بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس بین المللی ارس

گروه مهندسی سازه

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی عمران گرایش سازه

عنوان

بررسی تاثیرات آتش سوزی بر رفتار سگمنت های تونل مترو

استاد راهنما

دکتر مسعود فرزام

استاد مشاور

دکتر سامان باقری

پژوهشگر

ابراهیم انصاری

تابستان ۹۳

تقدیم به پدر و مادرم :

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند...

و

تقدیم به همسر مهربانم

تشکر و قدردانی:

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر فرزام

که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمود و

همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده است.

و

با سپاس فراوان از استاد محترم

جناب آقای دکتر باقری که با راهنمائی های خود مرا در نگارش این اثر یاری نمودند.

چکیده

آتش سوزی های اخیر در مجرای تونل که در سراسر جهان رخ داده توجه به حفاظت از سازه تونل ها از آتش غیر فعال را بالا برده، از اینرو تونل های مترو در ایران که به عنوان یک پدافند غیر عامل به حساب می آید از اهمییت خاصی برخوردار است. از دست دادن مقاومت بتن به علت آتش سوزی در فضاهای محصور مانند تونل ها ، تنها نمی تواند منجر به فروپاشی سازه شود، همچنین ممکن است در بلند مدت موجب انسداد زیرسازی عبور و مرور شود. اکثر تونل های مدرن مترو در سراسر جهان با استفاده از دستگاه TBM اجرا می شود که مهمترین قسمت این تونل ها سگمنتها (قطعات پیش ساخته بتنی) است. خط شماره ۱ مترو تبریز به طول ۱۷.۲ کیلومتر است که مسافت ۸ کیلومتر آن تونل عمیق در عمق حدود ۱۶-۲۵ متری در دو باند رفت و برگشت است و تراز آبهای زیرزمینی در مسیر تونل ۱۰ تا ۱۸ متر در تغییر است. عملیات حفاری تونل عمیق با دو دستگاه TBM در حال اجرا می باشد. حفاظت تونل از آتش در این خط از سیستم اطفا حریق مواقع آتش سوزی و تهویه مواقع بحران استفاده میشود. از روش های محافظت تونل های بتنی از آتش شامل افزایش مقاومت بتن در برابر آتش به وسیله شاتکریت، عمل آوردن سطح سازه به مواد پوششی، پاشیدن لایه ثانویه و نصب پانل های پیش ساخته مقاوم در برابر آتش. [۱۶][۲۰][۲۱]

برای صحت سنجی، آزمایشهای JJ Kim را، با عنوان "رفتار مقاومت در برابر آتش، پوشش لایه بتن که از پودر خاکستر سوخت مبتنی بر سیمان، تحت بارگذاری آتش RABT" با نتایج نمونه مدل شده در برنامه ABAQUS/CAE ۶.۱۲-۱ را با تقریب قابل قبولی منطبق می باشد. به دلیل نبود امکان انتقال حرارت در نرم افزار ATENA، برای بررسی مدل تونل مترو تحت آتش سوزی، انتقال حرارت بتن را از برنامه ABAQUS استخراج کرده و به دلیل قابلیتهای کم تحلیل حرارتی بتن توسط ABAQUS، کنترل خرابی سازه و ترکها را در برنامه ATENA مدل کرده ونتایج کنترل می شود. همچنین ظرفیت باربری نهایی تونل در آتش سوزی های مختلف و تعیین مقدار مناسب مواد پوششی محافظت از آتش بررسی می شود.

کلمات کلیدی: سگمنت های بتنی، مقاومت، حفاظت، خرد شدن

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

1-1 بتن پیش‌ساخته (سگمنت) 1

1-1-1 انواع بارهای وارده به سگمنت 1

1-1-2 طراحی سگمنت تونل 1

1-1-3 سگمنت‌های خط 1 مترو تبریز 2

1-1-4 عمل‌آوری سگمنت‌ها در بخار 4

1-2 خواص حرارتی بتن 6

1-2-1 انتقال حرارت 6

1-2-2 پخش (دیفیوزیته) حرارت 8

1-2-3 ظرفیت گرمایی ویژه 9

1-2-4 ضریب انبساط حرارتی 9

1-3 مقاومت بتن در برابر آتش و تاثیر درجه حرارت بر مقاومت 11

1-4 مشخصات مصالح بتن آرمه در دماهای بالا 11

1-4-1 مقاومت فولاد 12

1-4-2 مدول الاستیسیته فولاد 12

1-4-3 انبساط حرارتی فولاد 13

1-4-4 روابط تنش کرنش فولاد 14

1-4-5 مقاومت فشاری بتن 15

1-4-6 ضریب انبساط حرارتی خطی بتن 16

1-4-7 مدول الاستیسیته و مدول برشی بتن 17

1-4-8 روابط تنش-کرنش بتن 18

1-4-9 رسانایی گرمایی و گرمای ویژه بتن 19

فصل دوم: پیشینه تحقیق

2-1 مقدمه 21

2-2 استانداردهای مربوطه 22

2-3 منحنی‌های زمان- دمای آتش 23

2-3-1 منحنی سلولز 24

2-3-2 منحنی هیدروکربن 25

2-3-3 منحنی RABT ZTV 26

2-3-4منحنی RWS 27

2-4 اندازه‌گیری بار آتش برای استفاده در سازه‌های حفاظت شده از آتش 28

2-5 حرارت انتشار یافته از منحنی‌های زمان- دما 29

2-6 حفاظت تونل از آتش 31

2-7 آزمایش رفتار بتن تحت بارگذاری آتش RABT، با پوشش خاکستر بادی مبتنی بر سیمان 32

2-7-1 مشخصات مواد پوششی محافظت از تونل در برابر آتش 32

2-7-2 شرح آزمایش Kim 33

2-7-3 نتایج آزمایش 35

2-8 مقایسه خصوصیات ایمنی آتش برای تونل‌های مترو 39

2-8-1 مقایسه خصوصیات 39

فصل سوم: مواد و روش‌ها

3-1 مقدمه 40

3-2 شبیه‌سازی اجزای محدود 41

3-3 آشنایی با نرم‌افزار اجزای محدود Abaqus 42

3-3-1 مدل‌های ساخته شده در ABAQUS 44

3-3-1-1 مدل‌های آزمایشگاهی 44

3-3-1-2 مدل‌سازی تونل 47

2-3-3 مدل‌های مصالح در ABAQUS 48
4-3 معرفی نرم‌افزار ATENA 3D 48
1-4-3 مدل‌های ساخته شده در ATENA 48
2-4-3 مدل‌های مصالح در ATENA 48
3-4-3 بارگذاری 49
فصل چهارم: بررسی نتایج
1-4 مقدمه 50
2-4 نمودارهای زمان- دما برای مدل آزمایشگاهی 50
3-4 انتقال حرارت در بتن 61
4-4 ظرفیت باربری نهایی تونل 69
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
1-5 نتیجه‌گیری 71
2-5 پیشنهادات برای کارهای آتی 71
پیوست 1: نقشه آرماتور بندی سگمنت ها در مقطع یک چهارم از تونل 72
پیوست 2: ترتیب آرماتور بندی و مکان ترموکوپل های نمونه مورد آزمایش 73
منابع و ماخذ 74

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (1-1): مقطع عرضی تونل از یک رینگ کامل سگمنت 3
شکل (1-2): نمایش شکل هندسی سگمنت ها 4
شکل (1-3): چرخه تیپیک عملیات عمل‌آوری توسط بخار 6
شکل (1-4): مقاومت برخی از فولادها در حرارت زیاد.....12
شکل (1-5): مدول الاستیسیته فولاد در حرارت زیاد.....13
شکل (1-6): انبساط حرارتی فولاد فریتی (زنگ نزن) در حرارت زیاد 13
شکل (1-7): روابط تنش-کرنش برای فولادهای سازه ای ASTM A36 در دماهای مختلف بالا 14
شکل (1-8): روابط تنش-کرنش برای فولادهای پیش تنیده ASTM A421 در دماهای مختلف بالا 14
شکل (1-9): مقاومت فشاری بتنهای سیلیسی در حرارت زیاد و بعد از سرد شدن 15
شکل (1-10): مقاومت فشاری بتنهای کربنات در حرارت زیاد و بعد از سرد شدن.....16
شکل (1-11): مقاومت فشاری بتن سبک در حرارت زیاد و بعد از سرد شدن 16
شکل (1-12): انبساط حرارتی بتن در حرارت زیاد 17
شکل (1-13): مدول الاستیسیته بتن در اثر حرارت زیاد.....17
شکل (1-14): مدول برشی بتن در اثر حرارت زیاد 18
شکل (1-15): منحنی تنش- کرنش بتن سبک وزن در حرارتهای مختلف 18
شکل (1-16): رسانایی گرمایی بتن معمولی و بتن سبک وزن 19
شکل (1-17): گرمای ویژه چهار نمونه بتن با برخی دادههای آزمایشگاهی 20
شکل (2-1): منحنی های زمان- دمای آتش 23
شکل (2-2): منحنی زمان- دمای آتش سلولز.....24
شکل (2-3): منحنی زمان- دمای آتش هیدروکربن 25
شکل (2-4): منحنی زمان- دمای آتش RABT.....26
شکل (2-5): منحنی زمان- دمای آتش RWS.....27
شکل (2-6): مراحل ساخت نمونه های مورد آزمایش 34

شکل (2-7): نمونه بتن روی کوره LPG 34
شکل (2-8): منحنی زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظت از آتش 35
شکل (2-9): سطوح لایه بتنی بعد از آزمایش 36
شکل (2-10): منحنی زمان- دمای بتن با 20 میلیمتر ضخامت مواد پوششی محافظت از آتش 37
شکل (2-11): منحنی زمان- دمای بتن با 30 میلیمتر ضخامت مواد پوششی محافظت از آتش 37
شکل (2-12): منحنی زمان- دمای بتن با 20 میلیمتر ضخامت مواد پوششی محافظت از آتش 38
شکل (3-1): مدل سازی بتن در نرم افزار ABAQUS 45
شکل (3-2): نمونه آزمایشگاهی مدل شده در نرم افزار ABAQUS 46
شکل (3-3): مقطعی از تونل مدل شده در نرم افزار ABAQUS 47
شکل (3-4): مشخصات بتن سگمنت در نرمافزار ATENA 49
شکل (3-5): بارگذاری تونل در نرم افزار ATENA 3D 49
شکل (4-1): نمودار زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظ 51
شکل (4-2): نمودار زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظ 52
شکل (4-3): نمودار زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظ 53
شکل (4-4): نمودار زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظ 54
شکل (4-5): نمودار زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظ 55
شکل (4-6): نمودار زمان- دمای بتن بدون مواد پوششی محافظ 56
شکل (4-7): نمودار زمان- دمای بتن با مواد پوششی محافظ 57
شکل (4-8): نمودار زمان- دمای بتن با مواد پوششی محافظ 58
شکل (4-9): نمودار زمان- دمای بتن با مواد پوششی محافظ 59
شکل (4-10): نمودار زمان- دمای بتن با مواد پوششی محافظ 60
شکل (4-11): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله اول 62
شکل (4-12): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله اول 62
شکل (4-13): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله دوم 63
شکل (4-14): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله دوم 63

شکل (4-15): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله هفتم..... 64
شکل (4-16): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله هفتم 64
شکل (4-17): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله بیستم 65
شکل (4-18): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله بیستم..... 65
شکل (4-19): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله بیست و پنجم 66
شکل (4-20): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله بیست و پنجم..... 66
شکل (4-21): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله بیست و هشتم..... 67
شکل (4-22): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله بیست و نهم..... 67
شکل (4-23): تونل بدون مواد پوششی محافظ در مرحله سی و ششم..... 68
شکل (4-24): تونل با مواد پوششی محافظ در مرحله سی و ششم 68
شکل (4-25): ترک های سگمنت بتنی تونل مترو تحت بارگذاری ثقلی 69
شکل (4-26): ظرفیت باربری نهایی تونل در دماهای مختلف 70

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول (1-1): ضریب انتقال حرارتی برخی از سنگدانه های بتن 7
جدول (1-2): ضریب انبساط حرارتی 10
جدول (1-3): ضریب انبساط حرارتی بتن 1:6، که با سنگدانههای مختلف ساخته شده 11
جدول (2-1): آتش سوزی های اخیر در مجرای تونل [6]،[7] 22
جدول (2-2): پیشنهادهای مقاومت در برابر آتش UPTUN [1] 30
جدول (2-3): محتویات طراحی مخلوط ملاتهای پوششی محافظت از آتش[3] 33
جدول (2-4): خلاصه خواص فیزیکی مواد پوششی محافظت از آتش[3] 33
جدول (2-5): مشخصات تونل های جاده، راه آهن و مترو 39
جدول (3-1): پارامترهای لازم برای تعریف مدلها 44
جدول (3-2): ضرایب مختلف حرارتی، بتن مربوط به آزمایش Kim 44
جدول (3-3): ضرایب مختلف حرارتی، پوشش محافظت از آتش مربوط به آزمایش Kim 45

فصل اول
مفاهیم و تعاریف

1-1 بتن پیش‌ساخته (سگمنت)[1]

پوشش تونل قطارهای شهری با توجه به مکانیزه بودن حفاری تونل به صورت قطعات بتنی پیش ساخته (سگمنت) می‌باشد. با توجه به آنکه سگمنت یک پوشش دائمی پیش‌ساخته است، عملاً در مقایسه با سیستم پوشش بتن درجا دارای شرایط بارگذاری متفاوتی می‌باشد، چرا که در پروسه ساخت و نصب سگمنت و عملکرد آن بصورت پوشش دائم، بارهای مختلفی به آن اعمال می‌شود که می‌بایست به نحو مناسبی در برابر آنها طراحی شده و از ایمنی کافی برخوردار باشد. در بخش زیر انواع بارگذاری‌های وارده بر سگمنت معرفی می شود.

1-1-1 انواع بارهای وارده به سگمنت

بارهای وارده بر پوشش دائم تونل و قطعات سگمنتی به دو دسته کلی زیر تفکیک می‌شوند:

1- بارهای محیطی که از جانب عوامل محیطی بر پوشش تونل اعمال می‌شوند مانند بار خاک، آب و زلزله
2- بارهای حین ساخت و اجرا که در فرایند تولید، حمل، دپو و عملکرد دستگاه حفار بر سگمنت‌ها اعمال می‌شوند.

2-1-1 طراحی سگمنت تونل

طراحی سگمنت های تونل بر اساس نوع بارگذاری به شرح زیر انجام می شود.

[1] Segment

1- تحلیل و طراحی سازه ای سگمنت ها تحت اثر بارگذاری های حین ساخت، شامل موارد زیر است.

مرحله جدا سازی از قالب و حمل اولیه

مرحله دپو دائم سگمنت ها

مرحله حمل و انتقال سگمنت ها به دستگاه حفار TBM[1]

بارگذاری مرحله پیشروی دستگاه حفار

2- طراحی سازه ای پوشش سگمنتی تحت اثر بارگذاری های دوره بهره برداری، شامل موارد زیر است.

تعیین بارهای محیطی در مقاطع منتخب

طراحی سازه ای پوشش سگمنتی در دوره بهره برداری

کنترل تنش فشاری در اتصالات محیط رینگ (تماس سگمنت با سگمنت)

آرماتور گذاری پوشش سگمنتی در راستای محور طولی سگمنت

3- طراحی سازه ای پوشش سگمنتی در برابر بارگذاری لرزه ای

3-1-1 سگمنت‌های خط 1 مترو تبریز

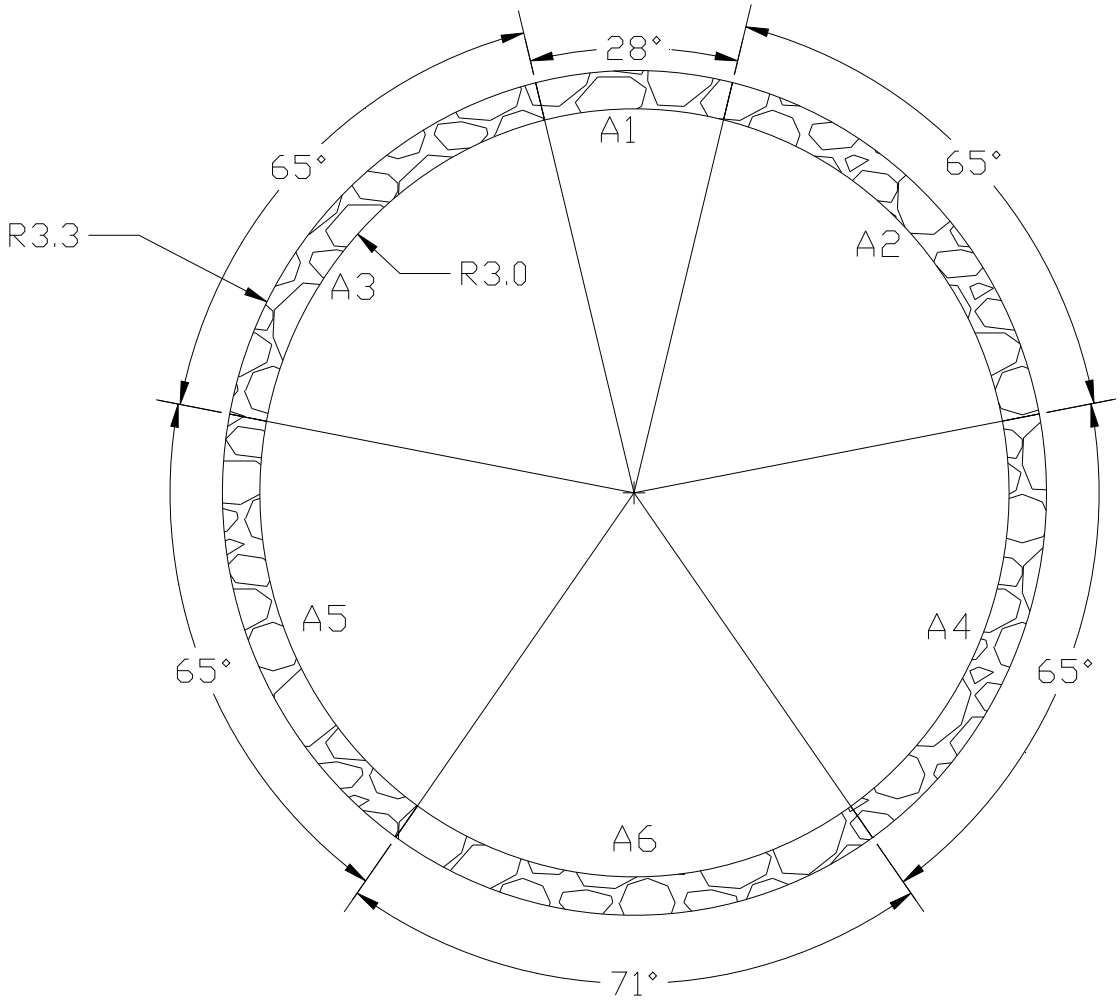
سگمنت‌های بتنی مترو تبریز در کارخانه سگمنت‌سازی واقع در شهرک قراملک تولید می‌شود. طرح اختلاط بتن از 50% شن، 50% ماسه، 500 کیلوگرم سیمان تیپ 2 صوفیان و 2 کیلوگرم مواد فوق روان کننده بتن در هر متر مکعب بتن است.

دستگاه TBM در مسیر خط یک تونل مترو تبریز در عمق 16 الی 25 متری سطح زمین که عمق آبهای زیر زمینی در این مسیر 8 الی 10 متر است در حال اجرا است. دستگاه TBM به وسیله اپراتور در کنترل است و به طور تمام اتوماتیک عملیات کند و کاو صورت گرفته و قطعات سگمنت نصب می‌شود و گروت جهت آب‌بندی

[1] Tunnel Boring Machine

تونل به پشت سگمنت‌ها تزریق می‌شود. نوارهای آب بند دور تا دور سگمنت را پوشانده و قطعات روی هم سوار می شوند و مانع از نفوذ آب به داخل سگمنت می شود. دستگاه TBM به وسیله 12 جک هیدرولیک با نیروی 44000 کیلو نیوتن که به سگمنت ها وارد می شود به جلو رانده می‌شود.

همانطور که در شکل (1-1) ملاحظه می‌شود هر رینگ تونل از 6 قطعه سگمنت شامل A۱ الی A٦ تشکیل شده و عرض هر رینگ در طول تونل 1/4 متر است. قطعه A۱ به عنوان key یا کلید جهت تغییر مسیر تونل به کار برده می‌شود. نوع آرایش سگمنتها به ترتیبی که در شکل های (1-1) و (1-2) قرار دارد است.



شکل (1-1): مقطع عرضی تونل از یک رینگ کامل سگمنت

شکل (1-2): نمایش شکل هندسی سگمنت ها

4-1-1 عمل‌آوری سگمنت‌ها در بخار

از آنجا که افزایشی در درجه حرارت عمل‌آوردن بتن روند توسعه مقاومت آن را زیاد می‌کند لذا می‌توان با عمل آوردن بتن در بخار، کسب مقاومت آن را تسریع بخشید. وقتی که بخار در فشار اتمسفر باشد (یعنی در حرارت کمتر از 100 درجه سانتی گراد) می‌توان این روش را بصورت یک حالت خاص از عمل‌آوردن در رطوبت دانست.

هدف اصلی از عمل‌آوردن در بخار حصول یک مقاومت اولیه کافی می‌باشد بطوریکه بتوان محصولات بتنی را بزودی پس از درجا ریختن از قالب خارج نمود.

معمولا عمل‌آوردن در بخار با فشار کم را در اطاقهای مخصوص و یا در تونل‌هاییکه از میان آنها قطعات بتنی روی تسمه نقاله حمل می‌شوند بکار می‌برند و یا اینکه همانند کارخانه سگمنت سازی پوشش‌های پلاستیکی را روی قطعه پیش ساخته قرار داد و بخار را توسط لوله‌های خرطومی به زیر آنها رساند.

به علت تاثیر درجه حرارت در جریان مراحل اولیه سخت شدن بر مقاومت بعدی بتن، لازم است بین درجه حرارت هایی که مقاومت اولیه زیاد و مقاومت نهایی زیاد ایجاد کند، حد متعادلی انتخاب شود.

درجه حرارت زیاد (90-70 درجه سانتی گراد) باعث سخت شدن سریع بتن و مقاومت نهایی کمتر می شود. درجه حرارت کم (50-20 درجه سانتی گراد) باعث سخت شدن دیرتر بتن و مقاومت نهایی بیشتر می شود. از آن جا که درجه حرارت در هنگام گیرش بیشترین تاثیر بر مقاومت بتن در عمرهای بعدی را خواهد داشت لذا تاخیر در عمل آوردن (بلوغ بتن) در بخار دارای مزیت خواهد بود. [1]

پس از یک تاخیر کافی، حرارت دادن سریع هیچ‌گونه اثر نامساعدی نخواهد داشت. این تاخیر تقریبا 2، 3، 4، 5 و 6، ساعت به ترتیب برای دمای 38، 54، 74 و 85، درجه سانتی گراد می‌باشد. ولیکن اگر چنانچه بتن در معرفی یک درجه حرارت زیادتر قرار گیرد در این صورت بر مقاومت آن اثر نامطلوب خواهد گذاشت. هرچه درجه حرارت عمل آوردن زیادتر باشد اثر مذکور جدی‌تر خواهد بود.

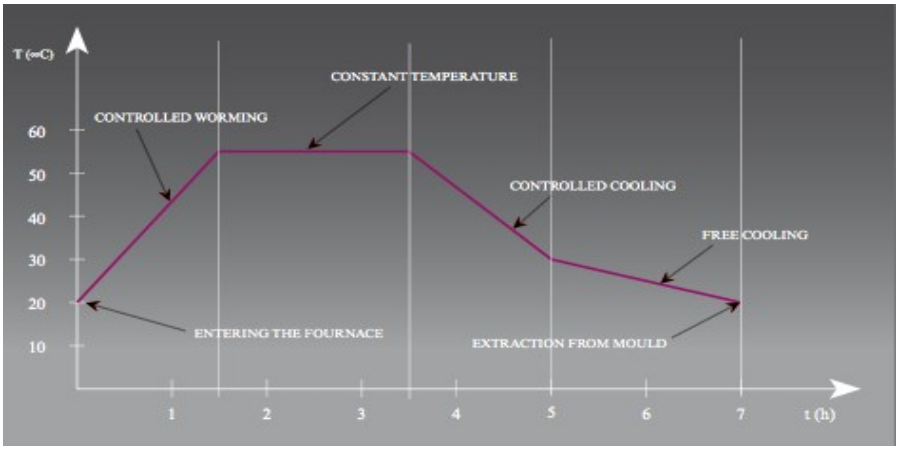
سیکل‌های عمل آوردن را با در نظر گرفتن الزامات مقاومت اولیه و نهایی انتخاب می کنند. ولیکن یک سیکل رضایت بخش از مراحل زیر تشکیل می شود:

زمان تاخیری به مدت 3 تا 5 ساعت، حرارت دادن با روند 22 تا 32 درجه سانتی گراد بر ساعت تا درجه حرارت حداکثر 66 تا 82 درجه سانتی‌گراد، سپس نگهداری در درجه حرارت حداکثر، که احتمالا با یک مدت خیس کردن در آب تعقیب می‌شود. (در این مدت حرارت اضافه نمی‌شود اما بتن حرارت و رطوبت باقی‌مانده را به خود می‌گیرد) و بالاخره زمان سرد شدن که با روندی ملایم صورت می گیرد. کل زمان سیکل (به جز زمان تاخیر) ترجیحا نباید بیش از 18 ساعت طول بکشد.

درجات حرارت ذکر شده در موارد بخار بوده و الزاما با درجه حرارت بتنی که عمل آورده شده یکسان نمی‌باشد. در جریان یکی دو ساعت اول پس از قرار دادن بتن در اطاق بخار درجه حرارن آن نسبت به درجه حرارت هوا عقب افتادگی دارد. اما پس از این مدت، به علت حرارت ایجاد شده به وسیله واکنش‌های هیدراسیون، درجه حرارت بتن بیش از درجه حرارت هوای محیط اطراف آن خواهد بود. وقتی می‌توان حداکثر استفاده را از حرارت ذخیره شده در محفظه عمل آوردن نمود که بخار در مراحل اولیه قطع گردد و یک مدت طویل برای سرد شدن وجود داشته باشد. بنابراین برنامه‌ای موثر برای عمل آوردن شامل یک زمان افزایش کند درجه حرارت، زمانی در حداکثر درجه حرارت و زمان سرد شدن خواهد بود.

وقتی که بتن در درجه حرارت زیاد عمل می‌آید حرارت هیدراسیون سیمان به سرعت ایجاد می‌شود و لذا حتی در نمونه‌های کوچک نیز افزایش درجه حرارت ازدیاد خواهد یافت. از طرف دیگر عمل آوردن بتن در درجات حرارت معمولی، اثرات حرارت هیدراسیون فقط در سازه‌های حجیم بتنی قابل توجه خواهد بود. لازم به تاکید می‌باشد که مدت طولانی‌تر عمل آوردن در دمای پایین‌تر منتهی به مقاومت بهینه بالاتری در مقایسه با حالتی که درجه حرارت زیاد برای یک مدت کوتاه بکار می‌رود، خواهد شد. برای هر زمان عمل آوردن درجه حرارتی وجود دارد که منتهی به مقاومت بهینه‌ای می‌گردد.

اکنون یک روند بهینه برای عمل آوری سگمنت ها در بخار حاصل می شود که مطابق نمودار زیر است.



شکل (1-3): چرخه تیپیک عملیات عمل‌آوری توسط بخار

2-1 خواص حرارتی بتن

الزاما خواص حرارتی بتن، با دوام آن رابطه‌ای ندارد ولی این خواص بر عملکرد دراز مدت بتن در شرایط متغیر اثر دارد. کمیت‌های مربوطه عبارتند از : انتقال حرارت، پخش حرارت، گرمای ویژه و ضریب انبساط حرارتی. سه عامل اول تا حد زیادی به یکدیگر مربوط می باشند. [1]

1-2-1 انتقال حرارت[1]

این کمیت، قابلیت مصالح را برای انتقال حرارت می‌سنجد و عبارت است از نسبت جریان حرارت به شیب (گرادیان) حرارتی. به طور کلی در حرکت حرارت، از دمای بالا به دمای پایین گفته میشود. در زمانی که بین دو نقطه گرادیان دمایی (اختلاف دما) وجود داشته باشد، بین آنها انتقال حرارت صورت می گیرد. به طور کلی حرارت به سه صورت هدایت، جابجایی و تابش منتقل می شود. انتقال حرارت هدایتی که رسانش گرمایی[2] نیز نامیده می شود، نیاز به محیط مادی داشته و در جامدات و سیالات رخ می دهد. رسانش گرمایی یک تغییر میکروسکوپیک مستقیم انرژی جنبشی ذرات از طریق مرز بین دو سیستم است. هنگامی که یک شئ در دمایی متفاوت با جسم دیگر یا با محیط اطرافش باشد، گرما جریان می‌یابد و جسم و محیط اطراف دمای مشابه به دست می‌آورند که در این نقطه آن‌ها در تعادل گرمایی هستند. انتقال حرارت جابجایی (همرفت) نیز نیاز به محیط مادی داشته و زمانی رخ می دهد که یک سیال بر روی یک سطح حرکت کند. همرفت گرما هنگامی که جریان توده‌ای سیال، گرما را همراه با جریان ماده در سیال حمل می‌کند اتفاق می‌افتد. انتقال حرارت تشعشعی نیاز به محیط مادی نداشته و همیشه بین اجسامی که اختلاف دما دارند روی می دهد. انتقال حرارت تشعشعی

[1] Heat transfer
[2] Thermal conductivity

انتقال گرما با تابش است که در هر محیط شفافی اتفاق می‌افتد تابش نوعی انتقال انرژی در فضای خالی به وسیله موج‌های الکترومغناطیسی است که به همان روشی که امواج الکترومغناطیسی نوری، نور را منتقل می‌کنند صورت می‌پذیرد و همان قوانینی که انتقال نور را پوشش می‌دهند انتقال گرمای تابشی را نیز پوشش می‌دهند. انتقال حرارت بر حسب ژول بر ثانیه بر متر مربع از مساحت جسم، وقتی که اختلاف درجه حرارت در یک متر از ضخامت آن برابر 1 درجه سانتی‌گراد باشد اندازه‌گیری می‌شود. انتقال حرارت بتن معمولی بستگی به ترکیبات آن دارد و وقتی که بتن اشباع شده باشد، عمدتا انتقال حرارت آن بین حدود 1/4 و 3/6 $^{j}/_{m^2s}\,^{\circ}\mathrm{C}/_{m}$ می‌باشد.

وزن مخصوص به میزان محسوسی بر انتقال حرارت بتن معمولی تاثیر نمی‌گذارد، اما به علت انتقال حرارت کم هوا، انتقال حرارت بتن سبک، با وزن مخصوص آن تغییر می‌کند. مقادیر نمونه ای از انتقال حرارت بتن در جدول (1-1) داده شده است. [21]

نوع سنگدانه	وزن مخصوص بتن $^{kg}/_{ms}$	انتقال حرارت $^{j}/_{m^2s}\,^{\circ}\mathrm{C}/_{m}$
باریت	3640	1.38
آتشفشانی	2540	1.44
دولومیت	2560	3.68
بتن سبک وزن	480-1760	0.14-0.6

جدول (1-1): ضریب انتقال حرارتی برخی از سنگدانه های بتن [1]

می‌توان مشاهده نمود که خصوصیات کانی‌های سنگدانه‌ها به میزان وسیعی بر انتقال حرارت بتنی که با این مواد ساخته شده اثر می‌گذارد. بطور کلی بازالت و باریت دارای انتقال حرارت کم می‌باشند، دولومیت و سنگ آهک در حد وسط قرار می‌گیرند، و کوارتز انتقال حرارت زیادی از خود نشان می‌دهد، که همچنین بستگی به جهت جریان حرارت نسبت به وضعیت کریستال‌های آن دارد. روی هم رفته بلوری بودن سنگ آهک انتقال حرارت آن را افزایش می‌دهد.

درجه اشباع بتن یک عامل عمده می‌باشد. زیرا انتقال حرارت هوا کمتر از انتقال حرارت آب است و برای مثال، در حالت بتن سبک وزن، 10 درصد افزایش در رطوبت نسبی، انتقال حرارت را به اندازه حدود نصف مقدار خود افزایش می‌دهد. از طرف دیگر انتقال حرارت آب کمتر از نصف انتقال حرارت خمیر سیمان است بطوریکه هرچه مقدار آب مخلوط کمتر باشد، انتقال حرارت بتن سخت شده، بیشتر می‌گردد. درجه حرارت، در حدود مقادیر معمولی محیط به میزان کمی بر انتقال حرارت بتن تأثیر می‌گذارد و اثر عمومی افزایش در درجه حرارت آن است که به مقدار کمی انتقال حرارت بتن معمولی را کاهش می‌دهد. اما در حالت بتن سبک وزن عکس این

عمل اتفاق می‌افتد. ولیکن در درجه حرارت‌های بالا تا 800 درجه سانتیگراد کاهش در انتقال حرارت رخ می‌دهد و در این درجه حرارت، انتقال حرارت بتن نصف مقدار آن در حرارت 20 درجه سانتیگراد است.

انتقال حرارت را معمولا از دیفیوزیته (پخش) حرارت که سنجش آن آسانتر است محاسبه می‌کنند. اما البته سنجش مستقیم انتقال حرارت نیز امکان‌پذیر است. ولیکن ممکن است روش آزمایش بر مقدار بدست آمده تأثیر بگذارد. برای مثال، روش‌های حالت تعادل (صفحه گرم و جعبه گرم) انتقال حرارت یکسانی را برای بتن خشک بدست می‌دهد. اما نتایج خیلی پایین را برای بتن مرطوب می‌دهند. زیرا شیب حرارتی سبب انتقال رطوبت می-گردد. بدین دلیل ترجیح داده می‌شود که انتقال حرارت بتن تر با روش‌های حالت انتقالی[1] تعیین گردد و در این رابطه آزمایش " سیم گرم " موفقیت آمیز بوده است.

2-2-1 پخش (دیفیوزیته) حرارت[2]

معیاری از توانایی یک ماده در رسانش گرما در قیاس با ذخیره انرژی گرمایی در آن ماده است. این کمیت به صورت نسبت گرمای عبور کرده به گرمای ذخیره شده توسط واحد حجم ماده است. دیفیوزیته معرف روندی است که تغییرات درجه حرات در داخل یک جرم می‌تواند صورت پذیرد و لذا شاخص سهولتی است که بتن می-تواند تغییر درجه حرارت بدهد. پخش حرارت (دیفیوزیته)، δ ، با انتقال حرارت، k ، رابطه ساده‌ای دارد که طبق معادله زیر است. [1]

$$\delta = \frac{k}{c\gamma}$$

در اینجا c گرمای ویژه و γ وزن مخصوص بتن است.

از این معادله می‌توان مشاهده نمود که انتقال حرارت و پخش حرارت همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند. هر چه مقدار عددی δ بزرگتر باشد انتشار گرما از درون ماده سریع تر صورت می گیرد و بر عکس اگر δ کوچک باشد مقدار گرمای ذخیره شده در مقایسه با گرمای شارش شده بیشتر است. حدود مقادیر نمونه پخش حرارت بتن معمولی بین 0/002 و 0/006 متر مربع بر ساعت است که بسته به نوع سنگدانه معرف شده، در بتن تغییر می-کند. [1]

[1] Transient
[2] Thermal Diffusivity