دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی آزمایشگاهی تأثیر انواع ذرات نانو بر دوام رویه‌های بتنی در برابر پدیده ذوب و یخبندان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – راه و ترابری

نیلوفر سالمی

استاد راهنما

دکتر کیاچهر بهفرنیا

۱۳۹۰

به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی آزمایشگاهی تأثیر انواع ذرات نانو بر دوام رویه‌های بتنی در برابر پدیده ذوب و یخبندان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – راه و ترابری

نیلوفر سالمی

استاد راهنما

دکتر کیاچهر بهفرنیا

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران – راه و ترابری خانم نیلوفر سالمی

تحت عنوان

بررسی آزمایشگاهی تأثیر انواع ذرات نانو بر دوام رویه‌های بتنی در برابر پدیده ذوب و یخبندان

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۹ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر کیاچهر بهفرنیا
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سید مهدی ابطحی
۳- استاد داور	دکتر داود مستوفی‌نژاد
۴- استاد داور	دکتر محمد شکرچی‌زاده
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری

بر خود لازم می‌دانم کـه از توجـه و راهنمـایی‌هـای ارزنـده اسـاتید گرانقـدر، دکتر کیاچهر بهفرنیا، دکتر سید مهدی ابطحی، مهندس سید مهدی حجازی و همچنین مساعدت‌های تمامی دوستان به ویـژه جنـاب آقایـان مهنـدس محمـد علی عسگری، مهندس حسین شـیخ زیـن الـدین و مهنـدس مجیـد عمـوچی و کارکنان محترم آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی دانشـگاه صـنعتی اصـفهان تقدیر و تشکر نمایم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادرم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ روسازی بتنی ۳

۱-۲-۱ تکامل روسازی‌های بتنی ۳

۱-۲-۲ ملاحظات اقتصادی روسازی‌های بتنی ۴

۱-۲-۳ ملاحظات زیست‌محیطی روسازی‌های بتنی ۴

۱-۳ دوام بتن و روسازی‌های بتنی ۶

۱-۳-۱ دوام بتن در برابر چرخه‌های ذوب و یخ ۷

۱-۴ مکانیزم‌های تخریب بتن در اثر یخ زدن و آب شدن متوالی ۷

۱-۴-۱ مکانیزم‌های تخریب خمیر سیمان ۸

۱-۴-۲ اثر سنگدانه‌ها ۱۵

۱-۵ شکل خرابی‌های بتن در اثر سیکل‌های یخبندان و ذوب ۱۸

۱-۵-۱ ترک‌های فرسایشی ۱۸

۱-۵-۲ پوسته‌شدگی ۱۹

۱-۵-۳ بیرون‌پریدگی ۲۰

۱-۵-۴ ترک‌خوردگی سطحی گسترده ۲۰

۱-۵-۵ تجزیه خمیر سیمان ۲۰

۱-۶ میزان تأثیر شرایط یخبندان در انواع سازه‌های بتنی ۲۱

۱-۷ تاریخچه‌ی موضوع ۲۲

۱-۷-۱ مکانیزم یخ زدن ۲۲

۱-۷-۲ تاثیر سنگدانه‌ها بر عملکرد بتن در برابر سیکل‌های یخ و ذوب ۲۳

۱-۷-۳ تاثیر حباب هوا بر عملکرد بتن در برابر سیکل‌های یخ و ذوب ۲۵

۱-۷-٤ عملکرد بتن حاوی مواد جایگزین سیمان در برابر یخبندان ۲۶

۱-۷-۵ نحوه‌ی اختلاط، مدت زمان عمل‌آوری و درجه‌ی هیدراتاسیون ۳۱

۱-۷-٦ دوام بتن حاوی مواد افزودنی مختلف در برابر یخ و ذوب ۳۳

۱-۷-۷ تاثیر روش انجام آزمایش ۳۴

۱-۷-۸ همزمانی عوامل مخرب ۳۶

۱-۷-۹ عیار سیمان ۳۷

۱-۷-۱۰ تاثیر الیاف بر یخ و ذوب ۳۸

۱-۷-۱۱ تاثیر پلیمر بر یخ و ذوب ۳۹

۱-۸ نانوتکنولوژی ۴۱
۱-۸-۱ مفاهیم کلی نانوتکنولوژی ۴۱
۱-۸-۲ انواع نانوذرات و روش‌های ساخت آن‌ها ۴۶
۱-۸-۳ کاربرد نانوتکنولوژی در بتن ۴۷
۱-۸-۴ مطالعات انجام شده ۴۸
۱-۹ هدف از تحقیق ۵۷
۱-۱۰ روش انجام تحقیق ۵۸

فصل دوم

۲-۱ مقدمه ۶۰
۲-۲ مصالح و تجهیزات مورد نیاز ۶۰
۲-۲-۱ سیمان ۶۰
۲-۲-۲ نانوسیلیس ۶۲
۲-۲-۳ نانوآلومین ۶۴
۲-۲-۴ ریزدانه‌ها ۶۵
۲-۲-۵ درشت‌دانه‌ها ۶۶
۲-۲-۶ فوق روان‌کننده ۶۷
۲-۲-۷ الیاف پلی‌پروپیلن ۶۸
۲-۲-۸ فریزر ۷۰
۲-۲-۹ گرم‌کن ۷۱
۲-۲-۱۰ دماسنج ۷۲
۲-۲-۱۱ کولیس دیجیتالی ۷۳
۲-۳ طرح اختلاط ۷۳
۲-۴ نحوه‌ی اختلاط مواد وساخت بتن ۷۴
۲-۵ اندازه‌گیری اسلامپ ۷۴
۲-۶ قالب‌گیری و ساخت نمونه‌ها ۷۷
۲-۷ شماره گذاری طرح‌های اختلاط ۷۷
۲-۸ بیرون آوردن نمونه‌ها از قالب و عمل آوری آن‌ها ۷۸
۲-۹ محیط در نظر گرفته شده برای بررسی دوام بتن‌ها ۷۸
۲-۱۰ آزمایشات در نظر گرفته شده برای طرح‌های اختلاط ۸۰
۲-۱۱ چگونگی انجام آزمایشات ۸۱
۲-۱۱-۱ آزمایش میزان کاهش وزن ۸۱
۲-۱۱-۲ آزمایش میزان تغییر طول ۸۲
۲-۱۱-۳ آزمایش میزان جذب آب ۸۲
۲-۱۱-۴ آزمایش تعیین مقاومت فشاری ۸۲

فصل سوم

1-3 مقدمه ۸۳
۳-۲ نحوه‌ی تخریب ظاهری بتن‌ها ۸۴
۳-۲-۱ تخریب نمونه‌ها پس از گذشت ۴۵ سیکل ۸۴
۳-۲-۲ تخریب نمونه‌ها پس از گذشت ۱۵۰ سیکل ۸۶
۳-۲-۳ تخریب نمونه‌ها پس از گذشت ۳۰۰ سیکل ۸۹
۳-۲-۴ ارائه‌ی نتایج به دست آمده از بررسی تخریب ظاهری نمونه‌ها ۹۲
۳-۳ آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها ۹۲
۳-۴ نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری ۹۳
۳-٤-۱ مقاومت فشاری نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب ۹۳
۳-٤-۲ بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته تحت شرایط یخبندان ۱۰۰
۳-۴-۳ مقایسه‌ی مقاومت فشاری در تمام طرح‌های اختلاط ۱۱۵
۳-۵ بررسی نتایج مربوط به کاهش طول نمونه‌ها و تحلیل آن ۱۱۸
۳-۵-۱ بررسی اثر نسبت نانوسیلیس به مواد سیمانی بر کاهش طول ۱۱۹
۳-۵-۲ بررسی اثر نسبت نانوآلومین به مواد سیمانی بر کاهش طول ۱۲۱
۳-۵-۳ بررسی اثر الیاف پلی‌پروپیلن بر کاهش طول ۱۲۳
۳-۶ بررسی نتایج مربوط به تغییرات وزن نمونه‌ها ۱۲۶
۳-۶-۱ بررسی اثر نسبت نانوسیلیس به مواد سیمانی بر کاهش وزن ۱۲۷
۳-۶-۲ بررسی اثر نسبت نانوآلومین به مواد سیمانی بر کاهش وزن ۱۲۹
۳-۶-۳ بررسی اثر الیاف پلی‌پروپیلن بر کاهش وزن ۱۳۱
۳-۷ بررسی نتایج مربوط به آزمایش جذب آب ۱۳۴
۳-۷-۱ جذب آب نمونه‌های عمل‌آوری شده در آب ۱۳۴
۳-۷-۲ بررسی درصد جذب آب نمونه‌های قرار گرفته تحت شرایط یخبندان ۱۳۸
۳-۷-۳ مقایسه‌ی درصد جذب آب در تمام طرح‌های اختلاط ۱۴۷

فصل چهارم

۴-۱ مقدمه ۱۵۰
۴-۲ تعاریف آماری ۱۵۰
۴-۳ مدل‌سازی ۱۵۳
۴-۴ بررسی کلی داده‌ها ۱۵۶
۴-۴-۱ کاهش مقاومت فشاری ۱۵۶
۴-۴-۲ تغییر طول ۱۶۲
۴-۴-۳ کاهش وزن ۱۶۸
۴-۴-۴ افزایش میزان جذب آب ۱۷۲
۴-۵ بررسی هم‌بستگی چهار پاسخ کاهش مقاومت فشاری، کاهش طول، کاهش وزن و افزایش جذب آب نمونه‌های بتنی با یکدیگر ۱۷۷

فصل پنجم

۵-۱ خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در این پایان‌نامه ۱۸۰
۵-۲ نتایج کلی به دست آمده از این تحقیق ۱۸۱
۵-۳ پیشنهاداتی جهت تحقیقات بعدی ۱۸۵
مراجع ۱۸۶

چکیده

از آنجایی که روسازی‌های بتنی در ارتباط مستقیم با شرایط جوی و عوامل مخرب محیطی هستند، موضوعات مرتبط با عمر مفید و دوام آن‌ها همواره مورد توجه محققین بوده است. یکی از موضوعاتی که بیشترین اثر تخریبی را بر رویه‌های بتنی در محیط‌های سرد و مرطوب داشته است، چرخه‌های متوالی یخزدگی و ذوب می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی و مقایسه‌ی تأثیرنانوذرات بر دوام رویه‌های بتنی در برابر سیکل‌های متناوب یخ و ذوب بوده است. اثرات شرایط یخبندان را می‌توان از سنجش افت مقاومت فشاری و همچنین تغییر طول، وزن و درصد جذب آب نمونه‌های بتن بررسی نمود. به دلیل اینکه هدف اصلی از انجام این پایان‌نامه مقایسه‌ی تاثیر کاربرد نانوذرات در شرایط یخبندان با یکدیگر بوده است، در همه‌ی طرح‌ها از یک نسبت آب به مواد سیمانی (W/BP) ثابت و برابر ۰/۴۸ استفاده گردید. نانوذرات مورد استفاده در این بررسی، نانوسیلیس و نانوآلومین بوده‌اند. در تهیه‌ی طرح‌های اختلاط، یک طرح بدون مواد پوزولانی، سه طرح با جای‌گزینی ۳%، ۵% و ۷% درصد وزنی مواد سیمانی با نانوسیلیس و سه طرح با جای‌گزینی ۱%، ۲% و ۳% درصد وزنی مواد سیمانی با نانوآلومین ساخته شد. در این تحقیق همچنین به بررسی تاثیر کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن بر دوام نمونه‌های بتنی در محیط یخبندان پرداخته شد.در تهیه‌ی بتن‌های دارای الیاف پلی‌پروپیلن نیز تمامی طرح‌های بالا به همراه ۰/۱% و ۰/۲% الیاف ساخته شدند. الیاف پلی‌پروپیلن با نسبت حجمی ۰/۱% و ۰/۲% در ساخت نمونه‌ها استفاده گردید. بدین‌ترتیب ۲۱ طرح اختلاط در قالب ۴۴۱ عدد نمونه بتنی ساخته شد. نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C666A تحت آزمایش یخ و ذوب قرار گرفتند. برای مقایسه‌ی عملکرد طرح‌های اختلاط در برابر یخبندان، تغییرات وزن، طول، درصد جذب آب و مقاومت فشاری نمونه‌ها قبل و بعد از قرارگیری در شرایط یخبندان، مورد بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق نشان داده شد که نانوذرات دوام بتن در برابر پدیده‌ی یخبندان را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهند. همچنین در این تحقیق مشخص شد که در بین این دو ماده، نانوسیلیس تاثیر بیش‌تری در بهبود مقاومت و دوام بتن داشت. الیاف پلی‌پروپیلن نیز باعث بهبود دوام بتن در برابر سیکل‌های متناوب یخ و ذوب می‌شوند، در حالی که مقاومت فشاری بتن را تغییر نمی‌دهند. تاثیر الیاف در بهبود دوام بتن، بسیار کمتر از تاثیر نانوذرات می‌باشد.

کلمات کلیدی: ۱- روسازی بتنی ۲- دوام در برابر یخبندان ۳- نانو ذرات ۴- الیاف پلی‌پروپیلن

فصل اول
تعریف مسئله و مروری بر پیشینه‌ی موضوع

۱-۱ مقدمه

به طور کلی توانایی سرویس‌دهی مصالح سازه‌ای یک مسئله مهم اقتصادی است. این مسئله، به خصوص در مواردی که مصالح قسمتی از زیرساخت‌های یک کشور را تشکیل دهند، اهمیت بیشتری می‌یابد.

بتن یکی از مصالحی است که به طور گسترده در توسعه‌ی شهرها به کار می‌رود. این ماده از اجزای ساده و در دسترس تشکیل شده است، به نحوی که اگر این مواد بطور مناسب مخلوط و عمل‌آوری شوند، برای قرن‌ها دوام می‌آورد. تاکنون تعاریف زیادی از بتن و همچنین معیارهای طراحی آن ارائه شده است. این تعاریف نقاط مشترک زیادی دارند و همه‌ی آن‌ها، بتن را در اصلی‌ترین فرم خود مخلوطی از سه ماده‌ی اصلی تعریف کرده‌اند. این سه ماده‌ی اصلی عبارتند از مواد چسبنده یا سیمانی که اغلب سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، آب که مواد سیمانی با آن واکنش دهند و خاصیت چسبنده پیدا کنند و مواد پرکننده که حجم قابل توجهی از بتن را تشکیل می‌دهند و اغلب سنگدانه هستند.

یکی از مصارف عمده‌ی بتن، صنعت روسازی می‌باشد. در ادامه روسازی بتنی به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱ روسازی بتنی

در ایران، به دلیل وجود منابع نفتی فراوان و قیر، روسازی اکثر راه‌ها آسفالتی می‌باشد. امروزه علاوه بر اهداف اقتصادی و فنی، جنبه‌های زیست‌محیطی و ملزومات توسعه پایدار نیز بطور فزاینده در طراحی، ساخت و نگهداری روسازی‌ها و پروژه‌های زیرساختاری دیگر در نظر گرفته می‌شود. روسازی‌های سازگار با محیط زیست (روسازی‌های سبز) آن‌هایی هستند که در همه‌ی ابعاد از جمله طراحی، ساخت و نگهداری آن‌ها مسائل محیط زیستی در نظر گرفته می‌شود. به دلیل عمر طولانی، روسازی بتنی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و سودمند است و به حداقل مصرف مواد، انرژی و سایر منابع برای ساخت‌وساز، نگهداری و بازسازی در طول عمر خود نیاز دارد. روسازی‌های بتنی با طول عمر بالا کمتر نیاز به ترمیم و بازسازی مکرر دارند و به ایمنی بزرگراه و کاهش ترافیک کمک می‌کنند. البته لازم به ذکر است که تعمیر و مرمت روسازی‌های بتنی مشکل‌تر از تعمیر و مرمت روسازی‌های آسفالتی است. در کشور ما، با توجه به افزایش قابل توجه قیمت قیر در سال‌های اخیر و در نتیجه‌ی افزایش قیمت روسازی‌های آسفالتی و در راستای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کاهش مسائل زیست‌محیطی، استفاده از روسازی‌های بتنی برای جاده‌ها و بزرگراه‌ها باید مورد توجه قرار گرفته و بستری مناسب برای رقابت روسازی‌های بتنی و آسفالتی فراهم گردد [1]. در ادامه به بررسی روسازی‌های بتنی پرداخته می‌شود.

۱-۲-۱ تکامل روسازی‌های بتنی

پیشنهاد ساخت اولین روسازی بتنی در سال ۱۸۸۹ توسط بارتولومئو[1] به مقامات ایالت اوهایو ارائه شد. وی دو سال بعد موفق به ساخت طرح خود گردید. موفقیت این نوع روسازی باعث شد تا در نیمه‌ی قرن بیستم از روسازی‌های بتنی جهت ساخت سیستم‌های بین ایالتی در امریکا استفاده شود.استفاده از روسازی‌های بتنی در کانادا از دهه‌ی ۱۹۳۰ آغاز گردید. هم‌اکنون در ایالت کبک کانادا، با اینکه روسازی‌های بتنی تنها ٤% از شبکه‌ی راه‌های این ایالت را تشکیل می‌دهند؛ حدود ۷۵% از ترافیک این ایالت را حمل می‌کنند [2]. آلمان ساخت جاده‌های بتنی را در اواخر دهه‌ی ۱۸۸۰ آغاز نمود و در سال ۱۹۳٤ بطور وسیع ساخت بزرگراه‌ها با روسازی بتنی را شروع کرد. در حال حاضر، روسازی بتنی ۲۵% شبکه‌ی راه‌های ماشین‌روی پرحجم را در آلمان تشکیل می‌دهد. حدود ٦۰% از راه‌های ماشین‌روی پرحجم اتریش دارای روسازی بتنی هستند. در کشور بلژیک، روسازی بتنی بیش‌تر در راه‌های دارای حجم ترافیکی کم، مانند راه‌های روستایی مورد استفاده قرار گرفته است. به طوری که ٦۰ درصد از راه‌های

[1] Bartholomew

روستایی این کشور دارای روسازی بتنی هستند. در هلند نیز ۲ درصد از شبکه‌ی راه‌ها دارای روسازی بتنی بوده که در مجموع ۳۸ درصد از حجم کل ترافیک در این کشور را حمل می‌کنند [2].

۱-۲-۲ ملاحظات اقتصادی روسازی‌های بتنی

در این بخش به بررسی و مقایسه روسازی‌های بتنی و آسفالتی از جنبه‌های اقتصادی پرداخته می‌شود.

۱-۲-۲-۱- ساخت و ساز اولیه

هزینه‌ی ساخت و ساز اولیه شامل تمامی هزینه‌های دفتری برای اجرای روسازی است. در حال حاضر، هزینه‌ی ساخت و ساز اولیه روسازی‌های آسفالتی در ایران (به جز در شرایط بزرگراه با ترافیک کم با تکیه‌گاه بستر متوسط) بیش‌تر از روسازی‌های بتنی است. هزینه‌ی ساخت و ساز اولیه روسازی‌های آسفالتی، به طور متوسط ۱۱ درصد بیش‌تر از روسازی بتنی است [1].

۱-۲-۲-۲- نوسازی

هزینه‌ی نوسازی روسازی‌های آسفالتی در طول ۵۰ سال بهره‌برداری در ایران تقریبا ۵/۶۶ برابر هزینه‌ی نوسازی روسازی‌های بتنی است. به علاوه به دلیل مشکلات طراحی، اجرا و نگهداری روسازی‌های آسفالتی در ایران، این نوع روسازی نسبت به متوسط جهانی به نوسازی بیش‌تری نیاز دارد [1].

۱-۲-۲-۳- نگهداری

هزینه‌های نگهداری شامل هزینه‌ی نگهداری روزمره (تعمیرات جزئی و موضعی) و همچنین هزینه‌ی نگهداری پیشگیرانه (تعمیرات دوره‌ای) می‌باشد. این هزینه‌ها نسبت به هزینه‌های ساخت و ساز اولیه و نوسازی روسازی‌ها ناچیز بوده و اثر کمی در تجزیه و تحلیل هزینه‌های چرخه عمر دارند. هزینه‌های نگهداری سالیانه برای روسازی بتنی حدود ۲/۵ درصد هزینه‌ی ساخت و ساز اولیه می‌باشد. لازم به ذکر است که هزینه‌ی نگهداری روسازی آسفالتی در حدود ۲/۲ برابر روسازی بتنی است.

۱-۲-۳ ملاحظات زیست‌محیطی روسازی‌های بتنی

همان‌طور که بیان شد، علاوه بر اهداف اقتصادی و فنی، اثرات زیست‌محیطی و ملزومات توسعه‌ی پایدار، به طور فزاینده در طراحی روسازی‌ها و پروژه‌های زیرساختاری دیگر در نظر گرفته می‌شود. مواد تشکیل دهنده‌ی

بتن نیاز به فرآوری کمی دارند و اکثر آن‌ها در محل به دست آمده و ساخته می‌شوند؛ بنابراین انرژی حمل و نقل را به حداقل می‌رسانند. در ادامه به بررسی ویژگی‌های مثبت زیست‌محیطی روسازی‌های بتنی پرداخته می‌شود.

۱-۲-۳-۱-طول عمر زیاد

روسازی‌های بتنی در بزرگراه‌های متعددی در آمریکای شمالی بیش از ۵۰ سال قدمت دارند [3]. عمر طولانی روسازی‌های بتنی به منطقه و نوع خاصی از محیط زیست و آب و هوا محدود نمی‌باشد.

۱-۲-۳-۲-کاهش مصرف سوخت خودرو و انتشار گاز

بر خلاف آسفالت که ویسکوالاستیک است و به همین دلیل به دما و بارگذاری حساس است، سطح صلب روسازی‌های بتنی در زیر بارگذاری وسایل نقلیه سنگین، تغییر شکل نمی‌دهد و در نتیجه دارای انحنای کمتری است. مصرف سوخت تا حدودی تابعی از درجه انحنای روسازی ناشی از اعمال بار از طرف چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین است. هرگونه انحنا، مقداری از انرژی پیش‌راندن وسیله‌ی نقلیه را جذب می‌کند. به این ترتیب انرژی و سوخت بیش‌تری برای حرکت وسایل نقلیه سنگین بر روی روسازی‌های انعطاف‌پذیر لازم می‌باشد [1].

از نقطه نظر انتشار گازهای مضر نیز می‌توان به این نکته اشاره کرد که مقدار تولید CO_2 در ساخت بتن در درجه‌ی اول تابعی از سیمان موجود در مخلوط است. از طرفی آب، شن، ماسه و دیگر مواد تشکیل دهنده‌ی بتن، تا حدود ۹۰% وزنی آن را شامل می‌شوند. فرآیند استخراج معدن شن و ماسه، خرد کردن سنگ، ترکیب مصالح بتن و حمل ونقل به کارگاه ساخت بتن، نیاز به انرژی بسیار کمی دارد. در نتیجه‌ی کلیه‌ی عوامل مذکور، مقدار گازهای آلاینده کمی در راستای تولید و استفاده از بتن وارد محیط زیست می‌شود [1].

۱-۲-۳-۳-کاهش استفاده از منابع طبیعی برای لایه‌های زیرین روسازی

در روسازی‌های بتنی، دال بتنی بخش عمده‌ای از ظرفیت باربری سازه‌ای را تامین کرده و بارهای ناشی از وسایل نقلیه سنگین را در منطقه نسبتاً وسیعی از زیراساس توزیع می‌کند؛ بنابراین لایه‌های زیرین روسازی دارای ضخامت و مصرف مصالح دانه‌ای کمتری نسبت به روسازی‌های آسفالتی هستند.

۱-۲-۳-۴-بهبود کیفیت رواناب

استفاده از روسازی‌های نفوذپذیر بتنی (بتن متخلخل) می‌تواند منجر به افزایش کیفیت رواناب و کمک به تقویت سفره‌های آب زیرزمینی شود. همچنین میزان آلاینده‌هایی مثل روغن خودرو و مایعات دیگر در رواناب کاهش می‌یابد [1].

۱-۲-۳-۵-بهبود ایمنی آتش سوزی در تونل‌ها

بتن ماده‌ای غیر قابل احتراق است که گازهای سمی از خود منتشر نمی‌کند. این ویژگی بتن، باعث افزایش ایمنی و کاهش آتش‌سوزی می‌شود [4].

۱-۳ دوام بتن و روسازی‌های بتنی

علی‌رغم قدمت کاربرد بتن در صنعت ساختمان‌سازی و راهسازی، تا قبل از چند دهه‌ی اخیر، توجه چندانی به دوام بتن نمی‌شد و اصلی‌ترین معیار طراحی بتن از نظر طراحان و سازندگان بتن، مقاومت فشاری آن بود. بسته به کاربرد و محیطی که بتن در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، برخی معتقدند که دوام بتن، معیاری مهم‌تر از معیار مقاومت است. خرابی‌های زودرس به خصوص در سازه‌های بتنی که در محیط‌های مخرب ساخته می‌شوند، گویای اهمیت دوام بتن بوده و در دهه‌های اخیر نگرانی‌های وسیعی را در اذهان طراحان بتن ایجاد کرده است. بسیار دیده شده است که بتن بر خلاف انتظار، عملکرد مناسبی نداشته و خیلی زودتر از عمر طراحی، آسیب‌دیده و خواص خود را از دست داده است. سازه‌هایی همچون سدها و نیروگاه‌های آبی، پل‌ها، تونل‌ها، موج‌شکن‌ها، اسکله‌ها و دیگر سازه‌های بتنی یا بتن مسلح، با وجود قرار داشتن در شرایط محیطی ویژه می‌بایست سال‌ها عمر کنند، لیکن در مواردی بسیار زودتر از عمر پیش‌بینی شده، آسیب دیده یا به کلی خراب شده‌اند. این در حالی است که هزینه‌ی مرمت پاره‌ای از این خرابی‌ها حتی بالاتر از هزینه‌ی ساخت سازه برآورد شده است [5].

کاهش عمر خدمت‌دهی و دوام، عوامل محیطی و درونی مختلفی می‌تواند داشته باشد. از این رو شناخت خواص بتن، تکنولوژی و کاربرد صحیح آن برای تأمین عمر خدمت‌دهی پیش‌بینی و طراحی شده برای آن به عنوان مصالح سازه‌ای با دوام در سازه‌ها (اعم از بناهای بزرگ صنعتی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها، پل‌ها و اسکله‌ها و ...) ضروری به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که عمر خدمت‌دهی همان عمر مفید اجزای سازه‌ای است که طی آن سازه‌ی مورد نظر خواص اصلی خود را برای برآوردن نیازهای تعیین شده بر حسب شرایط استفاده حفظ نماید [6].

از آنجا که تعمیر و مرمت روسازی‌های بتنی مشکل‌تر از تعمیر و مرمت روسازی‌های آسفالتی است، این نوع روسازی‌ها در صورت در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای دوام در برابر عوامل مخرب، از عمر مناسب و توجیه اقتصادی برخوردار می‌باشند. برای شناخت عوامل مخرب این نوع روسازی می‌بایست شناخت کاملی از بتن و عوامل مخرب آن داشت [7].

کاهش عمر مفید و دوام بتن به خصوص در روسازی‌های بتنی بسیار زیاد دیده می‌شود؛ زیرا این نوع روسازی‌ها در ارتباط مستقیم با شرایط جوی و عوامل مخرب محیطی هستند.

دوام روسازی‌های بتنی شامل موارد زیر می‌شود:

- مقاومت در برابر ترک‌خوردگی داخلی و خارجی ناشی از آب‌انداختگی
- مقاومت در برابر تنش‌های حرارتی و خستگی
- مقاومت در برابر تخریب ناشی از چرخه‌های متناوب یخ زدن و آب شدن
- مقاومت در برابر حمله‌ی مواد شیمیایی مضر مانند اسیدها، نمک‌های یخ‌زدا و سولفات‌ها
- مقاومت در برابر اثرات واکنش قلیایی سنگدانه‌ها و کربناتاسیون

واضح است که پیش‌بینی عمر مفید بتن و طراحی سازه‌های بتنی برای عمر معین، فقط در صورتی قابل انجام است که روند پیچیده‌ی واکنش‌های بتن و عوامل محیطی بررسی شود. برای تهیه بتنی که در برابر حملات مهاجم محیط مقاوم باشد، درک مکانیزم عناصر مهاجم در محیط سازه، ضروری است. با درک کامل روند شیمیایی و فیزیکی که در تخریب بتن دخالت دارد، می‌توان روش‌های حفاظتی مناسب را در قالب ضوابط پیشنهادی ارائه نمود. لذا تشریح واکنش‌های متقابل بتن و محیط خارجی، موضوع اصلی دوام بتن می‌باشد [5].

۱-۳-۱ دوام بتن در برابر چرخه‌های ذوب و یخ

همان‌طور که بیان شد، یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای دوام روسازی بتنی، قرارگیری آن در معرض چرخه‌های یخ زدن و ذوب شدن است. این نوع خرابی در مناطق سردسیر ایران به خصوص در مناطق غربی و شمال غربی بسیار رایج است.

در ادامه‌ی این فصل ابتدا به بررسی مکانیزم تخریب بتن در شرایط یخبندان پرداخته می‌شود. سپس مطالعات انجام شده در رابطه با تاثیر عوامل مختلف بر دوام بتن در برابر سیکل‌های متناوب یخ و ذوب بیان می‌شود. همچنین نانوتکنولوژی و تاثیرات آن در حوزه‌های مربوط به بتن بررسی خواهد شد.

۱-۴ مکانیزم‌های تخریب بتن در اثر یخ زدن و آب شدن متوالی

بتنی که در معرض سیکل‌های متوالی یخ زدن و آب شدن قرار می‌گیرد، به وسیله انبساط آب یخ زده موجود در حفره‌های خمیر سیمان یا سنگدانه تخریب می‌شود. یخ زدن آب، ممکن است باعث آسیب دیدن دانه‌های سنگی شود بدون اینکه به خمیر سیمان صدمه‌ای وارد کند و یا باعث تخریب خمیر سیمان گردد. این در حالی است که حفرات موجود در دانه‌های سنگی به مراتب بزرگ‌تر از حفرات موجود در خمیر سیمان می‌باشند.

مکانیزم‌های تخریب بتن را می‌توان به دو دسته‌ی اصلی تقسیم کرد. دسته اول شامل مکانیزم‌های تخریب خمیر سیمان و دسته دوم شامل مکانیزم‌های تخریب دانه‌های سنگی می‌باشند. در ادامه این دو دسته به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۴-۱ مکانیزم‌های تخریب خمیر سیمان

در فرآیند تخریب خمیر سیمان توسط سیکل‌های متناوب یخ زدن و ذوب شدن عوامل متعددی موثرند. در ادامه به بررسی این عوامل پرداخته می‌شود.

۱-۴-۱-۱- ساختار خمیر سیمان پرتلند

بسیاری از خواص مکانیکی سیمان و بتن تابعی از ساختار فیزیکی محصولات هیدراتاسیون در مقیاس کلوئیدی ابعاد است. داشتن دیدی وسیع از خواص فیزیکی خمیر سیمان منجر به شناخت بهتر مکانیزم یخ زدن و آب شدن در آن می‌شود. سیلیکات موجود در سیمان پرتلند در مجموع ۷۵ درصد وزنی آن را تشکیل می‌دهد. این سیلیکات‌ها پس از ترکیب با آب، هیدراته‌هایی با ترکیبات مختلف را تشکیل می‌دهند که آن را اصطلاحاً ژل می‌نامند. این ژل نقشی اساسی در تعیین خواص خمیر سیمان تازه و سخت شده دارد. اولین کسانی که به نقش قطعی ژل سیمان در مقاومت و پایداری خمیر سیمان سخت شده اشاره کردند، پاورز[1] و همکارانش بودند [8]. فضاهای خالی موجود در خمیر سیمان سخت شده را می‌توان به سه دسته ی زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف- حفره‌های ژلی که بین ذرات ژل وجود دارند و بسیار کوچک هستند. بعد این حفرات در حدود ۱۵ تا ۲۰ انگستروم می‌باشد.

ب- حفرات موئینه که فضای خالی بین قطعات ژل هستند. این حفرات عمدتاً در اثر وجود آب ترکیب نشده با سیمان به وجود می‌آیند. منافذ موئینه ابعادی در حدود ۵۰۰۰ انگستروم دارند.

ج- حباب‌های هوا که یا به صورت تصادفی در اثر ویبره‌ی ناکافی به وجود می‌آیند و یا به طور عمدی و بر اثر هوادهی ایجاد می‌شوند. ابعاد این حفره‌ها متغیر و بین چند میکرون تا چند میلیمتر است.

حفرات ژل معمولاً با آب موجود در خمیر سیمان پر می‌شوند؛ لیکن امکان یخ زدن آب درون این حفرات وجود ندارد؛ زیرا این حفرات بسیار کوچکند و نیروی کشش سطحی آن‌ها بسیار بالا است. علاوه بر این، به دلیل کوچکی این حفرات، غلظت آب موجود در آن‌ها بسیار بالا می‌باشد. این دو عامل باعث می‌شود که نقطه‌ی انجماد

[1] Powers