بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- سازه

بررسی رفتار ستون‌های بتنی در معرض آتش

استاد راهنما: دکتر رضا مرشد

استاد مشاور: دکتر بهروز احمدی ندوشن

پژوهش و نگارش: حمید دادگر

مهرماه ۱۳۹۱

تقدیم به خانواده‌ام

که با همراهی و همدلی آنها نگارش این پایان‌نامه ممکن شد.

سپاس‌نامه

ستایش و سپاس خداوندی که حمد را بهای نعمت و آن را وسیله رسیدن به نعمت‌های خویش گردانید و جان آدمی را به زیور تقوی بیاراست.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر مرشد بسیار سپاسگزارم که زحمت راهنمایی این پژوهش را به عهده گرفتند و با صبر و حوصله و با نکته‌یابی‌های ارزنده مرا در انجام دادن این پژوهش یاری دادند. از استاد گرامی جناب آقای دکتر بهروز احمدی ندوشن که زحمت مشاورۀ پایان نامه را بر عهده داشتند و مرا در بهتر انجام دادن این پژوهش یاری دادند نیز بسیار سپاسگزارم.

از اساتید ارجمند سرکار خانم دکتر اسعدی و جناب آقای دکتر فروغی که ضمن قبول داوری این پایان نامه نکات ارزشمندی در جهت غنای کیفی آن مطرح کردند بسیار سپاسگزارم.

چکیده

آتش‌سوزی پدیده ایست که هر سازه در طول عمر مفید خود ممکن است آن را تجربه نماید. با گسترش شهرسازی‌های مدرن، پتانسیل خطرات ناشی از آتش‌سوزی و احتمال وقوع آن‌ها در سازه نیز گسترش یافته است. اگرچه با توجه به ضعف فولاد در برابر حرارت‌های بالا، آتش‌سوزی و حرارت در سازه‌های فولادی بسیار مهم‌تر از سازه‌های بتنی است لیکن اثرات آتش در سازه‌های بتنی نیز قابل ملاحظه است؛ لذا ساخت سازه‌های بتنی مقاوم در برابر آتش و کاهش اثرات ناشی از افزایش حرارت بر سازه‌های بتنی نیز از ارزش بالایی برخوردار است. یقیناً اولین گام در راستای کاهش خسارات ناشی از آتش بر یک سازه بتنی، رفتار سنجی آن سازه در برابر افزایش حرارت می‌باشد. با توجه به این مهم و از آنجاییکه ستون‌ها پایه‌های اصلی هر سازه هستند در این تحقیق رفتار ستون‌های بتنی تحت حرارت آتش استاندارد مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور انجام این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS مدل اجزا محدود چندین ستون بتنی در حالات و شرایط قرارگیری مختلف، ساخته شده و اثرات گسترش آتش استاندارد بر آن‌ها بررسی شده است. با بررسی نتایج حاصل از این تحلیل زمان دوام هر یک از این ستون‌ها و همچنین میزان افت مقاومت و باربری آن‌ها با افزایش حرارت مشخص شده است.

بر اساس بررسی انجام شده در این تحقیق می‌توان اینطور نتیجه‌گیری نمود که سختی ستون از جمله مهمترین ویژگی‌های ستون در حرارت‌های بالاست. ستون‌هایی که سطح مقطع بالاتری دارند نسبت به ستون‌های لاغرتر سطوح دمایی بالاتری را تحمل می‌نمایند و زمان دوام بالاتری دارند. علاوه بر این، پوشش ستون نیز تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش اثرات نامطلوب ناشی از افزایش حرارت (کاهش سطح باربری و افزایش تغییرمکان ستون و کاهش زمان دوام) دارد. خروج از محوریت بار نیز موجب تشدید اثر افزایش حرارت بر ستون‌ها می‌شود. مقایسه نتایج حاصله با توصیه‌های ارائه شده در مبحث ۹ مقررات ملی در خصوص زمان دوام ستون‌های بتنی نشان دهنده‌ی هم سویی نتایج حاصله

می‌باشد. با این توضیح که نتایج ارائه شده در این تحقیق با توجه به حجم بالای مدل‌های مورد بررسی جزیی نگری بیشتری داشته و تاثیر موارد متعددی را لحاظ نموده است.

کلمات کلیدی: ستون بتنی، مقاومت در برابر آتش، تحلیل حرارتی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- مروری بر سابقه تحقیق ۳

۱-۲-۱- هونگ چن و همکاران ۳

۱-۲-۲-ون چن جاو و کو لی هوانگ ۴

۱-۲-۳-زو و وو ۵

۱-۲-۴- فاریس علی و همکاران ۶

۱-۲-۵- سباستجن براتینا و همکاران ۹

۱-۲-۶-آرزکی ساداوی و امار کنان ۹

۱-۲-۷- نیخیل راوت و ونکاتش کدور ۱۰

۱-۲-۸- مصطفایی و من‌نارینو ۱۲

۱-۲-۹- کدور و سلطان ۱۳

۱-۲-۱۰- وو و همکاران ۱۴

۱-۳- جمع بندی ۱۵

۱-۳-۱-تعریف مسئله ۱۵

۱-۳-۲- هدف تحقیق ۱۵

۱-۳-۳-روش تحقیق ۱۶

۱-۳-۴-فرضیات ۱۶

فصل دوم: مشخصات مصالح در دماهای بالا ۱۹

۲-۱- مقدمه ۱۹
۲-۲-داده‌های گرمایی ۲۰
۲-۲-۱- فولاد ۲۰
۲-۲-۱-۱-چگالی ۲۰
۲-۲-۱-۲-گرمای ویژه ۲۱
۲-۲-۱-۳-هدایت گرمایی ۲۲
۲-۲-۲- بتن ۲۳
۲-۲-۲-۱-چگالی ۲۳
۲-۲-۲-۲-گرمای ویژه ۲۴
۲-۲-۲-۳- هدایت گرمایی ۲۵
۲-۳-اثرات حرارت بر مصالح ۲۷
۲-۳-۱- مقدمه ۲۷
۲-۳-۲-فولاد ۲۷
۲-۳-۲-۱- مقاومت ۲۷
۲-۳-۲-۲-رابطه‌ی تنش-کرنش فولاد ۳۰
۲-۳-۲-۳- مدول الاستیسیته‌ی فولاد ۳۲
۲-۳-۲-۴- ازدیاد طول حرارتی نسبی (کرنش گرمایی یا انبساط گرمایی نامقید) ۳۳
۲-۳-۳-بتن ۳۴
۲-۳-۳-۱- مقاومت فشاری ۳۴
۲-۳-۳-۲- انبساط حرارتی خطی ۳۸
۲-۳-۳-۳- مدول الاستیسیته و مدول برشی بتن ۳۹

۲-۳-۳-۴- روابط تنش-کرنش ۴۰
۲-۳-۳-۵- وادادگی تنش و خزش ۴۱
۲-۳-۳-۶- مقاومت پیوستگی فولاد با بتن ۴۳
۲-۳-۳-۷-مقاومت کششی بتن در دمای بالا ۴۴
۲-۴- خرابی ناشی از حرارت آتش در بتن ۴۵
فصل سوم: رفتار حریق در ساختمان ۴۷
۳-۱-مقدمه ۴۷
۳-۲-الگوی رشد حریق در ساختمان ۴۸
۳-۲-۱- مرحله رشد آتش ۴۸
۳-۲-۲- اشتعال حالت پایدار ۴۹
۳-۲-۳- فروکشی ۴۹
۳-۲-۴- ارتباط بین پدیده حریق و آزمایش‌های آتش ۵۲
۳-۳- مقاومت در برابر آتش ۵۴
۳-۴- آزمایش آتش استاندارد- تخمین دوام در برابر آتش ۵۴
۳-۵- تدابیر ایمنی در طراحی سازه‌ها برای شرایط آتش‌سوزی ۵۸
فصل چهارم: معرفی نرم‌افزار، مدل رفتاری موجود در آن و تحلیل غیرخطی ۶۱
۴-۱-مقدمه ۶۱
۴-۲-نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS ۶۲
۴-۲-۱-ویژگی‌های نرم‌افزار ۶۳
۴-۳-بتن ۶۴
۴-۳-۱-رفتار بتن در فشار ۶۴

۴-۳-۲-رفتار بتن تحت کشش ۶۹
۴-۴-مدل‌های رفتاری بتن ۷۱
الف)مدل ترک اندود ۷۲
ب)مدل پلاستیسیته – آسیب ۷۵
۴-۵-مدل‌های رفتاری بتن در ABAQUS ۸۰
۴-۶-فولاد ۸۱
۴-۶-۱-منحنی تنش-کرنش فولاد در حالت کشش ۸۱
۴-۶-۲-رفتار سایکلیک فولاد ۸۳
۴-۶-۳-مدل‌های رفتاری فولاد ۸۴
۴-۷-مدل‌های رفتاری فولاد در ABAQUS ۸۹
۴-۸-المان‌های استفاده شده در تحقیق ۹۰
۴-۹-رفتار غیر خطی در سازه‌ها ۹۲
۴-۹-۱-تحلیل غیر خطی ۹۳
فصل پنجم: مدل‌سازی و تحلیل ۹۷
۵-۱-مقدمه ۹۷
۵-۲- صحت سنجی ۹۸
۵-۲-۱- مشخصات نمونه آزمایشی ۹۸
۵-۲-۲- مدل اجزا محدود ۱۰۰
۵-۳-بررسی رفتار ستون‌های بتنی ۱۰۳
۵-۳-۱-جنبه اول ۱۰۴
۵-۳-۲- جنبه دوم ۱۰۵

۵-۴-مدل‌سازی و تحلیل نمونه‌ها ۱۰۵
۵-۴-۱- روش المان محدود صریح ۱۰۵
۵-۴-۱-۱- الگوریتم المان محدود صریح ۱۰۶
۵-۴-۲-تحلیل دینامیکی کوپله حرارت – تغییرمکان ۱۰۸
۵-۴-۳-نحوه تحلیل نمونه‌ها ۱۰۸
۵-۴-۴- معرفی نمونه‌ها ۱۱۰
۵-۴-۴-۱- مدلسازی نمونه‌ها ۱۱۱
۵-۴-۵- تحلیل نمونه‌ها ۱۱۳
۵-۴-۶-تعیین زمان دوام ۱۳۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۳۷
۶-۱-مقدمه ۱۳۷
۶-۲ –نتیجه‌گیری ۱۳۹
۶-۳-پیشنهادات ۱۴۰
مراجع ۱۴۲

فهرست اشکال و نمودارها

شکل ۲- ۱- تغییرات گرمای ویژه فولاد با دما..... ۲۲

شکل ۲- ۲- تغییرات هدایت گرمایی فولاد با دما..... ۲۳

شکل ۲- ۳- تغییرات گرمای ویژه انواع بتن با دما..... ۲۵

شکل ۲- ۴- تغییرات هدایت گرمایی بتن با دما..... ۲۶

شکل ۲- ۵- مقاومت برخی فولادها در دماهای بالا..... ۲۸

شکل ۲- ۶-مقایسه ضرایب کاهشی مقاومت فولاد در دماهای بالا..... ۳۰

شکل ۲- ۷- منحنی‌های تنش- کرنش برای فولاد ساختمانی در دماهای بالا..... ۳۱

شکل ۲- ۸- منحنی تنش- کرنش مربوط به (a) فولاد تقویتی و (b) فولاد پیش تنیده در دماهای بالا..
..... ۳۱

شکل ۲- ۹- مدول الاستیسیته‌ی فولاد در دمای بالا..... ۳۲

شکل ۲- ۱۰- تغییرات ازدیاد طول حرارتی نسبی فولاد با دما..... ۳۳

شکل ۲- ۱۱- مقاومت فشاری بتن با سنگدانه سیلیسی در دماهای بالا و بعد از خنک شدن..... ۳۵

شکل ۲- ۱۲- مقاومت فشاری بتن با سنگدانه کربناتی در دماهای بالا و بعد از خنک شدن..... ۳۶

شکل ۲- ۱۳- مقاومت فشاری بتن نیمه سبک در دماهای بالا و بعد از خنک شدن..... ۳۶

شکل ۲- ۱۴- مقایسه ضرایب کاهشی مقاومت فشاری بتن در دماهای بالا..... ۳۸

شکل ۲- ۱۵- انبساط حرارتی بتن در دماهای بالا..... ۳۹

شکل ۲- ۱۶- مدول الاستیسیته‌ی بتن در دماهای بالا..... ۴۰

شکل ۲- ۱۷- مدول برشی بتن در دمای بالا..... ۴۰

شکل ۲- ۱۸- منحنی‌های تنش-کرنش بتن بنایی سبک در دماهای بالای مختلف..... ۴۱

شکل ۲- ۱۹- وادادگی تنش بتن با سنگدانه کربناتی..... ۴۲

شکل ۲- ۲۰- خزش بتن با سنگدانه کربناتی در دماهای مختلف (تنش وارده $12Mpa$ و $f_c = 28Mpa$) ۴۲
شکل ۲- ۲۱- تغییر مقاومت پیوستگی بین آرماتور و بتن در دماهای بالا ۴۴
شکل ۳- ۱- مراحل رشد آتش ۴۹
شکل ۳- ۲- منحنی استاندارد رشد حریق ۵۰
شکل ۳- ۳- رابطه بین آزمایش‌های آتش و پدیده حریق ۵۳
شکل ۳- ۴- منحنی دما-زمان در آزمایش دوام اجزاء سازه‌ای در برابر آتش ۵۵
شکل ۴- ۱- منحنی تنش کرنش بتن تحت فشار ۶۵
شکل ۴- ۲- منحنی تنش- کرنش بتن با مقاومت‌های مختلف ۶۶
شکل ۴- ۳- معادله هاگنستاد اصلاح شده ۶۷
شکل ۴- ۴- منحنی تناوبی یک نمونه بتنی ۶۸
شکل ۴- ۵- (الف) منحنی تنش- کرنش نمونه در حالت کششی، (ب) منحنی ساده شده ۷۰
شکل ۴- ۶- نمونه آزمایش تناوبی کششی ۷۰
شکل ۴- ۷- مدل‌های مختلف رفتاری بتن ۷۱
شکل ۴- ۸- (الف) ترک در مدل ترک منفرد، (ب) ترک در مدل ترک اندود ۷۳
شکل ۴- ۹- مدل ترک اندود ۷۴
شکل ۴- ۱۰- سطوح گسیختگی در تنش صفحه‌ای ۷۵
شکل ۴- ۱۱- منحنی تنش- کرنش بتن در حالت فشاری و کششی ۷۷
شکل ۴- ۱۲- منحنی منحنی تنش- کرنش بتن در حالت کششی ۷۹
شکل ۴- ۱۳- منحنی تنش ترک خوردگی- تغییر مکان ترک خوردگی ۸۰
شکل ۴- ۱۴- منحنی تنش کرنش فولاد معمولی ۸۱

شکل ۴- ۱۵- منحنی تنش- کرنش انواع فولاد ۸۳
شکل ۴- ۱۶- اثر بوشینگر ۸۳
شکل ۴- ۱۷- مدل دو خطی فولاد ۸۶
شکل ۴- ۱۸- مدل سه خطی فولاد ۸۶
شکل ۴- ۱۹- تابع رامبرگ ۸۷
شکل ۴- ۲۰- مدل هیسترزیس ۸۹
شکل ۴- ۲۱- المان‌های مصرفی در مدل‌ها ۹۱
شکل ۴- ۲۲- حل مستقیم در مقایسه با روش نیوتن رافسون ۹۴
شکل ۴- ۲۳- گام‌های یک بارگذاری ۹۵
شکل ۴- ۲۴- تقسیم گام‌های بارگذاری به قسمت‌های مختلف ۹۵
شکل ۵- ۱- نرخ افزایش حرارت آزمایشات ۹۹
شکل ۵- ۲- مدل‌سازی نمونه آزمایشگاهی ۱۰۱
شکل ۵- ۳- المان‌های تماسی ۱۰۱
شکل ۵- ۴- شرایط تکیه‌گاهی نمونه ۱۰۲
شکل ۵- ۵- نمودار تغییرات تغییرشکل محوری در برابر حرارت برای نمونه مورد نظر ۱۰۳
شکل ۵- ۶- مدل‌سازی نمونه ۱۱۲
شکل ۵- ۷- نمودار تغییرمکان قائم – دما ۱۱۵
شکل ۵- ۸- نمودار تغییر مکان افقی– دما ۱۱۷
شکل ۵- ۹- مقایسه نمودار تغییر مکان – دما برای هر ۴ نمونه ۱۱۹
شکل ۵- ۱۰- نمودارهای نیرو- تغییرمکان در ترازهای مختلف حرارتی ۱۲۴
شکل ۵- ۱۱- مقایسه رفتار نیرو – تغییرمکان نمونه‌ها در ترازهای حرارتی مختلف ۱۲۸