



دانشگاه کردستان  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه عمران

عنوان:

بهینه‌سازی بتن با مقاومت بالا با عملکردی مناسب در برابر آتش

پژوهشگر:

مازیار باغبدرانی

استاد راهنما:

دکتر مرتضی بسطامی

استاد مشاور:

دکتر علیرضا چابکی خیابانی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

اسفند ماه ۱۳۸۸



الله  
الحق  
المرسل

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه متعلق به دانشگاه کردستان است.

## \*\*\* تعهد نامه \*\*\*

اینجانب مازیار باغبدرانی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی گروه عمران تعهد می نمایم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

مازیار باغبدرانی

۱۳۸۸/۱۲/۱۸



دانشگاه کردستان  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

عنوان:

بهینه‌سازی بتن با مقاومت بالا با عملکردی مناسب در برابر آتش

پژوهشگر:

مازیار باغبدرانی

در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۸ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

<u>امضاء</u>	<u>مرتبه علمی</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>	<u>هیات داوران</u>
	استادیار	دکتر مرتضی بسطامی	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر علیرضا چابکی خیابانی	۲- استاد مشاور
	استادیار	دکتر امیر اخویسی	۳- استاد داور خارجی
	استادیار	دکتر آزاد یزدانی	۴- استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

مهر و امضاء گروه

دانشکده

تقدم به خانواده عزیزم

## چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از بتن با مقاومت بالا در سازه‌ها به علت داشتن مقاومت بالا و اقتصادی‌تر بودن مورد توجه بسیاری از مهندسين سازه قرار گرفته است. بسیاری از مهندسين بتن با مقاومت بالا را به علت داشتن ویژگی‌های بسیار خوب از زیر مجموعه‌های بتن توانمند می‌دانند. اما در سال‌های اخیر در آتش سوزی‌های بسیاری که در سازه‌ها به خصوص در تونل‌ها اتفاق افتاد مشخص شد که بتن با مقاومت بالا از توانمندی بسیار کمی در برابر آتش برخوردار است. لذا محققین به بررسی دلایل ضعف این نوع بتن در برابر آتش پرداختند. محققین در سال‌های اخیر آزمایشات گوناگونی بروی بتن با مقاومت بالا انجام داده‌اند و همگی تلاش نموده‌اند که طرح اختلاطی با عملکرد مطلوب در برابر آتش بدست بیاورند. در این تحقیق با توجه به نتایج محققین گذشته و با استفاده از دو روش بهینه‌سازی، به ارائه طرح اختلاط مناسب با عملکردی مطلوب‌تر در برابر آتش پرداخته شده است. چندین طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا بر اساس طرح‌های آزمایشی ساخته شده و با انجام آزمایشات آتش بر روی آنها و با استفاده از نتایج حاصل و کاربرد روش‌های بهینه‌سازی چند طرح اختلاط با عملکردی مناسب در برابر آتش ارائه شده است.

**کلمات کلیدی:** بتن با مقاومت بالا، آتش، طرح اختلاط بتن، بهینه‌سازی



## فهرست مطالب

### عنوان

### صفحه

فصل اول: پیشینه تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- پوسسته پوسسته شدن سطح بتن (Spalling)	۳
۱-۲-۱- تشریح پدیده Spalling	۳
۱-۲-۱-۱- Spalling انفجاری (Explosive Spalling)	۳
۱-۲-۱-۲- Spalling سطح (Surface Spalling)	۳
۱-۲-۱-۳- Spalling سنگدانه (Aggregate Spalling)	۳
۱-۲-۱-۴- Spalling در گوشه‌ها (Corner Spalling)	۴
۱-۲-۲- زمان وقوع پدیده Spalling در آتش	۴
۱-۲-۳- مهمترین دلایل رخ دادن پدیده Spalling	۴
۱-۲-۴- عوامل تاثیر گذار در پدیده Spalling	۶
۱-۲-۴-۱- سرعت تغییرات حرارتی	۶
۱-۲-۴-۲- چگونگی قرار گیری عضو یا نمونه در آتش	۷
۱-۲-۴-۲-۱- اندازه نمونه‌ها	۷
۱-۲-۴-۲-۲- شکل نمونه‌ها	۸
۱-۲-۴-۲-۳- میزان رطوبت	۹
۱-۲-۴-۲-۴- نفوذ پذیری	۱۰
۱-۲-۴-۲-۵- نوع سنگدانه	۱۱
۱-۲-۴-۲-۶- اندازه سنگدانه‌ها	۱۲
۱-۲-۴-۲-۷- انبساط حرارتی	۱۲
۱-۲-۴-۲-۸- ترک خوردگی	۱۳
۱-۲-۴-۲-۹- الیاف فولادی (Steel fibres)	۱۳
۱-۲-۴-۲-۱۰- الیاف پروپیلن	۱۴
۱-۲-۴-۲-۱۱- نوع آتش سوزی	۱۶
۱-۲-۴-۲-۱۲- مواد حباب‌زا	۱۶
۱-۳- بررسی کارهای انجام شده در سال‌های اخیر	۱۷

فصل دوم: ساخت بتن با مقاومت بالا و آزمایش آتش	۳۳
۱-۲- مقدمه	۳۴
۲-۲- جزئیات آزمایشات	۳۴
۱-۲-۲- مواد مورد استفاده	۳۴
۲-۲-۲- روش ساخت، عمل آوری و آزمایش نمونه‌ها	۳۶
۳-۲-۲- انتخاب طرح اختلاط	۳۸
۳-۲-۳- بررسی نتایج بدست آمده از آزمایشات	۴۱

۴۱	۱-۳-۲- بررسی نتایج کاهش جرم (mass loss).....
۴۱	۲-۳-۲- بررسی نتایج کاهش مقاومت فشاری.....
۴۲	۳-۳-۲- بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی.....
۴۲	۱-۳-۳-۲- تغییرات فیزیکی.....
۴۲	۱-۱-۳-۳-۲- بررسی نوع ترک‌های ایجاد شده در بتن قرار گرفته در برابر حرارت بالا.....
۴۲	۱-۱-۱-۳-۳-۲- ترک‌های سطحی.....
۴۲	۲-۱-۱-۳-۳-۲- ترک‌های محیطی.....
۴۳	۳-۱-۱-۳-۳-۲- ترک‌های ایجاد شده توسط انبساط سنگدانه‌ها.....
۴۳	۴-۱-۱-۳-۳-۲- ترک‌های عمیق.....
۴۴	۲-۱-۳-۳-۲- تبخیر شدن آب.....
۴۴	۲-۳-۳-۲- تغییرات شیمیایی در سنگدانه‌ها و خمیر سیمان.....
۴۵	۴-۳-۲- مشخصات Spalling های رخ داده.....
۴۷	۱-۴-۳-۲- بررسی زمان و دمای وقوع Spalling در آزمایش آتش.....

## فصل سوم: بهینه‌سازی بتن با مقاومت بالا با عملکردی مناسب در برابر آتش..... ۴۹

۵۰	۱-۳- مقدمه.....
۵۰	۲-۳- بهینه‌سازی طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا.....
۵۰	۱-۲-۳- ۱- بهینه‌سازی با استفاده از شبکه‌های عصبی و ازدحام ذرات.....
۵۳	۱-۱-۲-۳- مفهوم شبکه عصبی مصنوعی.....
۵۳	۱-۱-۱-۲-۳- یادگیری.....
۵۳	۲-۱-۱-۲-۳- آنالیز در یک تراز.....
۵۳	۳-۱-۱-۲-۳- پوشش خطا.....
۵۴	۴-۱-۱-۲-۳- وظایف شبکه‌های عصبی.....
۵۴	۲-۱-۲-۳- الگوریتم ازدحام ذرات.....
۵۵	۱-۲-۱-۲-۳- متغیرهای مسئله بهینه‌سازی.....
۵۵	۲-۲-۱-۲-۳- تابع هدف.....
۵۵	۳-۲-۱-۲-۳- تعریف مسئله بهینه‌سازی.....
۵۸	۴-۲-۱-۲-۳- بررسی بدست‌آمده از بهینه‌سازی با روش ازدحام ذرات.....
۵۹	۲-۲-۳- بهینه‌سازی با استفاده از روش تاگوچی.....
۵۹	۱-۲-۲-۳- معرفی روش.....
۶۰	۳-۲-۲-۳- کاربرد آماره SN برای تعیین عوامل موثر.....
۶۱	۲-۱-۳-۲-۲-۳- متغیرهای آزمایش.....
۶۱	۳-۱-۳-۲-۲-۳- انتخاب طرح آزمایشی مناسب.....
۶۳	۴-۲-۲-۳- نتایج آزمایشات بدست‌آمده از روش تاگوچی.....
۶۴	۱-۴-۲-۲-۳- یافته‌ها و بحث.....
۶۴	۱-۱-۴-۲-۲-۳- تحلیل عوامل بر اساس (SN)s.....
۶۸	۳-۲-۳- بهبود نتایج بدست‌آمده از روش تاگوچی.....
۶۸	۱-۳-۲-۳- انتخاب طرح آزمایشی مناسب.....
۶۸	۱-۱-۳-۲-۳- انتخاب طرح آزمایش با تابع هدف کمترین کاهش مقاومت فشاری.....

- ۳-۲-۱-۱-۱- تحلیل عوامل با استفاده از (SN)s ..... ۷۰
- ۳-۲-۱-۳-۲- انتخاب طرح آزمایش با تابع هدف کمترین کاهش جرم (Mass loss) ..... ۷۱
- ۳-۲-۱-۳-۲-۱- تحلیل عوامل با استفاده از (SN)s ..... ۷۳
- ۳-۲-۳-۲- بررسی نتایج بهبود روش تاگوچی ..... ۷۴

**فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات** ..... ۷۶

- ۴-۱- مقدمه ..... ۷۷
- ۴-۲- خلاصه کارهای انجام شده در تحقیق ..... ۷۷
- ۴-۳- بررسی نتایج بدست آمده در آزمایشات ..... ۷۹
- ۴-۳-۱- بررسی کاهش مقاومت بتن با مقاومت بالا در برابر آتش ..... ۷۹
- ۴-۳-۲- بررسی کاهش جرم بتن با مقاومت بالا در برابر آتش ..... ۸۰
- ۴-۳-۳- بررسی دو روش بهینه‌سازی استفاده شده و مقایسه نتایج آنها ..... ۸۱
- پیشنهادات ..... ۸۳
- مراجع** ..... ۸۴

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

### فصل اول

- جدول ۱-۱: پدیده Spalling با توجه به چگونگی در معرض قرار گرفتن نمونه‌های استوانه‌ای در برابر آتش..... ۸
- جدول ۱-۲: طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا..... ۱۷
- جدول ۱-۳: طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا..... ۱۸
- جدول ۱-۴: نتایج آزمایشات آتش..... ۱۸
- جدول ۱-۵: طرح اختلاط بتن..... ۱۹
- جدول ۱-۶: طرح اختلاط بتن..... ۲۰
- جدول ۱-۷: طرح اختلاط بتن..... ۲۱
- جدول ۱-۸: طرح اختلاط بتن..... ۲۲
- جدول ۱-۹: طرح اختلاط بتن..... ۲۳
- جدول ۱-۱۰: نتایج Spalling نمونه‌های ساخته شده..... ۲۳
- جدول ۱-۱۱: طرح اختلاط‌های استفاده شده در آزمایشات آتش..... ۲۴
- جدول ۱-۱۲: نتایج آزمایش آتش برای طرح اختلاط‌های بیان شده در جدول بالا..... ۲۵
- جدول ۱-۱۳: طرح اختلاط‌های استفاده شده در آزمایشات آتش..... ۲۵

### فصل دوم

- جدول ۲-۱: مشخصات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس مصرفی در آزمایشات..... ۳۵
- جدول ۲-۲: مشخصات طرح اختلاط..... ۳۸
- جدول ۲-۳: نتایج درصد کاهش مقاومت و درصد کاهش جرم..... ۳۹
- جدول ۲-۴: Spalling‌های رخ داده در هر طرح اختلاط..... ۴۶

### فصل سوم

- جدول ۳-۱: نتایج آزمایشات صورت گرفته بر روی طرح اختلاط‌های انجام شده..... ۵۷
- جدول ۳-۲: نتایج آنالیز و پیش‌بینی توسط شبکه عصبی و الگوریتم ازدحام ذرات برای درصد کاهش جرم..... ۵۷
- جدول ۳-۳: نتایج آنالیز و پیش‌بینی توسط شبکه عصبی و الگوریتم ازدحام ذرات برای کاهش مقاومت فشاری..... ۵۷
- جدول ۳-۴: معرفی متغیرها و سطوح آنها..... ۶۲
- جدول ۳-۵: سیستم مربع‌های لاتین  $3 \times 3$ ..... ۶۲
- جدول ۳-۶: مربع لاتین  $L9(3^4)$ ..... ۶۳
- جدول ۳-۷: نتایج بدست‌آمده از آزمایش آتش..... ۶۴
- جدول ۳-۸: نتایج آنالیز بر اساس  $(S_n)s$  با تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری..... ۶۴

- جدول ۳-۹: نتایج بررسی تاثیر هر متغییر بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری) ..... ۶۵
- جدول ۳-۱۰: نتایج آنالیز بر اساس  $(SN)s$  با تابع هدف درصد کاهش جرم ..... ۶۶
- جدول ۳-۱۱: نتایج بررسی تاثیر هر متغییر بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش جرم (mass loss)) ..... ۶۶
- جدول ۳-۱۴: طرح اختلاط بهینه بتن با مقاومت بالا با کمترین کاهش مقاومت فشاری ..... ۶۸
- جدول ۳-۱۵: طرح اختلاط بهینه بتن با مقاومت بالا با کمترین کاهش جرم (mass loss) ..... ۶۸
- جدول ۳-۱۶: معرفی متغییرهای تاثیر گذار و سطوح آنها برای بررسی درصد کاهش مقاومت فشاری ..... ۶۸
- جدول ۳-۱۷: مربع لاتین  $L9$  ..... ۶۹
- جدول ۳-۱۸: طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا برای بررسی کاهش مقاومت فشاری ..... ۶۹
- جدول ۳-۱۹: نتایج آزمایشات بررسی کاهش مقاومت فشاری ..... ۶۹
- جدول ۳-۲۰: نتایج آنالیز بر اساس  $(Sn)s$  با تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری ..... ۷۰
- جدول ۳-۲۱: نتایج بررسی تاثیر هر متغییر بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری) ..... ۷۰
- جدول ۳-۲۲: نتایج آزمایش طرح اختلاط بهینه با تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری ..... ۷۱
- جدول ۳-۲۳: معرفی متغییرهای تاثیر گذار و سطوح آنها برای بررسی کاهش جرم (mass loss) ..... ۷۲
- جدول ۳-۲۴: مربع لاتین  $L9$  ..... ۷۲
- جدول ۳-۲۵: طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا برای بررسی کاهش جرم ..... ۷۲
- جدول ۳-۲۶: نتایج آزمایشات بررسی کاهش جرم (mass loss) ..... ۷۳
- جدول ۳-۲۷: نتایج آنالیز بر اساس  $(Sn)s$  با تابع هدف درصد کاهش جرم (mass loss) ..... ۷۳
- جدول ۳-۲۸: نتایج بررسی تاثیر هر متغییر بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش جرم (mass loss)) ..... ۷۳
- جدول ۳-۲۹: نتایج آزمایش طرح اختلاط بهینه با تابع هدف درصد کاهش جرم (mass loss) ..... ۷۴

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
	فصل اول
شکل ۱-۱: ۴	زمان رخ دادن انواع پدیده spalling [۱۸].....
شکل ۲-۱: ۵	ناحیه‌های رطوبتی در بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا و گرادیان حرارتی در آن [۴].....
شکل ۳-۱: ۷	رابطه میان spalling انفجاری و رنج حرارتی [۱۵].....
شکل ۴-۱: ۸	چگونگی رخ دادن spalling در گوشه‌ها [۱۸].....
شکل ۵-۱: ۱۱	تغییرات جرم (mass loss) برای بتن با مقاومت بالا با سنگدانه‌های سیلیس و کربناتی [۳۱].....
شکل ۶-۱: ۱۳	رابطه میان ترک و پدیده spalling [۳].....
شکل ۷-۱: ۱۴	تغییرات جرم (mass loss) برای بتن با مقاومت بالا با سنگدانه‌های سیلیس و کربناتی و الیاف فولادی.....
شکل ۸-۱: ۱۵	استفاده از الیاف پروپیلن برای کاهش فشار بخار [۴۴].....
شکل ۹-۱: ۱۵	اثرات اضافه کردن الیاف به بتن با مقاومت بالا در برابر آتش، (شکل چپ بتن همراه با الیاف و شکل راست بتن بدون الیاف) [۴۲].....
شکل ۱۰-۱: ۱۶	انواع مختلف آتش [۵۳].....
شکل ۱۱-۱: ۱۷	نتایج آزمایشات بتن با مقاومت بالا در برابر آتش.....
شکل ۱۲-۱: ۱۸	مقاومت فشاری باقی‌مانده بتن با مقاومت بالا در برابر آتش.....
شکل ۱۳-۱: ۱۹	مقاومت فشاری باقیمانده در برابر آتش.....
شکل ۱۴-۱: ۲۰	درصد مقاومت باقی‌مانده فشاری (چپ) و کششی (راست) بتن در برابر آتش.....
شکل ۱۵-۱: ۲۱	رابطه میان مقاومت بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا در برابر آتش.....
شکل ۱۶-۱: ۲۲	مقاومت فشاری باقی‌مانده بتن معمولی (راست) و بتن با مقاومت بالا (چپ).....
شکل ۱۷-۱: ۲۳	مقاومت فشاری باقی‌مانده برای بتن‌های با مقاومت بالا با استفاده از الیاف پروپیلن در برابر آتش.....
شکل ۱۸-۱: ۲۴	رخ دادن spalling در نمونه‌های مورد بررسی در برابر آتش.....
شکل ۱۹-۱: ۲۶	کوره آزمایش.....
شکل ۲۰-۱: ۲۶	رابطه میان مقاومت خمشی و حرارت برای دو نوع آزمایش آتش.....
شکل ۲۱-۱: ۲۶	رابطه میان مدول یانگ و حرارت برای دو نوع آزمایش آتش.....
شکل ۲۲-۱: ۲۸	گرادیان حرارتی برای بتن‌های مورد آزمایش.....
شکل ۲۳-۱: ۲۹	نتایج آزمایشات در حالت اول (تحت تنش) شکل سمت راست و حالت دوم (بدون تنش) شکل سمت چپ.....
شکل ۲۴-۱: ۳۰	نتایج آزمایشات در حالت سوم (مقاومت پسماند).....
شکل ۲۵-۱: ۳۱	مقایسه نمودارهای کاهش مقاومت فشاری در آزمایشات NIST با نمودارهای آیین‌نامه‌ای (تحت تنش فشاری).....

شکل ۱-۲۶: تغییرات فشار بخار در عمق ۲۵ میلیمتری در نمونه‌های مختلف..... ۳۲

## فصل دوم

شکل ۱-۲: سنگدانه‌های سیلیسی مورد استفاده در آزمایشات..... ۳۵

شکل ۲-۲: حوضچه آب برای عمل آوری نمونه‌ها..... ۳۶

شکل ۲-۳: کوره مورد استفاده در آزمایشات، با حداکثر دمای ۸۰۰ درجه..... ۳۷

شکل ۲-۴: مقایسه تغییرات دمایی کوره با منحنی استاندارد ISO834..... ۳۷

شکل ۲-۵: کپینگ نمونه‌ها..... ۳۸

شکل ۲-۶: تأثیر درصد ماسه در کاهش جرم بتن‌های بدون میکروسیلیس..... ۳۹

شکل ۲-۷: تأثیر درصد میکروسیلیس در کاهش جرم بتن..... ۳۹

شکل ۲-۸: تأثیر درصد ماسه در کاهش مقاومت فشاری بتن‌های بدون میکروسیلیس..... ۴۰

شکل ۲-۹: تأثیر درصد میکروسیلیس در کاهش مقاومت فشاری بتن..... ۴۰

شکل ۲-۱۰: رخدادن پدیده spalling در آزمایشات انجام شده..... ۴۱

شکل ۲-۱۱: ترک‌های سطحی ایجاد شده در بتن قرار گرفته در معرض حرارت بالا..... ۴۲

شکل ۲-۱۲: ترک‌های محیطی ایجاد شده در لایه‌های یک سوم بالا و پایین..... ۴۲

شکل ۲-۱۳: جداسدن لایه یک سوم فوقانی در اثر فشار بالای بخار..... ۴۳

شکل ۲-۱۴: ترک‌های ایجاد شده در اثر اختلاف میان انبساط حرارتی سنگدانه‌ها و خمیر سیمان..... ۴۳

شکل ۲-۱۵: ترک‌های عمیق..... ۴۴

شکل ۲-۱۶: تغییر رنگ در سنگدانه‌ها و خمیر سیمان..... ۴۴

شکل ۲-۱۷: spalling سنگدانه..... ۴۵

شکل ۲-۱۸: spalling انفجاری..... ۴۵

شکل ۲-۱۹: spalling سطحی..... ۴۶

شکل ۲-۲۰: spalling گوشه..... ۴۶

شکل ۲-۲۱: بررسی زمان‌های رخدادن آستانه‌های صدا (spalling)..... ۴۷

شکل ۲-۲۲: بررسی دماهای رخدادن آستانه‌های صدا (spalling)..... ۴۸

## فصل سوم

شکل ۱-۳: ساختار نرون طبیعی انسان..... ۵۱

شکل ۲-۳: ساختار یک نرون مصنوعی..... ۵۲

شکل ۳-۳: تابع آستانه..... ۵۳

شکل ۳-۴: اثر spalling بر روی نمونه‌ها..... ۵۸

شکل ۳-۵: نتایج آنالیز بر اساس  $(Sn)$  با تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری..... ۶۵

شکل ۳-۶: نشان دادن تاثیر متغیرها بر روی متوسط پاسخ‌ها (تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری)..... ۶۵

- شکل ۳-۷: نتایج آنالیز بر اساس  $(Sn)S$  با تابع هدف درصد کاهش جرم (mass loss) ..... ۶۶
- شکل ۳-۸: نتایج بررسی تاثیر هر متغییر بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش جرم (mass loss)) ..... ۶۷
- شکل ۳-۹: نمودار تاثیر سطوح عوامل بر  $(Sn)S$  با تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری ..... ۷۰
- شکل ۳-۱۰: نشان دادن تاثیر متغییرها بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری) ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۱: نتایج آنالیز بر اساس  $(Sn)S$  با تابع هدف درصد کاهش مقاومت فشاری ..... ۷۳
- شکل ۳-۱۲: نشان دادن تاثیر متغییرها بر روی متوسط پاسخها (تابع هدف درصد کاهش جرم) ..... ۷۴



فصل اول

پیشینه تحقیق

## ۱-۱- مقدمه

خطر حریق تا اندازه‌ای در هر ساختمانی وجود دارد. ثابت شده که ایمنی کامل از حریق امری ناممکن است. خطرات لاینفک حریق در انواع ساختمان‌ها، معمولاً فقط زمانی مشخص می‌شود که یک آتش سوزی مهیب و کشنده توجه عموم را به خود جلب کند، همانند حریق زمین فوتبال برادفورد، ایستگاه متروی انگلستان، تونل‌هایی در کشورهای اروپائی و امریکائی و .... اینگونه حریق‌های بزرگ و مشخص، اهمیت طراحی ساختمان‌ها و وظیفه به حداقل رساندن خطرات حریق در ساختمان‌ها را به مهندسان گوشزد می‌کند.

سال‌های زیادی است که بشر با پدیده‌ی آتش در ساختمان‌های مسکونی، اداری، کارخانجات، تونل‌ها و ... رو به رو شده است، و آتش سوزی موجب خسارات بسیار زیادی در این سازه‌ها شده است، این خسارات بیشتر در ساختمان‌های با اسکلت فلزی مشاهده شده است و در سازه‌های بتنی کمتر خسارات جدی مشاهده شده است، به همین سبب سازه‌های بتنی در مکان‌هایی که امکان آتش سوزی وجود دارد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر استفاده از بتن با مقاومت بالا در ساختمان‌های بلند و دیگر سازه به علت داشتن مقاومت بسیار بالا، مشخصات مکانیکی بسیار خوب و کاهش سطح مقطع تیرها و ستون‌ها و اقتصادی تر بودن مورد توجه بسیاری از مهندسين سازه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر سازه‌های بتنی بسیاری در جهان دچار آتش سوزی شدند و در تمامی آنها خسارات بسیار زیادی مشاهده شد و این در صورتی بود که در این سازه‌ها از بتن با مقاومت بالا استفاده شده بود، در این سازه‌ها بتن با مقاومت بالا دچار آسیب‌های جدی شده بود، از جمله دارای سطحی پوسته پوسته و کاهش مقاومت بالا و در چندین مکان به طور کلی از بین رفته بود. در نتیجه برای بررسی این مشکل آزمایشات بسیاری توسط مهندسين صورت گرفت که هر کدام از آنها برای بر طرف کردن این چنین اتفاقی پیشنهادهای بسیاری داده‌اند که در بخش‌های بعدی به آنها اشاره می‌شود. مهندسين پدیده پوسته پوسته شدن سطح بتن را Spalling نامیدند. که این پدیده به صورت کلی در زیر شرح داده می‌شود. در Gary ۱۹۱۶ از جمله کسانی بود که در آزمایشات خود عملکرد بتن

را در برابر آتش مورد بررسی قرار داد، او در آزمایشات خود با پوسته پوسته شدن سطح بتن در بسیاری از المان‌های خود مواجه شد.

## ۲-۱- پوسته پوسته شدن سطح بتن (Spalling)

### ۱-۲-۱- تشریح پدیده Spalling

هنگامی که بتن با مقاومت بالا در معرض آتش (حرارت بالا) قرار می‌گیرد لایه‌های سطحی آن دچار شکست شدید یا کمی می‌شود که این باعث می‌شود بتن دچار سطحی پوسته پوسته شود که این حالت ممکن است با صداهاى مختلفی همراه باشد. پدیده‌ی Spalling را می‌توان به چهار نوع تفکیک کرد، که به شرح زیر می‌باشند:

۱. Spalling انفجاری با صدای بسیار بلند و شکست شدید (Explosive Spalling)

۲. Spalling سطح با صدای ترک خوردن و شکست شدید (Surface Spalling)

۳. Spalling سنگدانه‌ها، با صدای پاپینگ (Aggregate Spalling)

۴. Spalling گوشه‌ها با شکستی آرام (Corner Spalling)

### ۱-۱-۲-۱ Spalling انفجاری (Explosive Spalling)

این نوع از Spalling زمانی در بتن رخ می‌دهد که قسمتی از بتن در نزدیکی آتش قرار گیرد و معمولاً در زمانی کمتر از ۳۰ دقیقه برای آتشی با استاندارد furnace test رخ می‌دهد. هنگامی که این پدیده رخ می‌دهد قطعات کوچک و بزرگ بتن با شدت زیادی از سطح بتن پرتاب می‌شوند که این قطعات در اندازه‌های کوچک به میزان 100 mm و بزرگ به اندازه‌های 300mm می‌باشند و در عمق 15-20 mm از سطح بتن رخ می‌دهد. (Ciria 1984). زمانی که بتن با مقاومت بالا در معرض آتش قرار می‌گیرد تکه‌هایی از سطح بتن جدا شده و با شدت زیادی پرتاب می‌شوند (Khoury در سال ۲۰۰۳)

### ۱-۲-۱-۲ Spalling سطح (Surface Spalling)

هنگامی که بتن در معرض آتش یا حرارت بالا قرار می‌گیرد تکه‌های کوچکی از سطح بتن جدا می‌شوند (با اندازه‌ی حداکثر 20mm). (Khoury در سال ۲۰۰۳).

### ۱-۲-۱-۳ Spalling سنگدانه (Aggregate Spalling)

این نوع Spalling هنگامی که سنگدانه‌ها در نزدیکی سطح دچار شکست می‌شوند (با صدای پاپینگ) رخ می‌دهد. این نوع Spalling معمولاً در دمایی بین ۵۷۰ تا ۷۰۰ درجه اتفاق می‌افتد زیرا

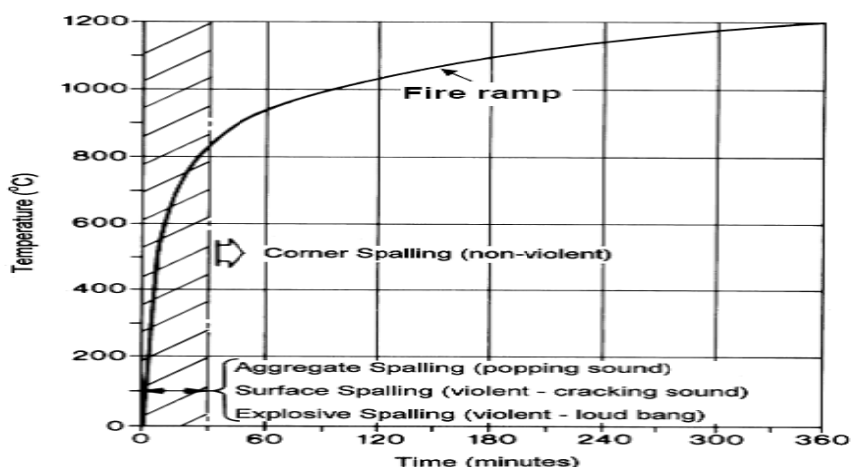
در این دما سنگدانه‌ها دچار تغییرات فیزیکی و شیمیایی می‌شوند، به خصوص سنگدانه‌های آهکی، هماتیت و کوارتز (Ciria 1984).

#### ۴-۱-۲-۱ - Spalling در گوشه‌ها (Corner Spalling):

همان گونه که از نام مشخص است این نوع Spalling در گوشه‌ها اتفاق می‌افتد زیرا در گوشه‌های تمرکز تنش وجود دارد و نرخ افزایش حرارت در آنها بیشتر می‌باشد [۲ و ۱].  
از میان چهار نوع Spalling گفته شده در بالا Spalling انفجاری از همه مهمتر بوده و در صورت رخ دادن این نوع Spalling، بتن دچار خسارت بسیار زیادی شده و مقاومت آن به شدت کاهش می‌یابد.

#### ۲-۲-۱ - زمان وقوع پدیده Spalling در آتش

Spalling انفجاری، Spalling سطحی و Spalling سنگدانه در مدت زمان ۷-۳۰ دقیقه ابتدایی آتش سوزی رخ می‌دهند، و Spalling گوشه در مدت زمان ۳۰-۹۰ دقیقه بعدی رخ می‌دهد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: زمان رخ دادن انواع پدیده Spalling

#### ۳-۲-۱ - مهمترین دلایل رخ دادن پدیده Spalling:

۱. فشارهای منفذی (Pore pressure)

۲. تنش‌های حرارتی (Thermal stress)

۳. تاثیر هم زمان دو پارامتر بالا

عوامل بالا مهمترین علل رخ دادن پدیده Spalling می‌باشند که توسط محققین ارائه شده‌اند. نمی‌توان بیان کرد که کدام عامل بالا دارای اهمیت بیشتری نسبت به دیگری می‌باشد. هنگامی که بتن با مقاومت بالا در معرض آتش یا حرارت بالا قرار می‌گیرد مقداری از آب موجود در بتن بخار شده