

مقایسه تاثیر مشخصات مختلف دال و خاک‌بستر بر عکس‌العمل‌های بحرانی روسازی بتنی با کمک مدل گروه‌بندی داده‌ها



پدارم بلوچ سیرگانی
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی
عمران، دانشگاه یزد



محمد مهدی خبیری
دانشیار بخش ژئوتکنیک و راه
دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

چکیده

روسازی بتنی، متشکل از قشرهای مختلف نظیر زیراساس، اساس و لایه‌های آسفالتی یا بتنی و یا ترکیبی از آنها است که ابعاد یا مشخصات فنی هر یک تابع مشخصات بارگذاری و مصالح خاص آن می‌باشند. در حال حاضر برای تحلیل روسازی‌های بتنی از روش‌های متفاوتی استفاده می‌شود، به عنوان نمونه می‌توان به تئوری برمیستر، تئوری چند لایه‌ای، روش‌های تجربی، روش‌های عددی و المان محدود اشاره نمود. طراحی روسازی بتنی به اندازه روسازیهای انعطاف‌پذیر پیچیده نیست، زیرا عکس‌العمل تنش خمشی در بتن در طراحی معیار مهم است و بعبارت دیگر مهمترین فاکتور در طراحی محسوب می‌شود. تنش‌های ناشی از بارگذاری روسازی بایستی تا اندازه ای کاهش یابند که اولاً قابل تحمل برای لایه بستر باشند و ثانیاً باعث ایجاد خرابی سازه‌ای در روسازی نگردند. نکته مهم دیگر، در طرح روسازی صلب کنترل میزان جابه‌جایی در محل گوشه و لبه دال بتنی است. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای Kenslab، مقادیر پارامترهای تاثیرگذار در طراحی روسازی بتنی و تاثیر هر پارامتر در مقدار تنش و تغییرشکل قابل تحمل روسازی بتنی شناسایی شد و تنش و تغییر شکل بدست آمده با کمک مدل‌های آماری به صورت طبقه‌بندی ارائه شد. درخت گروه‌بندی داده‌ها، یکی از مشهورترین تکنیک‌های دسته‌بندی است که در فرایند داده‌کاوی کاربرد دارد. شیوه نمایش درخت گروه‌بندی به این صورت است که با ارائه نمودن یک درخت، روال دسته‌بندی را خلاصه‌سازی می‌کند. در مقایسه نتایج بین سه حالت خاک‌بستر روسازی، مشخص گردید در حالت بارگذاری در مرکز برای دال با بستر ضعیف بیشترین تنشها بوجود می‌آید و با افزایش ضخامت دال اختلاف بین تنش، در سه طول بررسی شده برای دال، کاهش می‌یابد. با افزایش عرض دال روسازی بخصوص مقادیر تنش‌های خمشی افقی در زیر سطح دال بتنی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: روسازی بتنی، مشخصات هندسی دال، عکس‌العمل خاک‌بستر، گروه‌بندی داده‌ها. نرم‌افزار Kenslab.

مقدمه

نشست در محل گوشه و لبه وال روسازی بتنی (پکیدگی لبه) یکی از رایج‌ترین خرابی‌های روسازیهای بتنی است نتیجه این خرابی ناهمواری سطحی و صدمات وارده به

وسایل نقلیه و گسترش سایر خرابی‌های رویه بتنی است. از اینرو کنترل تنشها و تغییر شکل‌های حداکثر در لبه و گوشه دال‌های بتنی اهمیت زیادی دارد. از دیدگاه دیگر، ابعاد هندسی دال شامل طول عرض و ضخامت وال بر عملکرد و

مرور منابع

با پیشرفت علم و درک بیشتر از رفتار مصالح و توسعه مدل های پیش‌بینی رفتار سازه‌ها و افزایش سرعت رایانه‌ها استفاده از روش‌های تحلیلی در کنترل خرابی و طرح مکانستیک روسازی بتنی گسترش یافته است. تحلیل به کمک روش لایه‌ای و المان محدود از جمله روش‌های تعیین واکنش‌های روسازی به صورت تغییر شکل یا تنش است که در بسیاری از منابع علمی از آن استفاده شده است، از جمله، عامری در خصوص کاربرد نرم‌افزارهای کاربردی در تحلیل و طراحی روسازی بتنی، بیان می‌کنند، نرم افزار KENSLAB یکی از برنامه‌های رایج در زمینه تحلیل روسازی راه‌های بتنی است، ولی این نرم افزار برای تحلیل روسازی فرودگاه کمتر استفاده می‌شود. ایشان در پژوهشی سعی نمودند، روسازی بتنی یک فرودگاه با نرم‌افزار KENSLAB برای بار چرخ سه هواپیمای متفاوت تحلیل کنند و نتایج با نرم‌افزار FEAFAA که محصول اداره هوانوردی فدرال امریکا (FAA) است، مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، هر دو نرم‌افزار از تحلیل اجزاء محدود استفاده می‌کنند. مهمترین نتیجه این تحلیلها، تنش کششی در زیر دال بتنی می‌باشد که برای طراحی ضخامت رویه بتنی به کار می‌رود. در مقایسه نتایج دو نرم افزار، همبستگی نسبتاً رضایت‌بخشی بدست آمد [۱]. مقدس‌نژاد و همکاران، در مقاله‌ای برای تحلیل و آنالیز روسازی از روش المانهای محدود و از نرم‌افزار ANSYS کمک گرفتند. در بخشی از مطالعه ایشان، مدل‌های سه بعدی روسازی با آرایش کامل چرخها در ضخامت‌های مختلف روسازی بررسی نمودند. با استفاده از نتایج تحلیل، روابط ریاضی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف جهت تعیین مقادیر تنش و تغییر شکل بدست آوردند، و در انتها اثر تکرار بار باتوجه به نتایج تحلیل بررسی نمودند [۲]. شمسی در مقاله‌ای بطور کمی اثبات می‌کند که گسیختگی روسازی بتنی در زردار ناشی از

پاسخ روسازی بتنی تاثیر گذار است. به علاوه شرایط خاک بستر نیز می‌تواند بر پاسخهای بحرانی روسازی بتنی شامل تغییر شکل و تنش زیاد تاثیر گذار باشد. در نتیجه بررسی و شناخت ارتباط و میزان تاثیر این پارامترها بر افزایش بهره‌وری روسازی بتنی امری ضروری است. علم استخراج اطلاعات پنهان از مجموعه‌ای بزرگی از داده‌ها را به عنوان علم یا هنر داده کاوی می‌شناسند، این علم به مجموعه‌ای از روشها برای شناسایی و کشف رابطه‌های نامعلوم بین داده‌ها و متغیرهای وابسته و مستقل است. پایگاه داده‌هایی که برای کشف دانش به کار گرفته می‌شود، محدودیتی تاکنون برای آن تعریف نشده است که بیش از ۲۵۰ داده نیز برای رسیدن به حداقل اطمینان از پوئش خطاها نیز پیشنهاد شده است. درخت تصمیم یا درخت گروه بندی داده‌ها، یکی از پر کاربردترین تکنیکهای دسته بندی در علم داده کاوی است، این گروه بندی درختی روال دسته بندی را گویا و خلاصه می‌کند. در این تکنیک دو مرحله‌ای، در ابتدا درخت اولیه ساخته می‌شود، البته با داده‌های آموزشی و تا همگن بودن داده‌ها ادامه می‌یابد، در فاز یا مرحله بعد، برای افزایش دقت مدل، درخت ساخته شده هرس می‌شود. با عنایت به موضوعات فوق، اذعان می‌شود، بحث جلوگیری از خرابی روسازی بتنی و اندیشیدن تمهیدات اجرایی و طراحی اولیه با شناخت مهمترین عوامل موثر در خرابی رویه بتنی نقش بسیار مهمی در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری روسازیه‌ها دارد. بعلاوه با آگاهی از فاکتورهای موثر و مهم در گسترش خرابی نشست و ترک خوردگی دال بتنی می‌توان در جهت بهتر شدن طراحی رویه بتنی اقدامات موثر تری به عمل آورد. بدین منظور مطالعه پیشرو نسبت به کاربرد تکنیک داده کاوی، درخت گروه بندی داده‌ها در تعیین عوامل موثر و کشف رابطه‌های پنهان بین این عوامل و میزان تاثیر آنها بر خرابی روسازی بتنی اقدام نموده است.

توسعه ترک عرضی، گوشه‌ای یا طولی می‌باشد و منشأ آن یا گوشه‌ای دال بتنی یا عمق آن می‌باشد. این روش گسیختگی به بارگذاری، شکل هندسی دال، محیط و ویژگیهای مصالح بستگی دارد. در واقع طول خشک شدن تفاضلی بتن یکی از مؤثرترین پارامترها در ایجاد حالت گسیختگی مشاهده شده در روسازیهای بتنی درجا می‌باشد [۳].

دمیرچی و همکاران، در مطالعه‌ای به اثر اضافه بار وسایل نقلیه موجود در ایران بر روی خرابیهای روسازی بتنی با استفاده از نرم افزار آباکوس (ABAQUS) پرداخته‌اند. در پژوهش مذکور، ساختار روسازی مورد نظر، با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس مدل و عکس العمل بحرانی سازه روسازی محاسبه شد و با استفاده از عکس العملهای محاسبه شده و مدل‌های خرابی (توابع انتقال)، تعداد تکرار بارگذاری که منجر به خرابیهای مختلف می‌شود تعیین گردید. تحلیل نتایج بدست آمده این مطالعه، نشان می‌دهد که افزایش بار محور عقب کامیون دو محور سبک با وزن محور ۹ تن، بیشترین تأثیر را در خرابی روسازی بتنی دارد [۴]. یزدانی و همکاران در تحقیقی با استفاده از نرم‌افزار Winpass، مقادیر پارامترهای تأثیرگذار در طراحی روسازی بتنی و تأثیر هر پارامتر در مقدار تنش و بار حداکثر قابل تحمل روسازی بتنی را مطالعه نمودند [۵]. در مورد تحلیل‌های نرم‌افزاری روسازیهای بتنی، در مطالعه‌ای دیگر، مقدس‌نژاد و همکاران، با تجزیه و تحلیل المان محدود سه بعدی به منظور بررسی اثر پیش‌تنیدگی تحت ترکیبات بار Boeing 777 و گرادیان حرارتی مختلف انجام دادند. همچنین این مدل تحت گرادیان حرارتی بدون حضور بارگذاری ترافیکی را نیز مورد بررسی قرار دادند و تنش‌های ایجاد شده با تنش‌های بدست آمده از روابط نظری مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، که روابط نظری منجر به حصول مقادیر محافظه‌کارانه برای تنش می‌شوند [۶].

در تحقیقی طاهرخانی و الماسی، اثر فشار باد چرخ، وزن و نوع محور بر روی عملکرد روسازی بتنی را مورد بررسی قرار دادند. نوعی روسازی بتنی با دو ضخامت مختلف ۲۰ و ۳۰ سانتیمتر در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار دادند. در بارگذاری روسازی‌ها از انواع مختلف محورهای ساده و مرکب با وزن‌های مختلف و فشار بادهای مختلف استفاده نمودند، حداکثر تنش کششی در رویه بتنی و تغییر شکل آن با استفاده از نرم افزار محاسبه شدند. نتایج مطالعه مورد اشاره می‌دهد که عمر خستگی و عمر فرسایش روسازی بتنی با افزایش فشار سطح تماس چرخ کاهش می‌یابد، اما حساسیت عمر خستگی به فشار باد چرخ بیشتر از عمر فرسایشی (در اثر عوامل محیطی) می‌باشد. همچنین، عمر خستگی و عمر فرسایش با افزایش وزن محورها کاهش می‌یابد و وزن محور کاهش بیشتر در عمر خستگی نسبت به عمر فرسایش خواهد داشت. بعلاوه، نتایج این مطالعه برشمرده، بیانگر این است که در وزن مشابه اثر تخریبی محورهای با چرخ‌های زوج کمتر از محور با چرخ‌های تکی است [۷]. موضوع اصلی تحقیق زینال‌فام و منصوریان، به امر تحلیل عددی عملکرد ناحیه انتقال بین روسازی بتنی ساده درزدار و روسازی آسفالتی اختصاص داده شده است. در تحقیق مورد اشاره، مدل‌های پیشنهادی در نرم افزار المان محدود مدلسازی و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه مذکور، نشان دهنده‌ی این است که تغییر در نوع ناحیه انتقال باعث تغییر در عملکرد روسازی شده و مقدار نشست روسازی و تنش وارد بر روسازی نیز بر اساس جزئیات ناحیه انتقال تفاوت می‌کند [۸].

از آنجایی که بتن نسبت به آسفالت در پاسخ به تغییرات حرارتی محیط توانایی تغییر شکل کمتری دارد و تنش‌های حرارتی در روسازی‌های بتنی حایز اهمیت بوده و در تحلیل عملکرد آن‌ها، این تنش‌ها نیز باید مانند تنش‌های ناشی از بارهای ترافیکی منظور شود، در پژوهشی مسرور و همکاران، پس از اطمینان از نحوه مدل سازی در نرم افزار

ANSYS به بررسی اثرات تغییر دما بر میزان پاسخ روسازی که شامل مقادیر جابجایی و تنش است پرداختند. نتایج حاصله از این پژوهش مورد اشاره، حاکی از تاثیر زیاد تنش‌های حرارتی بر پاسخ سیستم روسازی بتنی است [۹]. طاهرخانی و همکاران در خصوص بررسی نقش قطر داول بار در نیروی برشی، لنگر خمشی و تنش تکیه گاهی در روسازی های بتنی غیر مسلح در زردار در تحقیقی دیگر، با استفاده از نرم افزار المان محدود EVERFE، و با در نظر گرفتن نوع وسایل نقلیه تعریف شده در نشریه ۲۳۴ و عرض روسازی تعریف شده در نشریه ۴۱۵ میزان تاثیر هر یک از متغیرهای قطر داول بار، جا به جایی افقی، فاصله داول بارها، ضریب عکس العمل بستر، بازشدگی درز، برای بهبود عملکرد روسازی صلب مورد ارزیابی قرار دادند. تحلیل نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تاثیر افزایش قطر داول بار در محدوده مورد مطالعه باعث افزایش نیروی برشی و لنگر خمشی تا ۳۷٪ در داول بحرانی و کاهش تنش تکیه گاهی بین داول بار و بتن تا ۱۷٪ می‌گردد [۱۰].

در مقاله‌ای رحیمی‌نژاد و فخری در خصوص بررسی اثر سرعت وسیله نقلیه بر روسازی بتنی با مدل‌سازی اجزاء محدود به پاسخ دال JPCCP تحت حرکت بارهای محوری می‌پردازند، ایشان در این مطالعه، برای مدل‌سازی سه بعدی روسازی بتنی از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS CAE V.12 استفاده می‌نمایند، که یکی از قدرتمندترین نرم‌افزارهای پر کاربرد مورد استفاده در مدل‌سازی سه بعدی است [۱۱]. حسنی و همکاران، در خصوص، بررسی تاثیر پارامترهای طراحی در توزیع تنش در روسازی بتنی با استفاده از روش‌های تحلیلی و روش اجزای محدود، در مقاله‌ای تنش و تغییر شکل‌های روسازی بتنی با دو روش تحلیلی (وسترگارد) و روش اجزای محدود محاسبه نمودند. به منظور بررسی تاثیر پارامترهای طراحی در مقاله مذکور با فرض ثابت بودن بار طراحی و مشخصات بتن، ضخامت بتن و مقاومت بستر

متغیر در نظر گرفته و تنش و تغییر شکل‌های حداکثر و بحرانی محاسبه شد. تحلیل نتایج در این مطالعه نشان می‌دهد با افزایش ضخامت دال تغییرات تنش و تغییر شکل در دو روش بررسی شده کم شده و با افزایش مقاومت بستر تغییرات تنش و تغییر شکل در دو روش ناچیز بوده است [۱۲].

رودریگرز در پایان نامه خود، پنج نوع مختلف خاک بستر و اساس، شامل اساس غیر تثبیت شده، اساس تثبیت شده سیمانی، اساس تثبیت شده آهکی، اساس مخلوط سیمانی و اساس بتنی مگر، را مورد مطالعه قرار داد. که با شبیه‌سازی عددی از چندین طراحی ضخامت دال مورد تحلیل قرار داد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر مدول الاستیسیته اساس ممکن است هنگام شکستن صفحات در موقعیت بحرانی در تحلیل خستگی بارگذاری اهمیت زیادی دارند [۱۳]. وو و همکاران در مطالعه‌ای، به طور خاص، توسعه ترک خوردگی ناشی از یک کرنش طولی در لبه یا در مرکز بارگذاری اثر چرخ پرداختند، که در نهایت با گسیختگی‌های دیگر درهم آمیخت. نتایج به دست آمده از ابزار اندازه گیری برای خرابی در مقادیر بار مختلف با کمک تجهیزات آزمایش APT، دو مدل ریاضی خستگی برای پیش بینی عمر خستگی رویه های RCC نازک توسعه یافت [۱۴].

در مجموع بررسی منابع علمی و مستندات مختلف داخلی و بین المللی بررسی شده، نشان می‌دهد که توجه به موضوع ماکزیمم نشست و ماکزیمم تنش اتفاق افتاده در دال‌های بتنی برای شناخت عوامل موثر وقوع آن اهمیت دارد. این مطالعه نتایج مدل‌سازی اجزاء نرم افزار تحلیلی روسازی بتنی را در تعداد اجزاء های زیاد دریافت نموده و با کاربرد روش آماری گروه‌بندی داده‌ها ضمن شناخت موثرترین عوامل ارتباط بین این فاکتورهای موثر را بیان می‌کند، تا به عنوان راهکاری جهت کاهش این خرابی به کار گرفته شود.

برای ساخت مدل‌های گروه‌بندی داده‌های زیادی نیاز است، که در این مطالعه با تغییر در متغیرهای طول و ضخامت و عرض و مدول الاستیسیته دال و ضریب عکس‌العمل خاک، مقادیر تغییر شکل و تنش ماکزیمم از نرم‌افزار بدست آمد. به منظور انجام این مطالعه با اجرا تعداد زیادی نرم افزار

تحلیلی kenslab در حالات مختلفی از متغیرهای جدول (۱)، نسبت به تهیه پارامترهای موثر در طراحی و اجرا رویه بتنی اقدام شد و در مرحله اول نرمال بودن داده‌ها با آزمون آماری کولموگروف اسمیرنوف در جدول (۲) تأیید گردید، چراکه سطح معنی‌داری آزمون انجام شده، مطابق این جدول، برای هر دو متغیر کمتر از ۵٪ است.

جدول ۱- متغیرهای تحقیق و حدود تغییرات اعمال شده در ورودی نرم افزار

ردیف	نام متغیر	علامت متغیر در تحلیلهای	حداقل	حداکثر
۱	جدول الاستیسیته بتن (پوندبراینچ مربع)	E	۴/۰۰۰/۰۰۰	۶/۰۰۰/۰۰۰
۲	ضریب عکس‌العمل خاک بستر (پوندبراینچ مکعب)	K	۵۰	۱۰۰
۳	ضخامت دال (اینچ)	H	۸	۱۲
۴	طول دال (اینچ)	L	۳۰۰	۵۴۰
۵	عرض دال (اینچ)	W	۲۵	۴۵

حاصل شد که مجموع ۱۶۰ داده برای مدل‌های آماری به کار گرفته شدند.

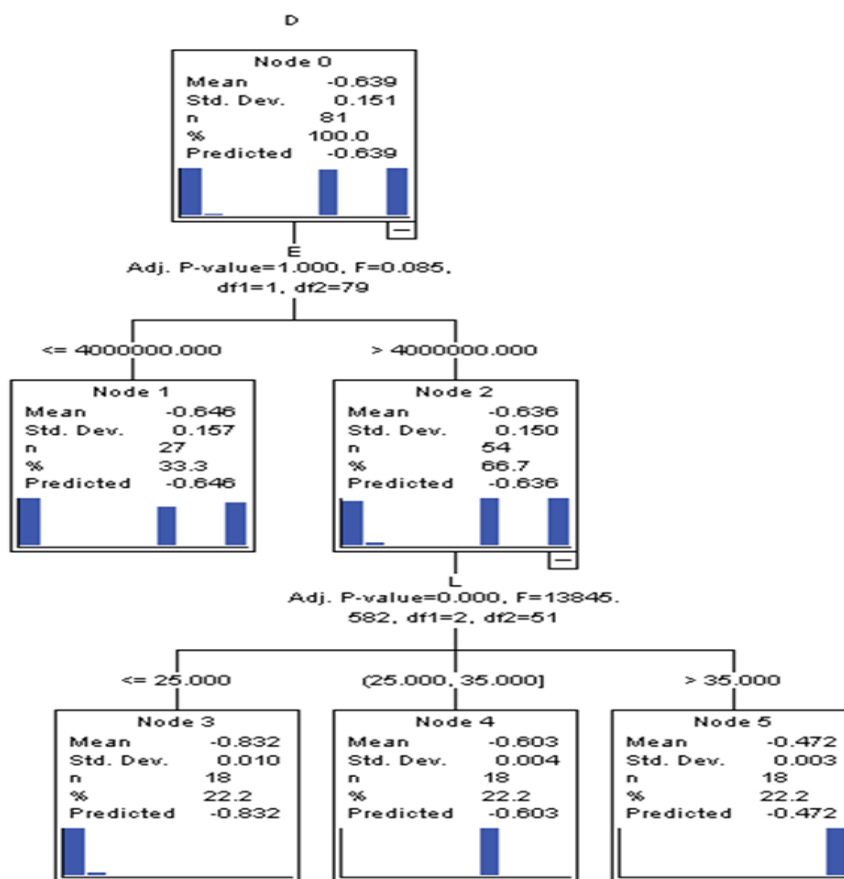
نتایج و بحث

پس از تحلیل مدل‌ها و ساخت مدل‌های آماری برای تشکیل درخت گروه بندی داده‌ها مجموعه‌ای از نمودارها حاصل شد که در ادامه بحث می‌شوند در اولین نمودار در شکل (۱) ملاحظه می‌شود که درخت گروه بندی داده‌ها در سه طبقه برای متغیر تغییر شکل ساخته شده است. در اولین گره، تاثیر مدول الاستیسیته (E) نمایان می‌شود که در رفتار و عکس‌العمل دال بتنی تاثیر گذار است به طوریکه وقتی مدول الاستیسیته از عدد ۴۰۰/۰۰۰ کمتر باشد افت و خیز به عدد ۰/۶۴۶ و در صورتیکه مدول از عدد ۴۰۰/۰۰۰ بیشتر باشد، مقدار نشست به عدد کمتری یعنی ۰/۶۳۶ یعنی با کاهش ۱۰٪ می‌رسد. در گره دوم عرض دال را در این تقسیم‌بندیها موثر می‌دانند که هر چه عرض بیشتر می‌شود، مقدار نشست نیز کاهش پیدا می‌کند.

یکی از الگوریتم‌های به کار گرفته شده در مدل گروه بندی داده‌ها (CHAID^۱) است که توسط کالس در دهه ۱۹۸۰ میلادی در خصوص متغیرهای کیفی و کمی پیشنهاد شده در این روش از مقدار P-VALUE آماره کای-دو مربوط به آزمون استقلال جداول توافقی استفاده می‌شود. [۱۵]، که در این مطالعه نیز از این روش استفاده می‌شود. ابزار تحلیل بکار رفته برای مدلسازی روسازی نرم افزار KENSLAB است، این نرم افزار ۹ دال را به طور همزمان با برش و انتقال بار بین آنها در نظر می‌گیرد که انتقال برش و ممان با کمک یک فنر با سختی K (عکس‌العمل خاک بستر) انجام می‌شود.

دالها در این مدل به صورت لایه صلب که دارای ضخامت است مدلسازی می‌شوند که مشخصات مکانیکی آن مشتمل بر مدول الاستیسیته و یک ضریب پوآسون ثابت است، برای بارگذاری از بار هر محور کامیون ۸۰ کیلونیوتن استفاده شده که کشش و تغییر شکل ماکزیمم بعد از هر یک از حالات محاسبه شد. طبق تعداد حالات مورد بررسی مجموعاً ۸۱ دفعه نرم افزار اجرا شد و بیش از ۱۰۰۰ داده

^۱ Chi-squared automatic interaction detector



شکل ۱- درخت گروه بندی داده‌ها حاصل از تحلیل تغییرشکل سطحی روبه بتنی

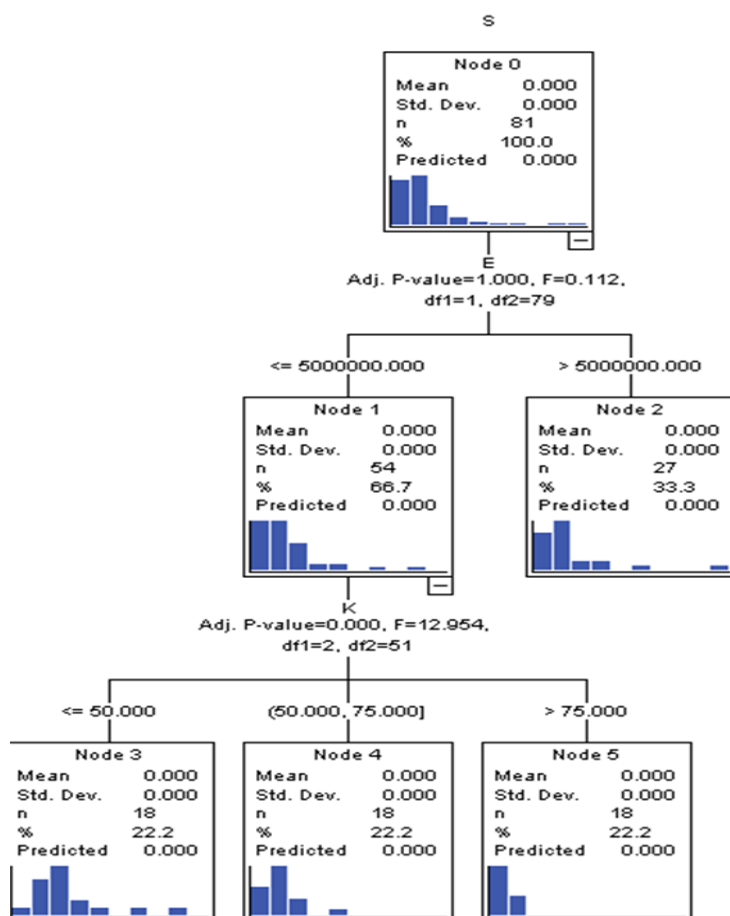
جدول ۲- بررسی نرمال بودن داده‌های حاصل از تحلیل برای دو متغیر تغییرشکل و تنش بیشینه

پارامترهای آماری	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
تنش خمشی بهینه	.201	81	.000	.713	81	.000
نشست سطحی دال	.233	81	.000	.797	81	.000

a. Lilliefors Significance Correction

است در مرحله دوم تاثیر ضریب عکس‌العمل خاک بستر یعنی (K) نمایان می‌شود به طوری که هر چه K افزایش می‌یابد میزان این تنش نیز کاهش می‌یابد.

نمودار درخت گروه‌بندی داده‌ها در شکل (۲) که مربوط به مقدار تنش خمشی لایه بتنی است این طبقه بندی را نمایش می‌دهد، به طوری که باز هم عامل موثر در تقسیم بندی در گره اول باز هم مدول الاستیسیته نقش آفرین



شکل ۲- درخت گروه بندی داده‌ها حاصل از تحلیل تنش بیشینه خمشی رویه بتنی

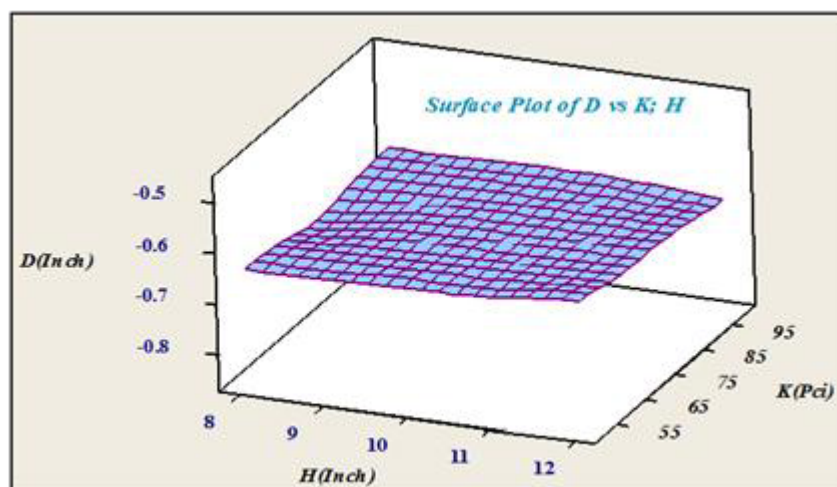
نتیجه‌گیری

در این مطالعه مراحل گروه بندی داده های حاصل از تحلیل عدد روسازی بتنی انجام شد می‌توان، بر اساس نتایج داده‌های عددی، نتایج زیر را به عنوان دستاوردهای مهم بیان کرد.

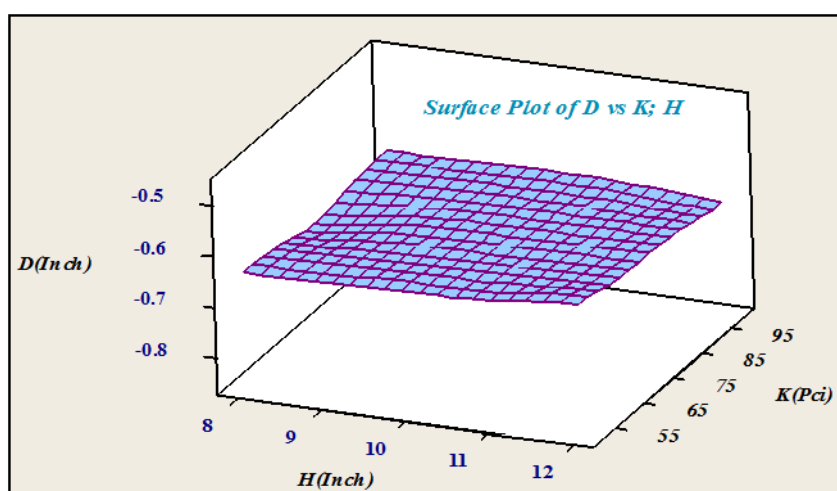
۱- نشست رویه بتنی با افزایش ضخامت روسازی کاهش می‌یابد به طور متوسط با هر ۲/۵ سانتی متر افزایش ضخامت ۱۰٪ از تغییر شکل بحرانی دال کاهش می‌یابد.

۲- یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در عکس‌العمل روسازی با استفاده از درخت گروه‌بندی داده‌ها، تعیین شد، مقاومت خاک بستر باعث کاهش تغییر شکل نسبی و تغییر شکل کلی دال بتنی می‌شود.

شکل (۳) نمودار سه بعدی مقایسه ای از تاثیر ضخامت و ضریب عکس‌العمل خاک بستر بر تنش خمشی نشان می‌دهد به طوریکه با افزایش ضخامت دال و تقویت خاک بستر به عدد کمترین کرنش می‌رسیم. مورد دیگری که از این نمودار حاصل می‌شود تاثیر نامشخص ضخامت دال است. بعضی مواقع تاثیر در کاهش کرنش خمشی رویه بتنی مشاهده می‌شود و در برخی موارد این کرنش افزایش می‌یابد. شکل (۴) تاثیرات ضریب عکس‌العمل خاک بستر و ضخامت دال را بر عملکرد نشست سطحی دال نمایش داده می‌شود به طوریکه با افزایش ضخامت دال بتنی و ضریب عکس‌العمل خاک کمترین نشست سطحی ملاحظه می‌شود و بیشترین نشست مربوط به کمترین ضخامت لایه رویه و مقاومت خاک بستر است.



شکل ۳- نحوه تغییرات در تغییر شکل سطحی بیشینه ناشی از تغییر ضخامت دال و ضریب عکس العمل خاک بستر



شکل ۴- نحوه تغییرات تنش خمشی بیشینه ناشی از تغییر ضخامت دال و ضریب عکس العمل خاک بستر

روسازی مقادیر تغییرشکل‌های روسازی در سطح آن به شدت کاهش می‌یابد.

قدردانی

لازمست از دانشجویان کارشناسی ارشد راه و ترابری به علت اجرای متعدد نرم افزار Kenslab سپاسگزاری شود، همچنین آقای مهندس محسن ابراهیمی با استخراج داده‌ها کمک شایانی در این پژوهش نمودند.

۳- در تعیین مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار بر رفتار مکانیکی دال‌های روسازی بتنی، می‌توان بیان کرد، مدول الاستیسیته دال بتنی، ضخامت لایه و ضریب عکس‌العمل خاک بستر به ترتیب بیشترین نقش در وقوع خرابی‌های بحرانی رویه‌های بتنی دارند.

به این ترتیب، با طرح اختلاط مناسب برای افزایش مدول الاستیسیته بتن مورد استفاده و با افزایش ضخامت دال روسازی مقادیر تنش‌ها فشاری افقی در بالا و زیر سطح بتنی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش ضخامت دال

[1] Ameri, M. Shadman Bejarbanah, M. (2012), *Analyzing the Reliance of Airport Rigging Using the KENSLAB Software, 9th International Congress on Civil Engineering, Isfahan, Isfahan University of Technology, pp. 1-8.*

[۲] مقدس‌نژاد، ف.، رستگاری، ه.، (۱۳۸۴)، "تحلیل عددی روسازی های بتنی تحت بار چرخ هواپیما"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، صص ۱-۱۲.

[۳] شمسی، ح.، (۱۳۹۳)، "آنالیز ترکهای طولی، گوشه‌های و عرضی در روسازی های بتنی درزدار JPCP"، همایش ملی مهندسی عمران، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، مرکز توسعه پایدار علم و صنعت فرزین، دانشگاه شهید بهشتی، صص ۱-۱۲.

[۴] دمیرچی، ا.، شفیع پور م.؛ میرشکاریان بابکی، م. و مهری، م. (۱۳۹۳)، "بررسی اثر اضافه بار بر خرابی های روسازی بتنی با استفاده از روش اجزاء محدود"، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران، صص ۱-۱۰.

[۵] یزدانی، م. و زمانی، م.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی پارامترهای تاثیرگذار در طراحی روسازی بتنی با استفاده از نرم افزار WINPASS"، سومین کنفرانس سالانه بین المللی عمران، معماری و شهرسازی، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی، صص ۱-۵.

[۶] مقدس‌نژاد، ف.، گرامی، م.، (۱۳۹۶)، "تجزیه و تحلیل تنش های حرارتی و ترکیبی روسازی های بتنی پیش تنیده با استفاده از روش المان محدود"، دومین کنفرانس ملی رویه های بتنی، تهران، انجمن بتن ایران - مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، صص ۱-۱۵.

[7] Taherkhani, H., Almasi, A. (2012), *"Investigation of the effect of vehicle axes on concrete pavement performance using finite element method", second national conference on concrete pavement, Tehran, Iran Concrete Association, Road Research Center, Housing and Urban Development, pp. 1- 8.*

[۸] زینال‌فام، و. منصوریان، ا. (۱۳۹۶)، "تحلیل عددی عملکرد ناحیه انتقال بین روسازی بتنی ساده درزدار و روسازی آسفالتی"، هفتمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری، اصفهان، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو - دانشگاه صنعتی دورتمند آلمان - اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان - شهرداری اصفهان و شرکت مادر تخصصی عمران و بهسازی شهری ایران، صص ۱-۸.

[۹] مسرور، و.؛ صفا، ا.، علی‌دادی، ف. (۱۳۹۶)، "بررسی تاثیر دمای هوا و بار بر میزان ترک خوردگی و شکست سیستم روسازی بتنی با استفاده از روش تحلیل حرارتی غیرخطی چند مرحله‌ای به روش اجزاء محدود"، پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس، صص ۱-۱۶.

[۱۰] طاهرخانی، ح. و رضاطلیبی سنندج، پ. (۱۳۹۶)، "بررسی نقش قطر داول بار در نیروی برشی، لنگر خمشی و تنش تکیه گاهی در روسازی های بتنی غیر مسلح درزدار"، دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران (مهندسی سازه و مدیریت ساخت)، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، صص ۱-۱۱.

[۱۱] رحیمی‌نژاد، س.، فخری، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی اثر سرعت وسیله نقلیه بر روسازی بتنی با مدل سازی اجزاء محدود"، هفتمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، صص ۱-۸.

[۱۲] حسنی، ا.؛ شفیعی پور، ا. میرشکاریان بابکی، م. (۱۳۹۴)، "بررسی تاثیر پارامترهای طراحی در توزیع تنش روسازی های بتنی با استفاده از روش های تحلیلی و روش اجزای محدود"، هفتمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران، صص ۱-۱۰.

[13] Rodríguez, I.P., (2017). "Influence of the foundation geotechnical characteristics on the structural behavior of rigid pavements", *Dissertação Submetida Para Satisfação Parcial Dos Requisitos Do Grau Demestre Em Engenharia Civil — Especialização Em Geotecni*, pp: 1-160.

[14] Wu, Z., Mahdi, M. and Rupnow, T.D., (2016). "Accelerated pavement testing of thin RCC over soil cement pavements". *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(3), pp.159-168.

[۱۵] بهنام پور، م. ، حاجی زاده، ا.، سمنانی، ش.، زیرای، ف. (۱۳۹۲)، "معرفی الگوریتم های مدل رده بندی درختی و کاربرد آن در تعیین عوامل موثر بر ابتلای سرطان مری، استان گلستان"، دو فصلنامه تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی گلستان، پاییز ۹۲، دوره ۱، شماره ۲، صفحه ۳۸-۴۶.

روش های سنتی و نوین در یخ زدایی روسازی بتنی



ابولفضل حسینی
استاد، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران
و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس



سعید امانی
دانشجو کارشناسی ارشد
گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و
محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس



مهردخت دوستی
دانشجو کارشناسی ارشد
گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و
محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

یکی از مشکلاتی که در روسازی راه‌ها و فرودگاه‌ها گریبانگیر سیستم حمل و نقل می‌شود، یخ‌زدگی سطح روسازی و در پی آن ایجاد حادثه است. در سال‌های اخیر محققان به دنبال روش‌هایی به منظور یخ‌زدایی هستند که علاوه بر کارایی و سرعت بالا، در مقابل هزینه‌ها نیز مقرون به صرفه باشند. از دیرباز روش سنتی برای مقابله با این پدیده در کشور ما استفاده از نمک به همراه شن و ماسه در سطح راه بوده است. با توجه به خاصیت خوردگی نمک و همچنین شکستن یخ‌های بزرگ و تبدیل آن به یخ کوچک که امکان پرتاب شدن به سمت باند را دارد، از این روش در فرودگاه‌ها نمی‌توان استفاده کرد. همچنین به دلیل مسائل زیست محیطی، استفاده از نمک توصیه نمی‌شود. امروزه در برخی کشورهای پیشرفته روش‌های نوینی اجرا شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به ذوب خودکار برف با استفاده از موادی همچون الیاف کربن، نانو مواد و ذرات فولاد در بتن اشاره کرد. استفاده از روسازی بتنی رسانا برای یخ‌زدایی علاوه بر اینکه سبب آلودگی زیست محیطی نمی‌شود، مشکلات استفاده از یخ‌زدهای شیمیایی را نیز ایجاد نمی‌کند. همچنین این امکان وجود دارد که با تعبیه سنسورهای کنترل دما، عملیات یخ‌زدایی به صورت کاملاً خودکار صورت پذیرد. این روش‌ها اغلب هزینه اولیه بالایی به جهت تجهیزات و نصب آنها دارند، اما با توجه به بررسی چرخه عمر روسازی، کارایی بالا و سرعت عمل این روش‌ها آن‌ها را متمایز و قابل جایگزینی با سایر روش‌ها کرده است.

کلمات کلیدی: روسازی فرودگاه، یخ‌زدها، نگهداری زمستانی، روسازی بتنی

۱- مقدمه

لاستیک و سطح روسازی فرودگاه می‌شوند که نه تنها مانع از حمل و نقل مردم و کالاها می‌شوند بلکه زندگی و دارایی مردم را نیز تهدید می‌نمایند. وقتی عملیات تعمیر و نگهداری به موقع انجام نشود، نیاز به بهسازی و حتی بازسازی گسترده‌ای خواهد بود که اغلب هزینه‌های بیشتر از تعمیر و نگهداری ساده‌ای که می‌توانست زودتر انجام شود، در بر خواهد داشت. مراقبت از شبکه موجود و نگهداری آن

یکی از مشکلاتی که در روسازی راه‌های برون شهری و فرودگاه‌ها گریبان گیر سیستم حمل و نقل می‌شود، یخ‌زدگی سطح روسازی و در پی آن ایجاد حادثه است. برف، یخ و برفاب در روسازی بتنی فرودگاه تأثیر معنی داری بر ایمنی فرود، حرکت و برخاستن هواپیما در زمستان دارد چرا که برف، یخ و برفاب باعث کاهش ضریب اصطکاک بین

در شرایط مطلوب امر مهمی بوده و اغلب در تخصیص بودجه های جدید دارای اولویت می باشد. بدین منظور باید خرابی هایی که در طول عمر روسازی رخ می دهد و پدیده های منجر به آن شناخته شود تا بتوان روش مناسبی برای مقابله با آن اتخاذ شود. روش سنتی برف رویی روسازی با استفاده از مواد شیمیایی یا ماشین ذوب کننده برف باعث تاخیر در پرواز شده و مستلزم شمار بسیاری نیروی انسانی، مواد شیمیایی و ماشین آلات می باشد که کار فشرده و وقت گیری محسوب می گردد. هم چنین استفاده از مواد شیمیایی ذوب کننده برف نیز منجر به ایجاد برخی عوارض سوء بر ساختار، کارکرد و محیط زیست می شود. هر چند که تاکنون تحقیقات زیادی برای جایگزینی مواد شیمیایی به جای نمک و به منظور محافظت از راه ها در زمستان شده است، با این وجود در ایران هنوز از نمک به عنوان یخ زدا استفاده می شود، اما به نظر می رسد که باید بر اساس نوع و اهمیت روسازی، اقلیم منطقه، صرفه اقتصادی و نوع بارش، مناسب ترین گزینه یخ زدایی را انتخاب و مورد استفاده قرار داد. انتخاب صحیح ماده و روش یخ زدایی مناسب علاوه بر بدست آوردن بهترین بهره برداری ممکن در عملیات نگهداری زمستانی می تواند با تسریع در مدت زمان پاکسازی روسازی فرودگاه ها به طور مستقیم منجر به کاهش هزینه های مجموعه فرودگاه گردد.

۲- روش های مقابله با یخ زدگی روسازی

استفاده موثر از مواد شیمیایی یخ زدا و ضد یخ برای حفظ محیط ایمن فرودگاه در حوزه عملیات زمستانی بسیار مهم است. اپراتورهای فرودگاه ها باید برای استفاده و کاربرد مناسب این مواد آموزش دیده و درک درستی از تفاوت بین مواد یخ زدا و ضد یخ داشته باشند. پارامترهای مورد استفاده، کاربرد و عملکرد این محصولات با یکدیگر کاملا متفاوت هستند. عملیات استفاده از ضد یخ به منظور ممانعت از شکل گیری یا گسترش توده برف و یخ انجام می شود. در

حالی که عملیات یخ زدایی به منظور از بین بردن توده برف و یخ تشکیل شده مورد استفاده قرار می گیرد. روش اجرایی و علمی صحیح در برف رویی و کاستن لغزندگی سطح معابر در وهله اول،^۱ Anti-Icing است. استفاده از Deicing^۲ را باید به هنگام بروز شرایط سخت تر ماکول کرد [۱].

۲-۱ شیوه پیشگیری از ایجاد لایه برف و یخ^۳

این روش با هدف پیشگیری از یخبندان در سطح روسازی انجام می گیرد. در این روش، به کمک اطلاعات هواشناسی و همچنین اطلاعات سطح روسازی یخبندان احتمالی معبرا را پیش بینی می کنند، و پیش از شروع به یخ زدگی اقدام به پاشیدن مواد ضد یخ مخصوص می کنند. این مواد باعث می شوند که دمای نقطه انجماد آب در سطح معبر پایین بیاید و به این طریق از یخ زدگی آن جلوگیری شود. هدف آن متوقف سازی تشکیل یا توسعه اتصال بین برف و یخ با هدف برف رویی آسان است. در کشورهای پیشرو نظیر: آمریکا، ژاپن، فنلاند، نروژ، سوئد، دانمارک، هند و... اولویت اول در عملیات برف رویی، پیشگیری از یخ زدگی است. [۲]

در این روش از موادی نظیر کلرید کلسیم، کلرید منیزیم، کلرید سدیم، اوره، کلرید پتاسیم و استات کلسیم - منیزیم استفاده می شود.

پارامترهای مؤثر در انتخاب ماده ضد یخ عبارت است از: دمای ذوب (دمایی که ماده در پایین تر از آن یخ می زند)، دمای مؤثر (دمایی که ماده در بالاتر از آن اثر بخش است)، درجه غلظت، اثرات محیط زیستی، خوردگی.

عملیات ضد یخ زدگی به دو روش انجام می گیرد:

الف) روش مکانیزه: در این روش با توجه به اطلاعات هواشناسی و سطح روسازی، قبل از ایجاد یخبندان و بارش

^۱ ضد یخ زدگی

^۲ یخ زدا

^۳ Anti-Icing

- کاهش مقدار شن و ماسه بر سطح روسازی و جلوگیری از انسداد زهکش ها
- کاهش مواد ضدیخ مورد استفاده
- کاهش حوادث ناشی از یخبندان
- کاهش هزینه‌های پاکسازی شن و نمک
- کاهش اثرات زیست محیطی.

۲-۲ روش یخ زدایی^۴

عملیات یخ زدایی به منظور از بین بردن توده برف و یخ تشکیل شده و موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد اغلب، زمانی که برف به میزان ۲۵ میلی‌متر یا بیشتر متراکم شود و به سطح راه بچسبد، عملیات یخ زدایی را آغاز می‌کنند. در این روش پس از تشکیل برف ماشین آلاتی نظیر برف‌روب، لودر، برف‌خور، گریدر و هم‌مین‌طور با استفاده از سایشگرها (نظیر شن و ماسه)، نمک و یا هردو (نمک و شن و ماسه) استفاده می‌شود. ساینده‌ها اصطکاک سطح را افزایش داده و در پیوند های یخ و برف نفوذ می‌کنند. این کار هم باعث می‌شود تا احتمال لغزش و انحراف وسایل نقلیه روی سطح جاده‌ی یخ زده یا پوشیده از برف کم شود و هم با افزایش درجه حرارت تحت اثر اصطکاک و ایجاد شیار و شکاف روی سطح یخ و برف موجود در جاده، سرعت ذوب شدن آنها را افزایش می‌دهد.

نمک نیز با جذب آب به صورت محلول درآمده و در میان برف و شیارهای یخ و زیر آن جریان می‌یابد و با پایین آوردن دمای انجماد در محیط، برف و یخ را ذوب می‌کند و موجب جدا شدن قطعات یخ از سطح جاده می‌شود و سطحی عاری از یخ را با اصطکاک بیشتر فراهم می‌کنند.

در کشور ما سال هاست که از شن و ماسه و نمک به منظور یخ زدایی سطح جاده‌ها استفاده می‌شود، اما این روش‌ها خسارات و معایبی را به دنبال دارند. از جمله معایب سایشگرها می‌توان به: ایجاد آلودگی در هوا، کثیف کردن

برف با استفاده از ماشین‌های ویژه پخش مواد محلول، اقدام به پاشیدن مواد ضدیخ بر سطح باند و مسیرهای عبور می‌شود تا از ایجاد یخبندان جلوگیری گردد [۳].



شکل ۱ روش مکانیزه پخش مواد ضد یخ در سطح روسازی [۳].

ب) روش هوشمند: در این روش، به صورت اتوماتیک و یا نیمه اتوماتیک و بر اساس اطلاعات هواشناسی و شرایط سطح روسازی، اقدام به پاشیدن مواد ضدیخ بر روی سطوح معا بر می‌شود. سیستم‌های هوشمند، این قابلیت را دارند که فواصل زیاد را تحت پوشش قرار دهند. مواد ضدیخ توسط پاشنده (نازل) هایی که در فواصل معین از یکدیگر بر سطح روسازی تعبیه شده‌اند، بر سطح پاشیده می‌شوند. این روش ویژه رمپ‌ها، لوپ‌ها، پل‌ها و معابر حساس نظیر کنار گاردریل‌ها است. نازل‌های قابل تعبیه بر روی دیواره پل‌ها، سطح روسازی‌ها، عرشه پل‌ها و گاردریل‌ها از انواع نازل‌های پخش کننده مواد در این روش است [۳].



شکل ۲ روش هوشمند پخش مواد ضد یخ در سطح روسازی [۴]

مزایای عملیات Anti icing

- جلوگیری از کاهش سطح سرویس دهی معابر

⁴ Deicing

کله، اجازه ورود به اعماق بتن را خواهد داد و باعث افزایش درجه اشباع بتن می شود. ورود یون کلرید باعث خوردگی آرماتور می شود در حالیکه افزایش درجه اشباع باعث کاهش مقاومت به دلیل اثر یخبندان داخلی می گردد. این دو اثر باعث کاهش عمر مفید بتن شده و در نهایت تخریب بتن را به همراه خواهند داشت.



تیغه برف روب
افشانه محلول ضد یخ

شکل ۳: دستگاه پخش کننده محلول ضد یخ نصب شده روی وانت مخصوص [۵]

۳- مروری بر روش ها و مواد مورد استفاده در کنترل برف و یخبندان

۳-۱ انواع مواد شیمیایی

۳-۱-۱ سدیم کلرید

نمک یک ماده طبیعی، جامد و دانه دانه است و تقریباً از اوایل قرن نوزدهم، برای کنترل یخ به کار رفته است. نمک معمولاً با دانه بندی های خاص برای کنترل برف و یخ مورد استفاده قرار می گیرد. برای نمک دو نوع دانه بندی وجود دارد. یکی با دانه بندی زبرتر و دیگری با درجه نرم تر. دانه بندی نرم تر اغلب در نواحی که تشکیل شبنم و یخبندان رایج است، استفاده می شوند. دانه بندی های زبرتر نیز برای ترکیب با ساینده ها استفاده می شوند. در یخ زدایی به روش سنتی از دانه بندی درشت، استفاده می شود تا اطمینان حاصل شود که ذرات نمک دارای اندازه مناسب و قدرت ماندگاری بیشتری می باشند، تا آب نمک به اندازه کافی تولید شود و عمل ذوب برای شکستن پیوند بین برف و یخ با سطح راه به خوبی انجام شود [۳].

شانه راه و انباشته شدن در کنار راه، افزایش هزینه ها در خصوص پاکسازی بعد از استفاده، ایراد آسیب های جدی به وسایل نقلیه در حال تردد و... اشاره کرد [۲]. همچنین استفاده از نمک ها در روسازی بتنی سبب تخریب بتن و پوسته پوسته شدن بتن و در نتیجه باعث از بین رفتن لایه سطحی بتن می شود که به عوامل مهاجم مثل رطوبت،

پیامدهای عدم کنترل برف و یخبندان در سطح معابر

- در صورت عدم کنترل برف و یخبندان سطح معابر، مشکلات عدیده ای در سطح شهر رخ می دهد. عمده این مشکلات عبارت است از:
- افزایش تصادفات
- افزایش تراکم ترافیک
- اختلال در جریان ترافیک
- اختلال در عملیات اورژانسی و اضطراری
- این مشکلات، اثرات منفی و هزینه های زیادی برای جامعه در بر دارد و منجر به پیامدهای زیر خواهد شد:
- کاهش سطح سرویس دهی
- افزایش صدمات جانی و خسارات مالی
- از دست دادن ساعات و زمان های منفی رکود فعالیت های روزمره اداری، تجاری، صنعتی و خدماتی
- رکود فعالیت های روزمره اداری، تجاری، صنعتی و خدماتی

۳-۱-۲ کلسیم کلرید

ترکیب موثر کلرید کلسیم محلول تقریباً ۳۰ درصد کلرید کلسیم و ۷۰ درصد آب بر مبنای وزن است که در نهایت نقطه انجماد یک محلول را تا ۵۱- سانتی گراد (۶۰- فارنهایت) پایین نگاه می‌دارد. کلسیم کلرید بعنوان یک یخ زدای صنعتی تا دمای ۲۰- درجه سانتیگراد موثر می‌باشد. $CaCl_2$ یک نمک گرمازا است، سریع‌تر از سایر یخ‌زدهای معمول عمل می‌کند، ولی رطوبت را حتی پس از ذوب نمودن یخ از هوا گرفته و باعث مرطوب نگاه داشتن روسازی معابر می‌گردد [۳].

۳-۱-۳ منیزیم کلرید^۵

اگرچه این ماده به شکل جامد در دسترس است ولی در کنترل یخ از حالت مایع آن استفاده می‌شود. این ماده در ذوب سریع برف و یخ شهرت دارد و در شرایط خاص برای اولویت‌های نخست که پاکسازی فوری مسیر مدنظر است بسیار کارآمد می‌باشد. دمای موثر محلول کلرید منیزیم بین کلرید سدیم و کلرید کلسیم است. ترکیب موثر محلول کلرید منیزیم ۲۱/۶ درصد کلرید منیزیم ۷۸/۴ درصد آب بر حسب وزن است که در حدود ۳۳- سانتیگراد (۲۸- فارنهایت) یخ می‌زند [۳].

۳-۱-۴ استات پتاسیم^۶

استات پتاسیم از واکنش شیمیایی اسید استیک با کربنات پتاسیم تولید می‌شود. این ماده شیمیایی در آب و الکل به خوبی حل می‌شود. دمای انجماد در غلظت ۴۹٪ به ۶۰- درجه می‌رسد. از این ماده به صورت محلول در یخ‌زدایی و پیشگیری از یخ‌زدگی رویه استفاده می‌شود [۳].

۳-۱-۵ استات منیزیم کلسیم

استات کلسیم منیزیم یک ترکیب پودری انسان ساخت حاصل از واکنش سنگ آهک دولومیت و اسید استیک

است. اگرچه به اندازه نمک و کلرید کلسیم محلول در آب نیست، اما از این ماده می‌توان به صورت ماده از پیش مرطوب کننده یا ماده شیمیایی مستقیماً استفاده کرد.

مرطوب نمودن با CMA یا ترکیب شن-CMA یک محلول سطح کارایی را افزایش می‌دهد، مخصوصاً در دوره‌های آب و هوایی سرد و خشک یا شرایط بادی. در مقایسه با نمک عملکرد کندتر و تاثیر پذیری کمتری را در باران خشک کننده طوفان‌های برف خشک و شرایط ترافیکی سبک دارد. این ماده دارای خاصیت خوردگی نبوده و باعث تخریب روسازی نمی‌گردد.

این بدین معنی است که این ماده فاقد تمام اثرات مخربی می‌باشد که نمک بر روی خاک، روسازی و محیط زیست وارد می‌کند. اگر CMA بخواهد تاثیری همانند نمک داشته باشد، باید حدود ۷ برابر بیشتر استفاده شود [۳].

۳-۱-۶ اوره

اوره یک کود آلی است که بعنوان ضد یخ نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دمای حدود ۹- درجه سانتیگراد بسیار موثر است. در اکثر موارد برای باندهای فرودگاهی بکار می‌رود چرا که خاصیت خوردگی برای هواپیما ندارد [۳].

۳-۲ مقایسه و عملکرد مواد ضد یخ و یخ‌زدا

هر کدام از مواد دارای محدوده عملکرد متفاوتی می‌باشند که در آن محدوده بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهند. بدیهی است وقتی در دماهای پایین‌تر از محدوده عملکردی، از این مواد استفاده کرد، علاوه بر اینکه مشکلی حل نخواهد شد، سبب می‌شود از بین بردن یخ‌های به وجود آمده حاصل از این مواد هزینه‌های بیشتری تحمیل کند. جدول ۱ مشخصات این مواد و محدوده عملی آن ذکر شده است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود مواد ارگانیک استات پتاسیم و استات منیزیم کلسیم، در دامنه دمایی پایین تری همچنان کارایی خود را دارا می‌باشند. هر چند دمای عملکردی این مواد از کلسیم کلرید بیشتر است، ولی به دلیل خواص خوردگی کلسیم کلرید، استفاده از مواد ارگانیک در مناطق سردسیر عملکرد بهتری از خود نشان خواهد داد [۶].

⁵ $MgCl_2$

⁶ $KAC: KC_2H_3O_2$

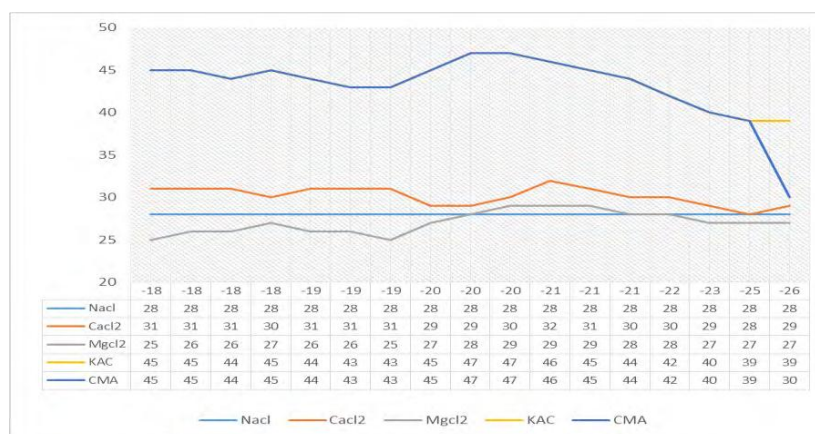
جدول ۱ مشخصات مواد ضد یخ و یخزدا [۶]

نام	نحوه استفاده	دمای بپینه عملکرد	دمای انجماد
سدیم کلرید	جامد و محلول در آب	-۹	-۲۱
کلسیم کلرید	محلول در آب	-۲۹	-۵۱
منیزیم کلرید	محلول در آب	-۱۵	-۳۳
استات پتاسیم	جامد و مایع	-۲۶	-۶۰
استات منیزیم کلسیم	مایع	-۱۷	-۲۷
اوره	مایع	-۴	-۱۲

۳-۳ تحلیل و مقایسه نرخ استفاده از مواد یخ زدا در جدول دو نرخ استفاده از هر کدام از مواد شیمیایی در دماهای گوناگون برحسب استفاده آنها بصورت مایع یا جامد آورده شده است. در جدول ۲ برای هر کدام از مواد ذکر شده دو نرخ مصرفی داده شده است که با توجه به کاربرد مواد بصورت مایع و جامد می باشد. لازم به ذکر است ستون اول برای استفاده بصورت جامد و ستون دوم استفاده بصورت مایع می باشد [۷].

جدول ۲: نرخ استفاده از مواد شیمیایی [۷]

CMA		KAc		MgCl ₂		CaCl ₂		NaCl		Temperature °C
%۲۵	%۱۰۰	%۵۰	%۱۰۰	%۲۷	%۵۰	%۲۲	%۹۲	%۲۳	%۱۰۰	
Lit/ L.Km	Kg/ L.Km	Lit/ L.Km	Kg/ L.Km	Lit/ L.Km	Kg/ L.Km	Lit/ L.Km	Kg/ L.Km	Lit/ L.Km	Kg/ L.Km	
۱۶۲	۴۵	۷۱	۴۵	۷۳	۲۵	۷۵	۳۱	۱۰۶	۲۸	-۱۸
۱۶۹	۴۵	۷۳	۴۵	۷۵	۲۶	۷۵	۳۱	۱۰۸	۲۸	-۱۸
۱۶۷	۴۴	۷۱	۴۴	۷۵	۲۶	۷۸	۳۱	۱۱۰	۲۸	-۱۸
۱۷۴	۴۵	۷۳	۴۵	۷۸	۲۷	۷۸	۳۰	۱۱۳	۲۸	-۱۸
۱۸۶	۴۴	۷۳	۴۴	۷۸	۲۶	۸۰	۳۱	۱۱۵	۲۸	-۱۹
۱۹۰	۴۳	۷۳	۴۳	۷۸	۲۶	۸۰	۳۱	۱۲۲	۲۸	-۱۹
۲۰۲	۴۳	۷۳	۴۳	۸۰	۲۵	۸۲	۳۱	۱۲۷	۲۸	-۱۹
۲۲۳	۴۵	۷۸	۴۵	۸۵	۲۷	۸۰	۲۹	۱۳۲	۲۸	-۲۰
۲۵۴	۴۷	۸۲	۴۷	۸۲	۲۸	۸۰	۲۹	۱۳۴	۲۸	-۲۰
۲۶۸	۴۷	۸۲	۴۷	۹۶	۲۹	۸۹	۳۰	۱۴۳	۲۸	-۲۰
۲۷۵	۴۶	۸۲	۴۶	۹۶	۲۹	۹۶	۳۲	۱۴۶	۲۸	-۲۱
۲۸۴	۴۵	۸۲	۴۵	۹۹	۲۹	۹۶	۳۱	۱۵۳	۲۸	-۲۱
۲۹۴	۴۴	۸۲	۴۴	۹۹	۲۸	۹۴	۳۰	۱۶۰	۲۸	-۲۱
۳۰۳	۴۲	۸۰	۴۲	۹۹	۲۸	۹۹	۳۰	۱۶۵	۲۸	-۲۲
۴۰۰	۴۰	۸۰	۴۰	۱۰۳	۲۷	۱۰۳	۲۹	۲۱۲	۲۸	-۲۳
۶۲۳	۳۹	۸۲	۳۹	۱۱۰	۲۷	۱۱۵	۲۸	۲۸۲	۲۸	-۲۵
۱۴۸۱	۳۹	۸۷	۳۹	۱۲۰	۲۷	۱۳۴	۲۹	۳۸۸	۲۸	-۲۶



نمودار ۱: مقایسه نرخ استفاده از مواد شیمیایی [۷]

هستند از روش های به روز تری مانند: کار گذاشتن لوله های آب گرم زیر سطح معابر، استفاده از مواد پلیمری برای جلوگیری از یخ زدگی و لغزندگی.

کشور سوئد آیین نامه ای برای نگهداری زمستانی راه ها دارد. روش های معمول مورد استفاده در این کشور برای یخ زدایی، نمک است. در سوئد پخش نمودن نمک پیش مرطوب شده یا محلول نمکی یک تکنیک کاملا شناخته شده است، که عمدتاً نتایج مثبتی را با خود به همراه داشته است. یک روش جایگزین که در سالهای اخیر با موفقیت آزمایش شده است، ماسه ی مرطوب است که در آن ماسه قبل از پخش با آب گرم اسپری می شود. با استفاده از این روش شن و ماسه، برف یا یخ کمی ذوب می شود. این روش در مناطق با آب و هوای پایدار و دمای پایین مناسب است. نتایج آزمایشات نشان داده است که این روش دوام طولانی تری نسبت به روش های معمول دارد [۸].

تورنتو در سال ۲۰۰۱ بعنوان اولین شهر در کانادا برنامه مدیریت نمک را توسعه و اجرا نمود. تکنیک های پیش مرطوب سازی و پیشگیری از یخ زدگی را معرفی نمود، و سیستم های اطلاعات آب و هوایی جاده ها (RWIS) را در سرتاسر این شهر نصب نمود.

در ونکوور استراتژی نگهداری زمستانه در این منطقه بر مبنای استفاده از یک ترکیب ۵۰/۵۰ درصدی از نمک و شن در سالهای قبل بود ولی با استفاده از محلول کلرید منیزیم موفق به کاهش ۶۴٪ در میزان استفاده از نمک و ۷۳٪ کاهش در کلراید های منتشر شده به محیط زیست گردید. جایگزین نمودن CMA^۸ با نمک در اکثر نقاط انتاریو باعث افزایش قابل توجه سطح سرویس دهی شده است [۹].

جدول زیر خلاصه مقالات مورد بررسی در بخش روش های نوین را در بر می گیرد. در ادامه به شرح هریک از مقالات می پردازیم:

با توجه به نمودار یک می توان در یافت که دستیابی به اطلاعات دما و شرایط سطوح داده های بسیار ارزشمندی را برای تعیین جریان عملیات مناسب فراهم می کند تا بتواند به انتخاب صحیح ماده یخ زدا کمک بیشتری نماید، اما این عامل به تنهایی نمی تواند منتج به انتخاب مناسبی از سمت کاربران در قسمت مدیریت نگهداری زمستانی فرودگاه ها برای انتخاب صحیح ماده یخ زدا می گردد.

از داده های به دست آمده به وضوح روشن است که دو ماده استات منیزیم کلسیم و کلرید منیزیم با کاربرد در دامنه های دمایی پایین تر برای انجام عملیات نگهداری زمستانی روسازی مفید تر می باشند ولی این مواد از قیمت بالاتری برخوردارند و شرایط نگهداری برای آنها نسبت به دیگر مواد حساس تر می باشد. همچنین کلرید سدیم با توجه به قیمت مناسب تر و کاربرد آسان تر نیز برای روسازی فرودگاه نمی تواند بدلیل تاثیر بالای این ماده بر افزایش پدیده عربان شدگی سطوح روسازی دارد، که می تواند اثرات جبران ناپذیری در روسازی باندهای پروازی از خود بجا بگذارد. اگرچه به تازگی با خودکفایی در تولید داخلی استات منیزیم کلسیم کاربرد این ماده با سهولت بیشتری ممکن شده است اما کاربرد بجا و مناسب هر یک از این مواد در بازه دمایی مناسب آنها می تواند هزینه ها را بطور زیادی کاهش دهد [۷].

۳-۴ تجربیات دیگر کشور ها در موضوع یخ زدایی

در واقع، نمک پاشی برای رفع یخ زدایی هم اکنون آخرین گزینه اجرایی آنهاست، به طور مثال هم اکنون در اروپا از مواد یخ زدایی با ترکیبات آلی استفاده می شود که هیچ تاثیر مخربی در محیط بر جا نمی گذارد، این در حالی است که حتی اگر استفاده از این مواد به ایجاد روان آب هایی هم منجر شود، تصفیه خانه های شهری آنها مواد مضر را از سطح آب جدا می کند، چیزی که متاسفانه در هیچ کدام از کلان شهرهای ما وجود ندارد و بخصوص در تهران روان آب های شور به سمت جنوب سرازیر شده و وارد زمین های کشاورزی می شود. در بسیاری از کشورهای دنیا (مانند کشورهای حوزه اسکاندیناوی که بیشترین ماه های سال را با سرمای طاقت فرسا و سخت و یخ زدگی خیابانها مواجه

⁷ Road Weather Information System

⁸ کلسیم منیزیم استات

جدول ۳: خلاصه مطالعات انجام شده در زمینه یخ زدایی

ردیف	سال چاپ	نویسندگان	عنوان مقاله	هدف یا فرضیه مطالعه	نتیجه گیری
۱	۱۳۹۳	مرتضی مصطفوی نژاد	یخ زدایی سطح راه با سیستم هوشمند نانو بتن با منبع گرمایی	معرفی و جایگزینی روشی قابل توجه از نظر فنی و اقتصادی در مشهد	جلوگیری از یخ زدن سطح به صورت خودکار، کاهش هزینه
۲	۲۰۱۵	کریس توان	بتن ترکیبی با ذرات کربن و تراشه فولادی	روشی به منظور کاهش هزینه بهره وری مناسب برای مقابله با برف	ذوب برف با ایجاد جریان الکتریکی
۳	۲۰۱۷	سانگ لو وهمکاران	بررسی یخ زدایی به روش ماکروویو در روسازی بتنی	اثرات پرتو ماکروویو و مواد یخ زدایی در روسازی	پرتوهای ماکروویو اثر یخ زدایی مناسبی دارند و سازگار با محیط زیست هستند
۴	۲۰۱۷	بای و همکاران	بتن رسانا با الیاف فولادی ضد زنگ به منظور یخ زدایی	پیشگیری از یخ زدن روسازی، گرم کردن سطح راه قبل از رسیدن به دمای زیر صفر درجه	الیاف رسانا سبب تقویت مقاومت کشی روسازی و در مواقع لزوم با انتقال جریان الکتریکی سبب ذوب برف می شوند
۵	۲۰۱۷	نصیر و همکاران	استفاده از سیستم خورشیدی در کارایی روسازی	استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر برای تولید انرژی	پانلهای خورشیدی انرژی را ذخیره و در سرما، حرارت را به سطح منتقل میکند

است. کاری که این بتن انجام می دهد هدایت جریان برق کافی جهت ذوب کردن یخ می باشد، در حالیکه هیچگونه خطری را در صورت لمس ایجاد نمی نماید و تهدیدی برای موجودات زنده ایجاد نخواهد کرد. [۱۰]

در سال ۲۰۱۷ سانگ لو وهمکاران در مورد روش یخ زدای مایکروویو که یک روش هوشمند و سازگار با محیط زیست است تحقیقاتی انجام دادند [۱۱]، که در آن نقاط ضعف بسیاری از روش های سنتی یخ زدایی، از جمله تکنیک های مکانیکی، شیمیایی و حرارتی وجود ندارد. مایکروویو نصب شده به عنوان یک مولد بر روی کامیون بر روی یک جاده پوشیده شده از یخ، هدایت می شود، تابش مایکروویو از طریق یخ عبور می کند، بدین صورت سطح زمین جاده را

۳-۴ روش های نوین

امروزه با پیشرفت علم روش های زیادی در کشورهای پیشرفته برای مقابله با یخ زدگی بکار گرفته می شود که با توجه به شرایط موجود، از این روش ها در برخی کشورها تاکنون استفاده شده است.

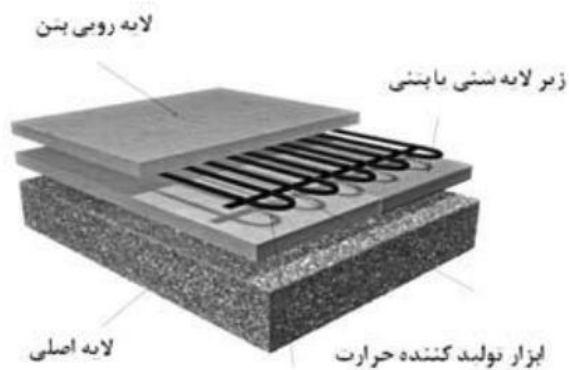
اولین بار در دانشگاه اوهایو، طی آزمایش های عملی دریافتند که تنها با ارسال ۶۰ ولت انرژی الکتریکی به بلوک بتنی، دمای سطح بتن از ۱۸ درجه سانتیگراد به ۸۷ درجه سانتیگراد افزایش می یابد. پژوهشگران با استفاده از ترکیبات گوناگونی از پودرها و الیاف کربن که رسانای الکتریسیته هستند و ترکیب این مواد با بتن و اعمال نیروی الکتریکی لازم به روکش بتنی، دمای آن را به سرعت به میزانی افزایش می دهند که برای ذوب برف و یخ کافی

مستقیماً گرم می‌کند، پیوند بین سطح یخ و جاده‌ها را تضعیف می‌کند و یخ را از بین می‌برد.

در سال ۲۰۱۵ کریس توان توانست نوع جدیدی از مخلوط بتن را توسعه دهد، که در ساخت جاده‌های بتنی کاربرد زیادی خواهد داشت. نزدیک به ۸۰ درصد از ترکیبات بتن جدید مانند بتن‌های معمولی است و ۲۰ درصد بقیه از ترکیب ذرات کربن و براده‌ی فولاد تشکیل می‌شود. این بتن طوری طراحی شده که با کمک کربن و فولاد بتواند جریان الکتریکی را در درون خود جاری کند. بنابراین با جریان یافتن برق و گرم شدن سطح جاده می‌توان برف و یخ روی جاده را با ضریب امنیت بالایی ذوب کرد. سازوکار این بتن با جریان الکتریکی شکل می‌گیرد، با این حال این جریان هیچ خطری را برای اتومبیل‌ها و عابران پیاده ایجاد نخواهد کرد. در ۱۰ سال گذشته تیم تحقیقاتی دانشگاه نبراسکا بتن‌های خود را در شرایط مختلف آزمایش کرده‌اند. در سال ۲۰۰۲ این گروه کار خود را با تست نمونه‌ی تحقیقاتی در ۵۰ متر از یک جاده شروع کردند و در سال‌های بعد توانستند مجوز آزمایش نمونه‌ی خود را بر پلی در لینکلن بگیرند. با گذشت ۱۰ سال از مراحل ساخت و آزمایش، نتایج نشان دهنده موفقیت این تحقیقات است. این نوع روسازی دوام خوبی داشته و عمر مفید پیش‌بینی شده‌ی آن ۲۵ تا ۳۰ سال است. از نظر دکتر توان، پل بهترین مکان برای آزمایش نمونه‌ی بتن به حساب می‌آید؛ چرا که پل‌ها زودتر از بقیه‌ی قسمت‌های جاده یخ می‌زنند و به دلیل استراتژیک بودن این مسیرها در طراحی شهری، می‌توان هزینه‌ها و خطرات را در زمستان کاهش داد. این آزمایشات در شهر لینکلن مرکز ایالت نبراسکا که هر سال زمستان‌هایی سخت همراه با طوفان‌های شدید را تجربه می‌کند، انجام شد. این تکنولوژی ضد انجماد را می‌توان به آسانی در مکان‌هایی مانند پل، باند فرودگاه، تقاطع خیابان، پارکینگ، پیاده‌رو و مکان‌های مستعد تصادف اجرا کرد. بنابراین به کمک این فناوری می‌توان تاخیر پروازها و سوانح

ایجاد شده در باند پروازی را در زمستان به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. اگرچه هزینه این نوع بتن بسیار زیاد است، اما به دلیل قدرت فوق‌العاده آن (حدود ۱/۵ برابر بتن معمولی) و نسبت به مزایای آن در مقایسه با بتن معمولی با سایر یخ‌زدها مقرون به صرفه است. بتن‌رسانا مزایای نامحدودی مثل صرفه‌جویی در وقت، صرفه‌جویی در پول و صرفه‌جویی در زمان را ارائه می‌دهد.

نانو بتن هوشمند گرمازا: نوع جدیدی از بتن ابداع شده که به گونه‌ای هوشمندانه و خودکار، ایمنی راه‌های بتنی را مورد پایش قرار داده و در صورت لزوم مبادرت به یخ‌زدایی از سطح راه می‌کند و می‌تواند حرارت ایجاد شده در خود بتن را به راحتی به سطح منتقل کند. با استفاده از حسگرهای حرارتی پیش‌بینی شده در نزدیکی سطح بتن، دما تحت بررسی دایمی قرار دارد. ابزار تولیدکننده‌ی حرارت در عمق بتن و حسگرهای حرارتی سنسور دما در نزدیکی سطح بیرونی بتن قرار می‌گیرند. نحوه کار این سیستم به این صورت است که ابتدا به صورت خودکار، متوسط دمای بستر جاده را اندازه می‌گیرد و با توجه به دمای تشخیص داده شده نسبت به تثبیت دمای جاده با حدود دمایی مشخص از یخ‌زدن جاده‌ها جلوگیری می‌کند، تشخیص دمای مناسب جاده‌ها به کمک حسگرهای موجود در بتن صورت می‌گیرد قابلیت هدایت حرارتی بالای این بتن موجب می‌شود گرمای ایجاد شده در داخل بتن به راحتی به سطح منتقل می‌شود و با استفاده از حسگرهای حرارتی که در نزدیکی سطح بتن قرار گرفته‌اند و دستگاه کنترل‌کننده دما، میزان دمای بتن به اندازه مورد نظر ثابت نگه داشته می‌شود. عملکرد این سیستم به طور هوشمند عمل می‌کند و نیاز به کنترل و اپراتور ندارد، به این ترتیب که دو عدد سنسور رطوبت و دما به همراه ترموستات این سیستم را کنترل می‌کند. زمانی که برف شروع به بارش می‌کند و سطح محیط را مرطوب نموده و دمای سطح به کمتر از ۳ درجه می‌رسد رطوبت به وجود



شکل ۴ اجزای تشکیل دهنده نانوبتن هوشمند گرمازا [۱۲].

در سال ۲۰۱۷ بای و همکاران پژوهشی در مورد بتن رسانا حاوی الیاف فولادی انجام دادند. این روش یکی از روش های نوین پیشگیری از یخ زدن روسازی است. در این روش با تبدیل انرژی الکتریکی به گرمایی، از طرفی مانع از یخ زدن راه شده و از طرفی مشکلات استفاده از مواد شیمیایی را ندارد. به منظور رساندن جریان الکتریکی و انتقال آن در سطح روسازی آسفالتی و بتنی، در هنگام ساخت در این روسازیا از الیاف رسانا استفاده می شود. این الیاف برای تقویت مقاومت کشی روسازی هم مفید بوده و در مواقع لزوم با انتقال جریان الکتریکی به سرتاسر راه، سبب بالا رفتن دمای روسازی تا بیش از ۶۰ درجه می گردد [۱۳]. در این روش برای تولید انرژی الکتریکی، بهتر است از انرژی های تجدیدپذیر استفاده شود. همچنین برای کم بودن هزینه انتقال انرژی باید روندی طراحی شود تا به کمترین تجهیزات انتقال انرژی نیاز باشد. در سال های اخیر، محققین مختلفی در زمینه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر مطالعاتی به انجام رساندند. یکی از این انرژی ها انرژی خورشیدی می باشد. این انرژی در این مورد هم استفاده شده و سبب ساخت سیستم جاده خورشیدی برای جلوگیری از یخ زدگی روسازی شده است. در این سیستم مجموعه های پانل های خورشیدی در سطح جاده و یا کنار آن تعبیه شده است تا انرژی خورشیدی در طول تابستان و یا روزهای آفتابی جمع آوری و ذخیره کند. سپس در

آمده در سطح رو به یخ زدگی و یا انباشت برف می رود، تحت این شرایط سنسور ها به ترموستات فرمان می دهند و ترموستات سیستم را روشن می کند. در کم ترین زمان مسلح گرم شده و از یخ زدگی و انباشت برف جلوگیری می کند. لازم به ذکر است که انجام این عمل قبل از به وجود آمدن یخ زدگی و یا انباشت برف شکل می گیرد. این سیستم کاملاً کاربردی عمل می کند، به این صورت که هیچ زمان بیهوده روشن نمی شود و فقط در زمانی که سطح رو به یخ زدگی می رود جلوگیری می کنند و به طور خودکار خاموش می شود. به طور مثال اگر در سطح محیط دمای ۵- درجه داشته باشیم و رطوبت و بارندگی وجود نداشته باشد، این سیستم به هیچ عنوان روشن نمی شود، زیرا سنسور رطوبت، فرمانی به ترموستات نمی دهد و بر عکس اگر در محیط سطح، بارندگی و رطوبت به وجود آمده اما دمای محیط سطح بالاتر از ۳ درجه باشد این سیستم باز هم عمل نمی کند، زیرا یخ زدگی در سطح به وجود نمی آید، به همین جهت این سیستم بسیار کم مصرف و کاربردی می باشد. در محیط های خارجی بهتر است که از سیستم کنترل هوشمند استفاده گردد. که از ابتدای شروع بارش برف یا باران، سیستم به صورت خودکار روشن شده و از نشستن برف و تشکیل یخ بر روی سطوح جلوگیری نماید. در صورت عدم استفاده از سیستم کنترل هوشمند، کابل گرمایشی به صورت غیر خود کار به وسیله اپراتوری فعال شده و بعد از بارش و نشستن برف بر روی سطوح و تشکیل یخچال باعث می گردد، تا میزان انرژی بیشتری مصرف و فشار مضاعفی به کابل های گرمایشی وارد آید [۱۲]. شکل ۴ اجزای تشکیل دهنده نانو بتن را به صورت شماتیک نشان می دهد.

راه نصب می شود (شکل ۵ ب). پانل‌ها از شیشه‌های مخصوصی ساخته شده که با بالابردن مقاومت آن، تحمل وزن کامیون را هم دارد [۱۴]. در روش استفاده از مواد ضدیخ و یا یخ زدا، در نهایت باید این مواد از سطح روسازی جمع آوری شود. ولی در استفاده از روش انرژی گرمایی، این فرآیند انجام نمی‌گیرد و هزینه هر دوره ذوب و یخ کمتر می‌شود.



ب : نحوه قرارگیری پانل‌ها در کنار راه



الف : نحوه قرارگیری پانل‌ها در زیر روسازی

شکل ۵ سیستم جاده خورشیدی و نحوه قرارگیری پانل خورشیدی در آن [۱۴]

جبران آن شاید برای فعالان زیست محیطی و مسئولان شهری تا سال‌ها غیر قابل جبران باشد. با توجه به بررسی مقالات، نتایج زیر پس از مطالعات حاصل شد:

۱- استفاده از بتن رسانای الکتریسیته بهترین روش یخ زدایی از سطح روسازی بتنی، به خصوص در فرودگاه‌ها (باندهای نشست و برخاست، اپرون و تاکسی‌وی‌ها) می‌باشد.

۲- با استفاده از بتن‌های رسانا می‌توان با استفاده از منبع گرمایی موجود در بتن دمای آن را در نواحی که خطر یخبندان وجود دارد، افزایش داد و از یخ زدن بستر سطح راه‌ها جلوگیری کرد.

۳- نصب این بتن نسبت به بتن معمولی گران‌تر است، اما هزینه‌های برف‌روبی و یخ‌زدایی با مواد شیمیایی را کاهش می‌دهد.

روزهایی که هوا سرد است با انتقال حرارت به سطح روسازی، مانع از افت دمای روسازی به زیر صفر درجه و تشکیل یخ می‌شود. با استفاده از این روش علاوه بر جلوگیری از یخ زدن سطح روسازی، میتوان انرژی برق برای روشنایی مسیر را نیز فراهم کرد. شکل ۵ قرارگیری پانل خورشیدی در راه را نشان می‌دهد. نحوه قرارگیری پانل‌های خورشیدی به دو صورت است. در روش اول در زیر روسازی قرار می‌گیرد (شکل ۵ الف) و در روش دوم در کنار

۴- نتیجه گیری

با توجه به هزینه گزاف نگهداری راه و هزینه‌های ناشی از یخ زدگی سطح راه‌ها همچنین اثرات سوء زیست محیطی و هزینه‌ی نمک پاشی سطح راه در مناطق با خطر یخبندان، اهمیت جایگزین کردن روش‌های سنتی را با روشی نوین و پیشرفته دو چندان می‌کند. هر چند شهرهای ما به طور جدی فقط حدود سه ماه از سال را با مشکل بارش برف و باران و یخ زدگی و لغزندگی معابر و خیابان‌ها دست‌به‌گریبان می‌شوند، اما معلوم نیست تا چه زمانی باید به بهانه هزینه بر بودن صرفاً به روش نمک پاشی اکتفا کرده و گزینه‌های دیگر را حذف کنیم. کارشناسان مسائل شهری همچنان معتقدند اگر به تدریج به سمت استفاده از روش‌های به‌روز، کارآمد و البته کم‌خطر برای یخ‌زدایی پیش‌نیرویم در آینده‌ای نه چندان دور استفاده مستمر از روش نمک پاشی پیامدهای مخرب خود را در محیط زیست شهری نشان خواهد داد، صدماتی که

- ۴- کاهش هزینه‌های نگهداری راه‌ها مانند هزینه‌های خرید و تعمیر و نگهداری ماشین آلات نمک پاشی و هزینه استهلاک آن‌ها و هزینه‌ی آماده‌باش نیروها.
- ۵- از میان روش‌های رایج محلول کلرید منیزیم جایگزین بسیار مناسبی برای نمک می‌باشد. کلرید منیزیم دارای اثرات خوردگی کمتری است که باعث می‌شود این ماده در مقایسه با سایر مواد به بتن و فولاد آسیب کمتری وارد کند همچنین این ماده در مقایسه با کلرید سدیم و کلرید کلسیم اثرات زیست محیطی کمتری دارد.

مراجع

1. Hesham Abdulla, H.C., Sunghwan Kim, Kasthurirangan Gopalakrishnan, Peter C. Taylor, and Yelda Turkan, *System Requirements for Electrically Conductive Concrete Heated Pavements*. 2016.
2. Sanzo, D., and Stephen J. Hecnar, *Effects of road de-icing salt (NaCl) on larval wood frogs (Rana sylvatica)*. *Environmental Pollution* 140, no. 2, 2006.
3. صادقی، د.ع.ع.ک.س.ص.، تاثیر مواد یخ زدا بر مدیریت نگهداری زمستانی روسازی فرودگاه . *International Congress on Civil Engineering , Architecture and Urban Development, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran, 2016*.
4. حیاتی، س.س.ح.ا.ب.خ.پ.، مقایسه روشهای یخزدایی روسازیهای آسفالتی و بتنی. فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران، ۱۳۹۷.
5. ترافیک)، پ.ک.ه.ش.ت.ب.ه.م.ح.و.ن.و.، یخ زدایی و پیشگیری از ایجاد لایه برف و یخ در معابر با محلول پاششی. ۱۳۸۵.
6. Anburaj Muthumani, L.F., Michelle Akin, Shaowei Wang, Jing Gong, Xianming Shi., *Correlating lab and field tests for evaluation of deicing and anti-icing chemicals: A review of potential approaches*. *Cold Regions Science and Technology* 97, 2014: p. 21–32.
7. PROGRAMT, N.C.H.R., *Snow and Ice Control: Guidelines for Materials and Methods*,. REPORT 526, (2004) WASHINGTON, D.C., 2004.
8. institute, s.n.r.a.t.r., *Winter maintenance in Sweden*. 2002.
9. Keefe, K.O., Shi, X., *Anti-Icing and Pre-Wetting: Improved Methods for Winter Highway Maintenance in North America*. 2005.
10. Sassani, A., H. Ceylan, S. Kim, and K. Gopalakrishnan, *Optimization of Electrically Conductive Concrete (ECC) Mix Design for Self-Heating Pavement Systems*. Presented at 2015 Mid Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa,, 2015.
11. Song Lu, a.J.X., ab Erlei Bai, a Junliang Liua and Xin Luo, *Investigating microwave deicing efficiency in concrete pavement*.. *The Royal Society of Chemistry*, 2017.
12. ظهوریان، م.م.ن.د.م.ز.ش.م.آ.، فناوری نانو و بتن های ویژه. نهمین سمپوزیوم پیشرفت های علوم و تکنولوژی ۲۰۱۴.
13. Bai, Y.-h., Wei Chen, Bo Chen, and Rui Tu, *Research on Electrically Conductive Concrete with Double-Layered Stainless Steel Fibers for Pavement Deicing*. *ACI Materials Journal* 144, no. 6 (2017). 2017.
14. Nasir, D.S., Ben Richard Hughes, and John Kaiser Calautit, *Influence of urban form on the performance of road pavement solar collector system: Symmetrical and asymmetrical heights*.. *Energy Conversion and Management*(2017)..

ارزیابی تأثیر الیاف شیشه بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی



حسین خیرخواه
کارشناس ارشد راه و ترابری
موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری



مصطفی شفیع
کارشناس ارشد راه و ترابری
موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری



مرتضی جلیلی قاضی زاده
استادیار، گروه عمران
دانشگاه صنعتی قوچان



نجمه غفاری
کارشناس ارشد راه و ترابری
موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری

چکیده

امروزه تقویت بتن غلتکی به جهت کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش طول عمر روسازی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این مقاله به بررسی تأثیر الیاف شیشه (با دو طول ۱۲ و ۲۴ میلی‌متر) بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی پرداخته شده است. جهت مقایسه پارامترهای مقاومتی درصد افزودن الیاف ثابت نگه داشته شد و با تغییر طول الیاف، تأثیر آن بر خصوصیات بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با توزیع یکنواخت الیاف، بتن غلتکی مسلح شده به الیاف شیشه ۱۲ میلی‌متری نسبت به بتن شاهد مقاومت فشاری بیشتری دارد اما مقاومت کششی آن چندان تفاوتی ندارد. ولی نمونه‌های حاوی الیاف ۲۴ میلی‌متری در مقابل نمونه شاهد و نمونه الیافی ۱۲ میلی‌متر در آزمایش کششی و فشاری و خمشی عملکرد بهتری نسبت به دو نمونه دیگر دارد. در آزمایش خمش مشاهده گردید که نمونه شاهد دچار گسیختگی آنی (لحظه‌ای) می‌گردد و در نمونه حاوی الیاف ۱۲ میلی‌متری پدیده پل زدگی به مقدار کمی مشهود می‌باشد و این نمونه نسبت به بتن شاهد و بتن الیافی با طول ۲۴ میلی‌متر مقداری شکل پذیرتر است.

کلمات کلیدی: بتن غلتکی، الیاف شیشه، الیاف با طول ۱۲ و ۲۴ میلی‌متر

مقدمه

افزودن الیاف مناسب، جمع شدگی بتن را کاهش و جذب انرژی و دوام را بهبود بخشید [۱].

در مطالعه فامیلی و همکاران خواص مکانیکی مقاومت فشاری، کششی بتن حاوی الیاف شیشه در سنین مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نسبت وزنی الیاف به سیمان ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ و نسبت وزنی شن به ماسه ۰/۶۷ و نسبت وزنی آب به سیمان در کلیه نمونه‌ها برابر ۰/۳۷ در نظر گرفته شد. الیاف شیشه مورد استفاده دارای قطر ۱۰۰ μm و طول ۶mm می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف، نرخ رشد مقاومت در سنین اولیه بالا و با افزایش سن بتن، نرخ رشد کمتر شده و تا حدودی اختلاف

بتن غلتکی مخلوطی سفت و نسبتاً خشک و متشکل از سنگدانه‌ها با اندازه حداکثر ۱۹ میلی‌متر دارای کارایی و ظاهری مشابه با مخلوط شن نمدار و یا بتن با اسلامپ صفر است [۱]. بتن در مقابل بار فشاری عملکرد نسبتاً خوبی دارد اما در برابر بار کششی عملکرد ضعیفی دارد و رفتار ترد و شکننده‌ای از خود نشان می‌دهد. از مشکلات عمده روسازی‌های بتنی می‌توان به تنش‌های خمشی ناشی از بارهای ترافیکی و تنش‌های حرارتی (تغییرات دمایی) اشاره کرد که منجر به ایجاد ترک در بتن شوند و می‌توان با

مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه بین بتن‌های با درصد الیاف مختلف کاهش می‌یابد [۳].

بنکاردینو و همکاران به بررسی تأثیر درصدهای مختلف الیاف فولادی و شیشه‌بر خواص مکانیکی بتن غلتکی و بررسی مقاومت‌های کششی و خمشی بتن مسلح به الیاف فولادی و شیشه با نسبت ۰/۳۵ و با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف الیاف پرداختند. الیاف از جنس شیشه و فولاد و به میزان آب به سیمان صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد حجم بتن مورد استفاده قرار گرفته است. در مورد مقاومت کششی نتیجه گرفته شد که با اضافه شدن الیاف شیشه‌ای و فولادی در محدوده ۰/۳ تا ۰/۹ درصد حجمی بتن مقاومت کششی نسبت به بتن معمولی افزایش پیدا می‌کند. برای بررسی افزایش مقاومت‌ها این نتیجه حاصل شد که بیشترین افزایش مقاومت کششی در طرح‌های حاوی الیاف فولادی با ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد الیاف به ترتیب با نسبت‌های ۱/۱۳، ۱/۲۹ و ۱/۴۷ افزایش مقاومت مشاهده می‌شود که این افزایش نسبت به طرح‌های الیاف شیشه با ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد الیاف که به ترتیب با نسبت‌های ۱/۵، ۱/۲۴ و ۱/۳۶ افزایش مقاومت داشته‌اند، بیشتر است [۴]. پاندرامولی و همکارانش به بررسی اثر الیاف شیشه پرداختند و گزارش دادند که الیاف شیشه باعث افزایش ۲۰ تا ۲۵ درصدی مقاومت فشاری و ۱۵ تا ۲۰ درصدی مقاومت خمشی و کششی شده است [۵]. لابل گزارش داد که با افزایش مقدار الیاف شیشه طاقت، مقاومت خمشی و کششی افزایش چشم‌گیری می‌یابد [۶].

تحقیقات مختلفی نشان داده‌اند که افزون الیاف شیشه (چاپد) باعث بهبود خواص مختلفی از جمله مقاومت خمشی، کششی، ضربه‌ای، طاقت و شکل‌پذیری می‌شود، با این حال، تأثیر الیاف بر مقاومت فشاری بتن همچنان مورد بحث قرار دارد [۷]. بتن‌های الیافی برخلاف بتن‌های

معمولی پس از ترک خوردن مقاومت خود را از دست نداده و قادر به تحمل تغییر شکل‌ها و کرنش کششی و ارائه رفتار سخت شدگی کرنشی می‌باشد [۸]. میرزا و سروشیان تأثیر الیاف شیشه مقاوم قلیایی را بر روی ترک‌خوردگی و مقاومت حرارتی بتن سبک را بررسی کردند. آن‌ها پی بردند که الیاف شیشه باعث کاهش عرض ترک و کاهش تأثیر منفی ناشی از افزایش دما می‌شود [۹].

با توجه به اینکه در تحقیقات گذشته کمتر به بررسی تأثیر طول الیاف بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی پرداخته شده است؛ در این پژوهش از الیاف شیشه‌ای با دو طول مختلف استفاده و تأثیر آن بر پارامترهای مختلف مقاومتی بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

برنامه آزمایشگاهی

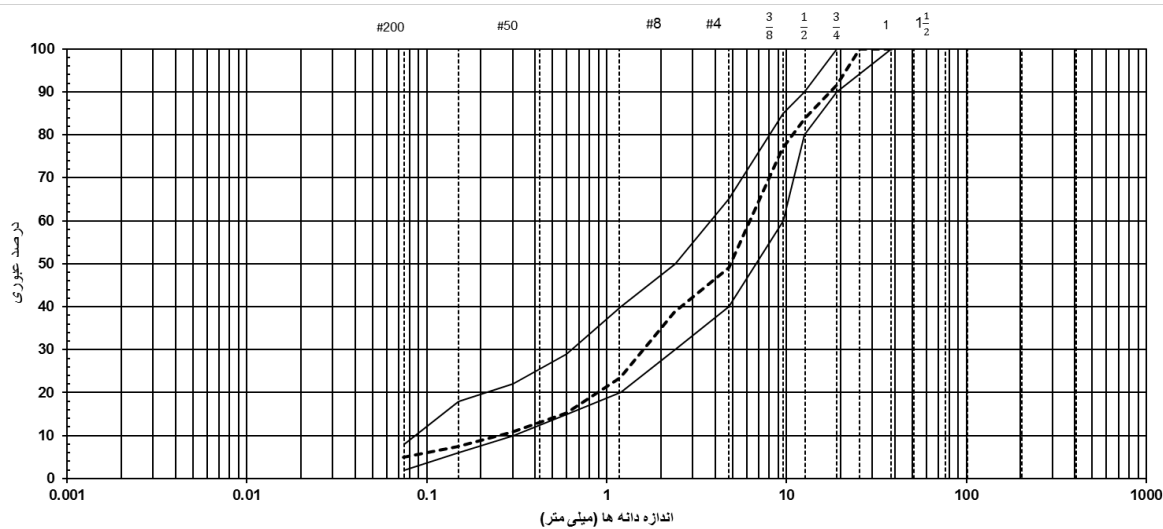
در این مقاله، به جهت آگاهی و شناخت بهتر مصالح سنگی آزمایش‌هایی مطابق استانداردهای موجود، انجام گرفت. سپس با استفاده از نتایج دانه‌بندی و مقدار رطوبت بهینه، طرح اختلاط نهایی تعیین گردید. پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی بر روی مصالح سنگی و دستیابی به طرح نهایی اختلاط، ۶ نمونه مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۵۰ میلی‌متر مطابق استاندارد ASTM C78 جهت آزمایش مقاومت خمشی و همچنین ۳۶ نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر ساخته شد. از چکش ارتعاشی ۱۱ کیلوپی رونی‌کس^۱ با توان ۱۸۰۰ وات و تعداد ۱۰۰۰ تا ۱۹۰۰ ضربه در دقیقه که در شکل (۱) برای متراکم سازی نمونه‌ها نشان داده شده است، استفاده گردید. آزمایش مقاومت فشاری در سن ۷ و ۱۴ و ۲۸ روزه و مقاومت کششی در سن ۷ و ۲۸ روزه و مقاومت خمشی در سن ۷ روزه انجام گرفت.



شکل ۱- متراکم سازی نمونه با استفاده از چکش ارتعاشی رونی‌کس

۱- مصالح سنگی

برای ساخت نمونه‌های مورد آزمایش از دانه‌بندی نهایی مطابق شکل (۲) استفاده شد.



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی

۲- سیمان

از سیمان تیپ دو استفاده شده است. سیمان مصرفی با مشخصات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۸ مطابقت کامل دارد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان مورد استفاده

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی		مشخصات شیمیایی	
		ترکیب شیمیایی (%)	
مقاومت فشاری (Mpa)	۳ روزه	۲۱/۴	SiO ₂
	۷ روزه	۴/۹۵	Al ₂ O ₃
	۲۸ روزه	۳/۹۱	Fe ₂ O ₃
وزن مخصوص (g/cm ³)	۲/۳	۶۳/۵	CaO
نرمی (cm ² /g)	۲۹۰۰	۲/۶	MgO
زمان گیرش اولیه (min)	۹۰	۰/۴	Na ₂ O
		۰/۵۵	K ₂ O
زمان گیرش نهایی (min)	۱۷۰	۱/۳	SO ₃
		۰/۹	(max)L.O.I
انبساط اتوکلاو (%)	۰/۱۵	۰/۲۵	(max)L.R

۳- الیاف شیشه

شرکت ایران الیاف مطابق شکل (۳) می‌باشد. مشخصات

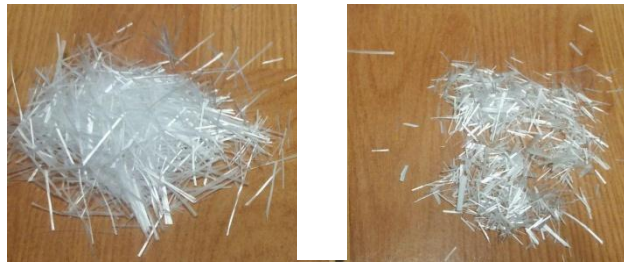
الیاف شیشه در جدول (۲) ارائه شده است.

الیاف به کار گرفته شده در این پژوهش از الیاف شیشه

تک‌رشته‌ای (سوزنی) با دو طول ۱۲ و ۲۴ میلی‌متر تولید

جدول ۲- مشخصات الیاف مصرفی

نوع الیاف	قطر (mm)	طول (mm)	مقاومت کششی (MPa)	وزن مخصوص (gr/cm ³)	جذب آب (%)	مدول الاستیسیته (GPa)
شیشه تک رشته‌ای	۰/۲	۱۲	۲۰۰۰	۲/۶	۰/۳	۷۲
شیشه تک رشته‌ای	۰/۲	۲۴	۲۰۰۰	۲/۶	۰/۳	۷۲

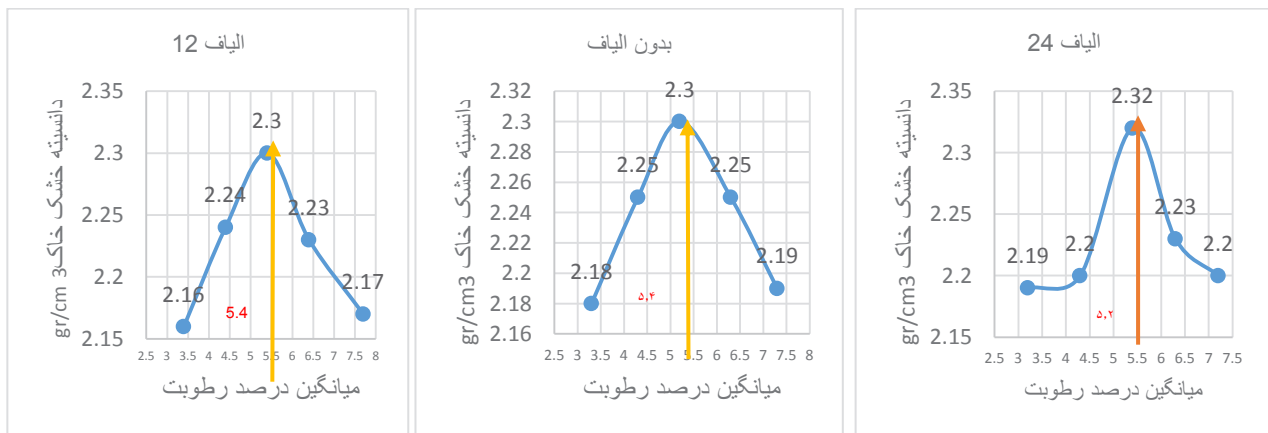


شکل ۳- الیاف شیشه با دو طول ۱۲-۲۴ میلی‌متر

طرح اختلاط

تغییرات رطوبت نیز از ۳٪ تا ۷٪ وزن مصالح سنگی خشک با اختلاف ۱٪ در نظر گرفته شد. مقدار سیمان ثابت و برابر با ۱۴٪ وزن مصالح سنگی خشک (معادل عیار ۳۵۰ کیلوگرم) انتخاب گردید. نمودار رطوبت بهینه در شکل (۴) نشان داده شده است. طبق نمودار مقدار رطوبت بهینه ۳/۵٪ تعیین گردید.

در این پژوهش از روش تراکم بیشینه جهت به دست آوردن مقادیر نسبت‌های اختلاط استفاده شد. برای به دست آوردن مقدار چگالی مخلوط در هر یک از درصدهای رطوبت، ۳ عدد نمونه با چکش پروکتور^۱ متراکم گردید.



شکل ۴- منحنی تعیین رطوبت بهینه

مقادیر مصالح بکار رفته در ساخت نمونه شاهد طبق جدول (۳) می‌باشد.

جدول ۳- ترکیب مصالح طرح شاهد در یک مترمکعب بتن

W/C	ریز دانه ۵۵٪ (kg)	درشت دانه ۴۵٪ (kg)		آب (kg)	سیمان (kg)
		نخودی	بادامی		
۰/۴۴	۱۰۵۹/۳	۵۲۰/۲	۳۴۶/۶۸	۱۵۴	۳۵۰

نتایج و بحث

۱- بتن تازه

آزمایش وزن مخصوص بتن تازه مطابق استاندارد ASTM C138 انجام می‌گیرد. این آزمایش به جهت تعیین وزن مخصوص بتن تازه بعد از تراکم در آزمایشگاه می‌باشد. بدین صورت که نمونه بتن را در ظرفی با حجم مشخص در ۳ لایه ریخته و مطابق استانداردهای مذکور بسته به نوع شرایط متراکم می‌گردد. مقدار وزن مخصوص بتن تازه از رابطه (۱) به دست می‌آید و در جدول (۵) ارائه شده است.

$$X = (W_1 - W_0) / V \quad (1)$$

W_1 = وزن پیمان به همراه بتن بر حسب کیلوگرم

W_0 = وزن پیمان بر حسب کیلوگرم

V = حجم پیمان بر حسب مترمکعب

X = وزن مخصوص بتن تازه بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

جدول ۵- نتایج وزن مخصوص بتن تازه

نوع نمونه	ترکیب	میانگین وزن مخصوص بتن تازه g/cm^3
مکعبی	pc	۲/۴۲۳
	CG-12	۲/۴۲۱
	CG-24	۲/۴۲۴
استوانه‌ای	pc	۲/۴۲۲
	CG-12	۲/۴۲۱
	CG-24	۲/۴۲۳

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به وزن مخصوص کمتر الیاف شیشه، الیاف حجم بیشتری را اشغال کرده و منجر به سبک‌تر شدن ناچیز بتن می‌شود. تغییر طول الیاف اثر چندانی بر روند کاهش وزن ندارد و افزایش وزن نمونه‌ها می‌تواند ناشی از تراکم بهتر و فضای خالی کمتر در این طول باشد.

نام‌گذاری ترکیبات به نحوی انجام شد که به‌خوبی بیان‌کننده طول الیاف و درصد الیاف مورد استفاده باشد. برای نمونه شاهد غیر مسلح از PC و نمونه مسلح شده به الیاف شیشه CG A.B که در آن A طول الیاف به میلی‌متر و B، نشان‌دهنده درصد حجمی الیاف مورد استفاده در جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۴- نام‌گذاری ترکیبات

طول الیاف (mm)	درصد مورد استفاده (%)	نام‌گذاری ترکیبات
۰	٪۰	Pc
۱۲	٪۰/۵	۵/۰.٪۱۲CG-
۲۴	٪۰/۵	۵/۰.٪۲۴CG-

ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

ابتدا درشت‌دانه (نخودی و بادامی) به همراه یک‌چهارم آب به مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شود. سپس ریزدانه به مخلوط اضافه می‌گردد و به مدت ۲ دقیقه مخلوط و دوسوم سیمان به همراه یک‌دوم آب مصرفی در بتونیر اضافه می‌گردد و به مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شوند. سپس یک‌سوم باقی‌مانده سیمان به همراه باقی‌مانده آب مصرفی در بتونیر اضافه می‌گردد و به مدت ۵ دقیقه مخلوط می‌گردند. قابل به ذکر است که در انتها در ترکیبات حاوی الیاف، به‌صورت تدریجی الیاف به بتن اضافه می‌شود و به مدت ۵ دقیقه اختلاط صورت می‌گیرد تا ترکیب یکنواختی به دست آید. کل زمان اختلاط بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه انجام می‌شود. در شکل (۵) نحوه اختلاط نشان داده شده است.



شکل ۵- نحوه اختلاط

۲- بتن سخت شده

۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری بر اساس استاندارد

۳۲۰۶ استاندارد ملی ایران

در این استاندارد می‌توان آزمون‌های استوانه‌ای یا مکعبی بکار برد. آزمون‌های استوانه‌ای استاندارد به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر و آزمون‌های مکعبی استاندارد دارای اضلاع ۱۵۰ میلی‌متری می‌باشد. تهیه نمونه‌ها منطبق بر ضوابط ۳۲۰۲ ملی ایران انجام می‌گیرد [۱۱،۱۰].

در این مطالعه از جک نیمه‌خودکار با ظرفیت ۳۰۰ تن آزمایشگاه مکانیک خاک مشهد استفاده گردید. در آزمایش آزمون‌های استوانه‌ای یا مکعبی، سطح صفحه‌های بارگذاری ترجیحاً باید بزرگ‌تر یا حداقل مساوی سطح باربر آزمون‌ها

باشد. در صورت استفاده از صفحات کمکی حداقل ضخامت آن‌ها باید ۲۵ میلی‌متر بوده و عملکردی مشابه صفحات اصلی دستگاه داشته باشد. این صفحات در زیر و یا روی آزمون‌ها قرار می‌گیرد.

نمونه‌های فشاری عمل‌آوری شده را با توجه به سن موردنظر از وان آب‌آهک اشباع‌شده خارج می‌گردند و پس از خشک شدن سطح، نمونه تحت آزمایش قرار می‌گیرد. نیرو باید به‌طور یکنواخت و ممتد و بدون ضربه اعمال شود [۱۰]. تنش وارده بر نمونه‌های فشاری با نرخ ۶۸۰ کیلو پاسکال در ثانیه اعمال شد. نتایج آزمایش مقاومت فشاری در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج مقاومت فشاری

درصد تغییرات مقاومت نسبت به شاهد			مقاومت فشاری (MPa)			توکب
۲۸روزه	۱۴روزه	۷روزه	۲۸روزه	۱۴روزه	۷روزه	
			۴۴/۲۹	۳۷/۲۲	۱۲/۲۰	PC1
						PC2
						PC3
۴۷/۰	۳/۵	۵	۲۹/۵۸	۱۷/۲۳	۰۷/۲۱	CG1-12
						CG2-12
						CG3-12
۱۶/۷	۲۱	۲۲/۵	۳۱/۵۵	۰۹/۲۷	۶۳/۲۴	CG1-24
						CG2-24
						CG3-24

بهبود و افزایش بیشتر مقاومت می‌شود. شکل (۶) نحوه گسیختگی نمونه‌ها را تحت فشار نشان می‌دهد.

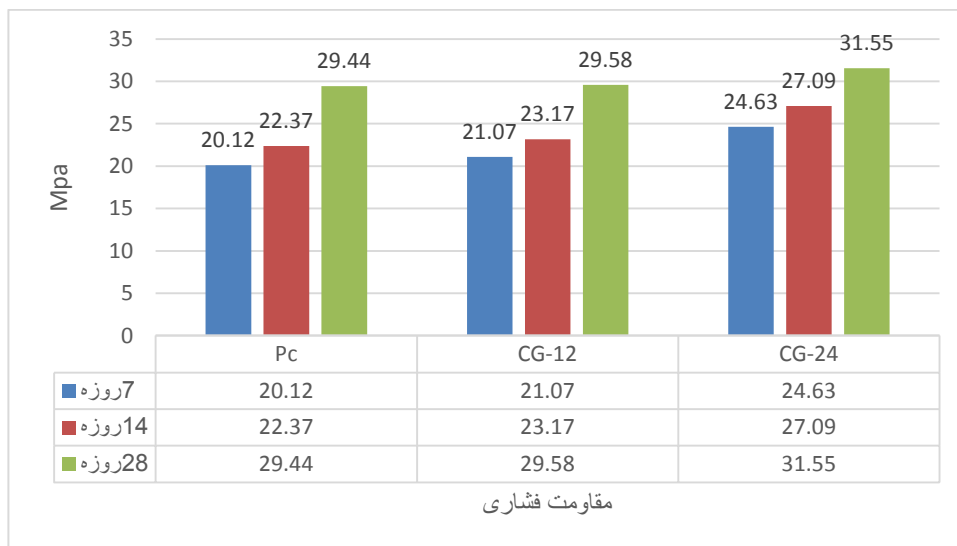
با توجه به جدول ۶ می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی افزودن الیاف شیشه منجر به افزایش ۰/۴۷ تا ۲۲/۵ درصدی مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد می‌شود. افزایش طول نیز منجر به



شکل ۶- نحوه گسیختگی نمونه‌ها تحت فشار

مشاهده می گردد با افزایش طول الیاف، ریزترک‌های بیشتری به هنگام گسیختگی ایجاد می‌گردد. با افزایش طول الیاف پیوستگی بین الیاف و بتن بیشتر گردیده و مانع متلاشی شدن بتن می‌شود. شکل (۷) روند مقاومت در نمونه‌ها با دو طول متفاوت را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد نمونه فاقد الیاف دارای شکست cone (شکست مخروطی) می‌باشد و در نمونه حاوی الیاف ۱۲ میلی متر نوع شکست shear می‌باشد که پس از شکست، به منظور بررسی سطح داخلی نمونه توسط چکش متلاشی گردید. نمونه حاوی الیاف ۲۴ میلی متر دارای شکست shear می‌باشد همان‌طور که



شکل ۷- روند تغییرات مقاومت فشاری

پاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی نمونه اعمال می‌شود و بیشترین بار اعمال‌شده در زمان گسیختگی ثبت می‌گردد. سپس مقاومت کششی دونیم شدن نمونه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$T = \frac{2p}{\pi ld} \quad (2)$$

p - بیشترین بار اعمال‌شده بر حسب (kN)

d - قطر نمونه بر حسب (cm)

l - طول نمونه بر حسب (cm)

T - مقاومت کششی دونیم شدن بر حسب (kPa)

در شکل (۸) نمونه‌های آزمایش مقاومت کششی مشاهده می‌گردد.

۲-۲- آزمایش مقاومت کششی به روش دونیم شدن

بر اساس استاندارد ASTM C496-90

در این آزمایش با اعمال نیروی فشاری قطری روی نمونه استوانه‌ای با ابعاد 150×300 میلی‌متر در سن ۷ روزه که به صورت افقی بین دو صفحه دستگاه آزمایش قرار گرفته، مقاومت کششی به روش دونیم شدن تعیین می‌گردد [۱۲].

نمونه‌های مورد آزمایش باید از نظر قالب‌گیری و نگهداری و اندازه، مطابق با استاندارد ASTM C192 باشد. قطر و ارتفاع نمونه‌ها اندازه‌گیری و تا زمان انجام آزمایش تا حد امکان مرطوب نگهداری شود و سپس مطابق شکل (۸) در محفظه کششی قرار داده می‌شود. بارگذاری به‌طور یکنواخت با سرعتی در محدوده ۶۸۹ تا ۱۳۸۰ کیلو



نمونه با الیاف ۱۲ میلی متر نمونه بدون الیاف نمونه با الیاف ۲۴ میلی متر

شکل ۸- نمونه‌های آزمایش مقاومت کششی

همانطور که مشاهده می‌گردد در نمونه فاقد الیاف بعداز بارگذاری جداسدگی در نمونه قابل رویت می‌باشد و عمق و عرض ترک در این نمونه بیشتر از نمونه حاوی الیاف می‌باشد. در نمونه حاوی الیاف ۱۲ میلی متر و ۲۴ میلی متر ریز ترک‌هایی روی سطح نمونه ظاهر گردید که بیانگر آن است که نمونه در مقابل ترک از خود عکس‌العمل نشان

داده است تا عرض ترک در هنگام دو نیمه شدن کاهش یابد. لازم به ذکر است که بعد از شکست نمونه توسط چکش برای بررسی سطح داخلی متلاشی گردید. در جدول (۷) نتایج مربوط به مقاومت کششی ارائه شده است.

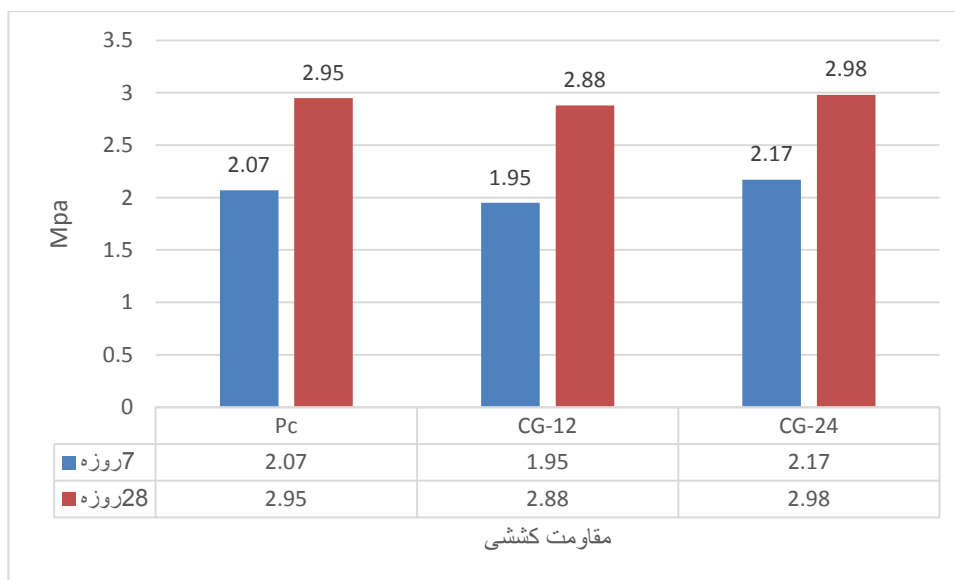
جدول ۷- نتایج مربوط به مقاومت کششی

درصد تغییرات مقاومت نسبت به شاهد		مقاومت کششی (MPa)		ترکیب
		۲۸ روزه	۷ روزه	
				PC4
				PC5
				PC6
				CG-4-12
				CG-5-12
				CG-6-12
				CG-4-24
				CG-5-24
				CG-6-24

تشخیص داد که نقاط مختلف نمونه‌ها چگونه ساختاری دارند، علت این پدیده می‌تواند ناشی از توزیع و جهت قرارگیری الیاف در راستای شکاف و یا نحوه تراکم نمونه دانست.

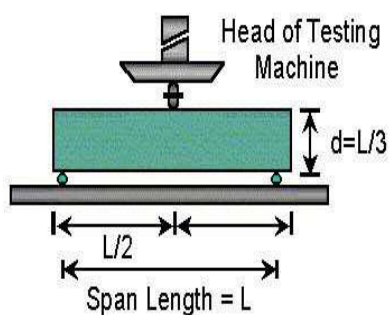
روند تغییرات مقاومت کششی در شکل (۹) ارائه شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود، با افزایش طول الیاف از ۱۲ به ۲۴ میلی‌متر، عملکرد کششی نسبت به بتن شاهد و همچنین نسبت به بتن حاوی الیاف ۱۲ میلی‌متر افزایش می‌یابد. کاهش مقاومت کششی در نمونه الیافی ۱۲ میلی نسبت به نمونه شاهد با توجه به اینکه بتن ماده ناهمگن است و نمی‌توان به‌طور دقیق



شکل ۹- روند تغییرات مقاومت کششی

نحوه آزمایش بدین صورت است که نمونه به صورت پیوسته و بدون شوک تا نقطه شکست با نرخ ثابت بارگذاری ۴۰۰ کیلوگرم بر دقیقه و نرخ افزایش تنش 0.04 ± 0.06 نیوتن بر میلی متر مورد آزمایش قرار می گیرد [۱۳]. این آزمایش تحت نرخ افزایش تنش 0.04 با دستگاه zwick roell group مطابق استاندارد شماره ASTM C78 انجام گرفت. در شکل (۱۰) نحوه قرارگیری نمونه ارائه شده است.



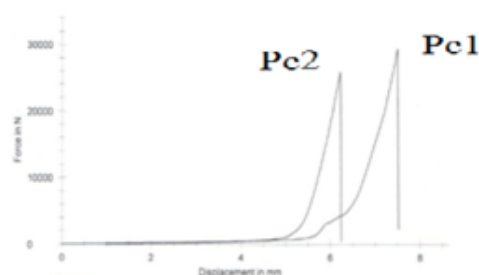
شکل ۱۰- آزمایش بار نقطه ای مرکزی



در شکل (۱۱) نمودار نیرو-جابجایی نمونه های فاقد الیاف ارائه شده است.



شکل ۱۲- نحوه گسیختگی آنی نمونه فاقد الیاف (PC)



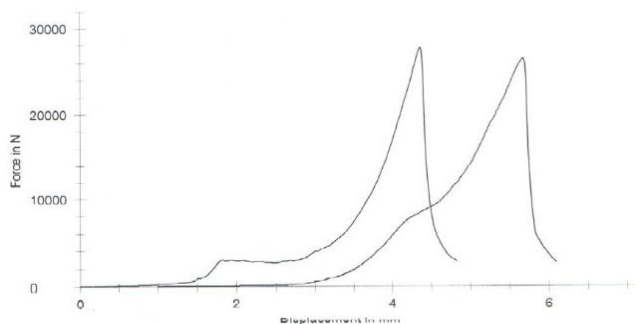
شکل ۱۱- نمودار نیرو-جابجایی نمونه فاقد الیاف (PC)

ناحیه الاستیسیته، شاهد شیب ملایم ۴۵ درجه می‌باشیم و پس از جابه‌جایی بسیار کوچکی در حدود ۰/۱ میلی‌متر دوباره ناحیه الاستیسیته با شیب‌خط بیشتری شروع شده است و تا F_{max} ادامه پیدا کرده است. در این نمونه‌ها مطابق شکل (۱۲) به دلیل عدم وجود الیاف گسیختگی نمونه به صورت آنی اتفاق می‌افتد. در شکل ۱۲ نمودار نیرو- جابه‌جایی نمونه‌های دارای الیاف ۱۲ میلی متر ارائه شده است.



شکل ۱۴- نحوه ترک خوردگی نمونه حاوی الیاف ۱۲ میلی متر

با مشاهده نمودارهای نیرو جابه‌جایی درمی‌یابیم که نمونه‌های فاقد الیاف در یک‌سوم اول ناحیه الاستیسیته مدول الاستیسیته ای تقریباً برابر با یک دارند و در یک سوم دوم همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزایش شیب مدول الاستیسیته افزایش یافته است. بالاترین نقطه در نمودار مقاومت نهایی نمونه را نشان می‌دهد. در نمونه PCI مدت زمان بیشتری طول می‌کشد که به F_{max} برسد به عبارتی جابه‌جایی بیشتری رخ داده است. در ناحیه الاستیسیته شاهد ۲ مرحله (Step) بوده‌ایم که مرحله اول



شکل ۱۳- نمودار نیرو-جابه‌جایی نمونه دارای الیاف ۱۲ میلی متر CG-12

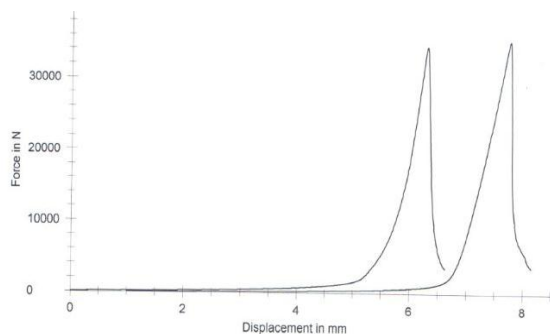
نشان داده است و کمی جابه‌جایی در ناحیه پلاستیک دارد و مطابق شکل (۱۴) بعد از اینکه به مقاومت نهایی خود رسید حالت خود را حفظ کرده و به دو تیکه مجزا تبدیل نمی‌گردد.

در شکل (۱۵) نمودار نیرو- جابه‌جایی نمونه‌های دارای الیاف ۲۴ میلی متر ارائه شده است.



شکل ۱۶- نحوه ترک خوردگی نمونه حاوی الیاف ۲۴ میلی متر

از مقایسه نمودارهای نیرو- جابه‌جایی مشاهده می‌گردد که نمونه های حاوی الیاف مقدار جابه‌جایی بیشتری دارد تا به مقاومت نهایی برسد. در ناحیه پلاستیک پس از اینکه نیرو به میزان ۸۰٪ F_{max} کاهش پیدا کرده است شاهد کشیدگی اندکی در انتهای نمودار می‌باشیم که نشان‌دهنده آن است که بتن الیافی در ناحیه پلاستیک مقاومت بیشتری از خود



شکل ۱۵- نمودار نیرو-جابه‌جایی نمونه دارای الیاف ۲۴ میلی متر CG-24

طول الیاف بیشتر شود جابه‌جایی در ناحیه الاستیک کمتر خواهد بود. در این نمونه‌ها هم نیز مشاهده می‌گردد که

از مقایسه نمودارهای نیرو- جابه‌جایی مشاهده می‌شود که طول الیاف تأثیر بسزایی در مقاومت خمشی دارد و هرچه

نتایج مقاومت خمشی در جدول (۸) ارائه شده است. همچنین روند مقاومت خمشی در شکل (۱۷) ارائه گردید.

جدول ۸- نتایج مقاومت خمشی

درصد تغییرات مقاومت نسبت به شاهد	مقاومت خمشی (MPa)	ترکیب
۷روزه	۷روزه	
۰	۵/۵۳	PC
		PC
۲/۱۶-	۵/۴۱	CG-12
		CG-12
۲۷	۶/۹۹	CG-24
		CG-24

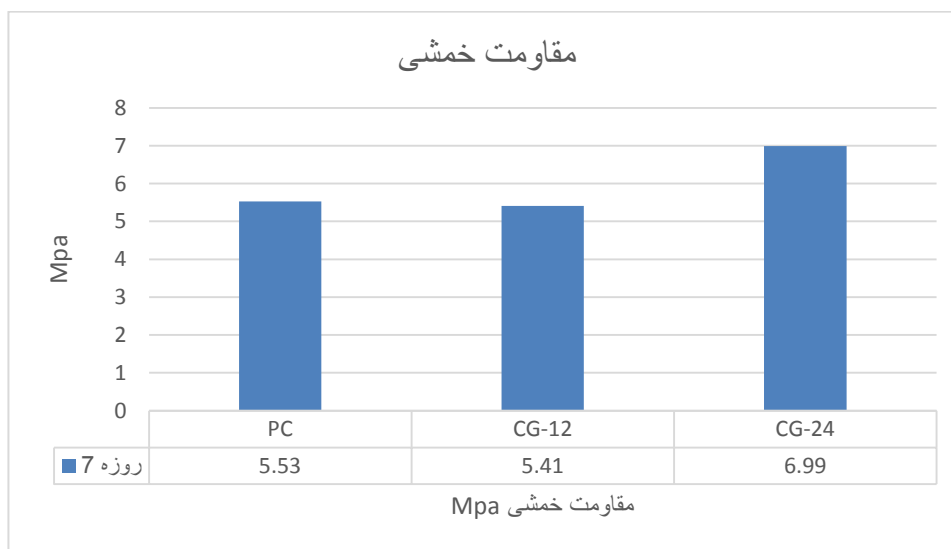
نمونه در ناحیه پلاستیک پس از اینکه نیرو به میزان ۸۰٪ F_{max} کاهش پیدا کرده است شاهد کشیدگی اندکی در انتهای نمودار می‌باشیم که نشان‌دهنده آن است که بتن ییافی در ناحیه پلاستیک مقاومت بیشتری از خود نشان داده است و کمی جابه‌جایی در ناحیه پلاستیک دارد و بتن کمی شکل پذیر تر است. در شکل (۱۶) نحوه ترک خوردگی بعد از آزمایش خمشی ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با محدود و کنترل ترک‌ها، نمونه‌ها به طور کامل به تکه‌های مجزا تبدیل نمی‌شوند.

محاسبه مقاومت خمشی

رابطه (۳) برای تخمین مقاومت خمشی استفاده می‌گردد:

$$MR = \frac{3pl}{2bd^2} \quad (3)$$

که در آن MR مقاومت خمشی، p بار اعمالی l طول دهانه، b عرض میانگین نمونه، d عمق میانگین نمونه می‌باشد.



شکل ۱۷- روند تغییرات مقاومت خمشی

نتیجه‌گیری:

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که:

۱- وزن مخصوص بتن تازه با افزودن الیاف به مقدار ناچیز کاهش پیدا می‌یابد.

۲- الیاف با پل زدن و ایجاد پیوستگی بیشتر بین مصالح سنگی، گسیختگی بتن را به مقدار قابل توجهی به تعویق انداخته و بتن حالت خمیری تری پیدا می‌کند و دچار گسیختگی آنی نمی‌گردد.

۳- افزودن الیاف در نمونه‌های الیافی ۱۲ میلی‌متری باعث کاهش مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد می‌گردد که

با توجه به اینکه بتن ماده ناهمگن است و نمی‌توان به‌طور دقیق تشخیص داد که نقاط مختلف نمونه‌ها چگونه ساختاری دارند، علت این پدیده می‌تواند ناشی از توزیع و جهت قرارگیری الیاف در راستای شکاف و یا نحوه تراکم نمونه دانست. اما با افزایش طول الیاف، ثبات و پیوستگی بین الیاف و بتن بیشتر گردیده و مانع متلاشی شدن بتن می‌شود.

۴- افزودن الیاف شیشه منجر به افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد می‌شود.

۵- با مقایسه کلی از نمودارهای نیرو-جابجایی می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های فاقد الیاف دچار گسیختگی آنی (لحظه‌ای) می‌گردد و در نمونه‌های حاوی الیاف ۲۴ میلی‌متر پدیده پل زدگی به مقدار کمی مشهود می‌باشد و نمونه نسبت به بتن شاهد و بتن الیافی با طول ۱۲ میلی‌متر مقداری شکل‌پذیرتر است و با محدود و کنترل کردن ترک‌ها، مدت‌زمان لازم جهت رسیدن به حداکثر بار افزایش می‌یابد و موجب می‌شود نمونه‌ها به‌طور کامل به تکه‌های مجزا تبدیل نگردد.

مراجع

- [۱] معاونت نظارت راهبردی وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸)؛ راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور؛ نشریه شماره ۳۵۴
- [۲] استیون اچ. کسماتکا؛ ویلیام سی. پانارس (۱۳۸۸)، "طراحی و کنترل مخلوط‌های بتن"، ترجمه علیرضا خالو و محمود ایراجیان، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف
- [۳] قامیلی هرمز و همکاران (۱۳۸۹)، "بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی بتن حاوی الیاف شیشه"، دومین کنفرانس ملی بتن ایران.
- [4] Bencardino F, Rizzuti L, Spadea G, Swamy RN. Implications of test methodology on post-cracking and fracture behavior of steel fiber Reinforced Concrete. *Compos Part B Eng*; 46:31-8, 2013.
- [5] K. Chandramouli, R.P. Srinivasa, N. Pannirselvam, S.T. Seshadri, P. Sravana, Strength properties of glass fibre concrete, *J. Eng. Appl. Sci.* 5 (4) (2010) 1–6.
- [6] S.T. Tassew, A.S. Lubell, Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete, *Construct. Build. Mater.* 51 (2014) 215–224.
- [7] Jiang, C., Fan, K., Wu, F. Chen, , D., (2014). " Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete.
- [8]. Li, V.C. Wang, Sh. and Wu, Ch., 2001, "Tensile Strain Hardening of PVECC", *ACI material journal*.
- [9] Mirza, F.A., Soroushian, P., 2002. Effects of alkali-resistant glass fiber reinforcement on crack and temperature resistance of lightweight concrete. *Cem. Concr. Compos.* 24, 223–227
- [۱۰] استاندارد ملی ایران ۳۲۰۶، "تعیین مقاومت فشاری آزمون‌ها"، موسسه استاندارد و تحقیقات ایران
- [۱۱] استاندارد ملی ایران ۳۲۰۲، "ابعاد، رو اداری و قابلیت کاربرد نمونه‌های آزمایشی بتن"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- [12] *Annual Book of ASTM Standards (2010), Concrete & Aggregates, Volume 04.02*