مدل‌سازی و تحلیل تخریب ساختمان شماره ۵ مرکز تجارت جهانی (WTC5)

امیر ساعدی داریان[۱]، محمود یحیایی[۲]، محسن بهزادپوری[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۶/۰۵

چکیده

ساختمان شماره ۵ مرکز تجارت جهانی (WTC5) یک ساختمان اداری ۹ طبقه و بخشی از مجتمع مرکز تجارت جهانی در شهر نیویورک بود. در حادثه ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱ بخشی از آوارهای شعله‌ور برج‌های شماره ۱ و ۲ مرکز تجارت جهانی بر روی سقف این ساختمان افتاده و علاوه بر ایجاد خسارت باعث بروز آتش‌سوزی نیز شدند. گسترش آتش در ساختمان در نهایت منجر به تخریب طبقات چهارم تا هشتم در قسمت شرقی این ساختمان شد. تخریب ایجاد شده در بخش‌هایی از ساختمان بود که هیچ آسیبی از ضربه اولیه ندیده بودند و عمده تخریب، صرفاً ناشی از آتش‌سوزی به‌وجود آمده بود. لذا در این تحقیق به منظور بررسی نحوه تخریب این ساختمان، مدل اجزاء محدود بخش‌های تخریب شده ساختمان در نرم‌افزارABAQUS ساخته شده و تاریخچه دمای آتش ساختمان که توسط انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST, 2005) [۱] ارائه شده بود به‌عنوان بارگذاری دینامیکی حرارتی به مدل‌های ایجاد شده اعمال و تحلیل دینامیکی کوپل دما-تغییر مکان بر روی مدل‌های سازه‌ای انجام شد. به کمک نتایج حاصل از تحلیل‌های سازه‌ای، نحوه رفتار اجزای ساختمان در برابر آتش‌سوزی و در نهایت نحوه گسیختگی اجزاء، عیوب ساختمان و علت اصلی خرابی سازه مطالعه شده است.

کلیدواژه‌ها: مرکز تجارت جهانی، تاریخچه دمای آتش، تحلیل حرارتی، اتصالات پیچی، تحلیل اجزاء محدود، تیر اصلی

۱- کاندیدای دکتری سازه دانشگاه خواجه نصیر طوسی، Email: amir_saedi_d@yahoo. com
۲- دانشیار دانشگاه خواجه نصیر طوسی
۳- کارشناس ارشد عمران

۱- مقدمه

با پیشرفت علم و فناوری از یک سو و بروز حوادث و اتفاقات مختلف از سوی دیگر، مسائل و دغدغه‌های جدیدتری نیز مورد توجه محققین علم عمران قرار گرفته است. از جمله مواردی که در سالیان اخیر بالاخص بعد از بروز حوادث تروریستی بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است مسئله ایمنی سازه‌ها در برابر انفجار و آتش‌سوزی می‌باشد. به‌عنوان نمونه در بحث آتش‌سوزی، طراحی سازه‌ای بایستی الزامات ایمنی در برابر آتش را در نظر بگیرد تا خسارات را به حداقل برساند. بدین منظور طراحی ایمن سازه‌ها در برابر آتش، دو رویکرد عمده دارد:

۱) رویکرد مهندسی ایمنی در برابر آتش و ۲) رویکرد مهندسی سازه. رویکرد اول به منظور ارائه یک راه‌حل بهینه با توجه به کاربرد تدابیر پیشگیرانه و حفاظتی برای کاهش تلفات جانی و خسارات مالی انجام می‌شود و رویکرد دوم برای پیش‌بینی رفتار سازه‌ای یک عضو منفرد و نیز رفتار کل سازه تحت شرایط آتش‌سوزی و تعیین مدت زمان پیش از فروریزش سازه، با حداکثر دقت ممکن و دمای بحرانی در حین تخریب صورت می‌پذیرد.

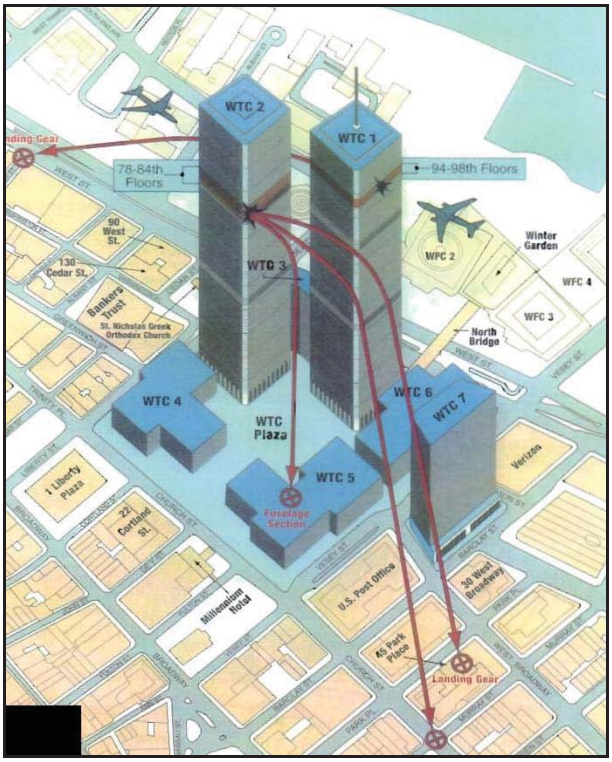
رویکرد مهندسی سازه، یک بحث نسبتاً جدید بوده و تنها در چند دهه گذشته توسعه یافته است. پیش‌بینی رفتار سازه تحت تأثیر آتش، برای کل سازه، کاری پیچیده می‌باشد. حادثه حمله تروریستی ۱۱ سپتامبر انگیزه بیشتری را برای چنین مطالعاتی به جهت کنترل نتیجه مخرب آن فراهم کرده است که از ان جمله می‌توان به مراجع [۵-۲] اشاره نمود.

هدف تحلیل آتش، تعیین یا بررسی مقاومت در برابر آتش، به‌ویژه ظرفیت باربری یک عضو فولادی در سازه در دماهای بالا و نیز رفتار سازه‌ای که گرفتار حریق است، می‌باشد. این تحلیل با استفاده از روش حل عددی - مانند روش المان محدود غیر الاستیک درجه دوم - انجام می‌شود.

با توجه به اهمیت این مسئله، در این تحقیق ساختمان شماره ۵ مرکز تجارت جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. این ساختمان یک ساختمان اداری ۹ طبقه بود و در حادثه ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱، آوارهای شعله‌ور برج‌های شماره ۱ و ۲ مرکز تجارت جهانی (که هر کدام ۱۱۰ طبقه ارتفاع داشتند) در سقف این ساختمان نفوذ کرده و باعث ایجاد حریق در ان شدند. گسترش آتش در ساختمان در نهایت منجر به تخریب طبقات چهارم تا هشتم در قسمت شرقی این ساختمان شد. تخریب ایجاد شده در بخش‌هایی از ساختمان بود که هیچ آسیبی از ضربه اولیه ندیده بودند و عمده تخریب صرفا ناشی از آتش‌سوزی به‌وجود آمده بود. این ساختمان یکی از نمونه‌های تخریب ناشی از آتش‌سوزی می‌باشد. در این مقاله علل تخریب این ساختمان به صورت جزیی و دقیق مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- وضعیت قرارگیری ساختمان و جزییات سازه‌ای آن

در ابتدا به منظور اطلاع از چگونگی وقوع حادثه و شروع حریق در ساختمان لازم است نحوه قرارگیری ساختمان در مجتمع مرکز تجارت جهانی مورد مطالعه قرار گیرد.



شکل ۱- مجتمع مرکز تجارت جهانی[۶]

در شکل (۱) دایره‌های قرمز محل سقوط نخاله‌های مشتعل شده هستند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود ساختمان شماره ۵ هیچ آسیبی از برخورد هواپیماها ندیده است و فقط یکسری آسیب جزیی ناشی از سقوط نخاله‌های

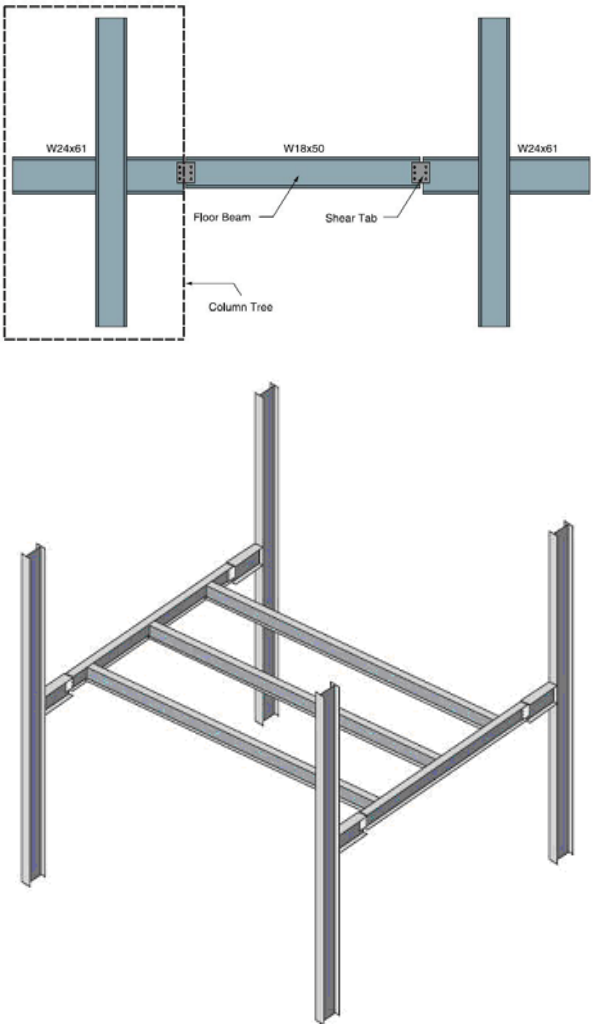
ساختمان شماره ۲ بر روی سقف ساختمان به‌وجود آمده که این آسیب‌ها به هیچ عنوان آسیب جدی نبوده و در ضمن، فروریزش ساختمان هم از محلی که به‌واسطه سقوط نخاله‌ها آسیب جزیی دیده انجام نشده است. مهمترین تأثیر این نخاله‌های مشتعل ایجاد حریق در ساختمان بوده که این حریق در طول زمان در ساختمان گسترش یافته و در نهایت منجر به تخریب طبقات چهارم تا هشتم در قسمت شرقی ساختمان شده است. شکل (۲- الف) ساختمان را قبل از حادثه و شکل (۲- ب) ساختمان را در حین حادثه نشان می‌دهد.

الف) قبل از حادثه

ب) در حین حادثه

شکل ۲- ساختمان شماره ۵ مرکز تجارت جهانی

بررسی‌های انجام شده توسط انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST, 2005) نشان داد که تخریب عمدهٔ ناشی از آتش‌سوزی شامل قسمتی از ساختمان بوده که قاب‌های فولادی داخلی در آن قرار گرفته‌اند. این قاب‌های فولادی از شاه‌تیرهایی تشکیل شده بودند که از یک طرف به ستون جوش شده و از طرف دیگر به کمک اتصال برشی به تیرهای کوچک‌تر به صورت مفصلی متصل شده بودند. در شکل (۳) یک نمونه از قاب داخلی به‌کار رفته در ساختمان شماره ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳- جزییات دهانه‌های داخلی قاب‌ها در طبقات پنجم تا هشتم[6]

به‌منظور بررسی علل و نحوه وقوع خرابی لازم است که ساختمان در بخش‌های تخریب شده تحت اثر آتش تحلیل شود.

۳- بازسازی حادثه آتش‌سوزی

تحلیل رویدادهایی که منجر به این تخریب شده‌اند نیازمند فهمیدن شرایط آتش‌سوزی در ساختمان می‌باشد. گزارش

انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST, 2005) در مورد ساختمان‌های شماره ۱ و ۲ مرکز تجارت جهانی اطلاعات مفیدی را در مورد پارامترهای معرف آتش‌سوزی رخ داده در ساختمان شماره ۵ در اختیار قرار می‌دهد. انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی با استفاده از این اطلاعات، و همچنین به کمک نرم‌افزار (CFAST) مدل‌هایی برای تاریخچه دمای آتش در ساختمان شماره ۵ ارایه نموده است که این نمودارهای تاریخچه زمانی آتش، در تحلیل سازه‌ای که در این مقاله انجام شده است مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که نرم‌افزار (CFAST) یکی از نرم‌افزارهایی است که به‌منظور مدل‌سازی نحوه گسترش آتش و دود در یک سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار با استفاده از اصول دینامیک سیالات محاسباتی و با تکیه بر شرایط مرزی اولیه (نوع مواد سوختنی، تعداد بازشوها، حریق اولیه و...) نحوه گسترش آتش را تخمین می‌زند. در شکل (۴) نمودار تاریخچه زمانی آتش در ساختمان شماره ۵ ارائه شده توسط انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی نشان داده شده است.

۴- روش اجزاء محدود

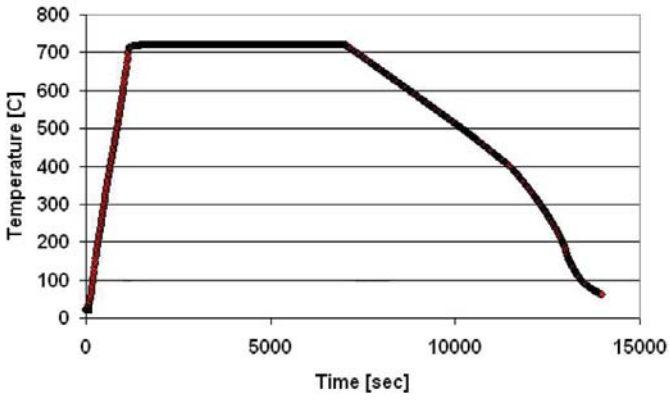
مدل‌سازی اثر آتش بر سازه به دلیل عوامل موثر متعدی که در رفتار سازه در حین افزایش درجه حرارت تأثیرگذار بوده و لازم است اثر ترکیبی کلیه آنها به‌طور همزمان مورد توجه قرار گیرد از پیچیدگی‌های بسیاری برخوردار است. با توجه به پیچیدگی‌های خاص مدل‌سازی اثر آتش بر سازه‌ها در این تحقیق از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS به‌منظور این شبیه‌سازی استفاده شده است. به دلیل عملکرد قابل اعتماد المان‌های break هشت‌گره‌ای، از این نوع المان در مدل‌سازی‌های این بخش استفاده شده است. تماس بین تمامی قطعات متصل به هم با استفاده از المان اندرکنش سطح در ABAQUS مدل شده که اجازه لغزش‌های نسبی کوچک در سطح تماس سطوح در تماس با هم را می‌دهد. اصطکاک بین سطوح تماس در اتصال با مدل کلاسیکCoulomb مدل‌سازی شده است.

۴-۱- ویژگی‌های المان‌های به‌کار رفته در مدل‌سازی اجزاء محدود

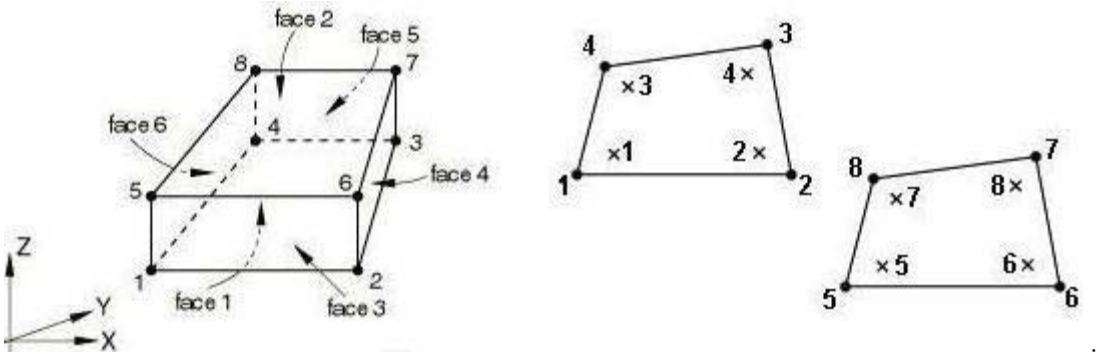
۴-۱-۱- المان آجری هشت گره‌ای (المان break هشت گره‌ای)

به‌منظور مدل‌سازی رفتار فولاد به‌کار رفته در سازه، از المان **C3D8** که یک المان آجری هشت گره‌ای دارای توابع شکل خطی است، استفاده شده است. این المان قابلیت اعمال تغییر شکل‌های پلاستیک (Plastic) و تغییر شکل‌های بزرگ (Large deformation) را داشته و هم‌چنین در تمامی هشت نقاط انتگرال‌گیری خود می‌تواند ترک خوردگی را در سه جهت متعامد مدل کند.

هر گره المان فوق سه درجه آزادی انتقالی در جهات x و y و z داشته که برای المان کلاً ۲۴ درجه آزادی فراهم می‌سازد. به‌منظور افزایش دقت رفتار المان، از روش انتگرال‌گیری کامل (هشت نقطه‌ای) استفاده شده و در کنار تحمیل رفتار پلاستیک غیرخطی فشاری، از تئوری مکانیک شکست به منظور بیان رفتار گسیختگی کششی در تمامی نقاط انتگرال‌گیری المان بهره گرفته شده است. در شکل (۵) مشخصات این المان نشان داده شده است.



شکل ۴- تاریخچه زمانی افزایش درجه حرارت در ساختمان شماره ۵ [۶]



نقاط انتگرال‌گیری المان آجری — المان آجری هشت گره‌ای

شکل ۵- المان ۸ گره‌ای

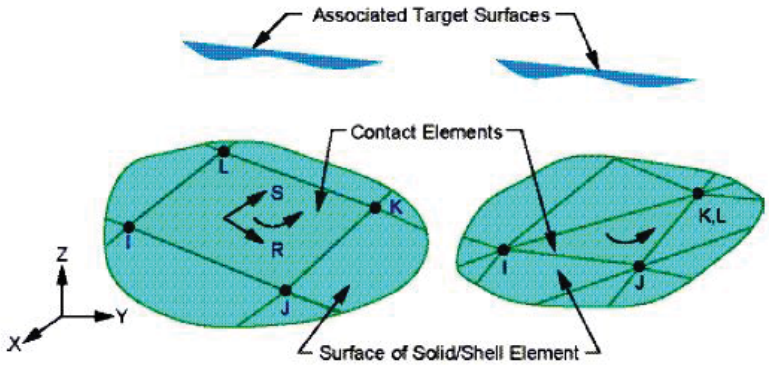
۴-۱-۲- المان تماسی

مسئله تماس در حالت تماس سطح به سطح، سه بعدی و به کمک جفت المان‌های تماسی قابل مدل‌سازی است. به کمک این المان‌ها می‌توان قابلیت لغزش دو سطح بر روی هم را در نظر گرفت. این المان‌ها به صورتی عمل می‌کنند که در طول فرایند بارگذاری پدیده نفوذ اتفاق نیفتد. شکل (۶) تصویر المان‌های تماسی سطح به سطح را نشان می‌دهد.

۴-۲- رفتار مصالح

در دماهای بالا، سازه متحمل تغییر شکل‌های پلاستیک بزرگی می‌شود. بنابراین، مدل ماده الاستیک – پلاستیک مورد استفاده قرارگرفته است. در این نوع مدل‌سازی برای در نظر گرفتن اثرات افزایش حرارت در خصوصیات مصالح کافیست تا کاهش پارامترهای اصلی (یعنی مقاومت و سختی) در بیان کاهش خصوصیات ماده با درجه حرارت مشارکت داشته باشند.

خصوصیات تنش کرنش فولاد ساختمانی در دماهای بالا در آیین‌نامه‌های طراحی مانند BS5950 [۷] و EC3 [۸] بخش 1,2 بیان شده‌اند. در این تحقیق خصوصیات تنش و کرنش فولاد مطابق آیین‌نامه EC3 که در جدول (۱) نشان داده شده کاهش یافته است. با توجه به آنکه فولاد مصرفی در ساختمان از نوع ASTM A36 بوده میزان مدول الاستیسیته و تنش جاری شدن در دمای معمولی نیز به ترتیب برابر با $2*10^6 \ \ kg/cm^2$ و $2500 \ \ kg/cm^2$ در نظر گرفته شده است. با توجه به آنکه به منظور انجام تحلیل حرارتی در نرم‌افزار ABAQUS مشخصات گرمایی مصالح از جمله گرمای ویژه و همچنین رسانایی گرمایی مورد نیاز است لذا میزان تغییرات گرمای ویژه فولاد و همچنین رسانایی گرمایی فولاد با افزایش حرارت در جدول‌های (۲) و (۳) نشان داده شده‌اند.



شکل ۶- المان‌های تماسی سطح به سطح

جدول ۱- کاهش سختی و مقاومت فولاد مطابق آیین‌نامه EC3

Steel temperature, θ_s (C)	Reduction factors for yield stress f_y , and Young's modulus E_s , at steel temperature θ_s	
	$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	$k_{E,\theta} = E_{S,\theta} / E_S$
۲۰	۱	۱
۱۰۰	۱	۱
۲۰۰	۱	۰,۹
۳۰۰	۱	۰,۸
۴۰۰	۱	۰,۷
۵۰۰	۰,۷۸	۰,۶
۶۰۰	۰,۴۷	۰,۳۱
۷۰۰	۰,۲۳	۰,۱۳
۸۰۰	۰,۱۱	۰,۰۹
۹۰۰	۰,۰۶	۰,۰۶۷۵
۱۰۰۰	۰,۰۴	۰,۰۴۵
۱۱۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲۲۵
۱۲۰۰	۰	۰

جدول ۲- تغییرات گرمای ویژه فولاد با افزایش حرارت

Steel Temperature (C)	Specific Heat (J/(kg*K)
۲۰	۴۴۰
۱۰۰	۴۴۸
۲۰۰	۵۳۰
۳۰۰	۵۶۵
۴۰۰	۶۰۶
۵۰۰	۶۶۷
۶۰۰	۷۶۰
۷۰۰	۱۰۰۹

جدول ۳- تغییرات رسانایی گرمایی فولاد با افزایش حرارت

Steel Temperature (C)	Conductivity (W/m*K)
۲۰	۵۳
۱۰۰	۵۱
۲۰۰	۴۷
۳۰۰	۴۴
۴۰۰	۴۱
۵۰۰	۳۷
۶۰۰	۳۴
۷۰۰	۳۱

۴-۳- مدل اجزا محدود

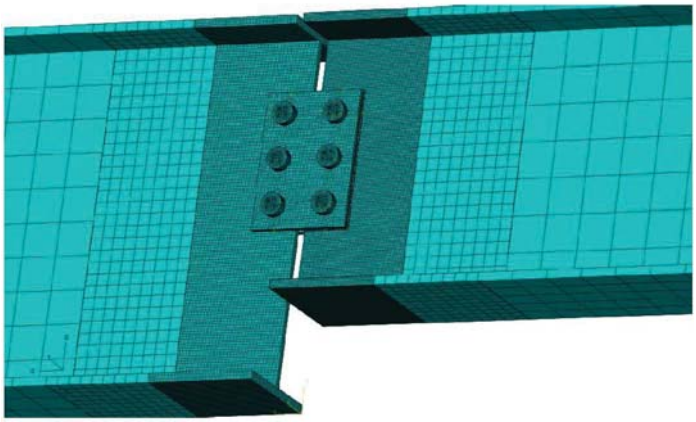
در این بخش به منظور بررسی اثر آتش بر ساختمان مورد نظر بخشی از قاب داخلی طبقه هشتم ساختمان (بررسی‌های انجام شده نشان داده‌اند که تخریب اولیه در این منطقه روی داده است) مدل شده است. در شکل (۷) مدل اجزاء محدود ساخته شده نشان داده شده است.

شکل (۸) نحوه مش‌بندی مدل مورد نظر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مش استفاده شده در محل اتصال از مش استفاده شده در باقی نقاط ریزتر است. اینگونه مش‌بندی در عین حالی که موجب بهینه نمودن زمان لازم برای تحلیل می‌شود، در محل‌های حساس که لازم است جزئیات با دقت بیشتری مورد مطالعه قرار گیرند، دقت لازم را نیز تأمین می‌نماید.

۵- بحث و بررسی نتایج

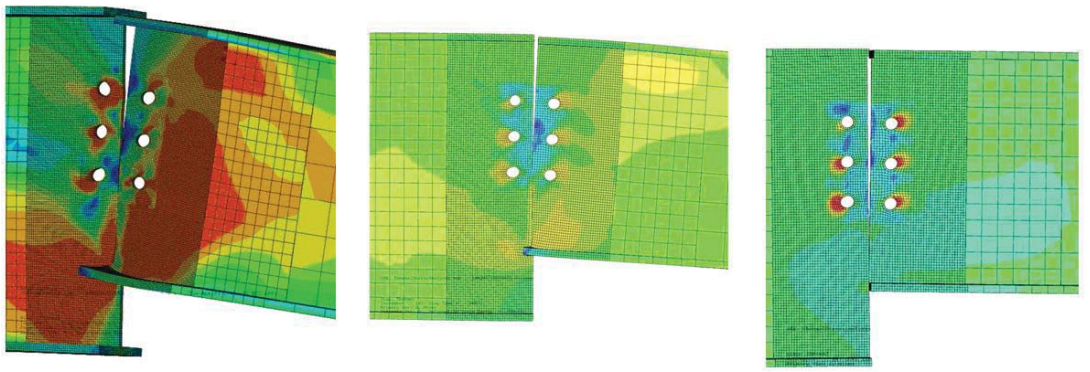
نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها نشان می‌دهد که شاه‌تیر فولادی و تیر میانی، در اثر گرما منبسط شده و در اثر افزایش طول ناشی از افزایش حرارت، کم‌کم فاصله بین شاه‌تیر و تیر میانی از بین می‌رود. افزایش انبساط و نتیجتاً از بین رفتن این فاصله باعث به‌وجود آمدن تمرکز تنش‌های فشاری در اطراف پیچ‌ها که تحت نیروی جان قرار دارند، می‌شود. همزمان با افزایش درجه حرارت، از یک سو انبساط طولی در شاه‌تیر و تیر میانی ایجاد می‌شود و از طرف دیگر با کاهش سختی فولاد ناشی از افزایش حرارت، صلبیت اتصال کاهش می‌یابد. با کاهش صلبیت اتصال، شاه‌تیر شروع به چرخش می‌کند. این چرخش موجب می‌شود تا بال پایینی تیر میانی به جان شاه‌تیر متصل شده و موجب تغییر شکل در آن منطقه شود.

شکل ۷- مدل اجزاء محدود قاب‌های داخلی در طبقه ۸ (محل تخریب اولیه)



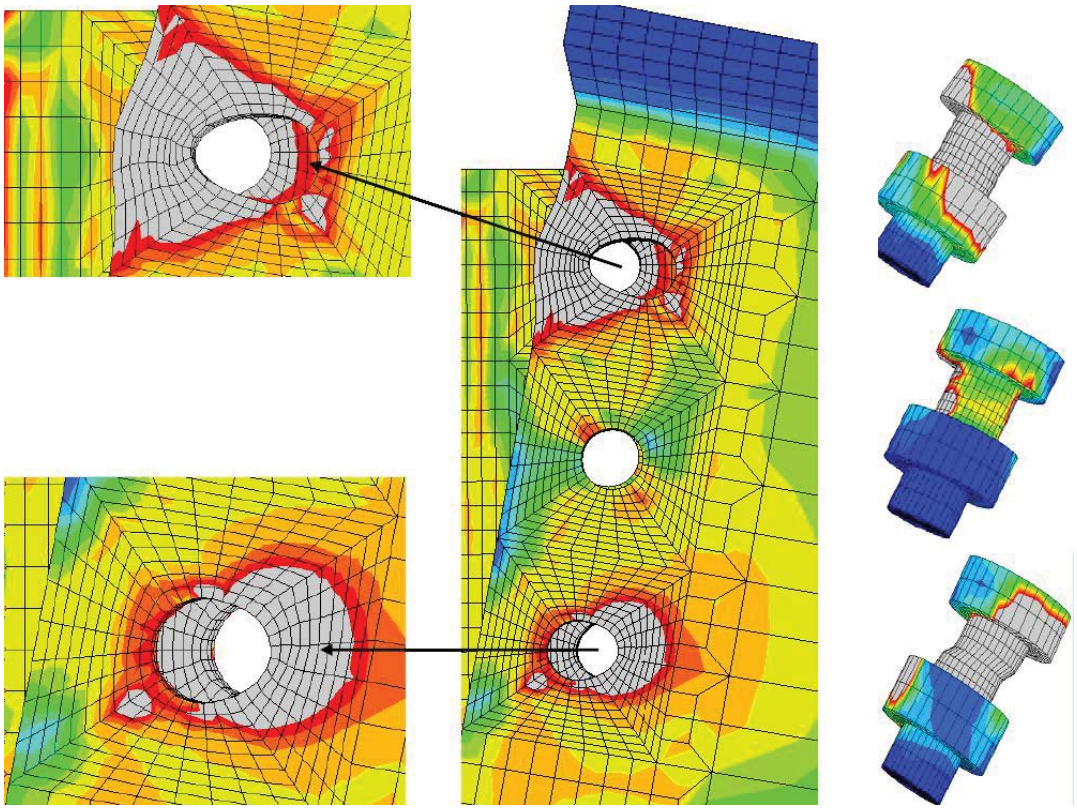
شکل ۸- مش‌بندی مدل اجزاء محدود در محدوده اتصال

توزیع تنش در شاه‌تیر و تیر میانی در طول زمان در شکل (۹) نشان داده شده است. پس از ۲ ساعت، تأثیر کاهش سختی فولاد در اثر افزایش حرارت از تأثیر انبساط طولی ناشی از افزایش حرارت پیشی می‌گیرد. در چنین وضعیتی در حالی که انتهای شاه‌تیر در پاسخ به تغییر شکل میان دهانه به چرخش ادامه می‌دهد، جهت عمل پیچ بالای اتصال برشی معکوس می‌شود. از این لحظه به بعد پیچ در جهت متمایل به ایجاد پارگی در جان تیر کشیده می‌شود. در شکل (۱۰) تغییر شکل اعضای اتصال در لحظه گسیختگی اتصال توسط مدل‌های اجزاء محدود ارائه شده است. در شکل (۱۱) نیز نحوه پارگی جان تیر میانی در محل سوراخ‌های اتصال در حالت واقعی نشان داده شده است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود تحلیل اجزاء محدود به‌خوبی توانسته نحوه گسیختگی اتصال از محل سوراخ‌های جان تیر را شبیه‌سازی نماید.



(الف) توزیع تنش ۳۰ دقیقه بعد از آتش‌سوزی (ب) توزیع تنش یک ساعت بعد از آتش‌سوزی (ج) توزیع تنش دو ساعت بعد از آتش‌سوزی

شکل ۹- توزیع تنش در شاه‌تیر اصلی و تیر میانی در طول زمان آتش‌سوزی



شکل ۱۰- تغییر شکل اعضای اتصال در لحظه گسیختگی

شکل ۱۱- نحوه پارگی جان تیر در محل سوراخ پیچ‌ها

به کمک نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی می‌توان پیش‌بینی نمود که احتمالا تنها چند دقیقه بعد از تشکیل نقطه تکیه‌گاهی (منظور از نقطه تکیه‌گاهی، محل تماس انتهای بال تیر میانی با جان شاه‌تیر می‌باشد که در شکل (۹- ج) مشاهده می‌شود). کرنش برشی پلاستیک در جان تیر به مقادیر سه یا چهار برابر حد گسیختگی می‌رسد. در این نقطه، جان تیر در محل پیچ بالایی پاره شده که معمولاً بلافاصله با گسیختگی دو پیچ باقیمانده و گسیختگی اتصال همراه می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق علل تخریب ساختمان شماره ۵ مرکز تجارت جهانی به‌عنوان یکی از نمونه‌های جالب توجه از خرابی ناشی از آتش‌سوزی مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌منظور انجام این مطالعه به کمک نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS مدل دقیق سازه در محدوده قاب‌های داخلی طبقه ۸ که تخریب اولیه از آنجا شروع شده ساخته شده است. سپس بارگذاری حرارتی متناسب با تاریخچه زمانی آتش‌سوزی روی داده در ساختمان، بر روی مدل اعمال شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد علت اصلی تخریب گسیختگی، جان تیر میانی در محل سوراخ پیچ بالایی بوده است. زمان گسیختگی تقریباً ۲ ساعت بعد از شروع آتش‌سوزی و در فاز گرم‌شدگی نمودار قرار داشته است.

در مورد علل این مسئله دو مورد اساسی زیر را می‌توان ذکر نمود:

۱- آتش ایجاد شده در این سازه یک آتش کاملاً شدید و همه جانبه بوده که معمولاً به‌عنوان یک سناریوی معمول در طراحی مقاومت در برابر آتش لحاظ نمی‌شود.

۲- قاب‌های فولادی داخلی در این سازه (شاه‌تیر از یک طرف به ستون جوش شده و از طرف دیگر به کمک اتصال برشی به تیرهای کوچکتر به صورت مفصلی متصل شده است) به خصوص در محل اتصال به شدت به افزایش حرارت و دوران بالا حساس بودند و سازه از این محل دچار ضعف سازه‌ای بوده است. چرا که در این نوع طراحی با افزایش درجه حرارت به دلیل اثر توامان افزایش طول ناشی از انبساط طولی تیرها و کاهش سختی ناشی از افزایش درجه حرارت اتصال برشی ساده در محل سوراخ پیچ بالایی به شدت تحت تنش قرار گرفته و بلافاصله بعد از از بین رفتن فاصله تیر میانی و شاه‌تیر و تماس دو تیر و تشکیل نقطه تکیه‌گاهی، این تنش به حدی بالا می‌رود که در محل سوراخ پیچ‌ها کرنش بسیار بالاتر از کرنش نهایی فولاد می‌شود.

مراجع

1. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster, National Institute of Standards and Technology (NIST) (**2005**).
2. Saedi Daryan A, Yahyai M, "Behavior of Bolted Top-Seat Angle Connections in Fire" Journal of Constructional Steel Research (**2009**); 65: 531-541.
3. Saedi Daryan A, Yahyai M, "Modeling of Bolted Angle Connections in Fire" Fire Safety Journal 44 (**2009**) 976–988.
4. Saedi Daryan A, Bahrampoor H, "The Study of Behavior of Khorjini Connections in Fire" Fire Safety Journal 44 (**2009**) 659–664.
5. Saedi Daryan A, Yahyai M, "Behavior of Welded Top-Seat Angle Connections Exposed to Fire" Fire Safety Journal 44 (**2009**) 603–611.
6. World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observations, and Recommendations, Federal Emergency Management Agency (FEMA), New York: (**2002**).
7. BS 5950, Structural Use of Steelwork in Buildings, Part 8: Code of Practice for Fire Resistance Design, British Standard Institution BSI, London, (**1990**).
8. European Committee for Standardization, Euro code 3: Design of Steel Structures, Part 1. 2: General Rules Structural Fire Design (Drafts), Document CEN, European Committee for Standardization, (**1995**).

Modeling and Analysis of the dectruction of Building 5 of the World Trade Center(WTC5)

Amir Saedi Darian[1]

Mahmood Yahyaie[2]

Mohsen Behzad Pour[3]

Abstract

Building number five of the World Trade Center is a nine-story administrative building and a part of the World Trade Center Complex in New York. In the September 11, 2001 event, part of the blazing rubbles of the towers 1 and 2 fell on the roof of this building and in addition to the damage done, it caused fire, as well. The spread of fire in the building, eventually led to the destruction of the fourth to eighth floor in the eastern section of this building. The destruction was in those parts of the building which received no damage by the first impact and most of the damage was solely due to the fire. Therefore, in this essay, a model of the limited components of the destroyed sections of the building was made using the ABAQUS software in order to review how the destruction was done and the temperature history of the building which was presented by the National Institute of Standards and Technology(NIST 2005) was applied to the models created as dynamic thermal loading and the dynamic analysis of the temperature couple –point change was also applied to the structure models assisted by the results obtained from structure analyses, the behavior of the building components against fire has been studied and at the end, the separation of the components and the building defects and the main reason for the structure defect were also reviewed.

Key Words: *World Trade Center, History of Fire Temperature, Thermal Analysis, Twist Connections, Analysis of Limited Components, Main Column*

1- PhD Canidate of Structure in Khaje Nasiredin Toosi University (E-mail: amir_saedi_d@yahoo.com)
2- Associate Professor of Khaje Nasiredin Toosi University
3- MS. of Civil Engineering