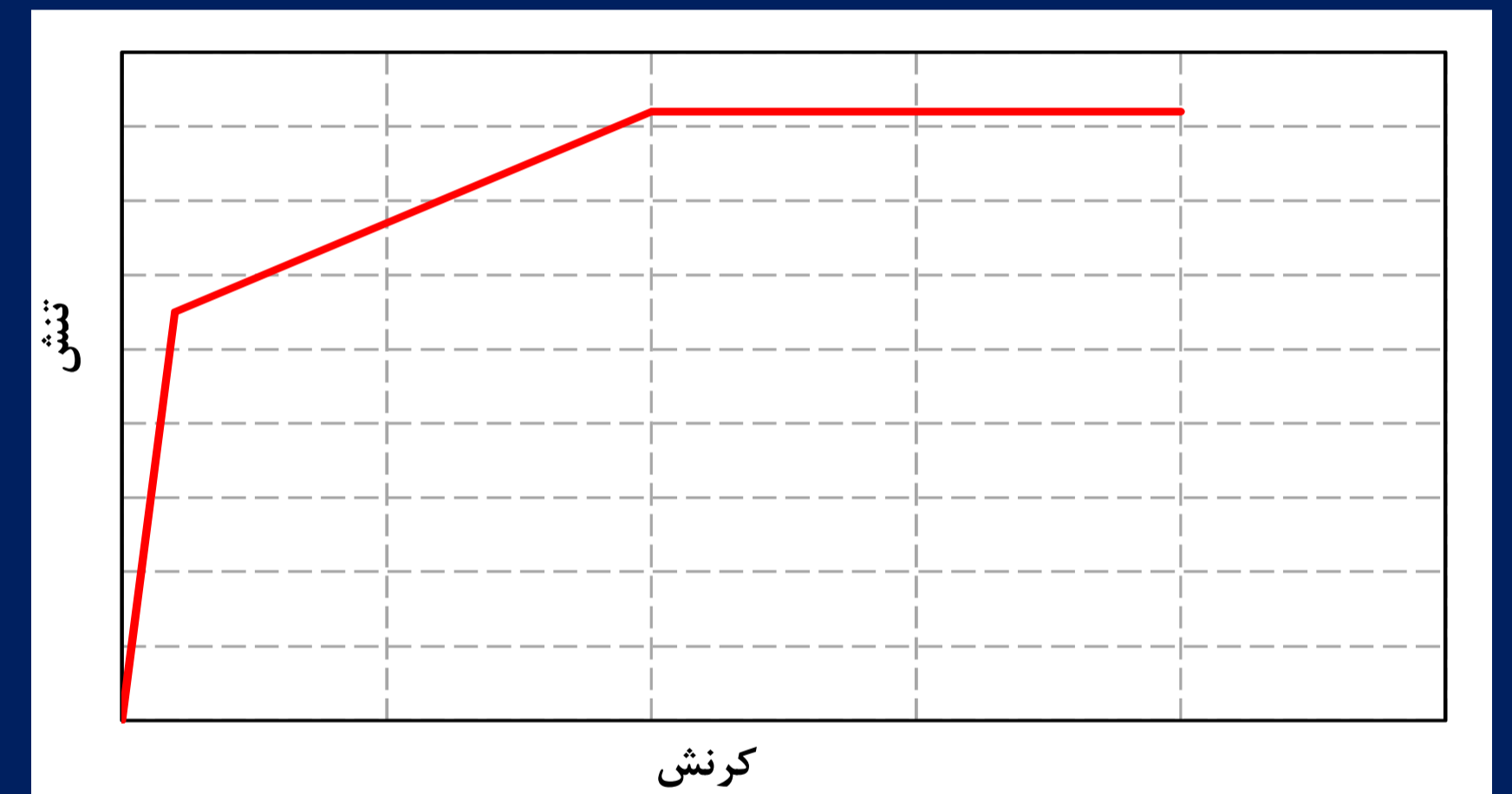
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



تغییرات مدول ارتجاعی فولاد در برابر دما

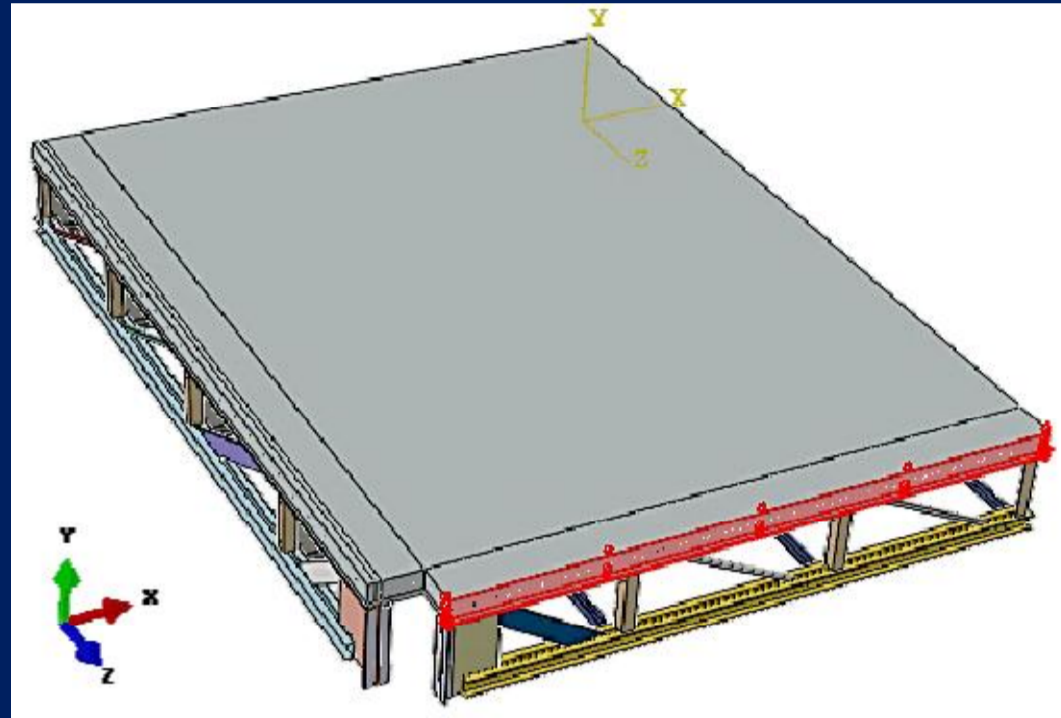


تغییرات تنش تسلیم فولاد در برابر دما

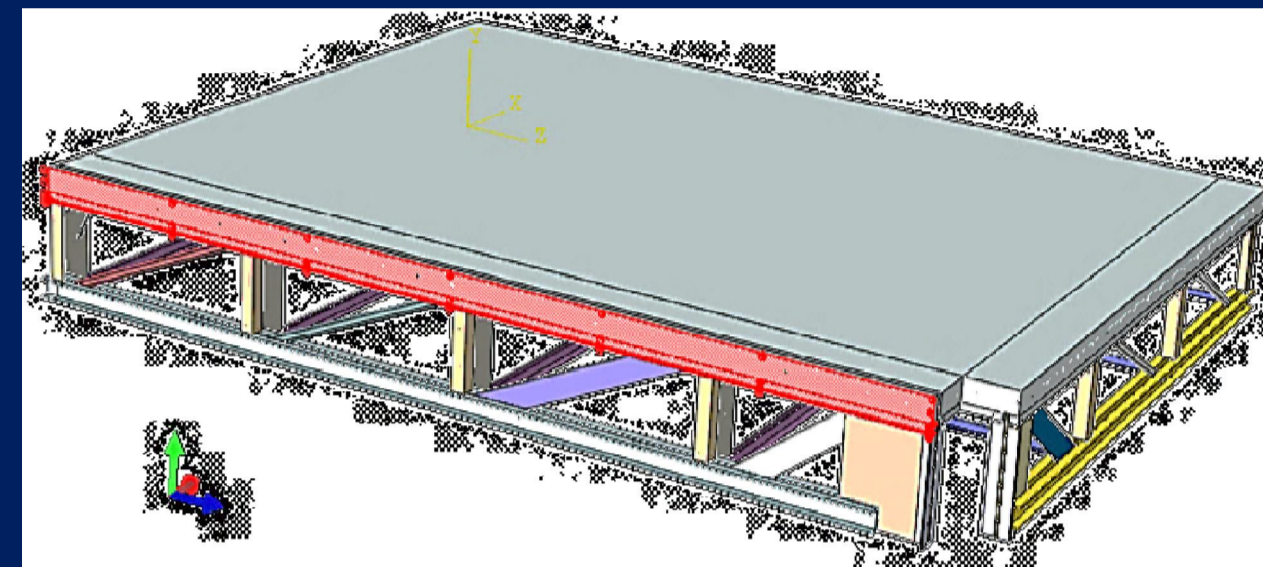


منحنی نمونه برای نمودار تنش کرنش فولاد (بدون مقیاس)

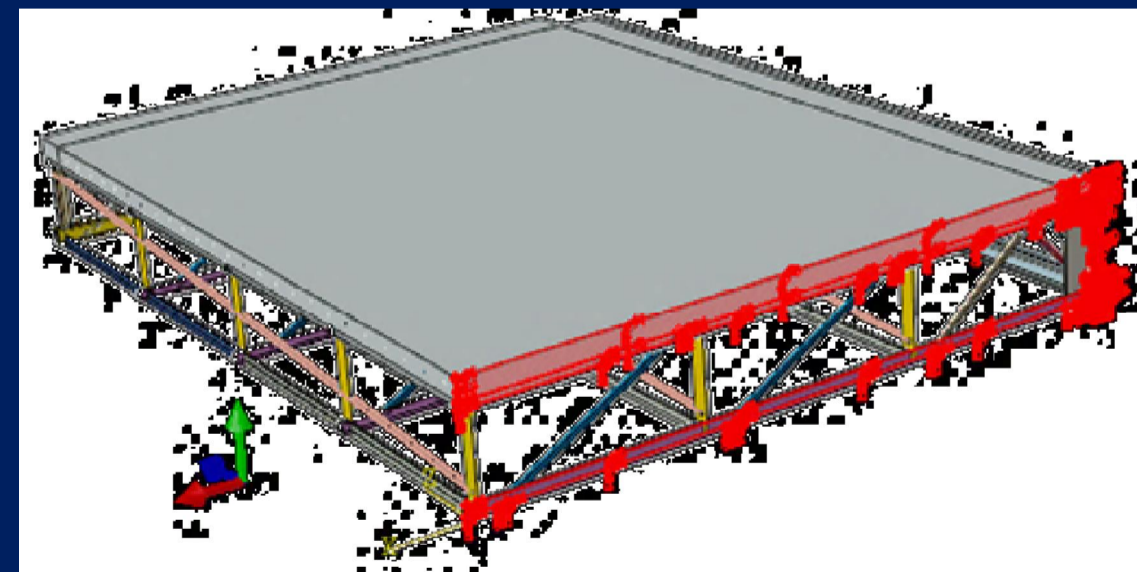
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



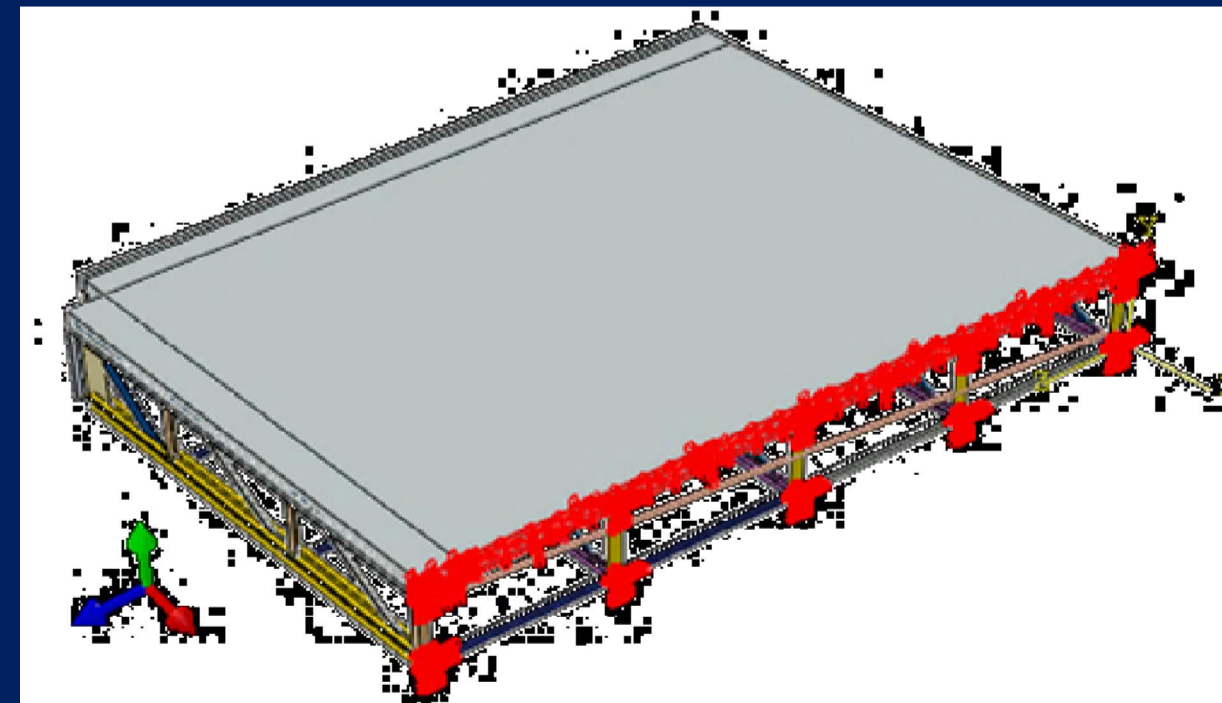
شرط مرزی در لبه کناری (تغییر مکان در جهت Z مقید شده است)



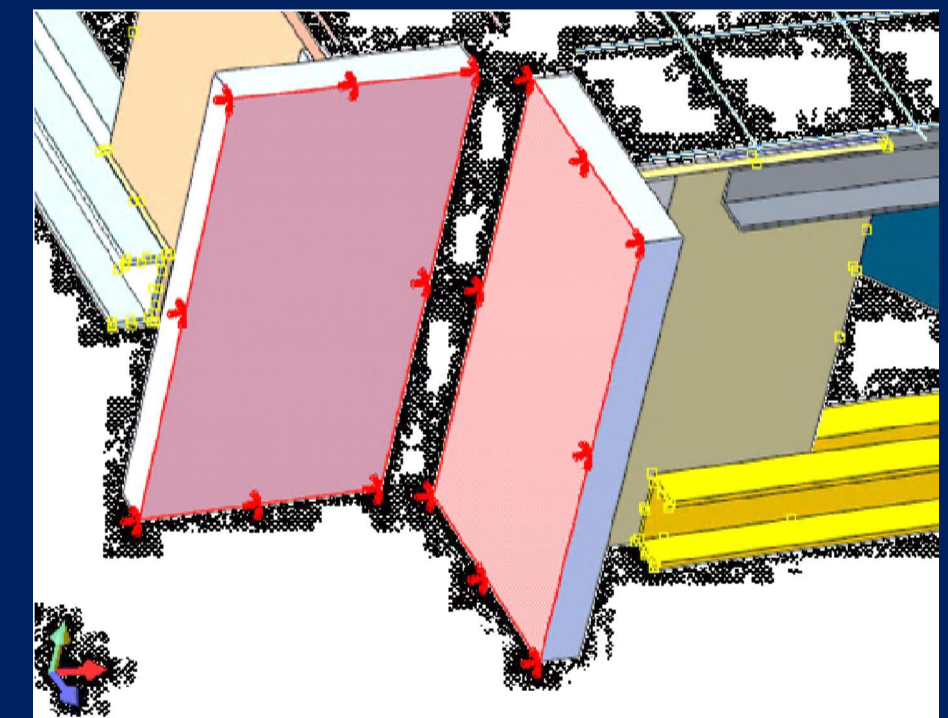
شرط مرزی در لبه کناری (تغییر مکان در جهت X مقید شده است)



شرط مرزی تقارن در لبه وسط (تغییر مکان در جهت Z مقید شده است)

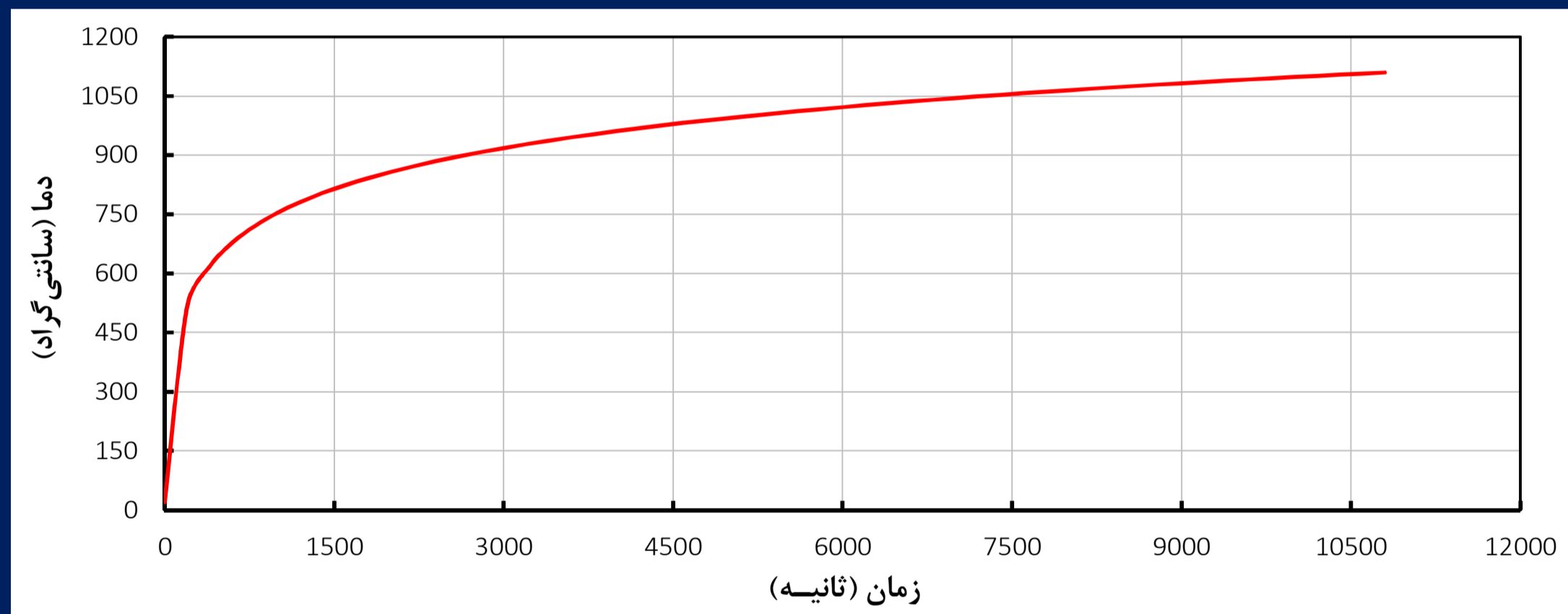


شرط مرزی تقارن در لبه وسط (تغییر مکان در جهت X مقید شده است)

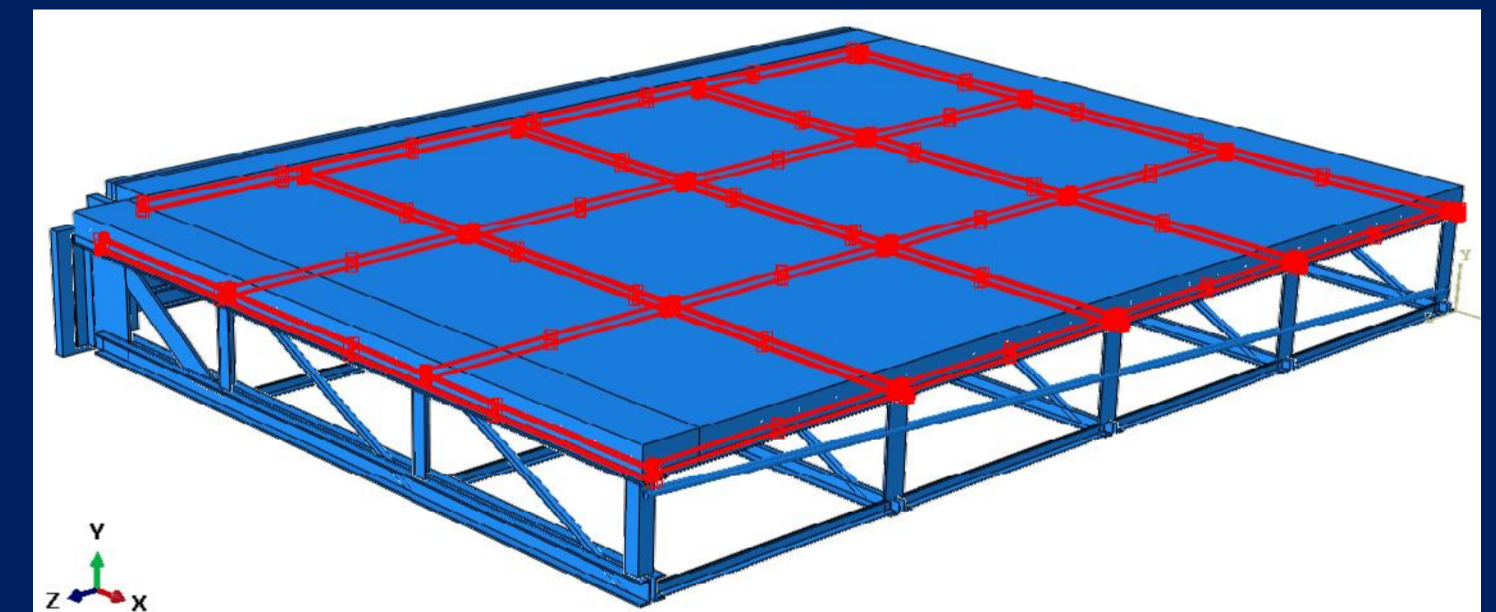
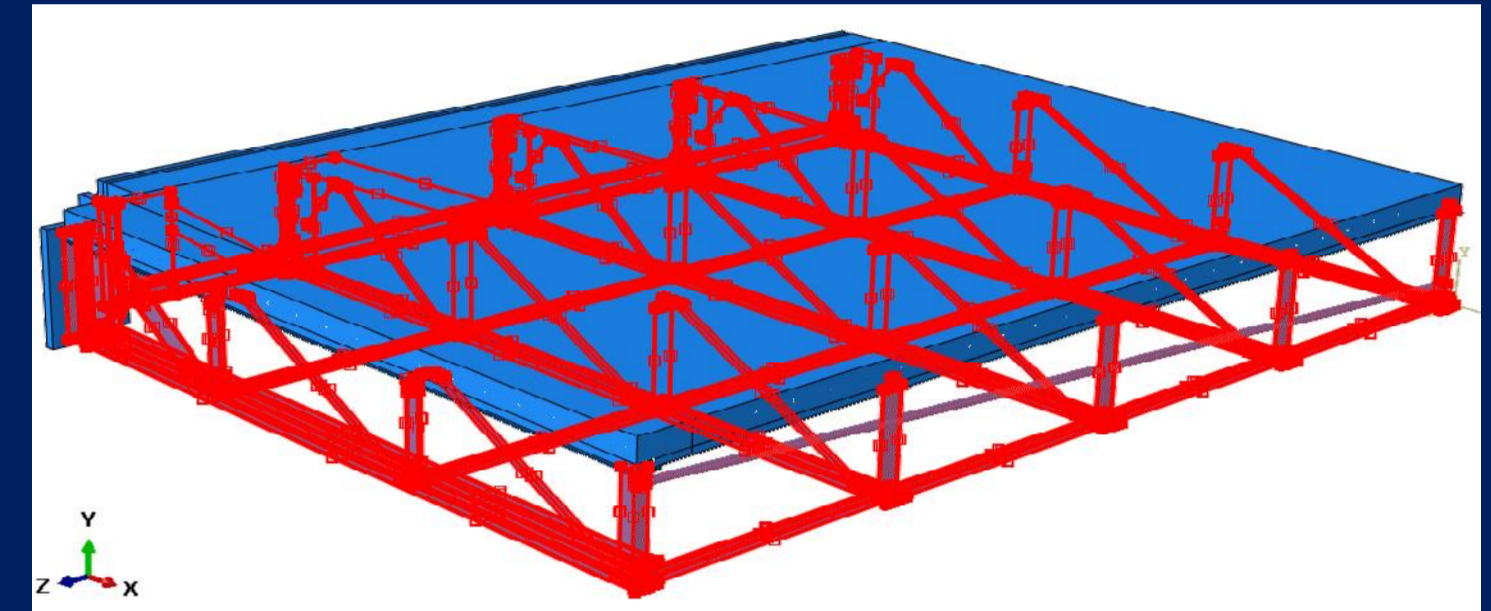


شرط مرزی ورق-های صلب در محل اتصال تیرهای اصلی به ستون (تمام درجات آزادی مقید شده-اند)

تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



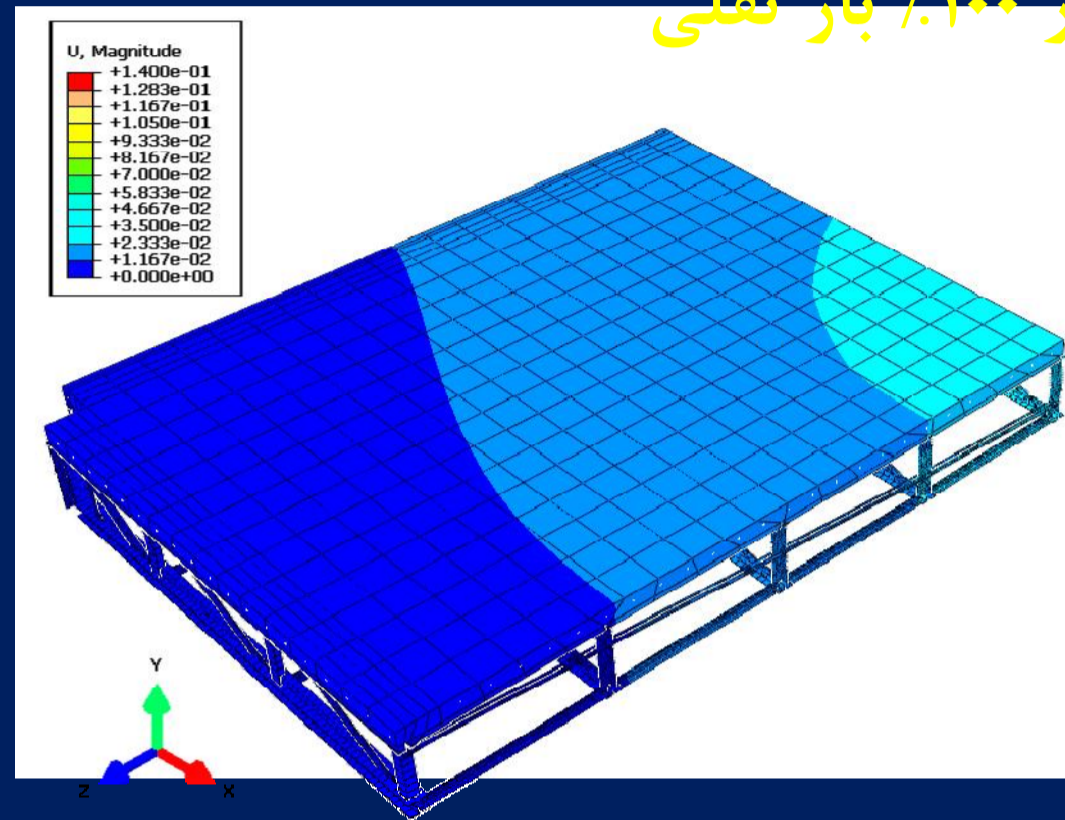
تابع افزایش حرارت



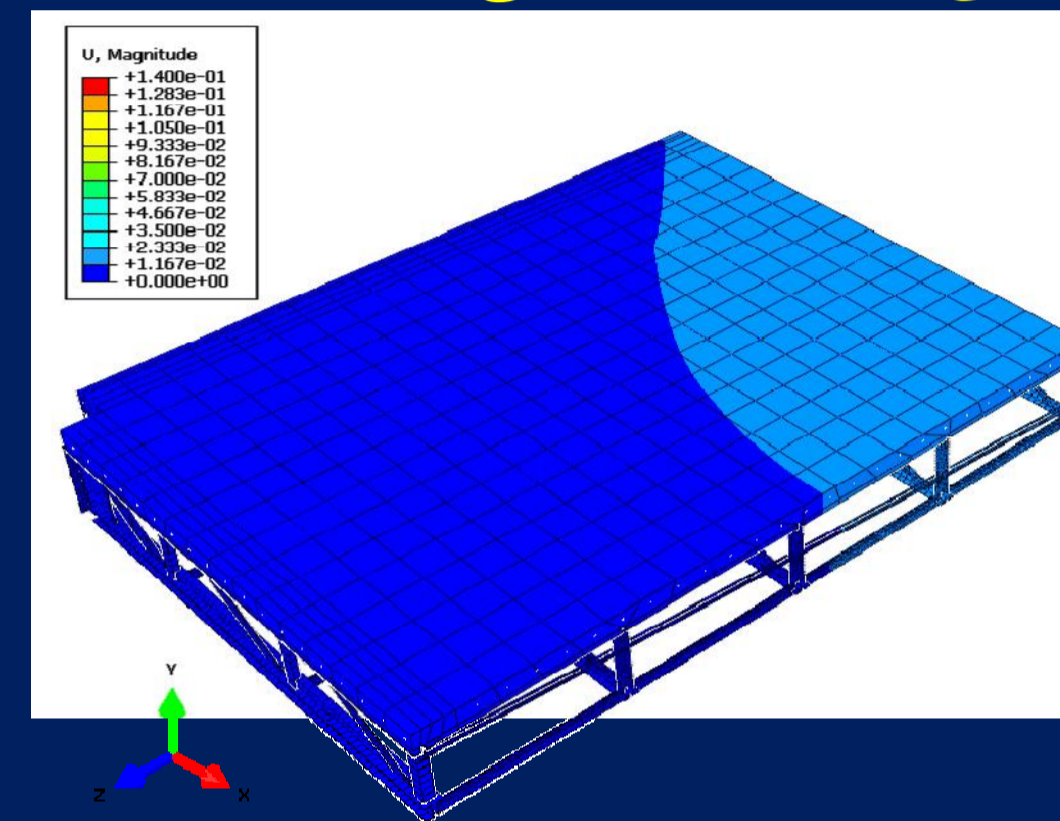
اجزای که تحت حرارت مستقیم قرار داده شده اند

تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS

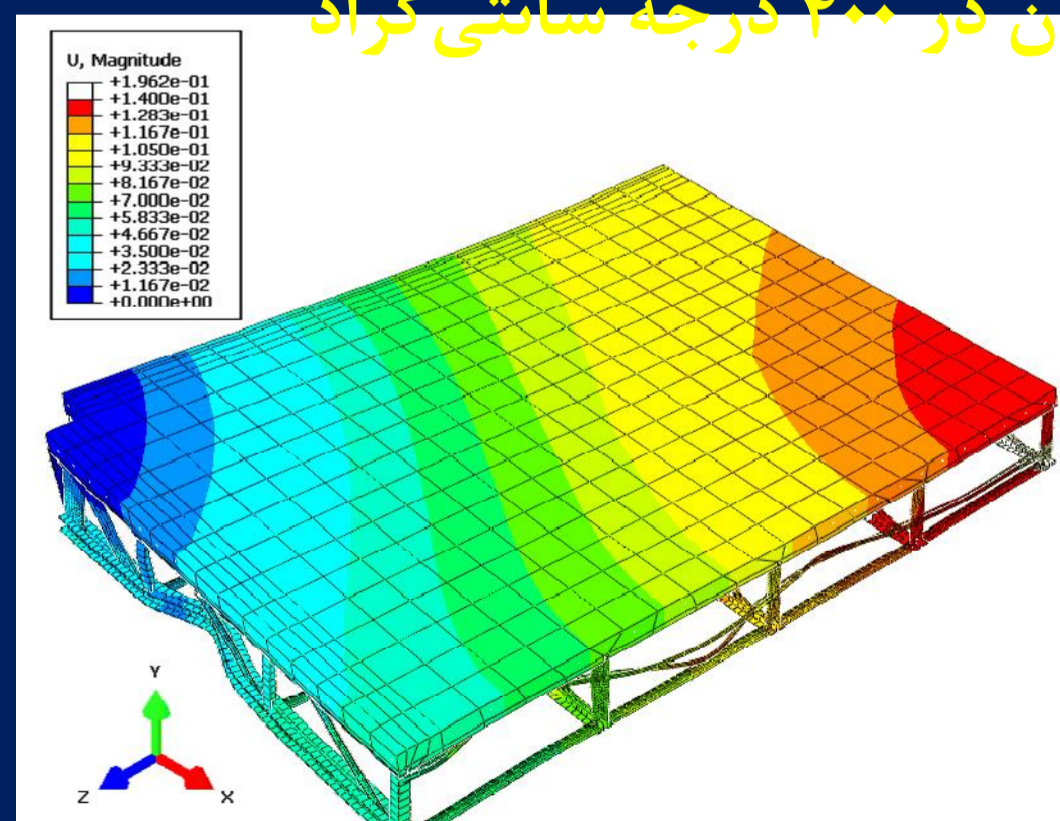
کانتور تغییرمکان در ۱۰۰٪ بار ثقلی



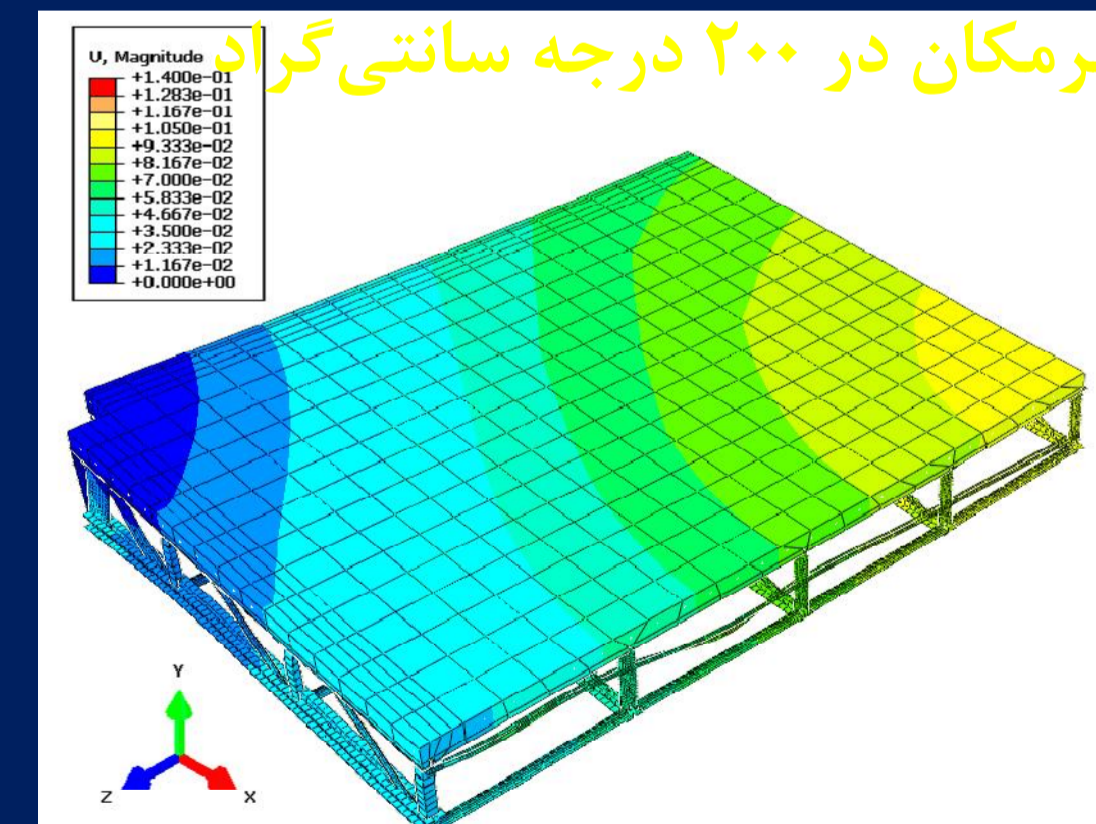
کانتور تغییرمکان در ۷۰٪ بار ثقلی



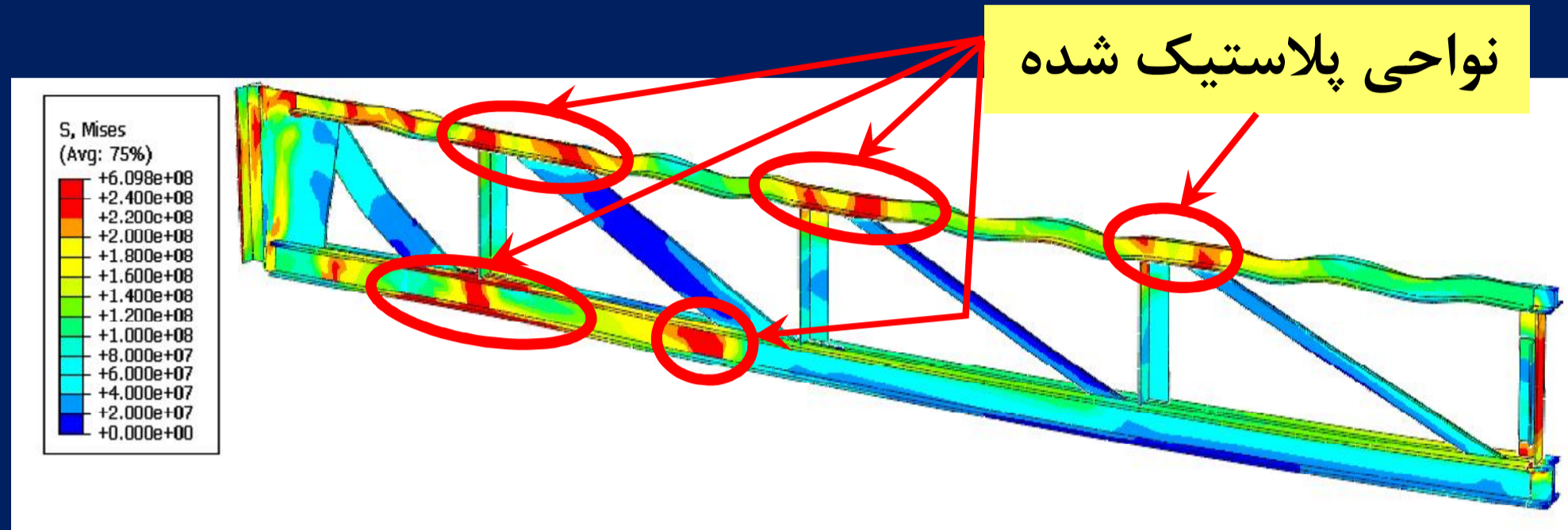
کانتور تغییرمکان در ۴۰۰ درجه سانتی گراد



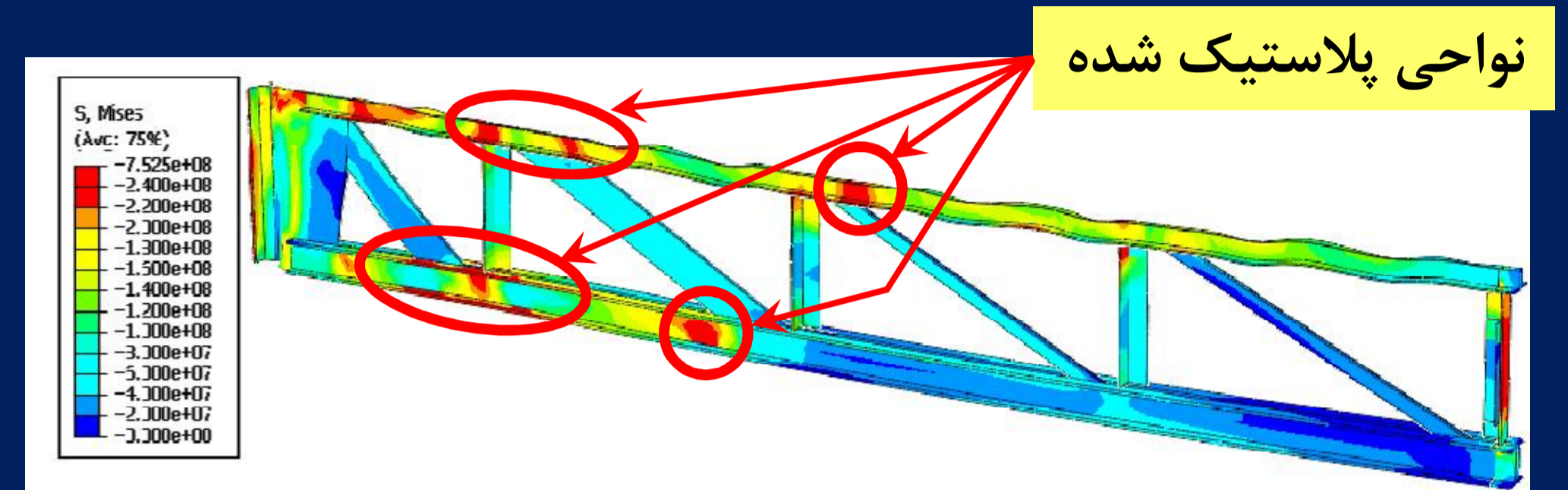
کانتور تغییرمکان در ۲۰۰ درجه سانتی گراد



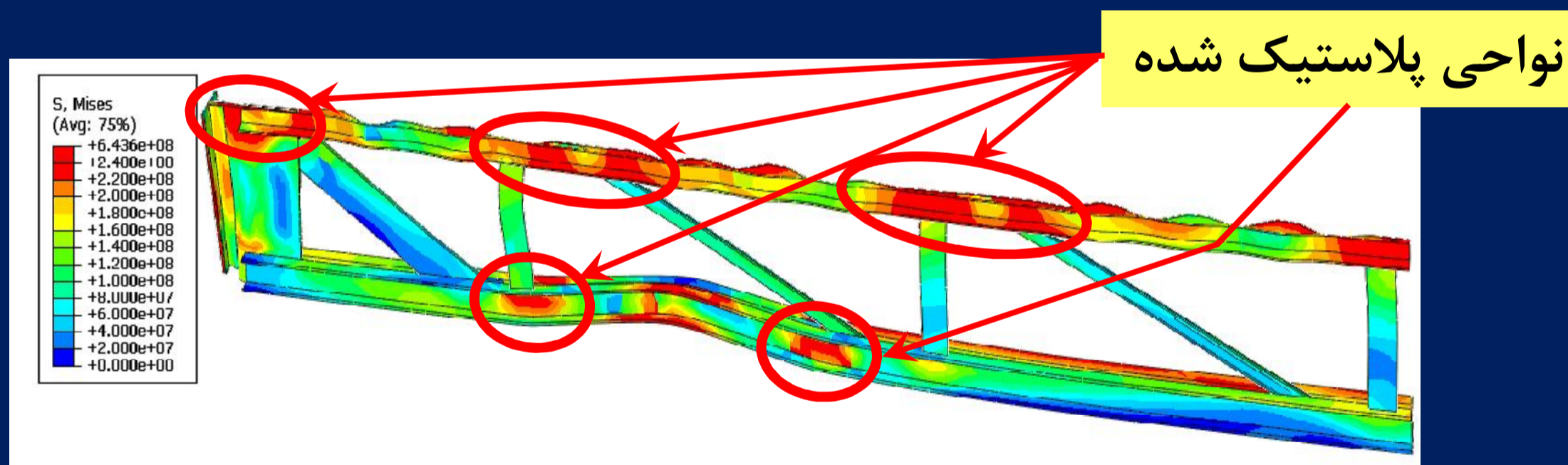
تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS



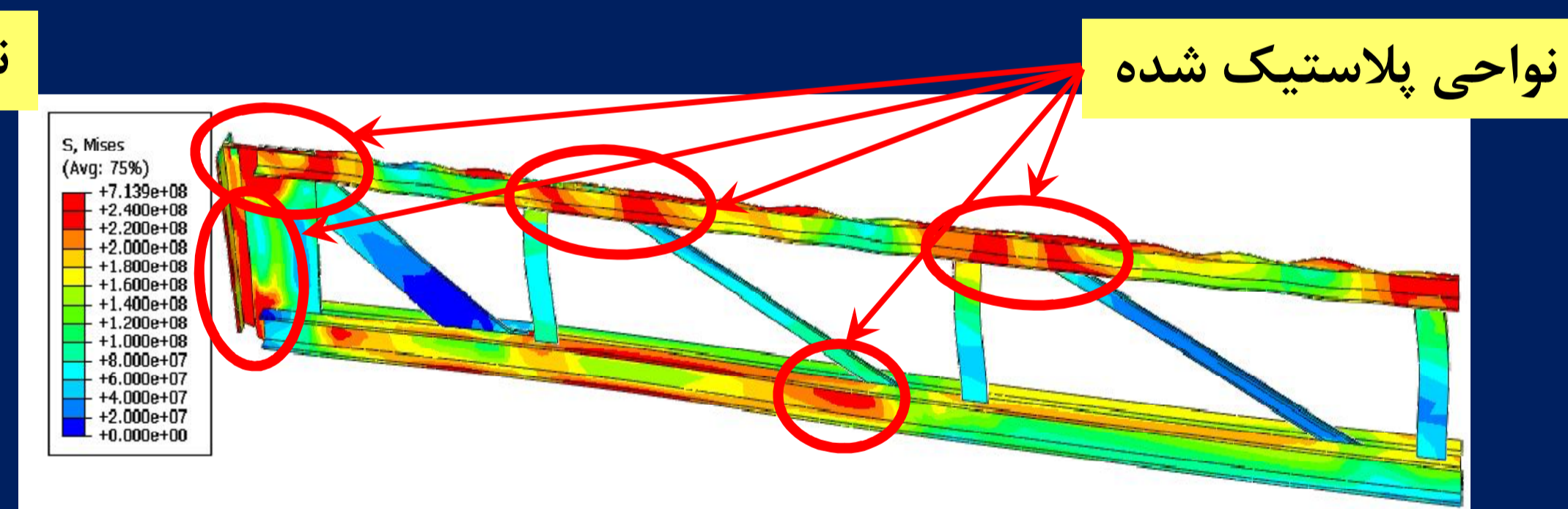
کانتور تنش فون-میزز تیر اصلی TR1 در دمای ۴۰۰ درجه سانتی-گراد (ضریب بزرگنمایی ۲)



کانتور تنش فون-میزز تیر اصلی TR1 در دمای ۲۰۰ درجه سانتی-گراد (ضریب بزرگنمایی ۲)



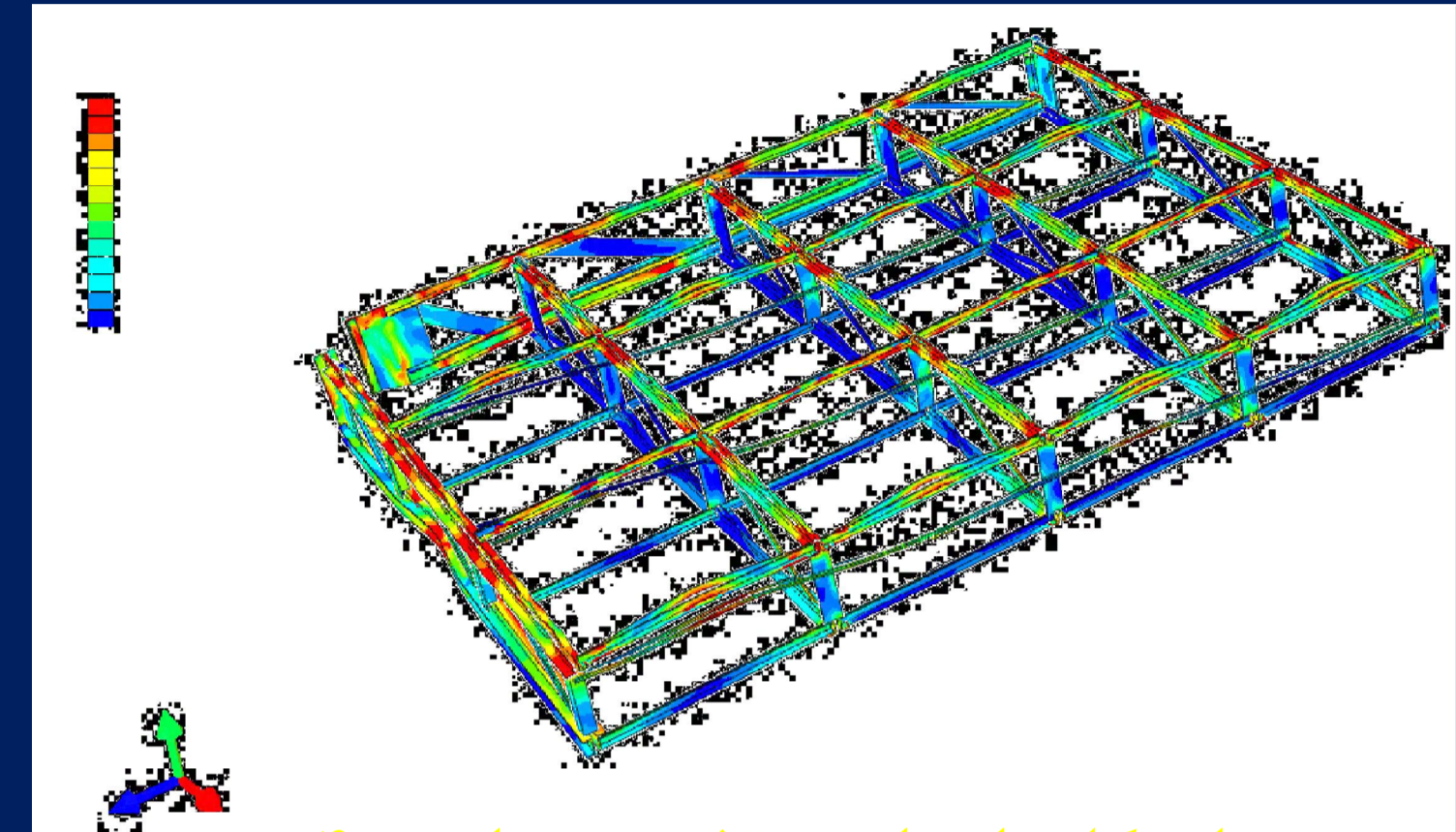
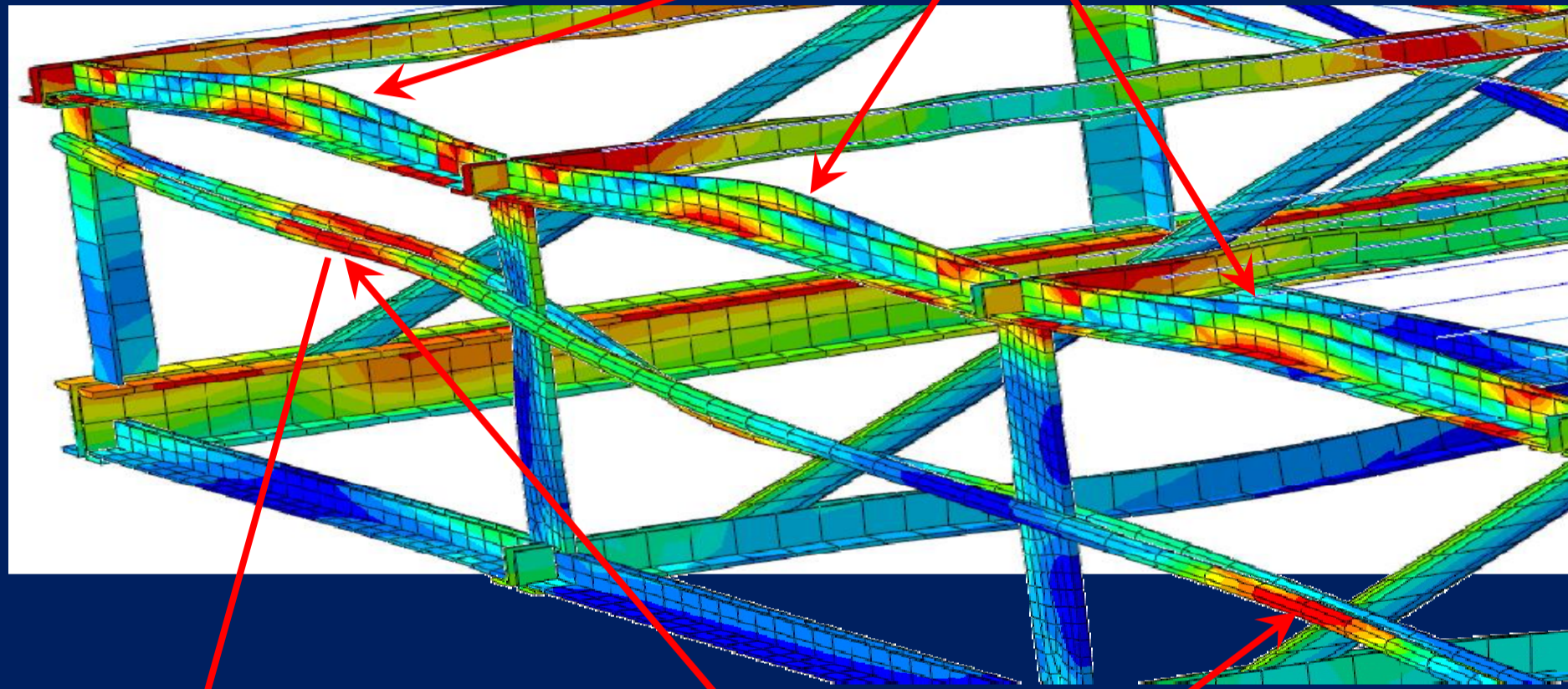
کانتور تنش فون-میزز تیر اصلی TR2 در دمای ۴۰۰ درجه سانتی-گراد (ضریب بزرگنمایی ۲)



کانتور تنش فون-میزز تیر اصلی TR2 در دمای ۲۰۰ درجه سانتی-گراد (ضریب بزرگنمایی ۲)

تحلیل گذرای حرارتی - جابجایی یک چشمه سقف با نرم افزار ABAQUS

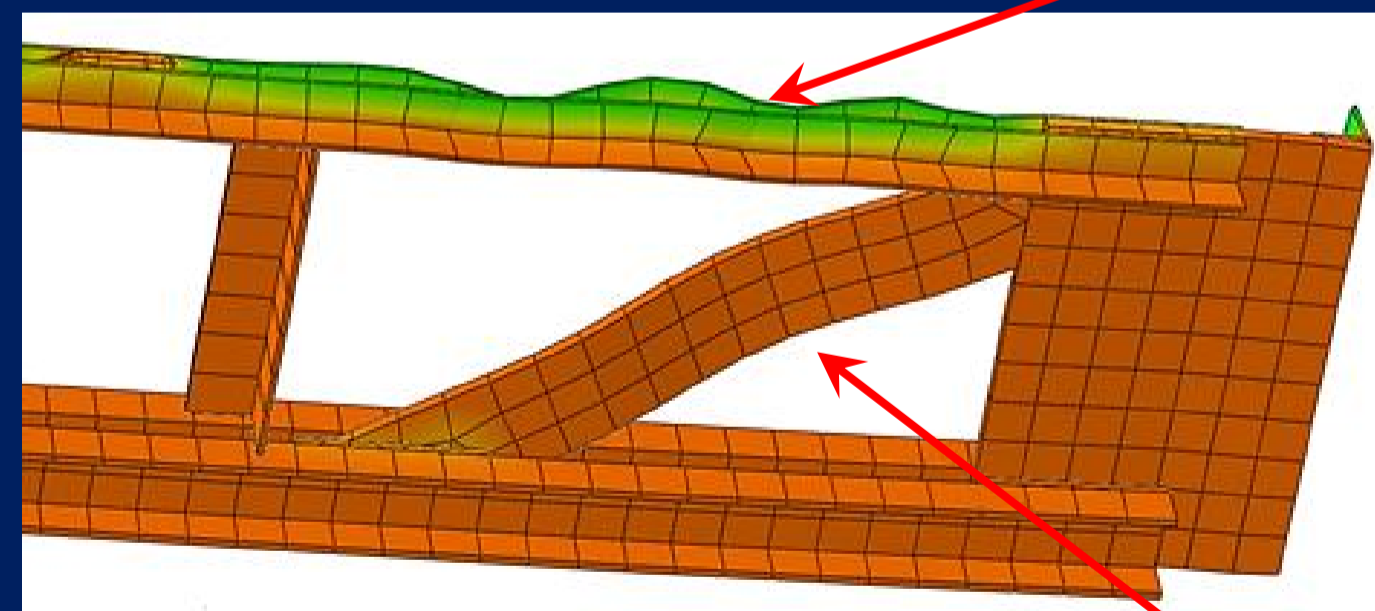
کمانش یال فوقانی کلاف



نمای کلی اجزای سقف در دمای ۴۰۰ درجه

کمانش در یال فوقانی

پلاستیک شدن
میل گردهای
کلاف عرضی



تغییر شکل عضو قطری

گلوئی شدن میلگردها



تحلیل غیرخطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

به منظور بررسی اثرات آتش سوزی بر رفتار سازه، رفتار یکی از قاب‌های میانی ساختمان (قاب محور C) با استفاده از نرم افزار OpenSees مورد بررسی قرار گرفته است.

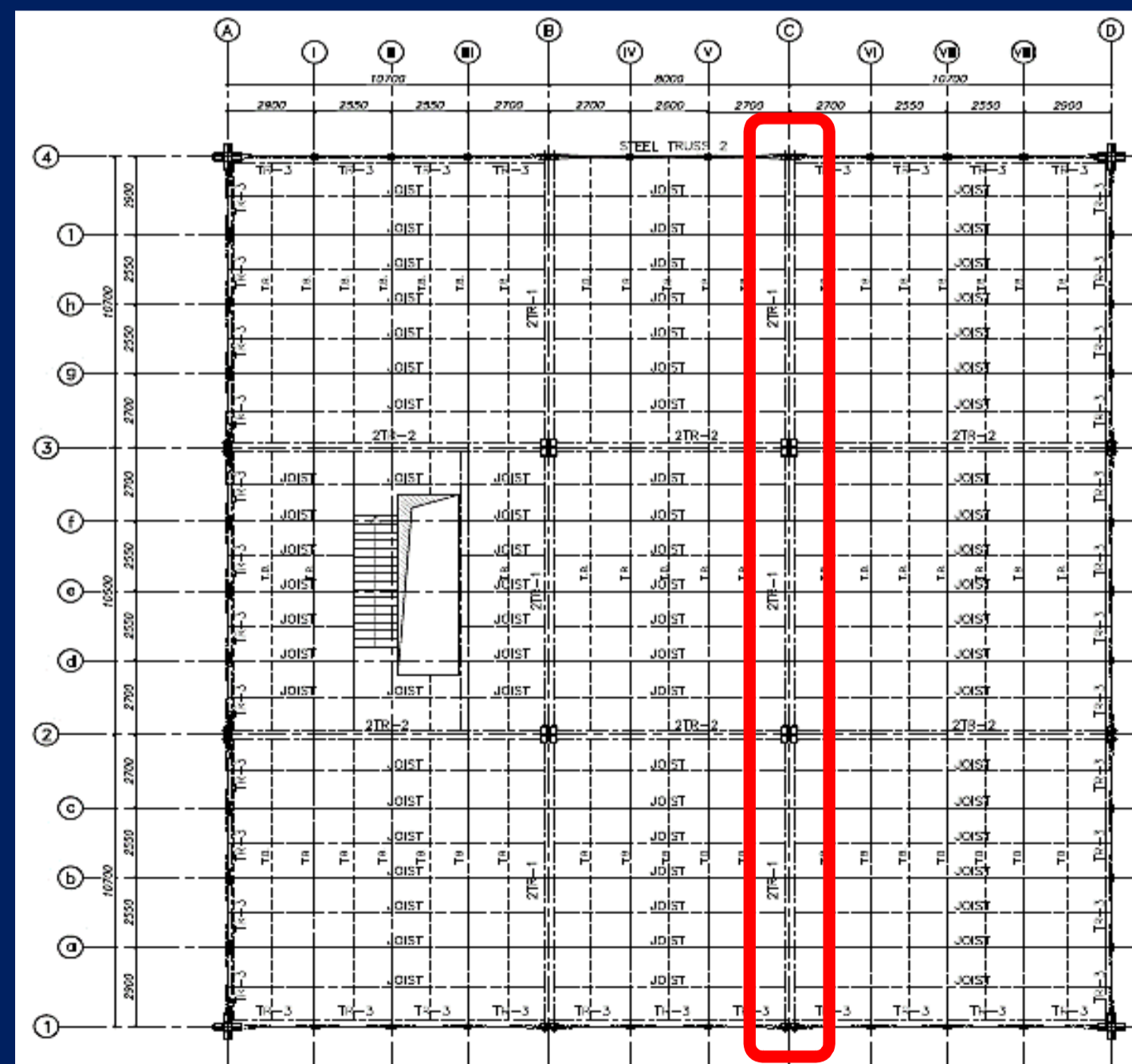
ضرایب کاهش مقاومت فولاد نرمه در دماهای مختلف

هدف از این مدلسازی‌ها در درجه اول تعیین تغییرات خیز خرابی اصلی و در درجه دوم، بررسی تغییر فرم قاب میانی و چگونگی تغییر نیروی محوری ستون‌های سازه در دماهای مختلف بوده است.

مدل‌ها به صورت دویبعدی بوده و در تحلیل سازه شرایط مختلفی برای نواحی در معرض آتش سوزی در نظر گرفته شده است.

برای در نظر گرفتن اثرات افزایش دمای محیط بر رفتار کلی سازه از نسخه 2.4.0 نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است که قابلیت لحاظ کردن افت مشخصات مکانیکی فولاد را با افزایش دما دارا می‌باشد.

Steel Temperature θ_s	Reduction factors at temperature θ_s relative to the value of f_y or E_s at 20°C		
	Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to E_s) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{s,\theta}/E_s$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225



پلان سازه و موقعیت محور C

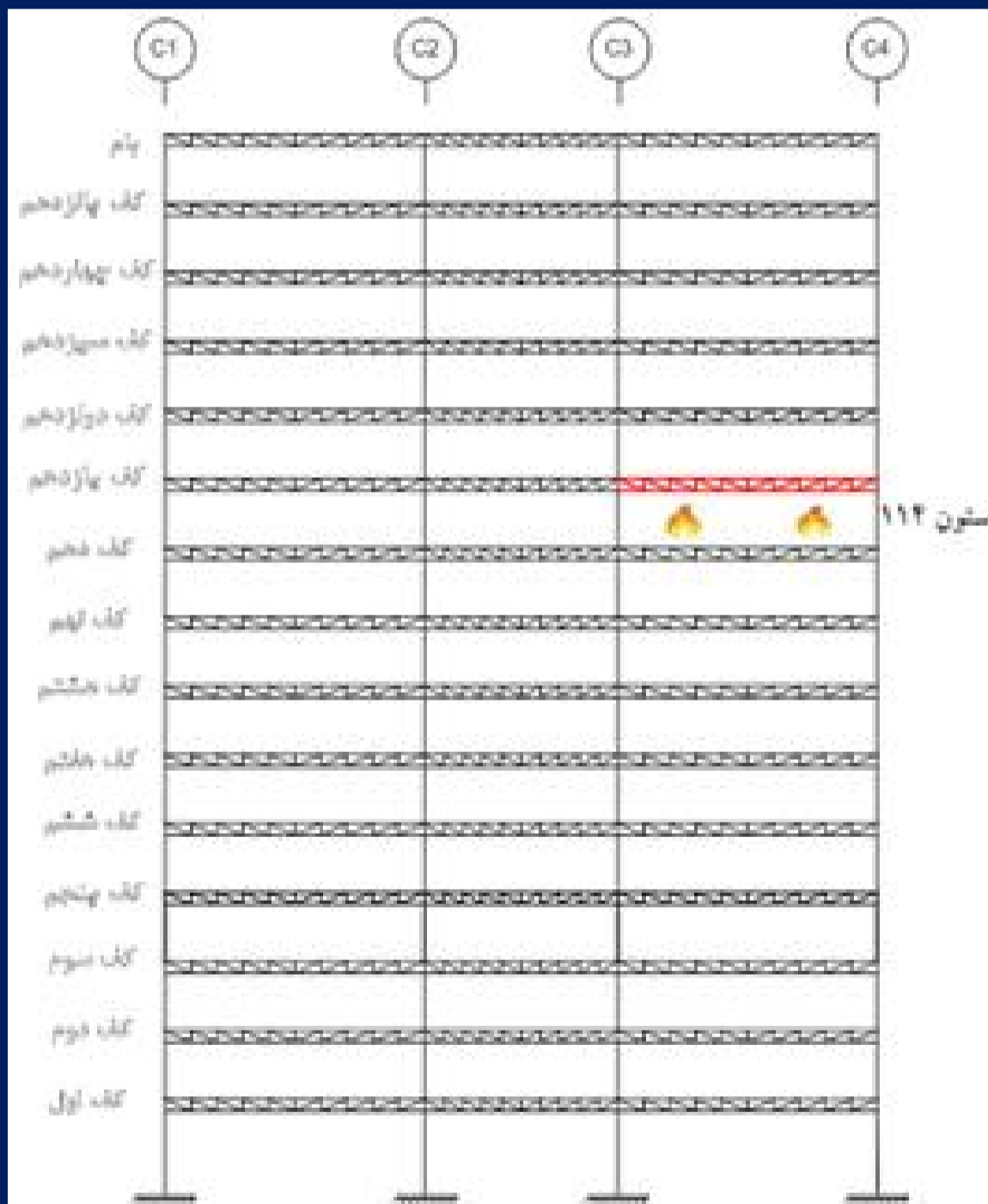
تحلیل غیر خطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

قاب مورد مطالعه در این بخش، در دو مدل مجزا و با در نظر گرفتن دو ناحیه متفاوت برای آتش سوزی مورد مطالعه قرار گرفته است.

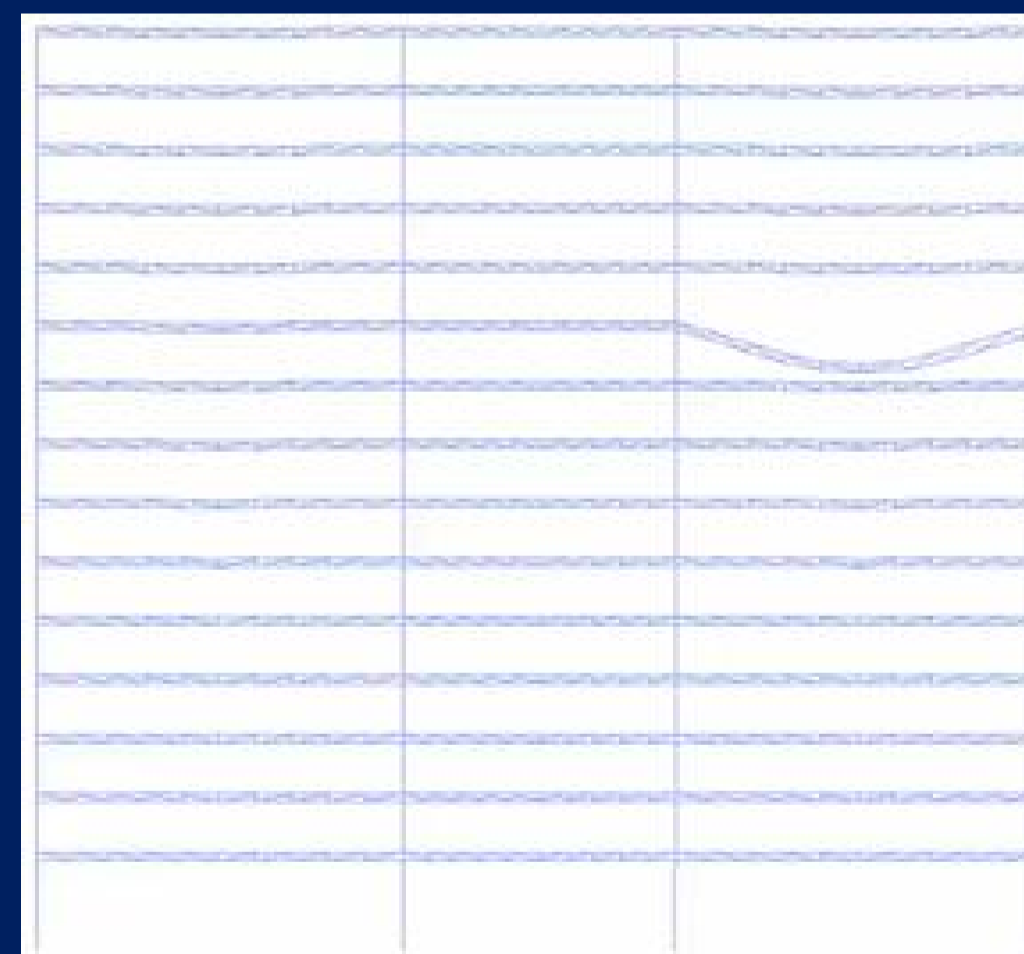
شماره مدل	نام مدل	وضعیت دمایی فرض شده در نواحی مختلف
۱	Heated Model-1	افزایش دمای اعضای خرپای اصلی کف یازدهم در دهانه C3-C4 تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد
۲	Heated Model-2	افزایش دمای تیرها و ستون‌های کف یازدهم و دوازدهم تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد

خلاصه نتایج مدل شماره ۱

تا دمای ۵۷۰ درجه سانتی‌گراد تیر خرپایی ستون کناری را به سمت بیرون هدایت می‌کند اما در دماهای بالاتر خیز تیر خرپایی زیاد شده و ستون‌های کناری را به سمت داخل می‌کشد.

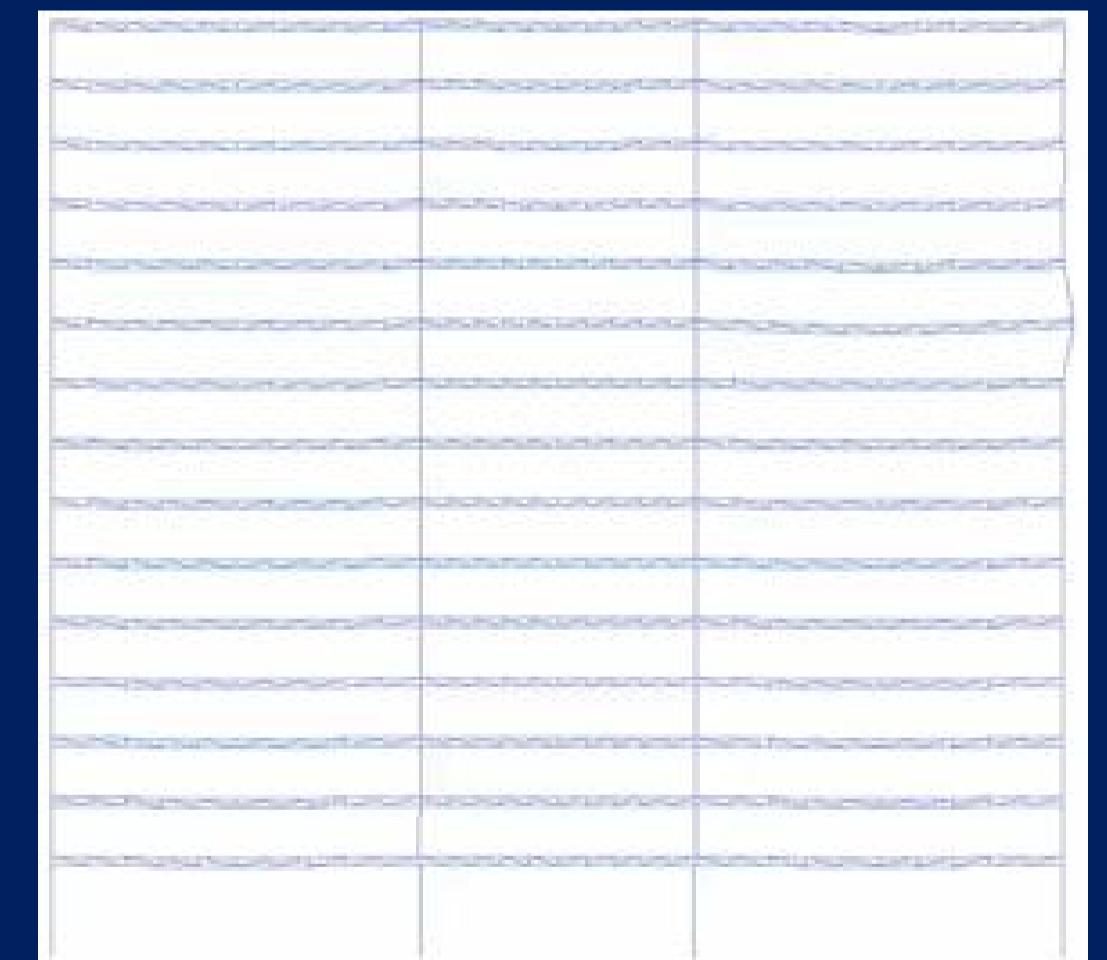


نواحی تحت تاثیر آتش سوزی در مدل شماره ۱



دمای ۸۰۰ درجه

تغییر شکل قاب در دماهای مختلف در مدل شماره ۱ (ضریب بزرگ‌نمایی = ۳)

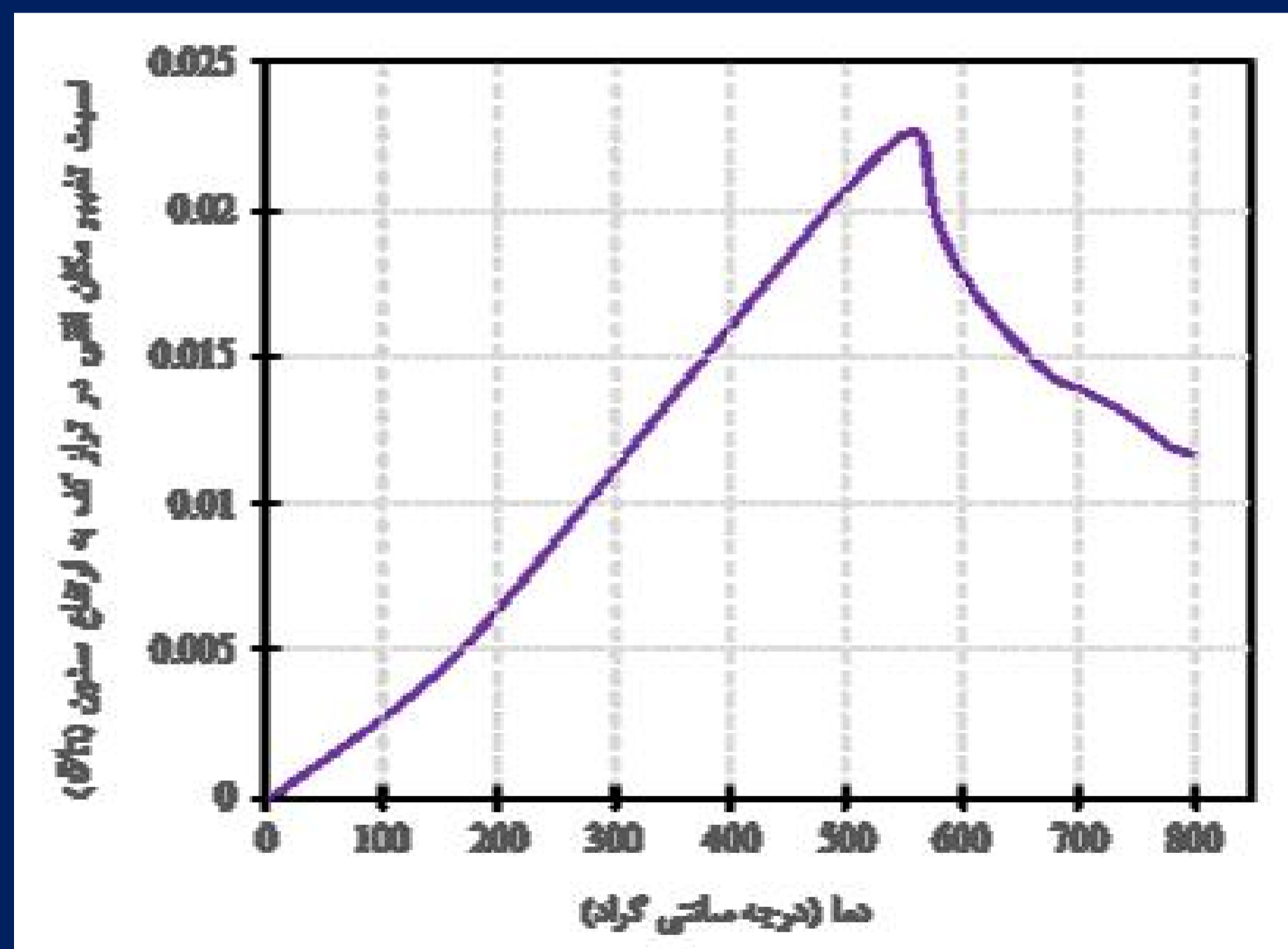


دمای ۵۷۰ درجه

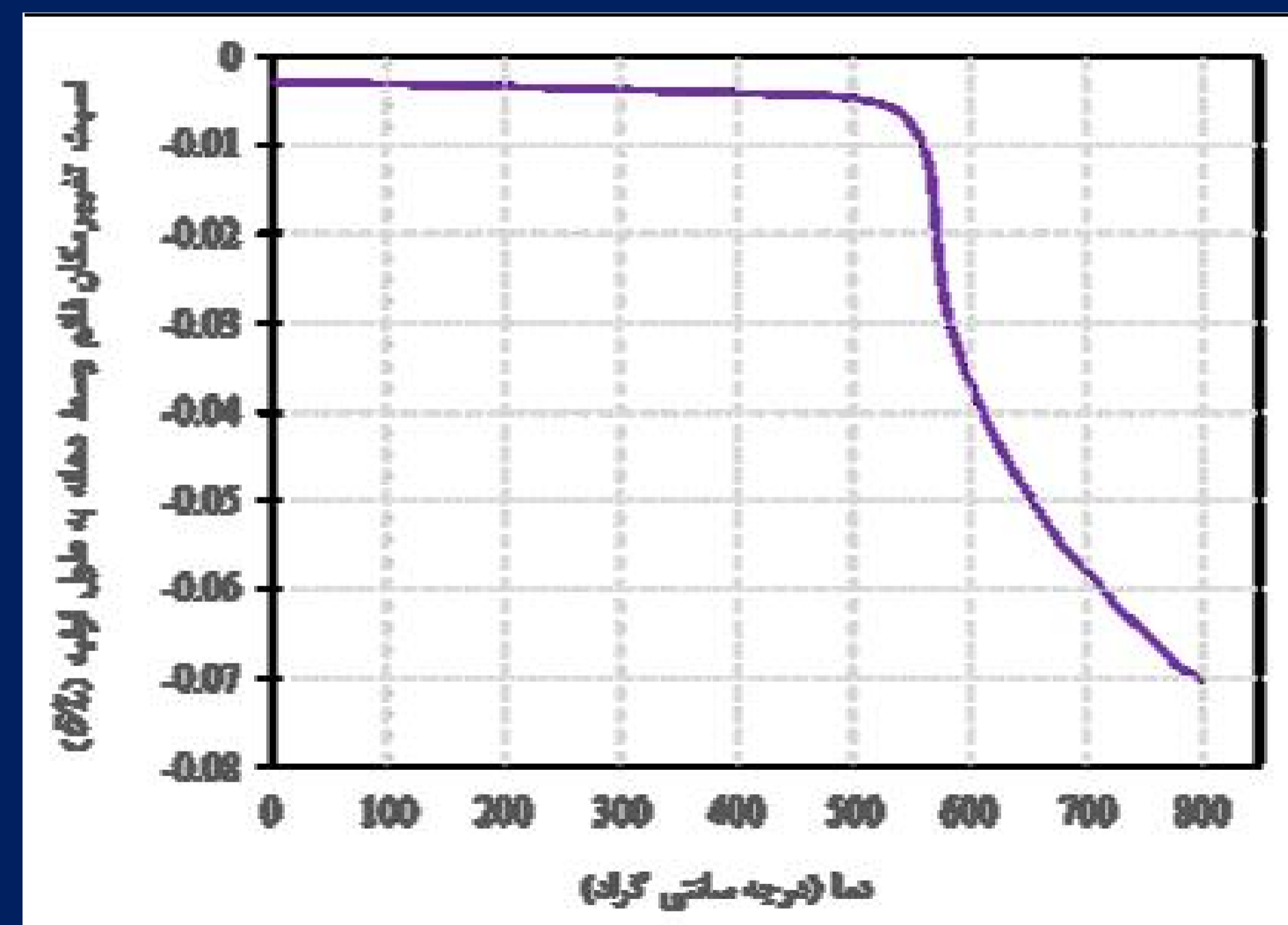
تحلیل غیر خطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

خلاصه نتایج مدل شماره ۱

تا دمای ۵۷۰ درجه سانتی گراد تیر خرپایی ستون کناری را به سمت بیرون هدایت می کند. در دماهای بالاتر خیز تیر خرپایی زیاد شده و ستون های کناری را به سمت داخل می کشد.



جابجایی افقی ستون ۱۱۴ با تغییرات دما



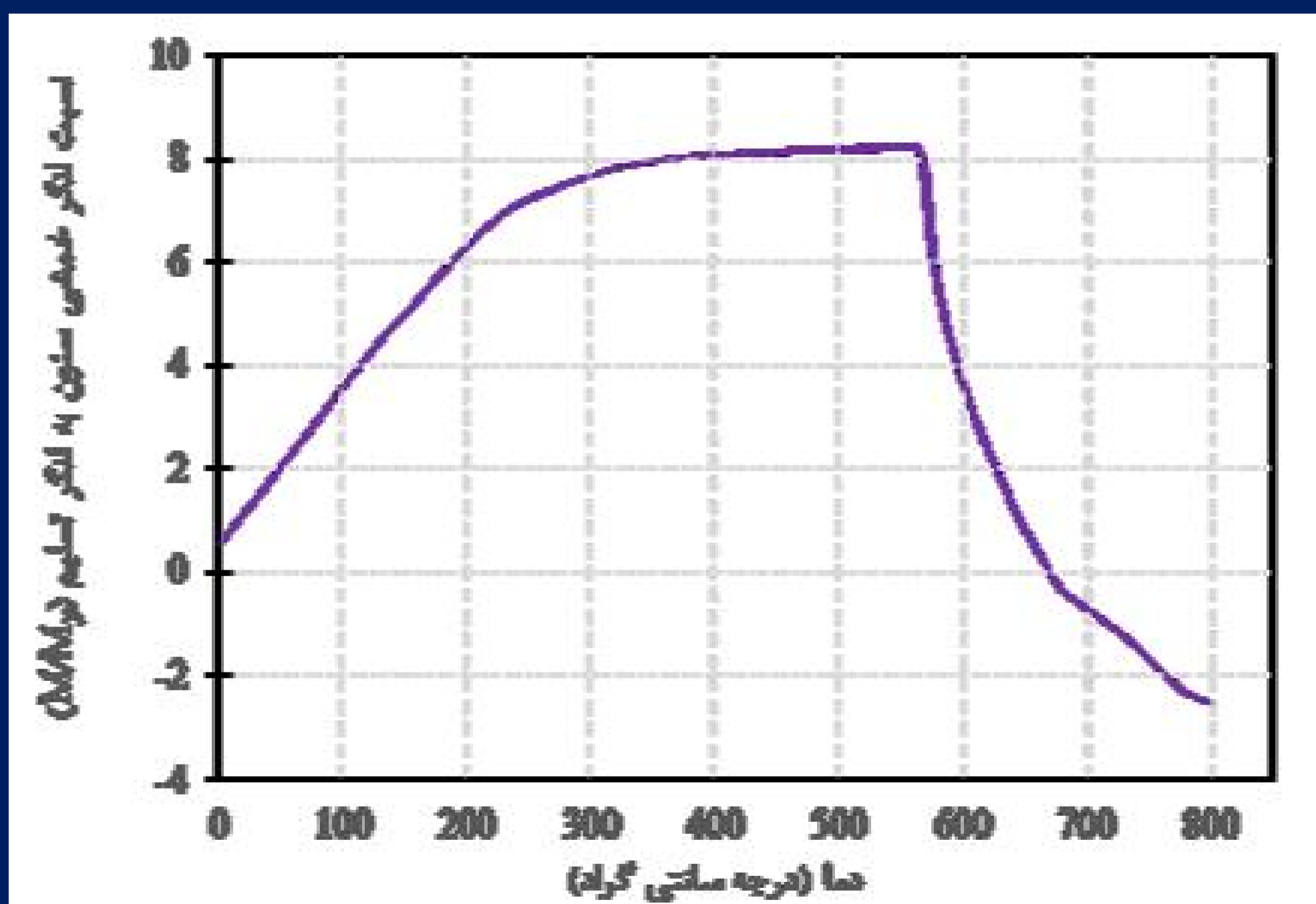
تغییر شکل وسط دهانه با تغییرات دما

تحلیل غیرخطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

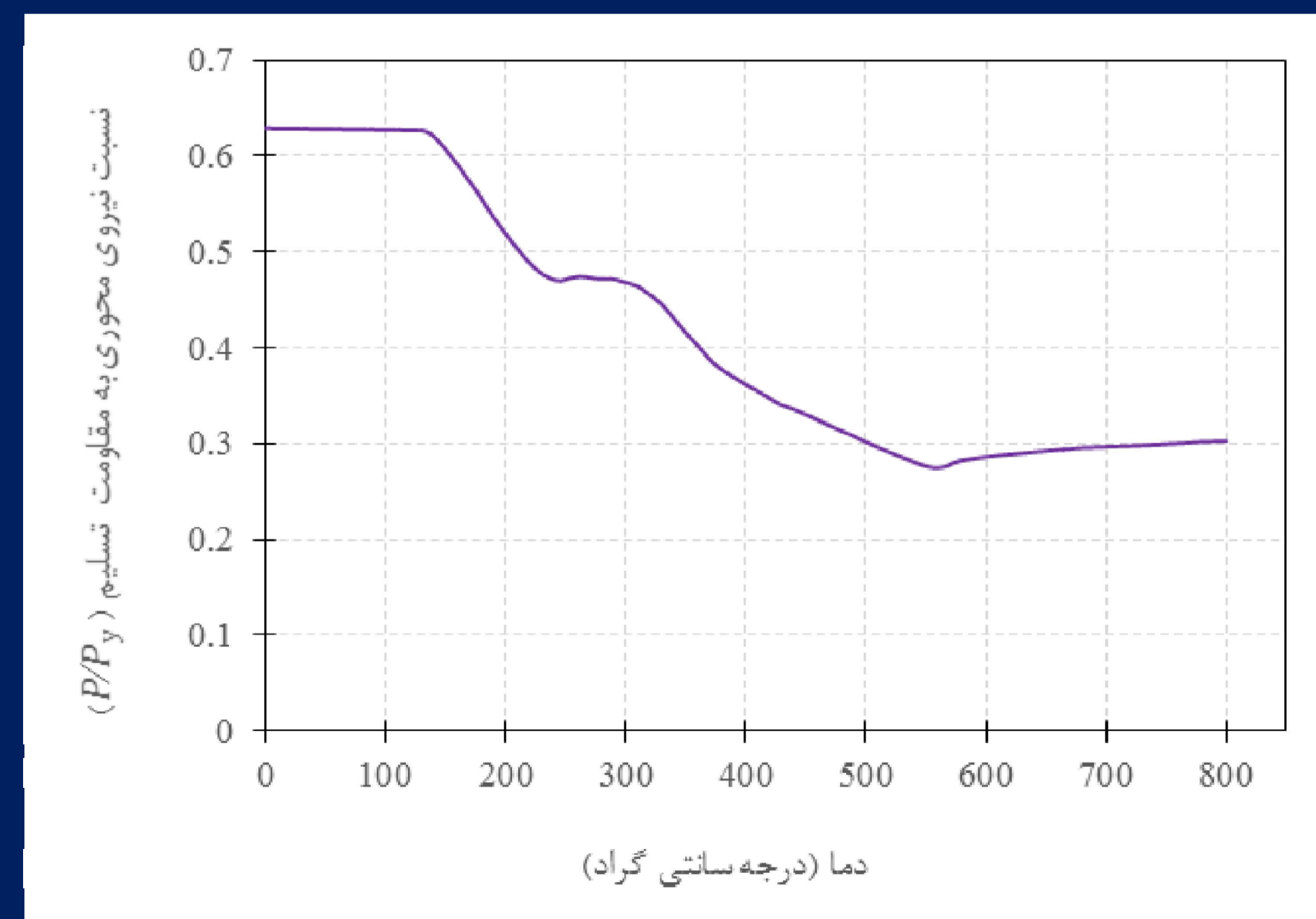
خلاصه نتایج مدل شماره ۱

تا دمای حدود ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد نیروی محوری ستون با افزایش حرارت ثابت بوده ولی در دماهای بالاتر و افت مشخصات مکانیکی فولاد، نیروی محوری ستون کاهش یافته به طوری که در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نیروی محوری ستون به حدود ۵۰٪ تقلیل می‌یابد.

مدل حاضر فروریزش تیر و در نتیجه باربرداری از ستون را در نظر نگرفته و این نتایج با فرض حفظ شاکله خرپا و سقف تا دماهای مورد اشاره بدست آمده است.



تغییرات لنگر خمشی ستون ۱۱۴ با افزایش درجه حرارت



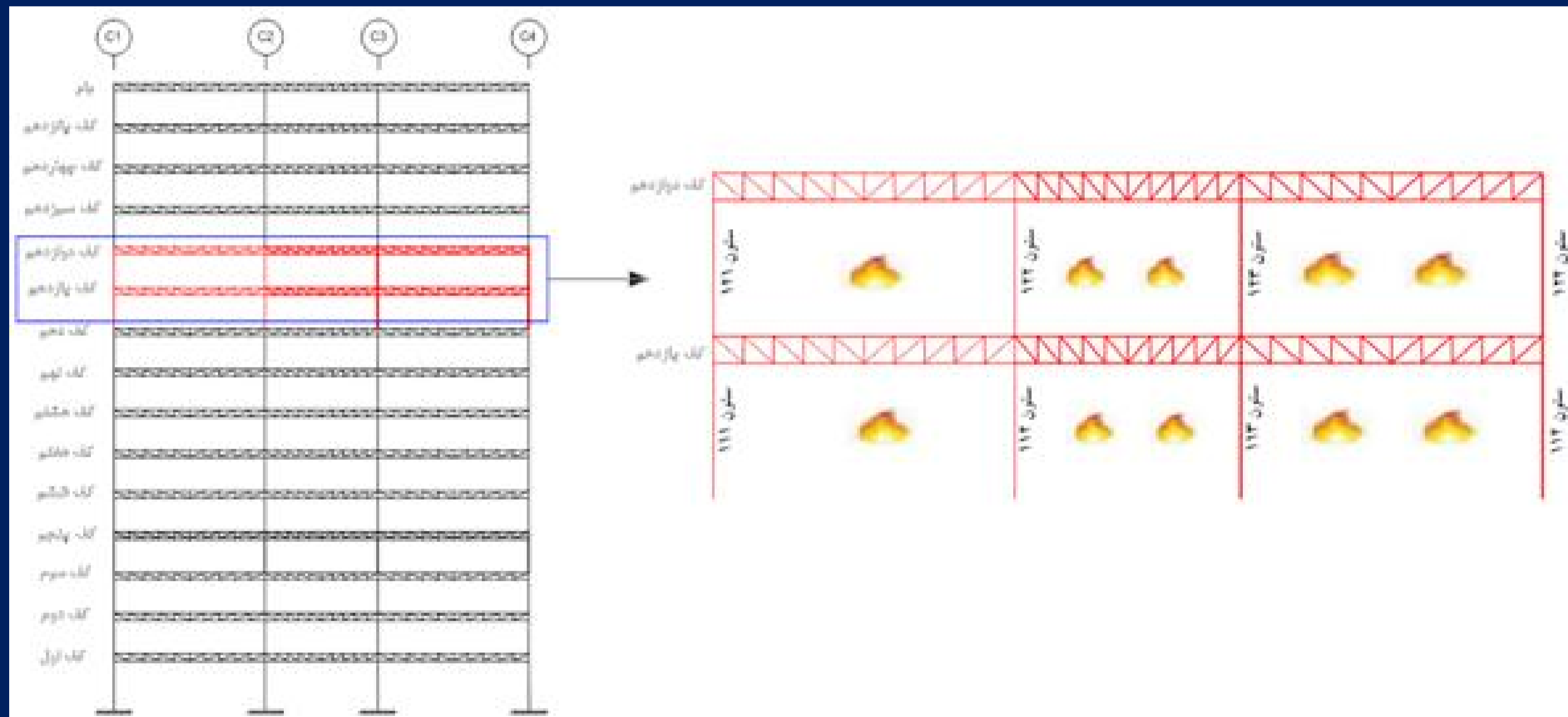
تغییرات نیروی محوری ستون ۱۱۴ با افزایش درجه حرارت

تحلیل غیرخطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

خلاصه نتایج مدل شماره ۲

این مدل با هدف بررسی رفتار سازه پس از گسترش آتش به سایر دهانه‌های کف‌های یازدهم و دوازدهم، ساخته شده است.

اعضای کف یازدهم و دوازدهم در دهانه‌های C2-C3 و C3-C4 در معرض حرارت قرار داده شده و فرض شده است که اعضای دهانه‌ی C1-C2 با تاخیر حرارتی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دو دهانه دیگر در معرض حرارت قرار دارند.

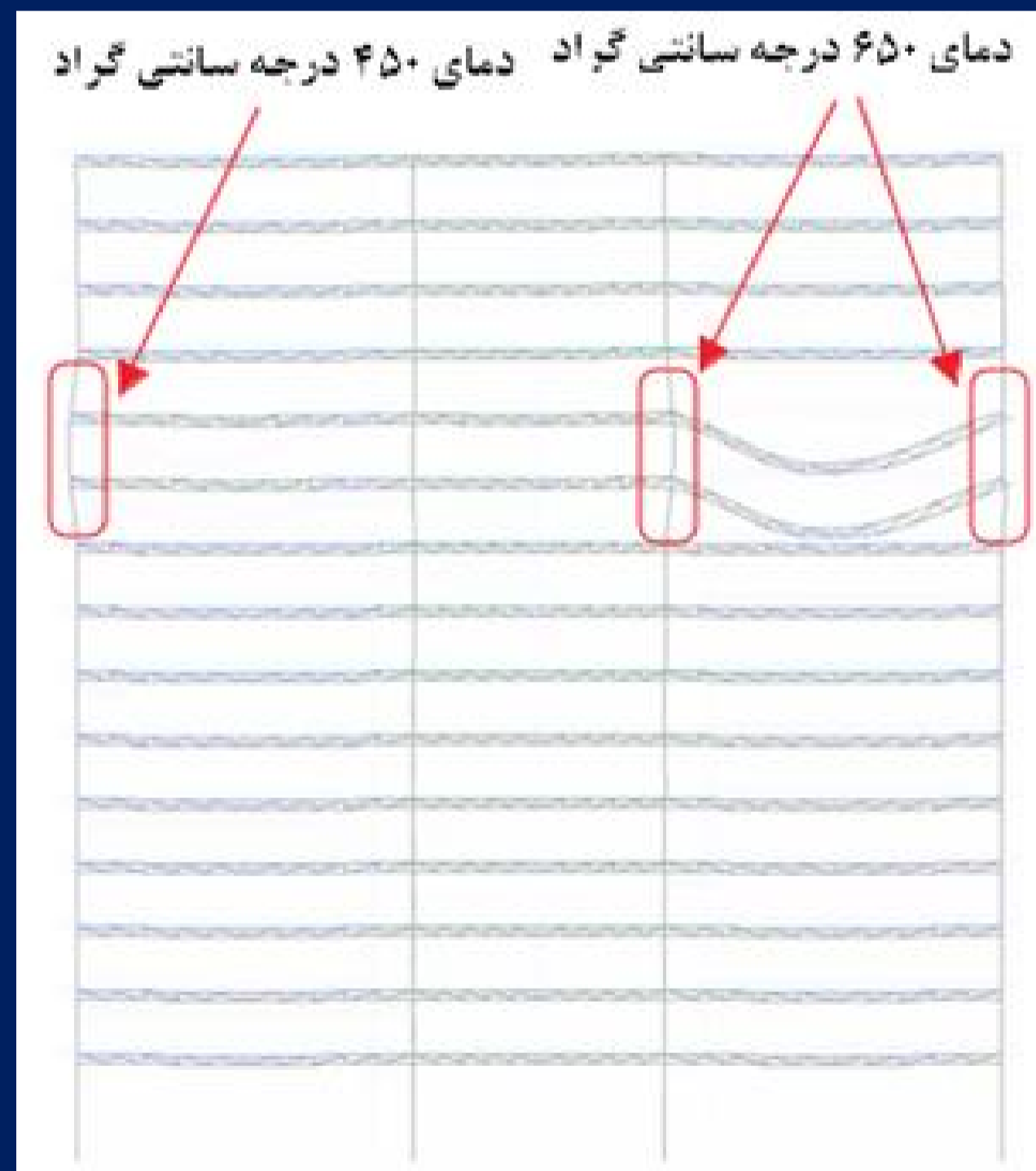


نواحی تحت تاثیر آتش سوزی در مدل شماره ۱

تحلیل غیرخطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

خلاصه نتایج مدل شماره ۲

ستون کناری سمت راست تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به سمت بیرون خم شده و با افزایش دما تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد با سرعت به سمت داخل برمی گردد. در این لحظه ستون کناری سمت چپ در دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد خواهد بود و به سمت چپ خم می شود ولی فرصت بازگشت به سمت راست را نخواهند داشت.



وضعیت تغییر شکل خرپاها و ستون ها در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد

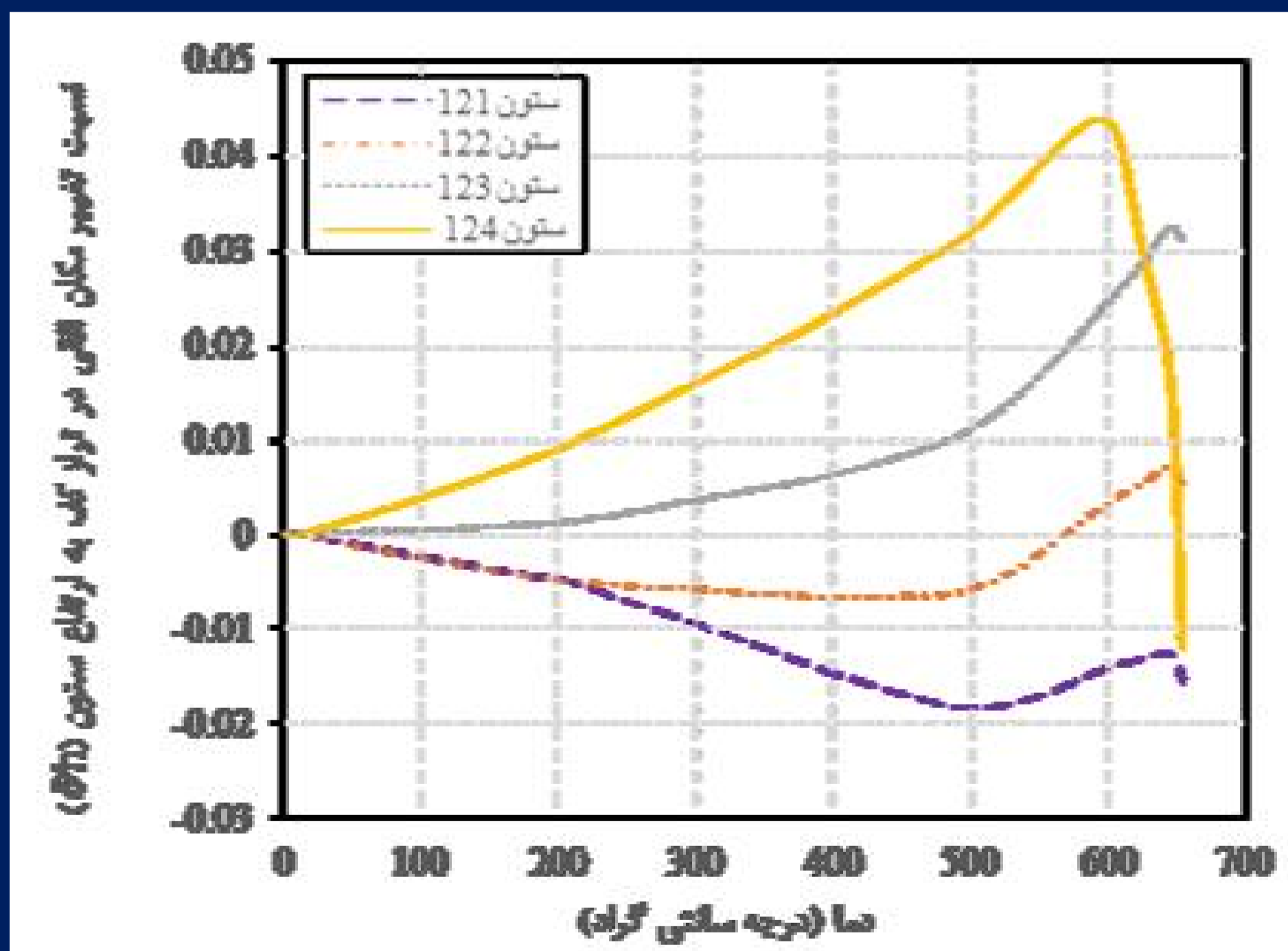


وضعیت تغییر شکل خرپاها و ستون ها در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد

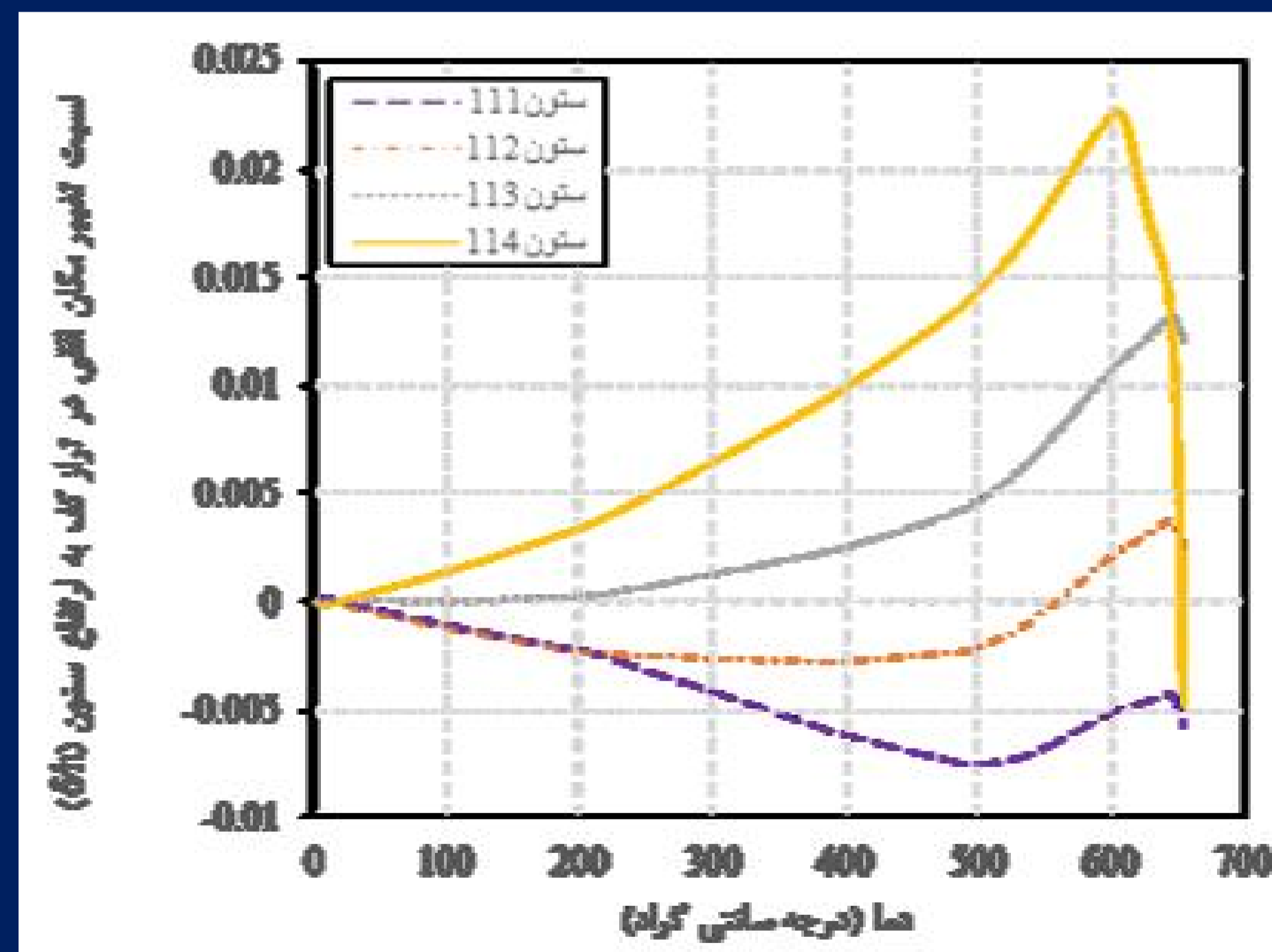
تحلیل غیرخطی قاب میانی تحت اثر حرارت در نرم افزار OpenSees

خلاصه نتایج مدل شماره ۲

ستون کناری سمت راست تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به سمت بیرون خم شده و با افزایش دما تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد با سرعت به سمت داخل برمی‌گردد. در این لحظه ستون کناری سمت چپ در دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد خواهد بود و به سمت چپ خم می‌شود ولی فرصت بازگشت به سمت راست را نخواهند داشت.



جابجایی افقی ستون‌های کف دوازدهم

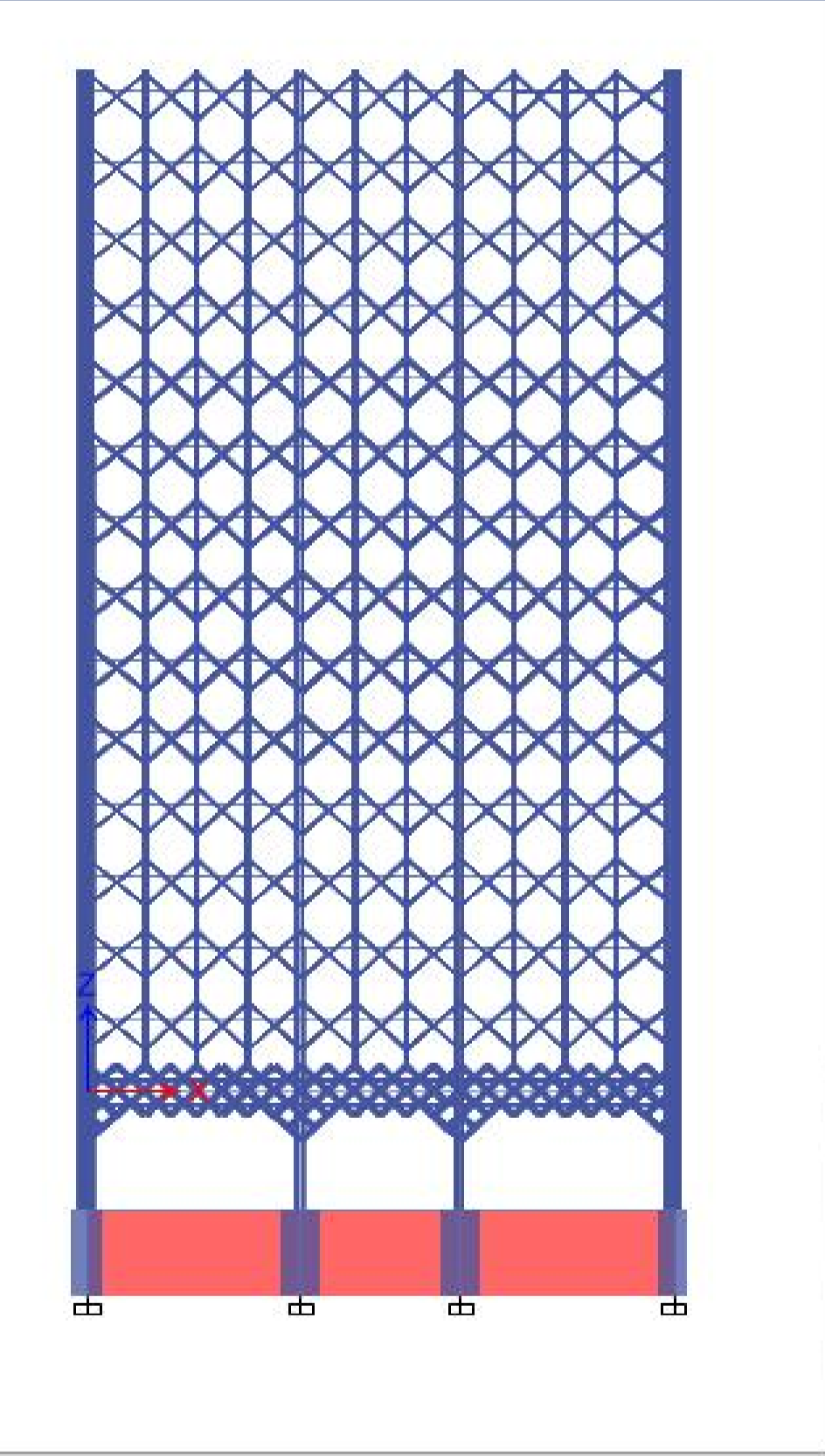
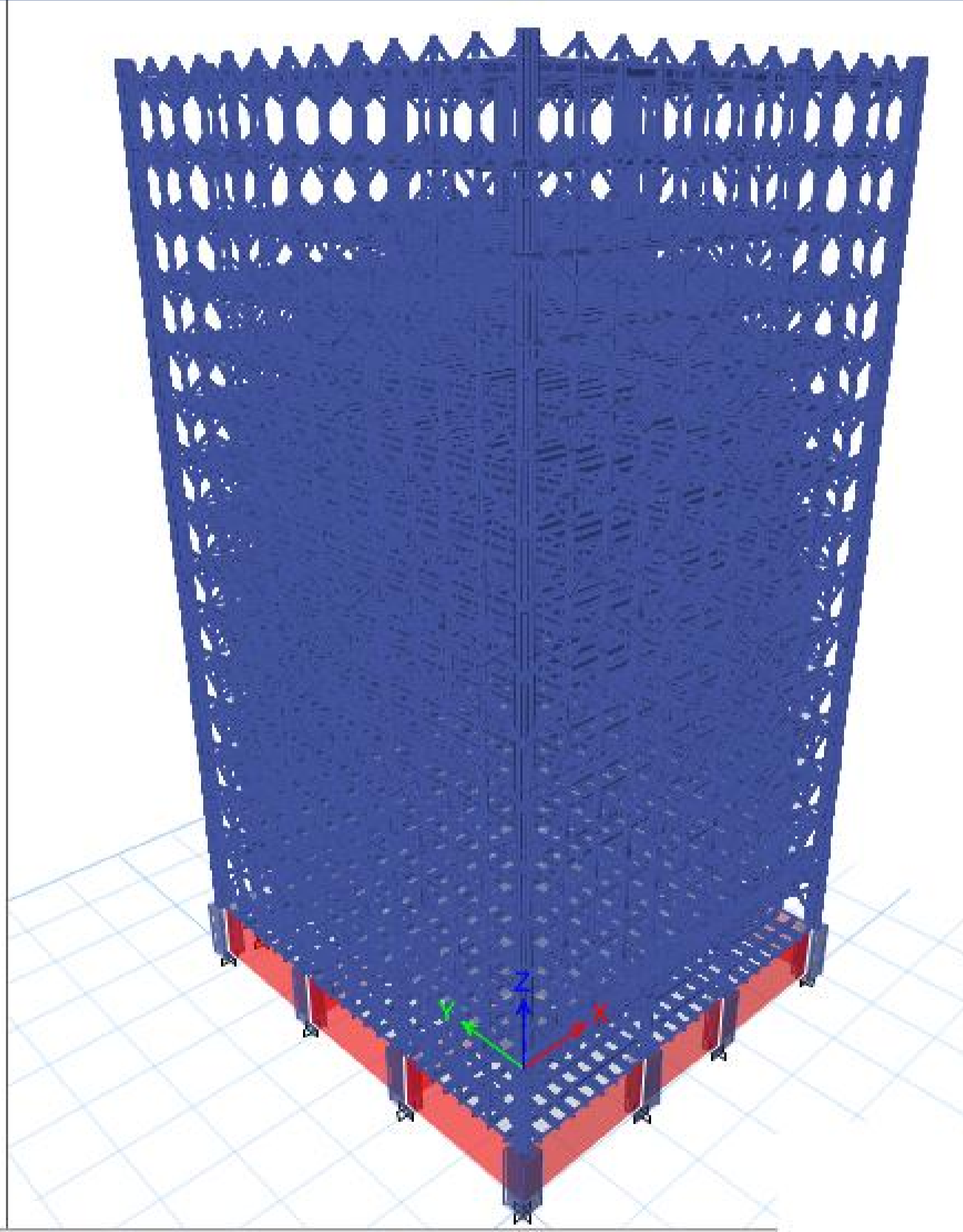


جابجایی افقی ستون‌های کف یازدهم

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

پس از جمع‌آوری اطلاعات از شاهدان عینی حادثه، مشاهده مدارک موجود و تعیین سناریوی خرابی، در چند مدل جداگانه با انجام تحلیل‌های غیرخطی در نرم‌افزار ETABS رفتار سازه در مراحل مختلف قبل و حین آتش‌سوزی شبیه‌سازی شده است.

شماره مدل	نوع مدل
۱	Model
۲	Model-Stage 1
۳	Model-Stage 2
۴	Model-Stage 3

فروریخته	
بین محوره‌های 3-4-A-B-C	
بین در محدوده بین محوره‌های 3-4-A-B-C	
بین در محدوده بین محوره‌های A-B-C	
م در محدوده بین محوره‌های کف یازدهم در همان محدوده محوره‌های A-B-2-1	

نمای سه بعدی و جنوبی سازه

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

مدل‌ها به صورت سه بعدی ساخته شده و مقادیر بارهای مرده و زنده بدون وزن اسکلت فولادی که توسط نرم افزار محاسبه می‌شود، در مجموع و بدون ضریب برابر ۶۵۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

در تمام مدل‌ها به جز Intact Model تحلیل‌ها از نوع غیرخطی بوده و به تیرها و ستون‌ها مفاصل خمیری فشاری و خمشی اختصاص داده شده است.

در هر مدل بسته به شرایط آتش سوزی در نواحی مختلف از سازه در زمان متناظر با همان مدل، مشخصات مصالح فولادی اعضای سازه‌ای اصلاح شده است.

مقدار دمای هر ناحیه در مدل‌های مختلف با توجه به صحبت‌های آتش نشانان و مرور عکس‌های گرفته شده از حادثه تقریب زده شده است.

شماره مدل	نام مدل	وضعیت دمایی فرض شده در نواحی مختلف
۱	Intact Model	بدون تغییر دما در کل سازه
۲	Damaged Model-Stage 1	طبقات دهم و یازدهم در محدوده بین محورهای 3-4-A-B-C: ۶۰۰ درجه
۳	Damaged Model-Stage 2	طبقات دهم و یازدهم در محدوده بین محورهای 3-4-A-B-C: ۶۰۰ درجه
۴	Damaged Model-Stage 3	طبقات یازدهم تا سیزدهم در محدوده بین محورهای 1-2-3-C-D و 1-2-C-B: ۷۰۰ درجه طبقات یازدهم تا سیزدهم در سایر نواحی: ۶۰۰ درجه طبقات چهاردهم و پانزدهم در محدوده بین محورهای 1-2-3-C-D و 1-2-C-B: ۶۰۰ درجه

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۱ (Intact Model)

در این مدل هیچ گونه خرابی در سازه در نظر گرفته نشده و سازه تحت بارهای ثقلی بدون ضریب تحلیل شده است. طراحی با استفاده از ضوابط روش طراحی LRFD در آیین نامه AISC 360-10 و بدون در نظر گرفتن ضرایب تقلیل مقاومت انجام پذیرفته است.

مصالح فولادی مورد استفاده در سازه در این مرحله، فولاد ST37 با تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال فرض شده است. حداکثر نسبت نیرو به مقاومت در ستون‌های میانی برابر با ۰/۶۵، در ستون‌های کناری ۰/۷۵ و در تیرها ۰/۸۶ بدست آمده است. در طبقات دهم به بالا که در آنها آتش سوزی رخ داده است نسبت بارهای وارده به مقاومت ستون‌ها به مراتب کمتر بوده است.

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۲ (Damaged Model-Stage 1)

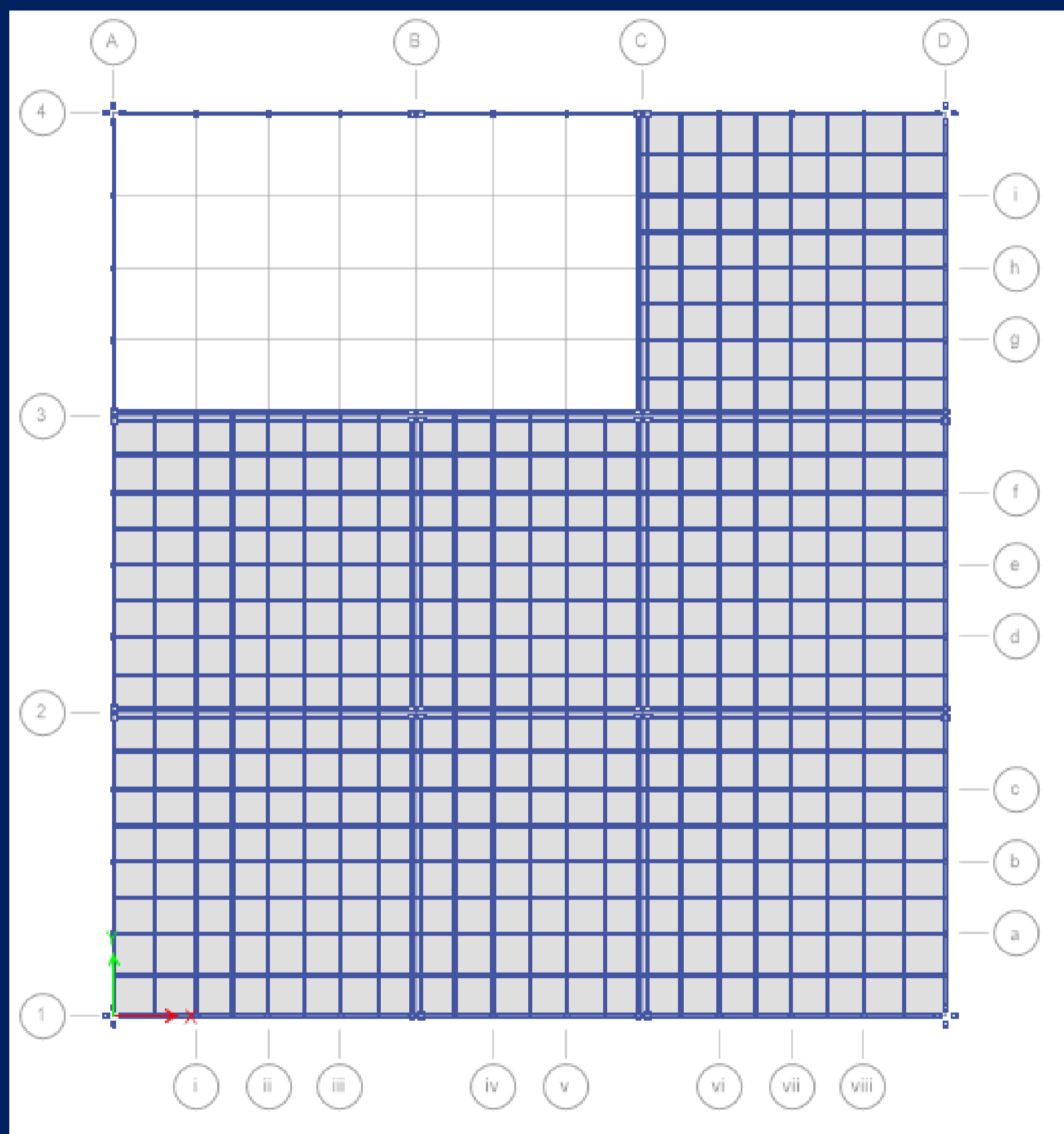
این مدل با هدف بررسی رفتار سازه بعد از وقوع اولین خرابی اصلی در ساختمان (ریزش کف طبقه یازدهم در محدوده بین محورهای A-B-C-4-3 بر روی کف طبقه دهم) ساخته شده است.

این ناحیه از مدل سازه حذف شده و بار آن بر روی کف زیرین خود اعمال شده است.

با توجه به حضور آتش در این محدوده، مشخصات مصالح فولادی مجاور این ناحیه اصلاح گردیده است.

با انجام تحلیل غیرخطی تحت بارهای ثقلی، رفتار سازه بررسی شده و نتایج نشان دهنده کفایت ستون‌های سازه در تحمل بارهای وارده می‌باشد.

تیر اصلی 3-4 در محور B از کف دوازدهم با توجه به کاهش سختی و مقاومت مصالح فولادی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد، توان تحمل بارهای وارده را نداشته که این موضوع در گام بعدی خرابی خود را نشان داده و باعث ریزش کف‌های طبقات دوازدهم و سیزدهم در محدوده بین محورهای A-B-C-4-3 بر روی کف طبقه دهم و سپس فروریزش متوالی کف‌ها تا کف زیرزمین شده است.



پلان کف طبقه یازدهم در مدل شماره ۲

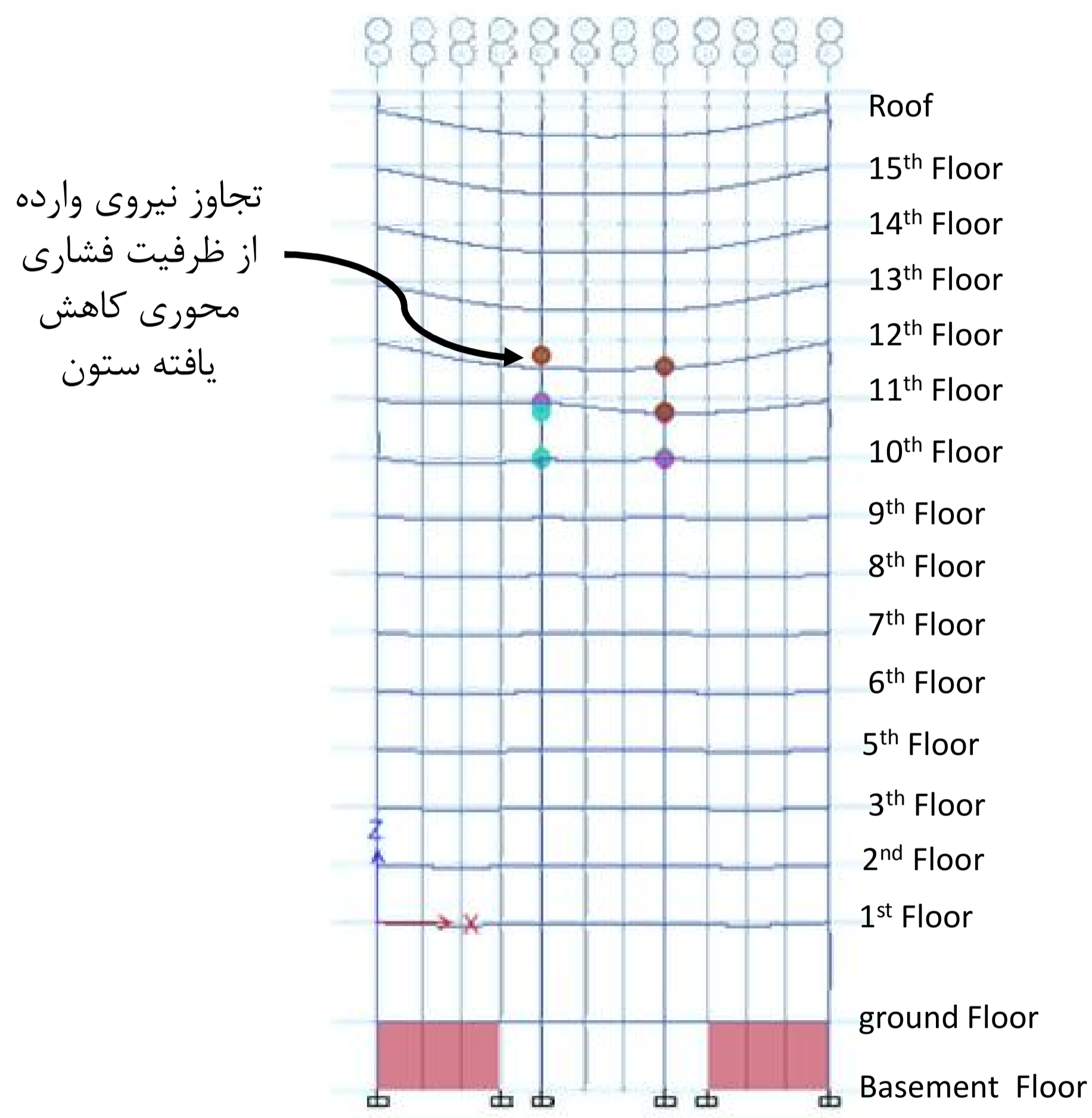
تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۲ (Damaged Model-Stage 1)

برای درک بهتر از رفتار سازه و ظرفیت ستون‌ها در دماهای مختلف، مدل شماره ۱ یک بار نیز با فرض دمای ۷۰۰ درجه به جای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد ساخته شده و تحلیل غیرخطی شده است.

نتیجه این تحلیل عدم کفایت ستون‌های میانی و تشکیل مفاصل فشاری در این اعضاء در صورت تجربه دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.

مشاهده خرابی سازه در مراحل پایانی گویای عدم وقوع خرابی در ستون‌های میانی بوده و این ستون‌ها در مرحله آخر فروریزش نسبتاً به صورت سالم رویت شده و به زمین افتاده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد این ستون‌ها دماهایی کمتر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد را در طول آتش‌سوزی تجربه کرده‌اند.



تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های میانی قاب محور ۳ در صورت تجربه دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

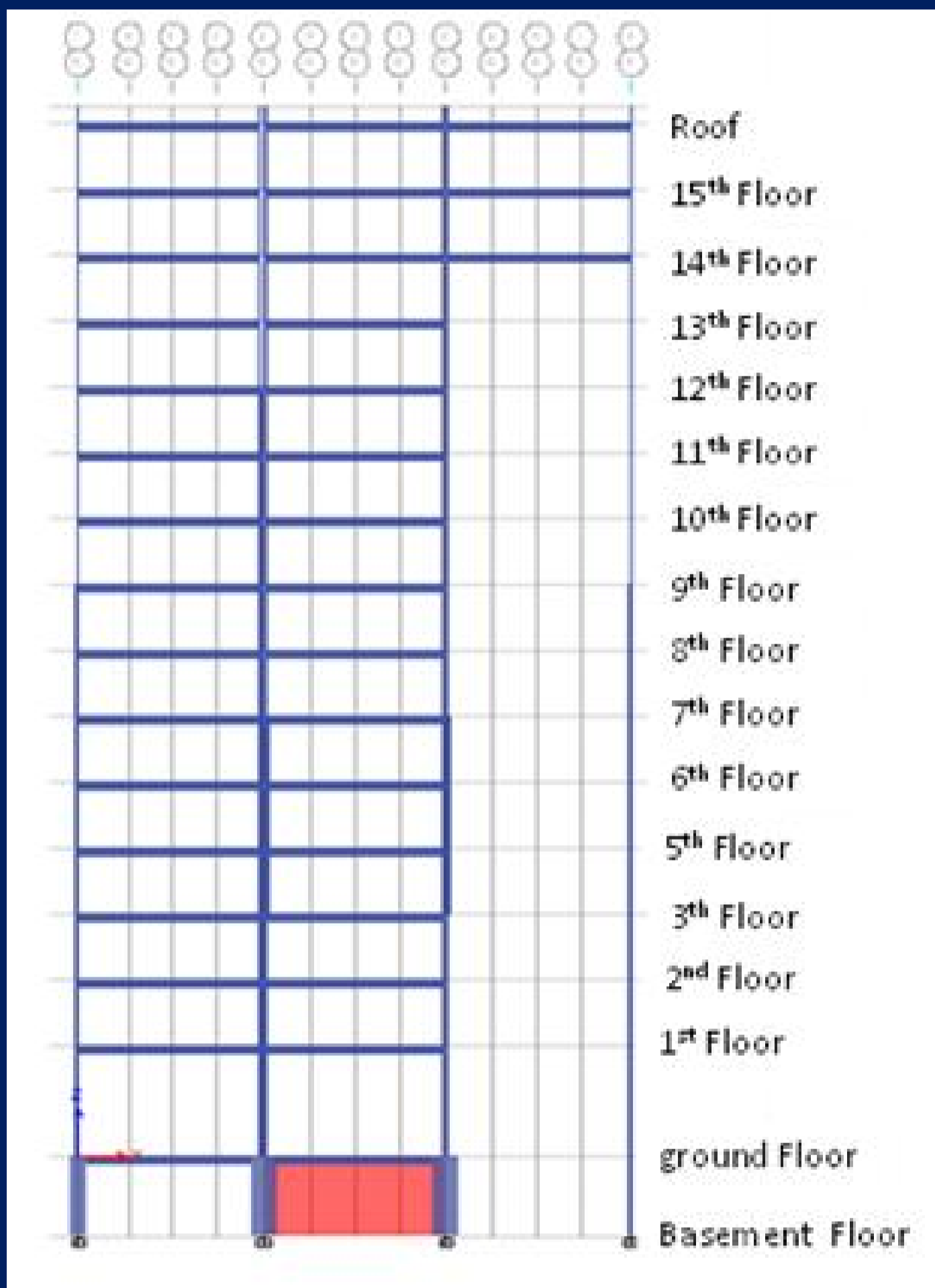
خلاصه نتایج مدل شماره ۳ (Damaged Model-Stage 2)

این مدل با هدف بررسی رفتار سازه بعد از وقوع دومین خرابی اصلی در ساختمان ساخته شده است.

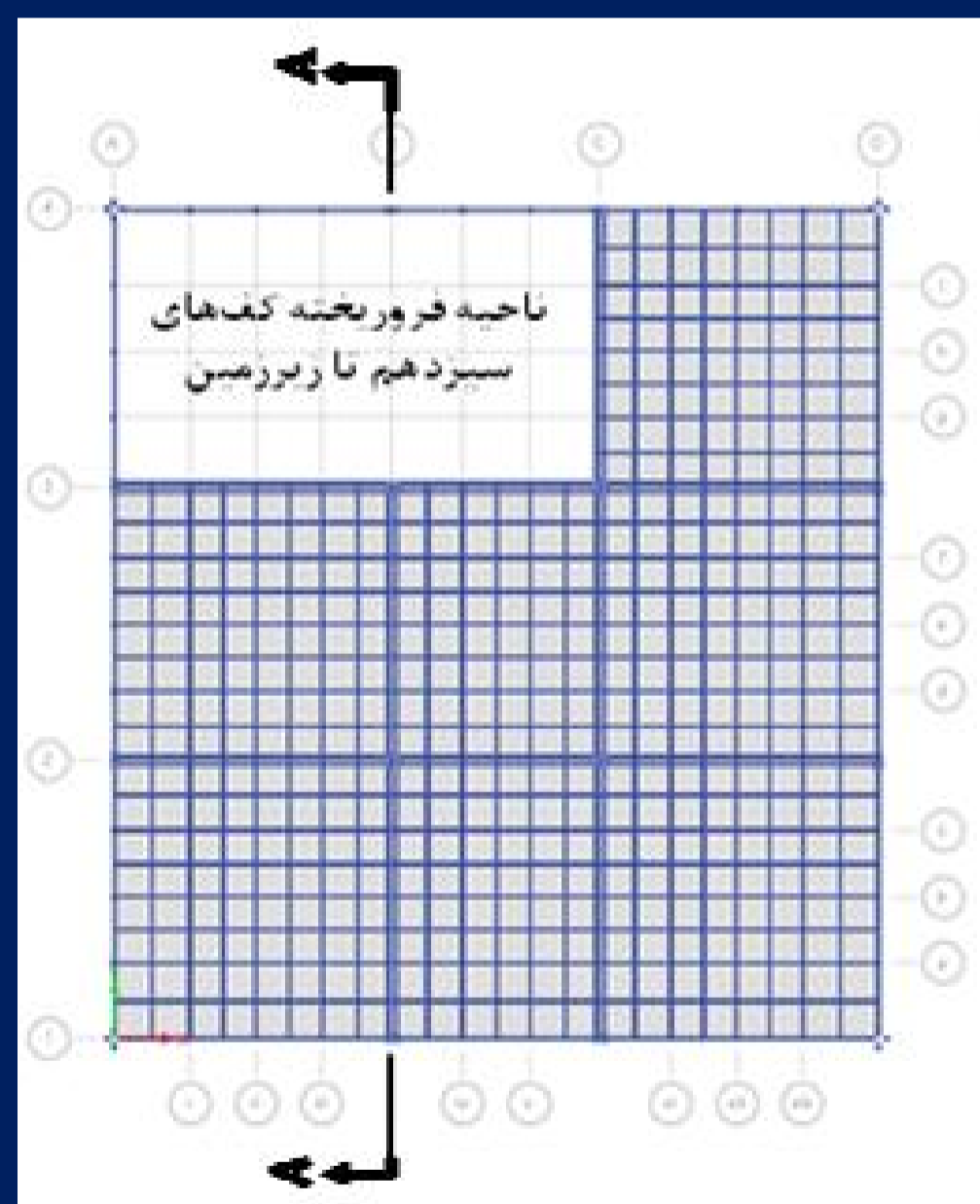
این مرحله از خرابی شامل ریزش کف طبقه دوازدهم و سیزدهم بر روی کف طبقه دهم در محدوده بین محورهای A-B-C-4-3 و پس از آن ادامه فروریزش کف‌های این ناحیه از کف طبقه دهم تا کف زیرزمین می‌باشد.

نتایج تحلیل نشان دهنده تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های مجاور بخش‌های حذف شده به دلیل افزایش قابل توجه طول مهار نشده ستون‌ها می‌باشد.

با توجه به باربرداری از این ستون‌ها به دلیل خرابی کف‌های مجاور تا کف طبقه سیزدهم و نیز بازتوزیع نیروها بین ستون‌های باقیمانده، سازه پایداری خود را حفظ کرده است.



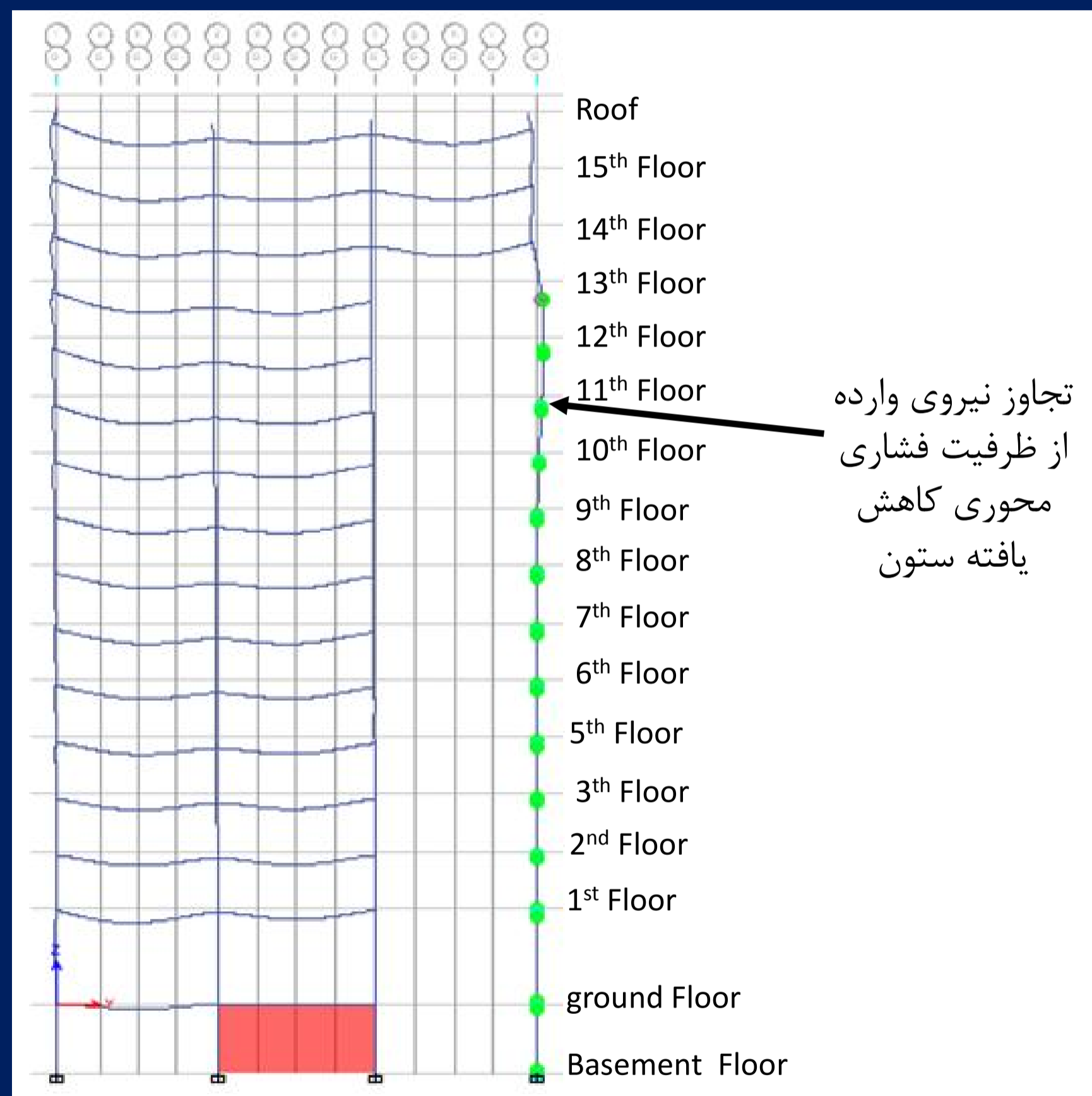
نمای مقطع A-A



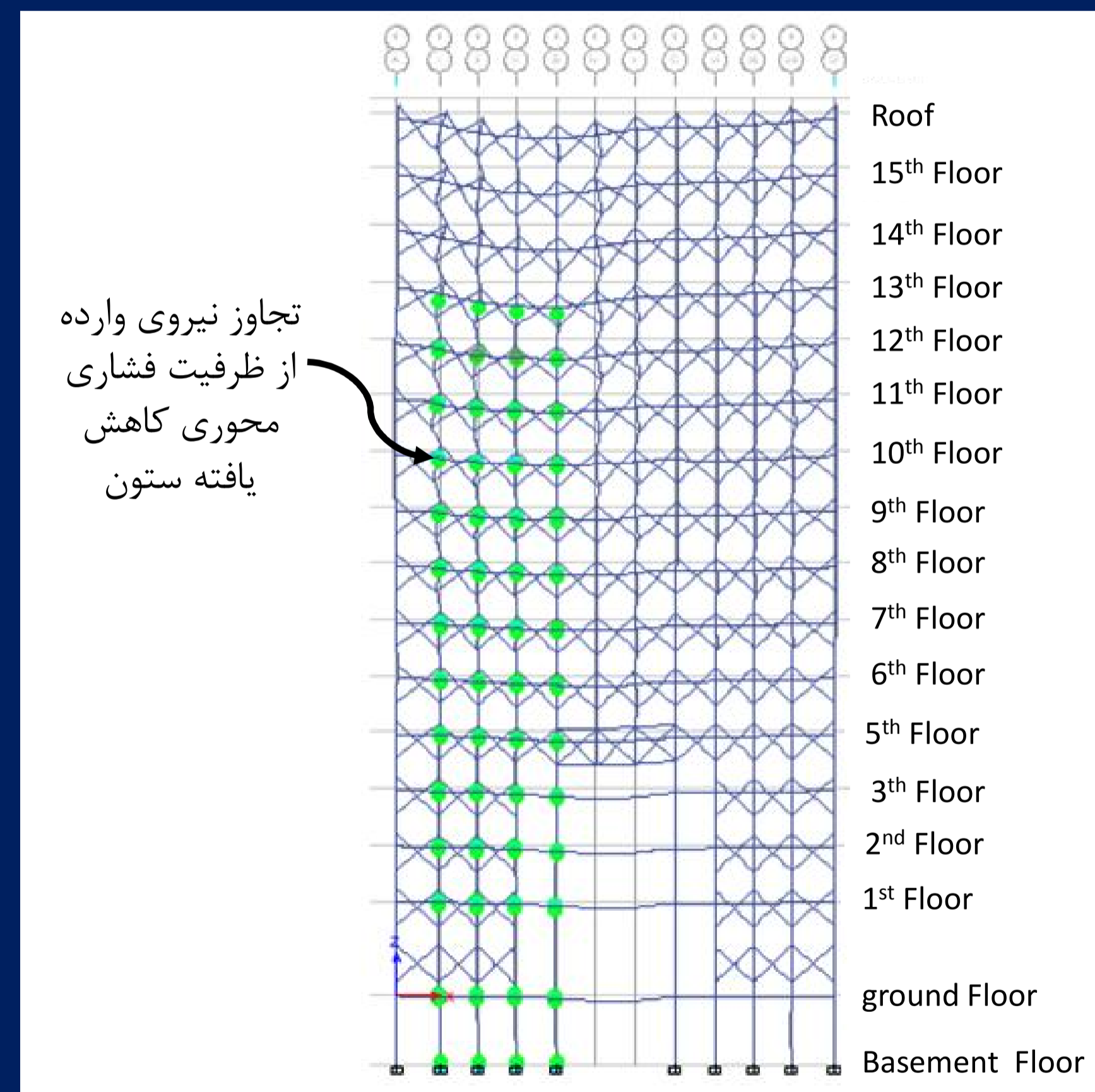
پلان کف طبقه سیزدهم

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۳ (Damaged Model-Stage 2)



تغییر شکل و تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های محور B



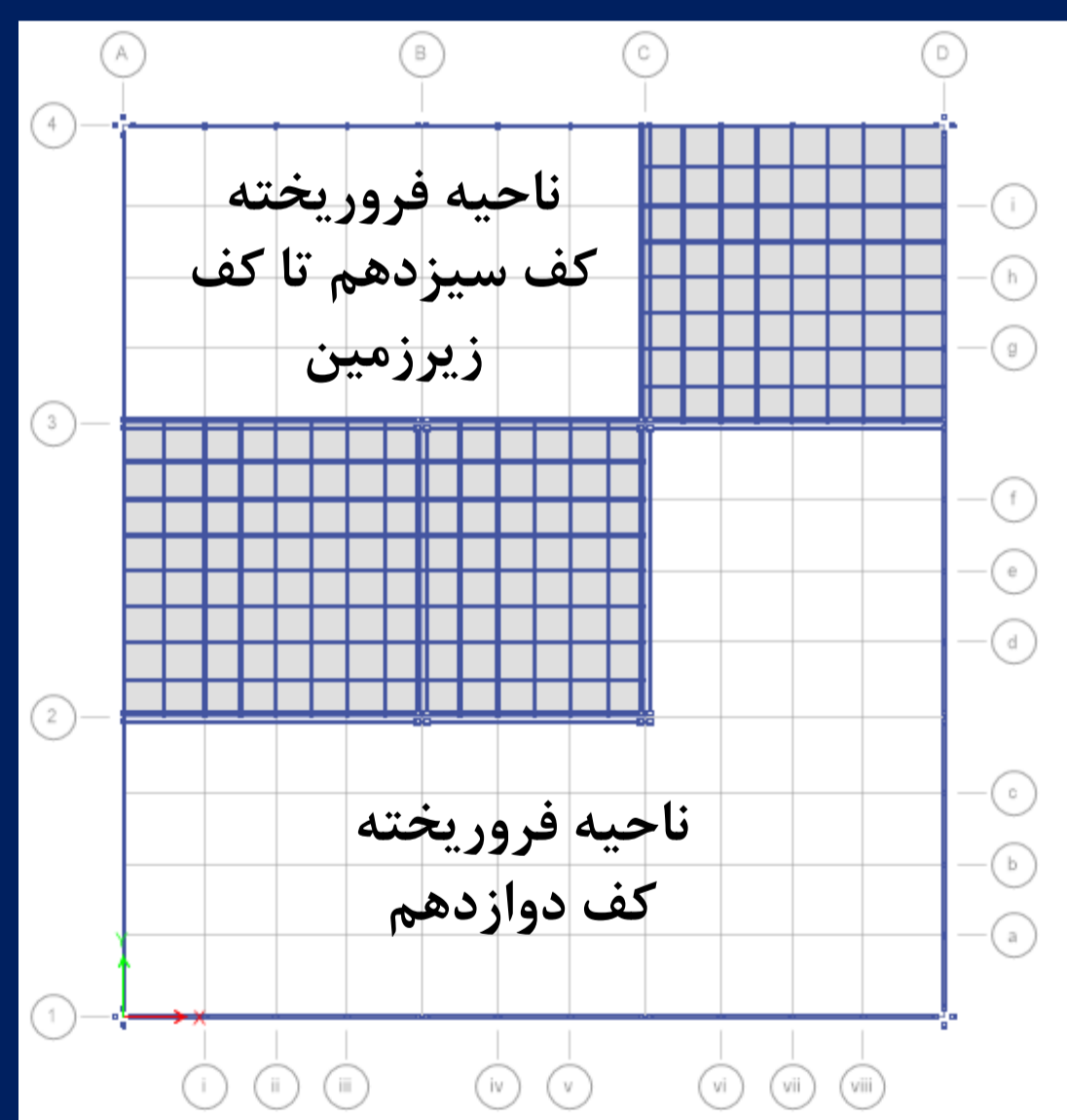
تغییر شکل و تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های محور C

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

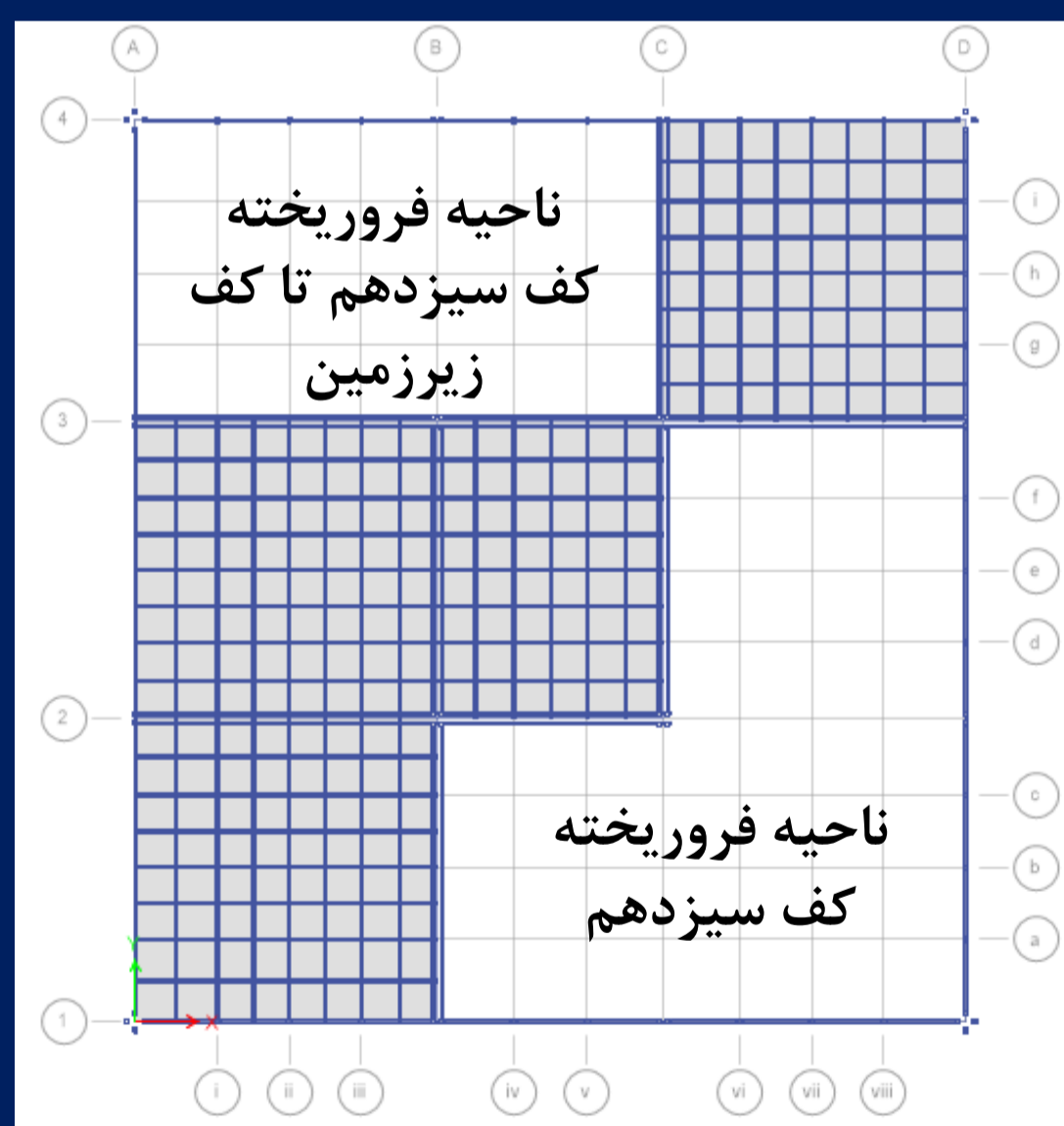
خلاصه نتایج مدل شماره ۴ (Damaged Model-Stage 3)

این مدل با هدف بررسی رفتار سازه در آخرین مراحل خرابی و فروریزش کلی ساختمان ساخته شده است.

در این مدل، علاوه بر خرابی‌های در نظر گرفته شده در مدل شماره ۳، ریزش کف طبقات سیزدهم در محدوده بین محورهای 1-4-3-D-C و کف دوازدهم در همان محدوده به علاوه محدوده بین محورهای 1-2-C-B نیز مد نظر قرار گرفته است.



پلان کف دوازدهم در مدل شماره ۴



پلان کف سیزدهم در مدل شماره ۴

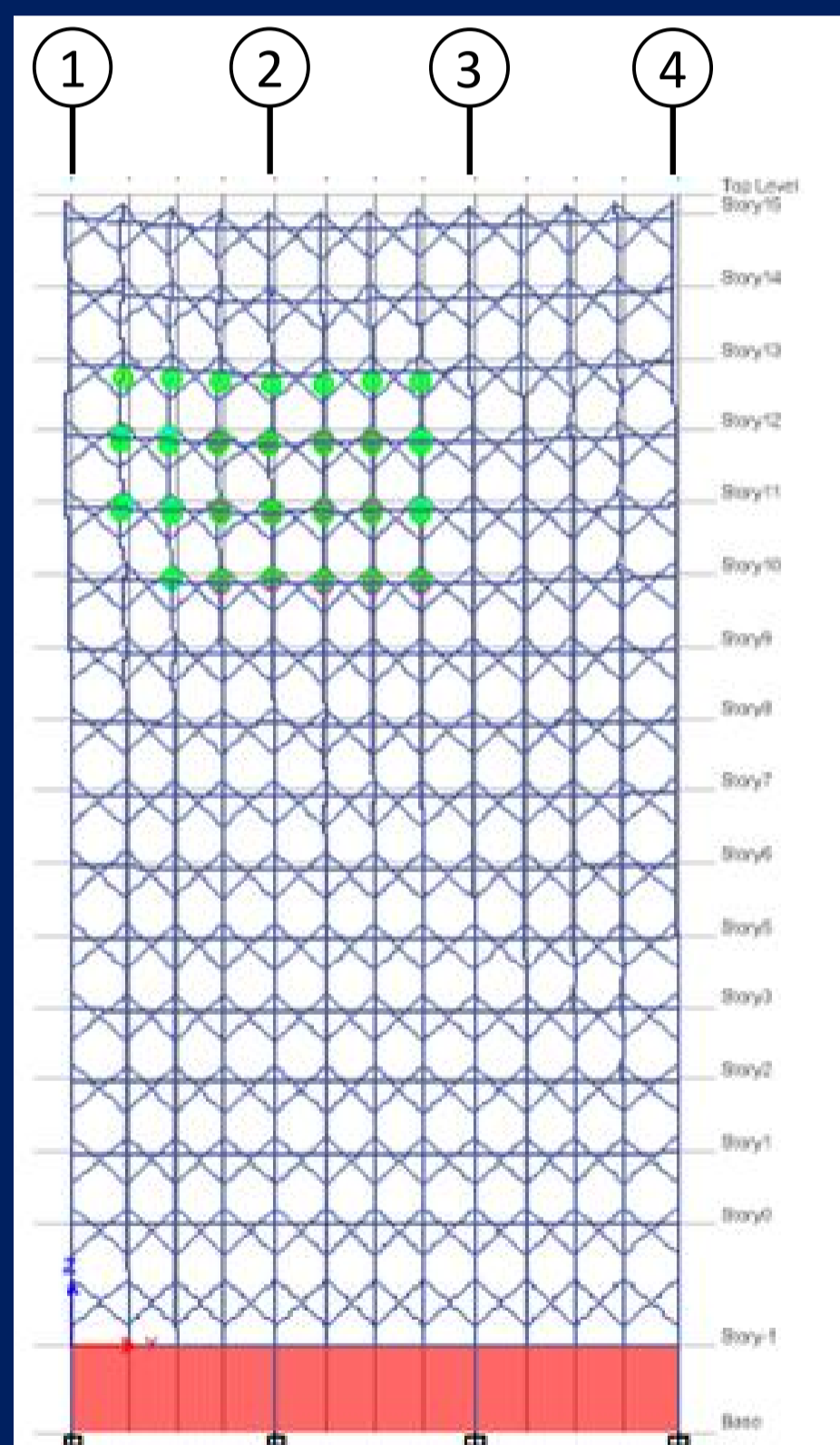
بار بخش‌های فروریخته شده بر روی اولین کف باقیمانده زیر همان ناحیه اعمال شده است.

مشخصات مصالح فولادی نیز در مدل سازه اصلاح گردیده و نیز اتصال تیرهای اصلی به ستون‌ها در کف دوازدهم تا کف بام به دلیل حضور آتش در این طبقات به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است.

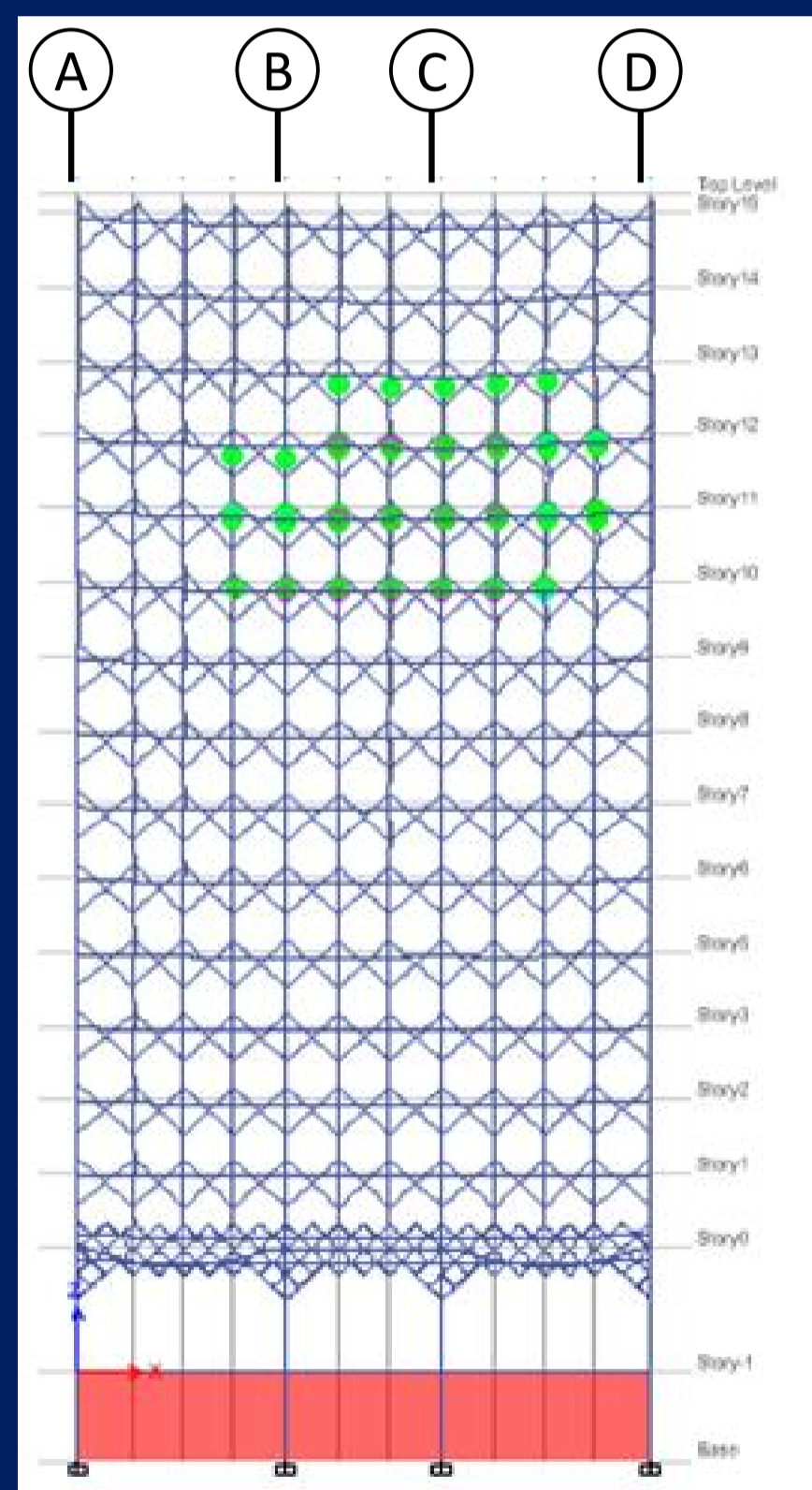
تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۴ (Damaged Model-Stage 3)

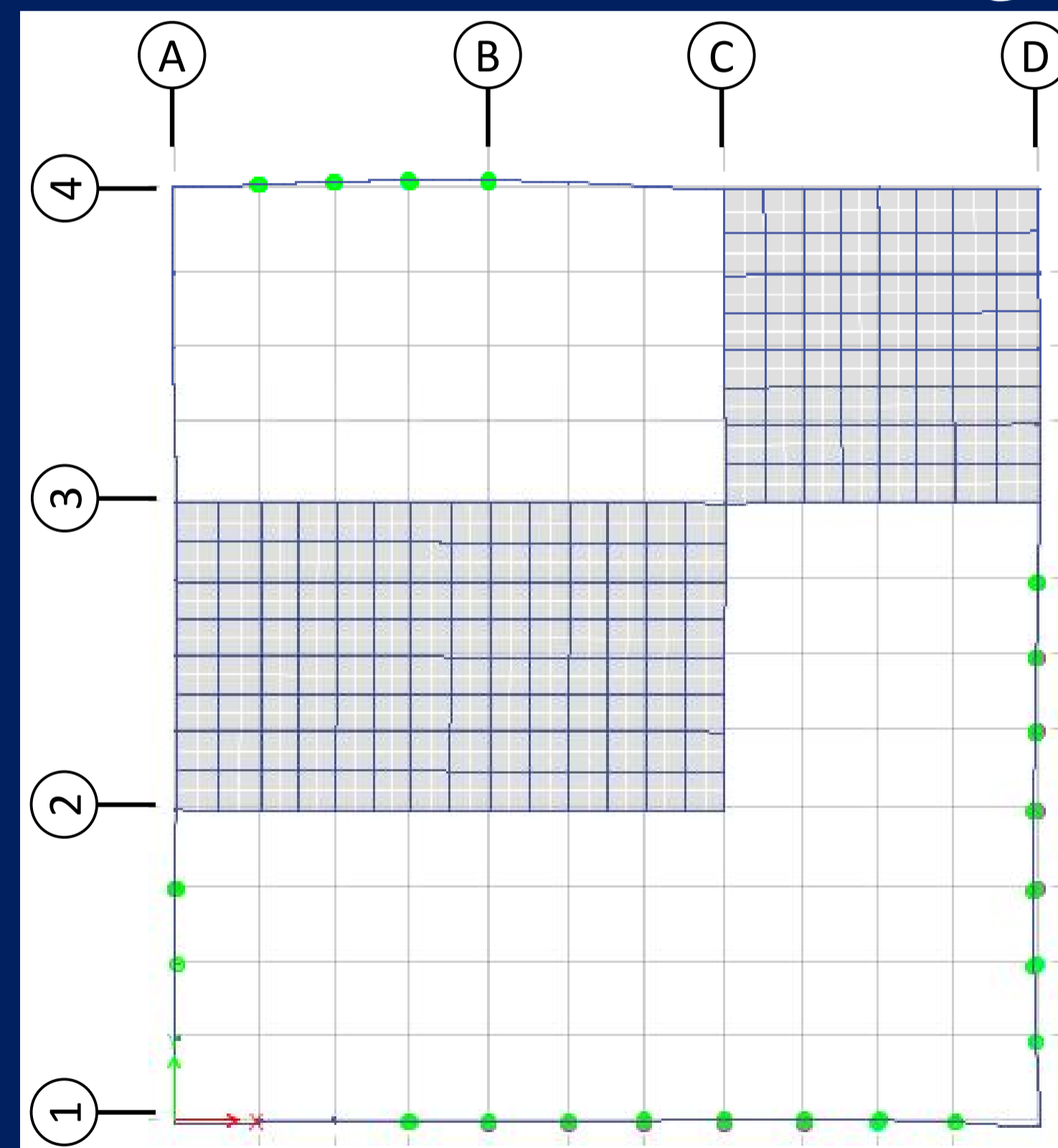
علاوه بر تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های محور ۴ (خرابی مرحله ۲)، نتایج این مدل نشان دهنده تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های اصلی و فرعی سایر محورهای کناری به ویژه محور ۱ (نمای جنوبی) می‌باشد.



وضعیت تشکیل مفاصل در محور D



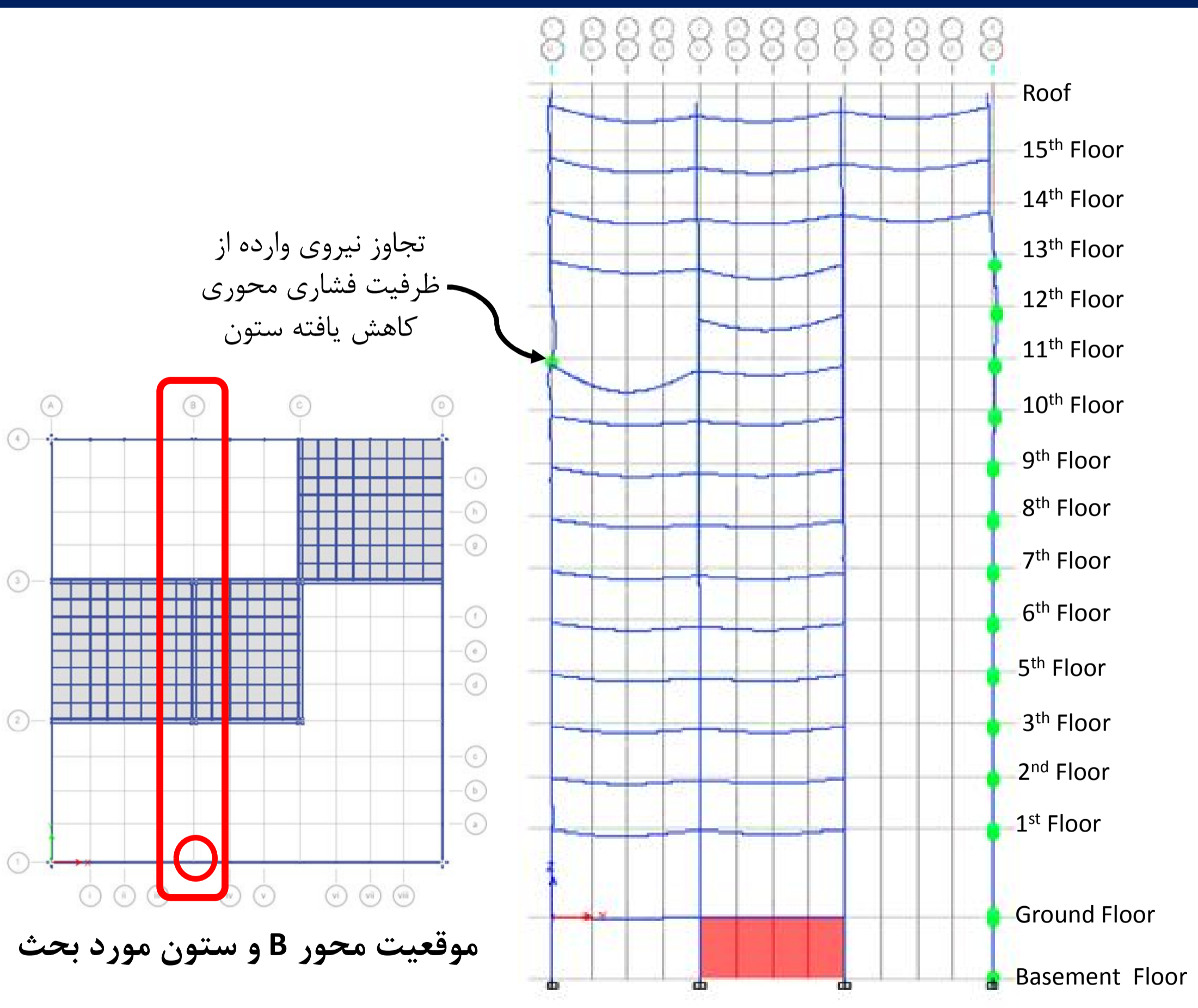
وضعیت تشکیل مفاصل در محور A



وضعیت تشکیل مفاصل در پلان

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۴ (Damaged Model-Stage 3)



تشکیل مفصل خمیری در ستون واقع در تقاطع محوره‌های C و ۱ مابین کف یازدهم و سیزدهم به خوبی قابل ملاحظه است.

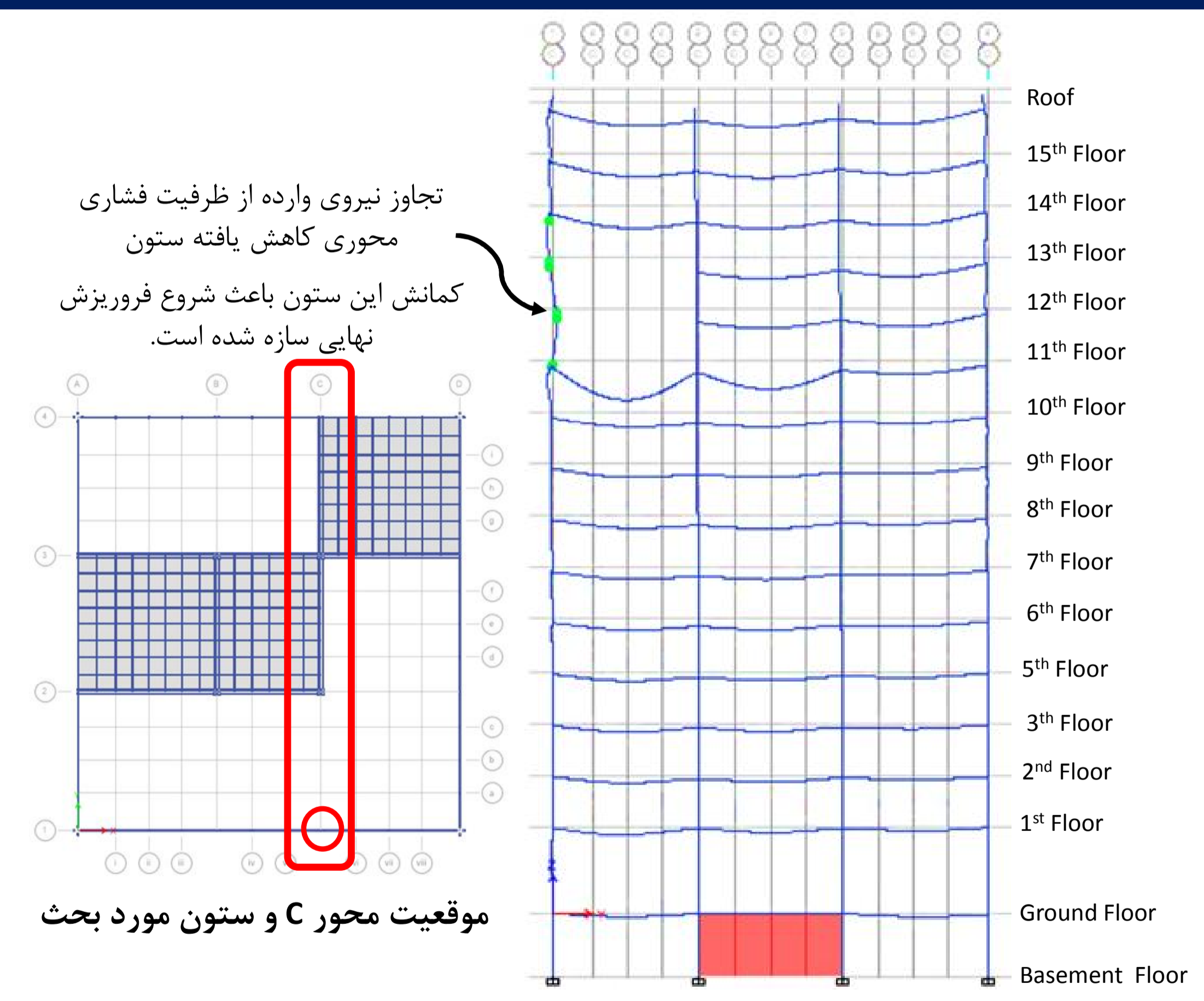
همین ستون در آخرین مرحله قبل از فروریزش نهایی، دچار کمانش خارج از صفحه نما شده و پس از آن خرابی کلی در سازه رخ داده است.

دلیل خرابی را می‌توان افزایش طول مهار نشده ستون به دلیل ریزش سقف‌های مجاور در دو طبقه متوالی در کنار افت شدید مقاومت و سختی ستون به دلیل حضور آتش شدید در همین طبقات دانست.

تغییر شکل و تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های محور B

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه

خلاصه نتایج مدل شماره ۴ (Damaged Model-Stage 3)



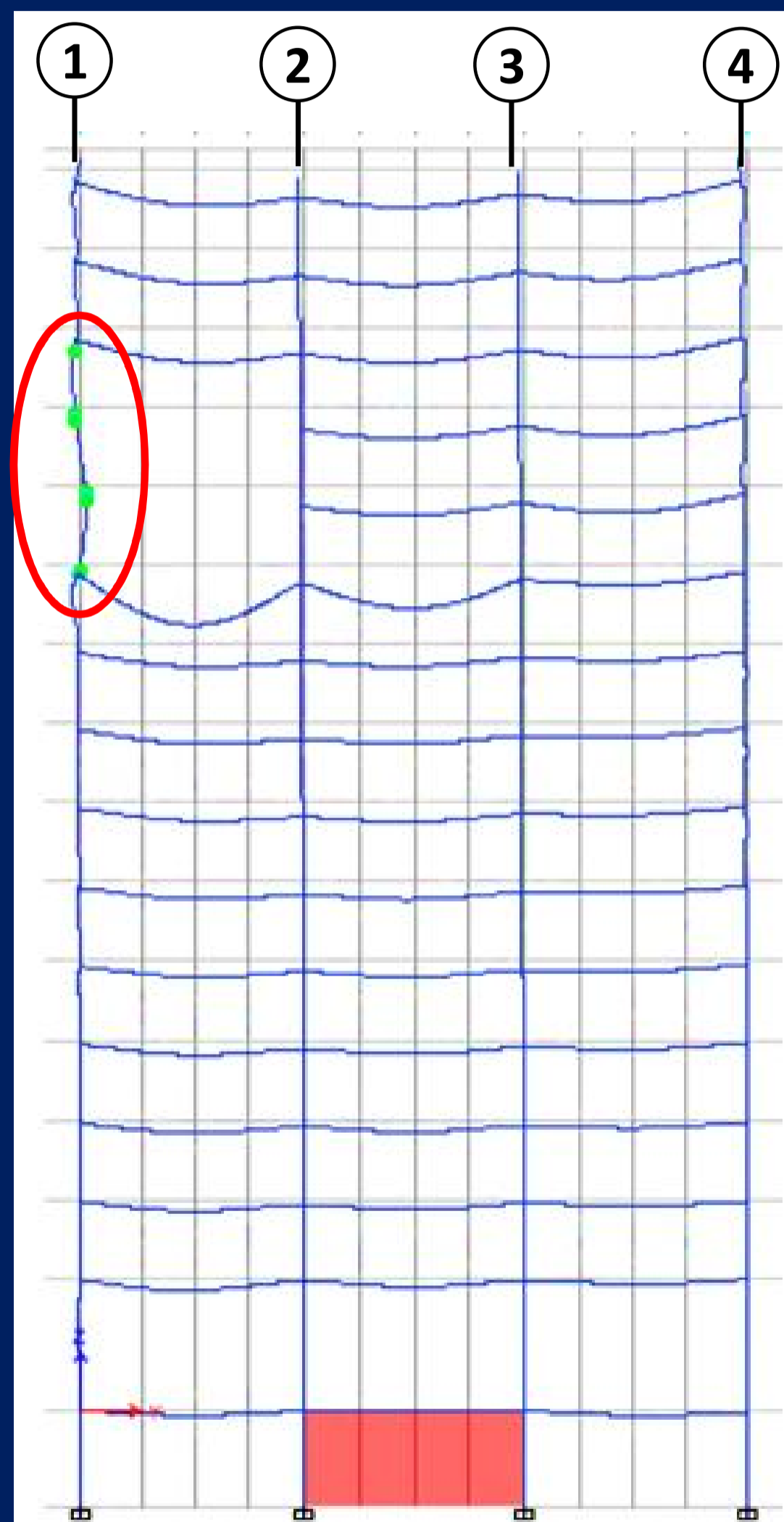
تشکیل مفصل خمیری در ستون واقع در تقاطع محورهای C و ۱ مابین کف یازدهم و سیزدهم به خوبی قابل ملاحظه است.

همین ستون در آخرین مرحله قبل از فروریزش نهایی، دچار کمانش خارج از صفحه نما شده و پس از آن خرابی کلی در سازه رخ داده است.

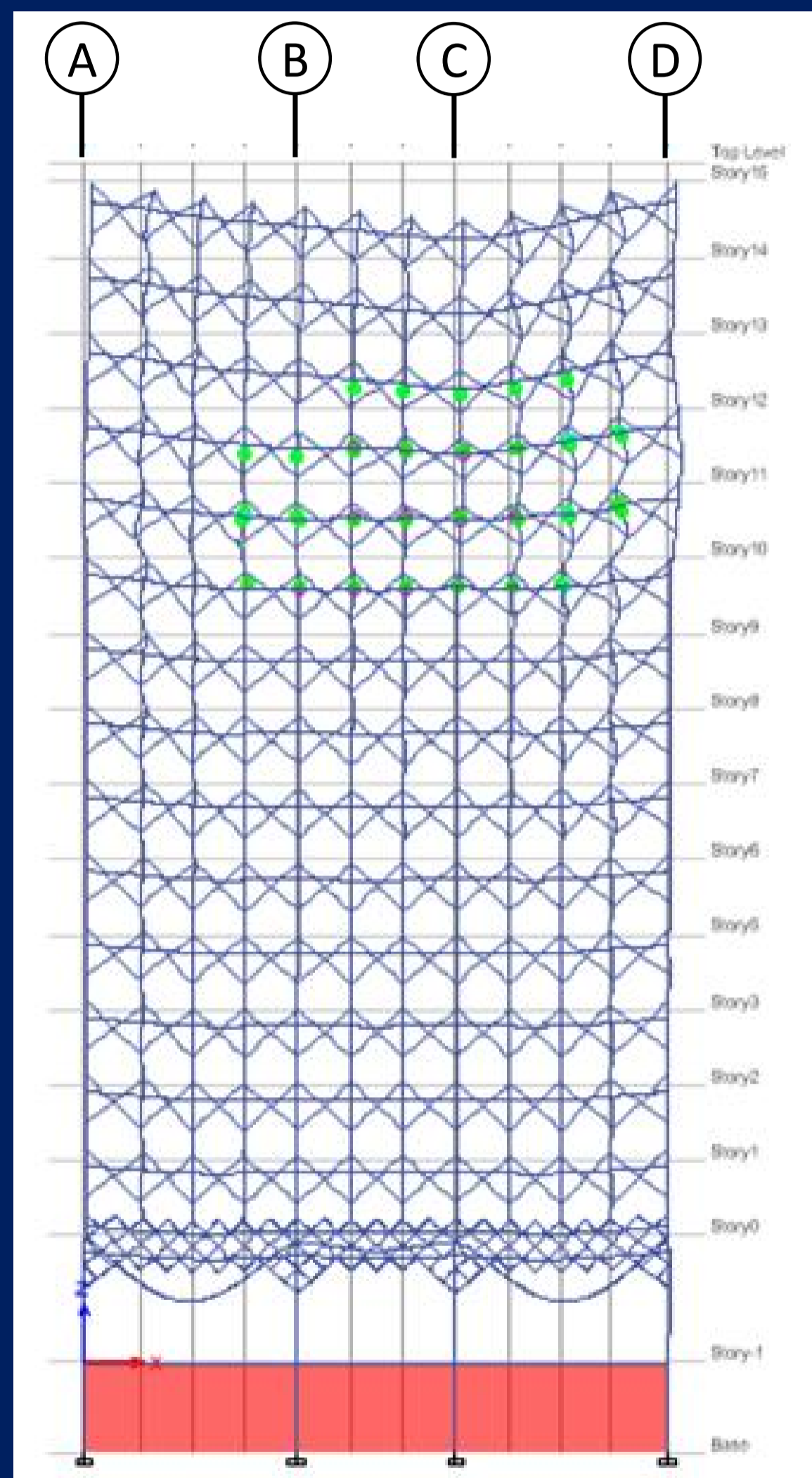
دلیل خرابی را می‌توان افزایش طول مهار نشده ستون به دلیل ریزش سقف‌های مجاور در دو طبقه متوالی در کنار افت شدید مقاومت و سختی ستون به دلیل حضور آتش شدید در همین طبقات دانست.

تغییر شکل و تشکیل مفاصل خمیری در ستون‌های محور C

تحلیل غیرخطی ساختمان با در نظر گرفتن اثرات حرارت و فروریزش بخش‌هایی از سازه



محور C



محور A



توصیه ها

- تکمیل ضوابط مباحث ششم ، نهم و دهم مقررات ملی ساختمان در خصوص مقاومت سازه ها در برابر آتش و خرابی پیش رونده در خصوص ساختمانهای جدیدالاحداث
- تکمیل ضوابط مبحث بیست و دوم مقررات ملی ساختمان در مورد ضوابط حفاظت ساختمان در برابر آتش و بررسی مقاومت سازه در برابر آتش و خرابی پیش رونده در خصوص ساختمانهای موجود
- اصلاح ضوابط و تدوین ساز و کار لازم برای اجرایی شدن مبحث بیست و دوم مقررات ملی ساختمان در خصوص ساختمانهای موجود
- لزوم تمایز در نگرش به ساختمانهای بلند مرتبه و تدوین ضوابط و مقررات ویژه برای احداث و نگهداری این نوع ساختمانها
- همکاری همه جانبه وزارت راه و شهرسازی، سازمان نظام مهندسی ساختمان و شهرداریها برای اجرای کامل مقررات ملی ساختمان و خصوصا موارد ایمنی ساختمان و سازه آن در برابر حریق در ساختمانهای بخش خصوصی
- همکاری همه جانبه وزارت راه و شهرسازی، دستگاههای کارفرمایی، مهندسان مشاوران، پیمانکاران، سازمانهای مردم نهاد و انجمنهای صنفی از قبیل جامعه مهندسان مشاور و انجمنهای پیمانکاری برای اجرای کامل مقررات ملی ساختمان و خصوصا موارد ایمنی ساختمان و سازه آن در برابر حریق در ساختمانهای بخشهای دولتی و عمومی
- اقدام فوری در شناسایی، درجه بندی و تدوین برنامه و عمل برای کاهش آسیب پذیری ساختمانهای موجود با عمر نسبتا زیاد در کلانشهرها.