

مروری بر راهکارهای موثر در جلوگیری از پوسته شدن جداول بتنی پیش ساخته

احسان خسروی^۱، شهناز دانش^{۲*}، محمدرضا توکلی زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، Eh.Khosravi73@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، sdanesh@um.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

خرابی زودرس جداول بتنی معابر یکی از مشکلات زیرساختی شبکه راه های شهری است. که همه ساله منابع قابل ملاحظه ای صرف آن می شود. جداول بتنی بنا به عملکرد ماهیت خود در معرض خرابی های گوناگون با شدت های متفاوت می باشند که از جمله مهمترین این خرابی ها می توان به پوسته پوسته شدن اشاره کرد. در مطالعه مروری حاضر روند و اثرات موثر بر پوسته شدن جداول بتنی مورد بررسی قرار گرفته و با مطالعه مقالات مرتبط، این موضوع در دو بخش روند ساخت جداول بتنی و اثرات نمک پاشی زمستانه بیان شده است. در زمینه ساخت، عوامل متعددی نظیر کاربرد مواد حباب زاء، کاربرد مواد پوزولانی، نسبت آب به سیمان و دانه بندی بتن به عنوان عوامل موثر در بهبود دوام بتن معرفی و مورد ارزیابی قرار گرفته اند. در زمینه اثرات نمک پاشی، به بررسی تاثیر مخرب نمک بر بتن و سایر نتایج زیان آور آن پرداخته شده و مواد جایگزین نمک معرفی شده اند.

واژه های کلیدی: جدول بتنی، پوسته شدن، یخ زدایی، نمک پاشی زمستانه

۱- مقدمه

بتن یکی از محصولات پرکاربرد در سراسر دنیاست. آب، سیمان و سنگدانه مصالح اصلی ساخت بتن هستند. در دسترس و ارزان بودن مصالح اولیه بتن در محیط اطراف، سهولت در شکل دادن و رسیدن به شکل های مختلف توسط قالب های مناسب، امکان سازگار کردن مشخصات فنی بتن با بارگذاری های مکانیکی و محیطی، سبب شده است بتن کاربرد فراوانی در عرصه ساخت و ساز های شهری پیدا کند. از طرفی پیشرفت دانش و تکنولوژی باعث شده است طیف وسیعی از انواع بتن به بازار مصرف عرضه شود. یکی از انواع مختلف بتن، بتن پیش ساخته می باشد. این مفهوم برای اولین بار در سال ۱۸۸۶ در ایالت متحده آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. و به مرور زمان توسط محققین مختلف بسط و توسعه داده شد. در حال حاضر انواع مختلفی از بتن های پیش ساخته تولید و روانه بازار می شود. یکی از انواع پر کاربرد بتن های پیش ساخته، جدول های بتنی هستند که به طور گسترده ای در سطح شهرها مورد استفاده قرار می گیرند. این قطعات معمولاً به عنوان جدا کننده بین دومحیط مختلف استفاده می شوند. بیشترین کاربرد آنها در زمینه محوطه سازی پارک ها و فضای سبز، روسازی معابر، تعبیه زهکش یا ایجاد جوی آب و جدول کشی حاشیه خیابان ها و بولوار ها می باشد. جداول بتنی به دو روش عمده، سنتی (قالب باز - ویریه ای) و پرس (فشاری) ساخته می شوند [۱]. تولید جدول به روش پرس، به دو گونه پرس خشک^۱ و پرس تر^۲ انجام می شود. طول عمر بالا و سرعت اجرای جداول تولید شده به روش پرس، باعث شده است که کاربرد این نوع از جداول در مقایسه با جداول تولیدی به روش سنتی بیشتر باشد [۲].

¹ Dry pressed concrete kerb

² Wet pressed concrete kerb

در روش پرسی خشک، بتنی با اسلامپ صفر تولید شده و در قالب ریخته شده و با فشار متراکم می شود. یکی از مزایای روش فشاری خشک، سرعت اجرا و خروج قطعه از قالب بلافاصله پس از جای دهی و تراکم است که نیاز به تعداد زیاد قالب را مانع می گردد. در روش پرسی تر بتن با نسبت آب به سیمان بالا تولید، و در قالب ریخته و متراکم می گردد. سپس آب اضافی از سطوح، توسط صفحات جاذب جذب می شود. در ضمن خروج آب، بتن فشرده شده و در اثر خروج آب، فضاهای خالی ایجاد شده در اثر نسبت آب به سیمان اولیه بالا، تا حد امکان کم گردد. در میان روش های ذکر شده، روش پرسی تر به عنوان یکی از بهترین روش های تولید جداول بتنی پیش ساخته در جهان مطرح می باشد [۳]. همانند سایر فراورده های بتنی، جداول بتنی نیز تحت تاثیر عوامل مختلفی تخریب می شوند. مصالح نامرغوب در طرح اختلاط اولیه جداول بتنی، چرخه های یخ‌گشایی، در معرض قرار گرفتن با نمک های یخ زدا، آلودگی هوا و باران های اسیدی از عواملی هستند که بر روند تخریب جداول بتنی تاثیر گذارند. پوسته شدن، یکی از انواع مهم تخریب در جداول بتنی می باشد که در ایجاد و گسترش آن نه تنها نوع مصالح کاربردی در روند ساخت، بلکه چرخه های یخ‌گشایی و همچنین مواد شیمیایی به کار گرفته شده در فرایند ذوب برف و یخبندان مانند سدیم کلرید نیز بسیار موثر است.

در کشور های مختلف و در فصول سرد سال برای ذوب نمودن یخ سطح خیابان ها از روش های مختلفی نظیر نمک پاشی استفاده می شود. ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و در زمستان ها به روش سنتی یخ زدایی، یعنی با ریختن مخلوط شن و نمک جامد بر روی آسفالت بوسیله ماشین و بیل، سعی در ذوب نمودن سطوح یخ زده شهری و بین شهری می شود. چرخه های یخ‌گشایی نمک های پخش شده بر روی سطوح یخ زده علاوه بر تخریب سریع جدول های بتنی و تحمیل هزینه های زیرساختی گزاف به سازمان های متولی خدمات شهری، باعث تاثیرات زیست محیطی نامطلوب بر روی خاک و آب های سطحی و زیر زمینی می گردد. بررسی تحقیقات پیشینه نشان می دهد که آزمایشات و تحقیقات متعددی در ارتباط با اثرات نمک بر برخی از انواع بتن و فراورده های بتنی نظیر بتن معمولی، بتن مسلح و بتن غلطکی انجام شده است [۴-۵]. اما در ارتباط با جدول های بتنی به عنوان نوعی از بتن های پیش ساخته تحقیقات انجام نشده است. این در حالی است که جدول های بتنی به عنوان یکی از تولیدات پرکاربرد در سطح شهر ها مطرح است و در نتیجه برای جلوگیری از صرف هزینه های بالا برای ساخت، نصب و تعویض آنها نیاز به انجام کار های تحقیقاتی وسیع تری در جهت ارتقاء دوام و پایداری اینگونه جداول در مقابل سیکل های ذوب و یخ بندان، حملات سولفاتی، تبلور نمک ها و سایش وجود دارد. در مقاله حاضر به بررسی طرح اختلاط و روند ساخت جدول بتنی و هم چنین بررسی تاثیر ترکیب شن و نمک استفاده شده در نمک پاشی زمستانه به عنوان عوامل موثر در تخریب سریع و زود هنگام جدول های بتنی پرداخته شده و در هر زمینه راهکار مناسب برای جلوگیری از تخریب معرفی گردیده است.

۲- روند ساخت جداول بتنی:

به طور کلی دست یابی به ویژگی های مقاومتی و دوامی مطلوب در قطعات بتنی می تواند از طریق راهکارهای مختلفی در زمان ساخت و اجرا مانند کاربرد مصالح مناسب، طرح اختلاط صحیح و رعایت اصول فنی در ساخت، حمل، جای دهی و عمل آوری اعمال گردد. در ادامه به ارائه برخی از عوامل مهم در این زمینه پرداخته می شود.

۲-۱ کاربرد مواد حباب زا

ترکیبات حباب زا، از جمله متداول ترین مواد افزودنی هستند که در بتن های در معرض یخ‌گشایی مورد استفاده قرار می گیرند [۴-۵]. این موضوع در استانداردهای مختلفی نظیر $EN\ 12620$ و استاندارد تولید جداول بتنی ایران [۶] مورد تایید قرار گرفته است. در این استاندارد ها، در شرایط رویارویی با یخبندان و آب شدگی، ساخت جداول بتنی بدون حباب هوا توصیه نمی شود. حباب هوای وارد شده، آب انداختگی بتن را کاهش داده و این امر فضا را برای ورود آب و یخ زدگی کاهش می دهد. علاوه بر این حباب هوا باعث کاهش میزان نفوذ محلول نمک های یخ زدا به داخل بتن می شود [۸، ۴]. بتن غلطکی به عنوان رایج ترین نوع بتن در زمینه روسازی بتنی محسوب شده و در فصول سرد سال و در نقاط سرد سیر با نمک های یخ زدا

مجاورت دارد. و در نتیجه از این منظر مشابهت زیادی با جدول های بتنی دارد. کاربرد حباب هوا در بتن غلطکی توسط محققین مورد بررسی و تایید قرار گرفته است [۸-۹]. رمضانپور و همکاران [۴-۵] معتقدند که مقاومت لایه سطحی بتن، نقش مهمی را در پوسته شدن آن ایفا می کند. این محققین بیان داشتند که آب انداختگی عامل مهمی در کاهش مقاومت لایه سطحی بتن محسوب می گردد. شی و همکاران [۱۰] نیز وجود حباب هوا در بتن را باعث افزایش مقاومت بتن در مقابل پوسته شدن می دانند. ولی معتقدند که حباب هوا فقط تاثیر چرخه های یخ‌گشایی بر پوسته شدن بتن را کند کرده و تاثیری در جلوگیری از آن ندارد.

۲-۲ کاربرد مواد پوزولانی

در طول ۵ دهه گذشته، استفاده از مواد پوزولانی در سراسر دنیا افزایش چشم گیری داشته است. کاربرد انواع پوزولان ها به عنوان ماده جایگزین سیمان در بتن، علاوه بر کمک به کاهش مصرف سیمان و انرژی و کاهش گاز های گلخانه ای، خواص مکانیکی و دوام بتن را بهبود می بخشد [۴]. تحقیقاتی در زمینه استفاده از مواد پوزولانی و تاثیر این مواد بر بتن انجام شده است [۱۱]. ساخت نمونه های بتنی با استفاده از سیمان روباره ای^۱ و خاکستر بادی^۲ در مقایسه با نمونه های ساخته شده با سیمان پرتلند، بیانگر کیفیت بهتر این نمونه ها در مقابل اثرات مخرب ضدیخ های کلریدی نظیر کلرید های سدیم منیزیم و کلسیم بوده است. محمدی راد و همکاران [۱۲] بتن غلطکی را مورد ارزیابی قرار داده و با ساخت نمونه هایی حاوی خاکستر، به تاثیر بسزای این ماده در بهبود مقاومت بتن در مقابل چرخه های یخ‌گشایی اشاره کردند.

۲-۳ نسبت آب به سیمان

نسبت آب به سیمان در زمینه ساخت بتن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تحقیقات زیادی در زمینه دست یابی به نسبت بهینه این دو عامل برای انواع مختلف بتن انجام شده است [۱۵]. در برخی از شرایط، این نسبت بهینه در حین ساخت بتن رعایت نمی شود. به عنوان مثال وجود رطوبت در سنگدانه ها و عدم در نظر گرفتن آن در تنظیم و اصلاح آب بتن می تواند کارایی بتن را کاهش دهد. به همین جهت در زمان ساخت بتن بایستی رطوبت سنگدانه ها تعیین، و در محاسبه مقدار آب کل مورد نیاز منظور گردد [۶]. در ساخت جداول بتنی به روش پرسی خشک بتن با نسبت آب به سیمان پایین تهیه می شود. رعایت این موضوع به بهبود دوام جداول بتنی کمک می کند [۱۶]. در یک کار پژوهشی، اسکندری و همکاران [۱۷] جداول بتنی پرسی خشک را با نسبت های آب به سیمان متفاوت ساخته و در معرض سیکل های ذوب و انجماد قرار دادند. این محققین با اندازه گیری مقاومت فشاری، خمشی و جذب آب نمونه ها قبل و بعد از چرخه های یخ‌گشایی، نسبت آب به سیمان بهینه را عدد ۰.۲۷ بیان کردند.

بر خلاف روش پرسی خشک، در روش پرسی تر نسبت آب به سیمان بتن بالا می باشد. انجام عمل تراکم توسط دستگاه به کاهش نسبت آب به سیمان کمک کرده و آب اضافی از سطوح، توسط صفحات جاذب جذب می گردد. و در نتیجه در ضمن خروج آب و فشرده سازی، فضاهای خالی موجود در بتن تا حد امکان کاهش می یابد. با این روش، در نهایت نسبت آب به سیمان تا حد زیادی کاهش می یابد. بطوریکه پس از خروج آب و اعمال تراکم، خارج کردن جدول از قالب بدون اینکه دچار تغییر شکل یا فروپاشی شود امکان پذیر است.

۲-۴ دانه بندی بتن

سنگدانه ها یکی از مواد اصلی ساخت بتن بوده و به دو گروه ریزدانه و درشت دانه تقسیم می شوند. درشت دانه ها نظیر ماسه نخودی و ماسه بادامی و ریزدانه ها نظیر ماسه بادی و ماسه شسته می باشند. سنگ دانه ها باید تمیز و عاری از هرگونه مواد شیمیایی مؤثر بر هیدراتاسیون سیمان باشند. زیرا این مواد بر روی مقاومت سایشی بتن موثر بوده و این موضوع خصوصاً در مورد سنگ دانه های رودخانه ای باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد [۱۷]. نتایج بررسی تاثیر نوع دانه بندی بر نسبت آب به سیمان در ساخت جداول بتنی پرسی تر نشان می دهد که با افزایش بیشینه اندازه سنگدانه و درشت تر شدن بافت دانه

¹ Slag cement

² Fly ash

بندی در مخلوط نهایی، روند خروج آب در هنگام اعمال فشار و مکش تسریع شده و در نتیجه نسبت آب به سیمان نهایی کاهش می یابد [۳]. علاوه بر این امروزه در تحقیقات، موضوع کاربرد ضایعات بتنی به عنوان سنگدانه در ساخت بتن موضوع مطرحی است. لویز و همکاران [۱۸] به منظور بررسی اثر استفاده از ضایعات در جداول بتنی پرسی خشک و بلوکهای سقفی، از ضایعات ساختمانی شامل ضایعات بتن و ضایعات مصالح بنایی استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش درصد جایگزینی این ضایعات بجای سنگدانه، میزان جذب آب افزایش می یابد. و این امر کاهش مقاومت بتن در مقابل پوسته شدن را باعث می گردد. کاهش تخلخل از دید برخی از محققین بهترین روش برای مقابله با پوسته شده بتن می باشد [۱۹]. واضح است که دانه بندی ریزتر باعث کاهش تخلخل شده و مقاومت در مقابل پوسته شدن را افزایش می دهد.

۳- کاربرد مواد مختلف در یخ زدایی زمستانه

در اکثر کشور های واقع شده در نواحی با آب و هوای سرد، عملیات کنترل برف و یخ برای حفظ ایمنی راه ها و بهبود شرایط رانندگی لازم می باشد. در این مناطق بسته به شرایط موجود یکی از دو روش یخ زدایی^۱ و جلوگیری از ایجاد لایه برف و یخ^۲ استفاده می شود [۲۰].

۱- روش یخ زدایی

در این روش، هدف از بین بردن لایه برف و یخ ایجاد شده بر سطح راه ها و معابر است و اغلب، زمانی که برف به میزان 25 میلیمتر یا بیشتر متراکم شود و به سطح راه بچسبد، عملیات یخ زدایی آغاز می شود. روش یخ زدایی به سه شیوه انجام می شود.

۱-۱ یخ زدایی به وسیله ترکیب شن و نمک

شیوه اول یعنی شیوه سنتی همان شیوه ای است که اجرای آن در ایران نیز مرسوم است. در این شیوه، برف رومی با استفاده از ماشین آلات راهسازی و پاشیدن مخلوط شن و نمک بر روی سطوح یخ زده انجام می شود. در این روش، نمک جامد و شن و ماسه به صورت فله ای و انبوه در کامیون شن پاش ریخته شده و به تدریج توسط کارگران با بیل بر روی سطح معابر پخش می شود. کلرید سدیم^۳ ماده کاربردی در این روش است. از اوایل قرن نوزدهم از این ماده، به عنوان یک ماده شیمیایی کنترل یخ بر روی سطح راه ها استفاده شده است. نمک دارای دمای یوتکتیک منفی ۲۳ درجه سانتی گراد بوده و در دمای پایین خاصیت ذوب یخ بالایی دارد. [۱۰] فراوانی و در دسترس بودن نمک از یک طرف و کم هزینه بودن از طرف دیگر سبب شده است نمک کاربردی ترین ماده در این زمینه تلقی گردد. [۳۶] این ماده از سه طریق عمده استخراج از معادن نمک، تبخیر آب دریا (نمک خورشیدی) و تزریق آب به لایه های نمکی زیر زمینی که موجب انحلال نمک می شود، تولید می شود [۲۴]. مزیت اصلی نمک که کاربرد آن را افزایش داده است قیمت پایین آن است. مشکلات زیست محیطی و معایب مربوط به خوردگی عرشه پل ها و روسازی های بتنی از جمله معایب نمک می باشد [۲۳]. استفاده از نمک به عنوان ضد یخ و یخ زدا مقاومت بتن در مقابل سیکل های ذوب و یخ بندان را کاهش می دهد و باعث پوسته شدن رویه بتن می گردد. [۲۶]. علت این موضوع، فشار اسمزی ایجاد شده توسط نمک در حفرات بتن افزون بر فشار هیدرولیکی معمولی در بتن می باشد [۲۶, ۱۰].

از معایب این شیوه می توان به عدم توزیع یکنواخت نمک جامد و رانده شدن سریع آنها به حاشیه معابر، صدمه وارد کردن به روسازی آسفالتی، مشکلات جمع آوری شن پاشیده شده از روی سطح خیابان، تخریب وسایل نقلیه، ناکارآمدی نسبی آن در ممانعت از یخبندان و اثرات نا مطلوب زیست محیطی بر گیاهان، آبهای جاری وزیر زمینی اشاره کرد [۲] و [۲۱]. نتایج مطالعات کتابخانه ای نشان می دهد این روش سالهاست که در کشورهای پیشرفته منسوخ شده است. در این

¹ Deicing

² Inti-Icing

³ NaCl

کشور ها، حذف شن از ترکیب نمک را به دلیل تاثیرات مخرب آن بر کیفیت آب، هوا، پوشش گیاهی، خاک و هزینه های ناشی از پاکسازی آن از سطح جاده به عنوان یک امر الزامی در زمینه مدیریت زمستانی به حساب می آورند [۲۲ و ۲۳]. به علاوه بر این کاربرد شن و ماسه، به مرور منابع موجود را تهی می سازد. این موضوع در کشور هایی که با کمبود منابع روبه رو هستند به شدت تهدید کننده به حساب می آید. از منظر بهداشتی و اقتصادی نیز بسته به اندازه ذرات، پتانسیل و ریسک ایجاد بیماری های ریوی وجود دارد [۲۴]. از طرفی دیگر حجم نمک استفاده شده در این شیوه بسیار بالا می باشد. به عنوان مثال برآورد حجم نمک استفاده شده در سال های ۱۹۹۸-۱۹۹۹ در سوئد، حدود ۴ تن نمک در هر کیلومتر بوده است [۲۵]. حجم بالای نمک استفاده شده علاوه بر اثرات مخرب زیست محیطی بر پوشش گیاهی اطراف جاده ها، آب های سطحی و زیر زمینی و کیفیت خاک، باعث افزایش خوردگی وسایل نقلیه، سطوح جاده ای و تاسیسات بتنی نظیر پل ها و جداول بتنی می شود [۲۵، ۲۳، ۱۰، ۲۶]. برخی از محققین به بررسی تاثیر یون کلر موجود در نمک بر کیفیت آب های زیر زمینی پرداخته و به اثرات نامطلوب این یون بر آب های زیر زمینی موجود در مناطق سرد که احتمال بارش برف و یخبندان در آنها بالاست اشاره کرده اند [۲۷، ۲۸].

۲- ۱ کاربرد مواد جامد پیش مرطوب شده

شیوه دوم یخ زدایی، کاربرد مواد جامد از پیش مرطوب شده^۱ می باشد. در این روش، به منظور افزایش کارایی، مواد ضد یخ جامد (کلرید سدیم، کلرید منیزیم، کلرید کلسیم) را با استفاده از محلول های رقیقی مانند کلرید کلسیم و کلرید منیزیم مرطوب میکنند. این روش نسبت به روش سنتی دارای مزایایی می باشد که عمدتاً عبارتند از:

الف- افزایش رانندگی در زمینی که کاهش مصرف مواد شیمیایی

ب- افزایش ایمنی برای رانندگان و وسایل نقلیه موتوری

ج- چسبیدن بهتر مواد ضد یخ به سطوح یخ زده

کلرید منیزیم از جمله موادی است که در این روش کارایی دارد. کلرید منیزیم^۲ یکی از موادی که در این روش مورد استفاده قرار می گیرد. اگرچه این ماده به شکل جامد در دسترس است، در کنترل یخ از حالت مایع آن استفاده می شود. کمترین دمایی که کلرید منیزیم می تواند برف یا یخ را در آن دما ذوب کند، در حدود ۳۳- درجه سانتیگراد با میزان غلظت ۲۱،۶ درصد است [۲۴]. ماهیت کلریدی این ماده همانند سدیم کلرید باعث ایجاد فشار اسمزی در بتن می شود. این فشار افزون بر فشار هیدرولیکی معمولی است و تشدید پوسته شدن بتن را سبب می گردد [۱۰، ۲۶]. البته با در نظر گرفتن قیمت رقابتی و نقطه انجماد پایین، کلرید منیزیم برای مصارف یخ زدایی بسیار مناسب است [۳۷]. کلسیم کلرید^۳ نیز در این شیوه مورد استفاده قرار می گیرد. کلرید کلسیم بعنوان یک یخ زدای صنعتی تا دمای ۲۰- درجه سانتی گراد موثر می باشد. کلسیم کلرید یک نمک گرمازا است. لازم به ذکر است که این ماده سریعتر از سایر یخ زدهای معمول عمل می کند، ولی رطوبت را حتی پس از ذوب نمودن یخ از هوا گرفته و باعث مرطوب نگاه داشتن سنگفرش معابر شده و احتمال لغزندگی را افزایش می دهد [۲۹ و ۳۹]. این ماده نسبت به نمک توانایی جذب رطوبت بیشتری داشته و ماندگاری آن بر روی سطوح جاده بیشتر است. برخی از محققین، در مقایسه کلسیم کلرید با منیزیم کلرید و سدیم کلرید مدعی تاثیر مخرب این ماده نسبت به منیزیم کلرید و سدیم کلرید شدند [۱۱]. ماهیت کلریدی موجود در کلسیم کلرید همانند نمک و منیزیم کلرید باعث ایجاد فشار اسمزی در بتن می شود. این فشار متعاقباً باعث تشدید پوسته شدن بتن می شود [۱۰، ۲۶].

¹ Pre-Wetting

² MgCl₂

³ CaCl₂

۳- ۱ کاربرد مواد یخ زدا مایع

روش سوم یخ زدایی، استفاده از مواد ضدیخ مایع می باشد. در این روش، از محلول های مختلف نظیر کلرید سدیم، کلرید منیزیم و کلرید کلسیم جهت یخ زدایی استفاده می شود. و با استفاده از دستگاه های پخش کننده، این مواد بر سطوح معابر یخ زده پاشیده می شود [۲۹]. از مزایای این روش می توان به کاهش مواد مصرفی اشاره کرد. معایب این روش مربوط به ماهیت مواد کلریدی می باشد که در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفت.

۲- جلوگیری از یخ زدگی معابر

در سال های اخیر تعدادی از آژانس های بزرگراهی در ایالت متحده آمریکا، مدعی شده اند اگر بجای پاشیدن نمک بعد از بارش برف و یخبندان، از تکنیک های جلوگیری از یخ زدگی استفاده کنند حجم نمک مورد استفاده به مراتب کمتر خواهد شد [۳۰]. کاربرد ضدیخ به معنای اقدام پیش گیرانه قبل از فرارسیدن آب وهوای سرد، طوفان و یخبندان انجام می پذیرد. و هدف آن ممانعت از شکل گیری لایه یخ در سطح جاده است [۳۱]. بدیهی است که موفقیت آمیز بودن طرح استفاده از مواد ضد یخ وابسته به، پیش بینی های دقیق وضع هوا و زمان بندی دقیق و قضاوت خوب در مورد اینکه چه زمانی و در چه مکانی اقدامات باید شروع شود، می باشد [۳۲،۳۳]. این شیوه برای اولین بار در سال ۱۹۷۶ در فنلاند مورد استفاده قرار گرفت. و در حال حاضر استفاده از این ماده در کشور های جهان نظیر آمریکا، نروژ، فنلاند، ژاپن بسیار رایج است [۲۹،۳۳،۳۴]. روش مذکور نسبت به روش سنتی پخش ترکیب شن و نمک علاوه بر کاهش مقدار مواد یخ زدا مورد استفاده، کاهش تصادفات ناشی از یخبندان و کاهش اثرات زیست محیطی سبب کاهش مصرف شن و ماسه بر روی سطوح روسازی جاده، جلوگیری از انسداد زهکش ها، منجر به افزایش سطح سرویس جاده و صرفه جویی در هزینه ها می شود [۳۲،۲۹،۲۳]. در این روش علاوه بر مواد کلریدی مواد استاتی نیز مورد استفاده قرار می گیرند. کلسیم منیزیم استات^۱ یکی از این مواد است. مشکلات خوردگی ایجاد شده در وسایل نقلیه، عرشه پل ها و جداول بتنی حاشیه خیابان ها از یک طرف و تاثیرات زیست محیطی نامطلوب نمک بر آب های سطحی و زیر زمینی، خاک و گیاهان سبب گردید آزمایشاتی در زمینه یافتن ماده ای به عنوان جایگزین نمک توسط سازمان بزرگراه های ایالت متحده آمریکا انجام گردد، این محققین توانستند ماده کلسیم منیزیم استات را در سال ۱۹۸۰ به عنوان جایگزین، برای کاهش اثرات تخریبی سدیم کلرید^۲ معرفی کنند [۴۰-۴۱]. این ماده در پیشگیری از یخ زدایی بسیار موثر است، قابل تجزیه بیولوژیکی بوده و درجه خوردگی کمتری نسبت به مواد کلریدی دارد و از لحاظ زیست محیطی بی خطر می باشد [۲۳]. به عنوان ماده کاربردی در روش پیشگیری از یخ زدگی استفاده می شود [۴۲،۱۰]. قیمت تمام شده نهایی این ماده بسیار بالا بوده و این امر کاربرد وسیع آن را با مشکل مواجه می سازد [۲۳]. در مورد تاثیر این ماده بر پوسته شدن بتن، محققین مطلبی منتشر نکرده اند. پتاسیم استات^۳ ماده کاربردی دیگری است که در این روش استفاده می شود. این ماده از واکنش شیمیایی اسید استیک با کربنات پتاسیم تولید می شود. منابع اسید استیک مشابه منابعی هستند که از آنها استات منیزیم تولید می شود. استات پتاسیم ماده ای است سفیدرنگ، کریستالی و پودری شکل که در آب حل شده و دارای طعم نمک است. این ماده در آب و الکل حل می شود و محلول های حاصل از آن دارای خاصیت قلیایی هستند [۲۴]. این ماده در پیشگیری از یخ زدایی بسیار موثر بوده، درجه خوردگی کمتری نسبت به مواد کلریدی دارد و از لحاظ زیست محیطی بی خطر می باشد [۲۳].

¹ CMA

² NaCl

³ KAc

عیب این ماده قیمت بالای آن است [۲۳]. و سبب شده است کاربرد این ماده فقط در جلوگیری از یخ زدگی باند فرودگاه ها و عرشه پل ها استفاده شود [۲۹]. کاهش ناچیز مقاومت در مقابل پوسته شدن در بتن در معرض این ماده به عنوان یخ زدا مورد تایید برخی محققین قرار گرفته است [۱۰، ۴۳].

به طور کلی در سال های اخیر، روش های پیشگیری از یخ زدگی و کاربرد مواد ضد یخ مرطوب، کاربرد وسیعی را در بزرگراه آمریکای شمالی پیدا کرده اند [۲۹، ۳۵]. نتایج تحقیقات شی و همکاران [۳۵] نشان میدهد که استفاده از این روش ها در مقایسه با روش سنتی، مقدار استفاده از مواد شیمیایی را کاهش داده و با بهبود اصطکاک جاده ها به کاهش تصادفات کمک می کند.

۴ - نتیجه گیری

در این کار پژوهشی دو عامل روند ساخت جداول بتنی و یخ زدایی بوسیله مخلوط شن و نمک به عنوان دو عامل اساسی در تخریب زود هنگام جداول بتنی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت همانطور که بحث شد چرخه های یخ گشایی نمک های پخش شده نظیر سدیم کلرید بر روی سطوح یخ زده و مجاورت آنها با جدول های بتنی سطح شهر باعث شده است جداول بتنی به مرور زمان مقاومت خود در مقابل شرایط محیطی را از دست داده و تخریب شوند. از طرفی می توان با انجام تغییراتی در طرح اختلاط و روند ساخت جداول بتنی مقاومت این بلوک های پر کاربرد در سطح شهر را در مقابل چرخه های یخ گشایی و سایر عوامل محیطی بالا برد. که این امر مستلزم همکاری ارگان های مربوطه مخصوصا شرکت های سازنده جدول های بتنی می باشد. انجام موارد ذیل در جهت بهبود کیفیت جداول بتنی و مقاومت آنها در مقابل شرایط محیطی توصیه می شود.

- مصالح استفاده شده از درجه اهمیت بالایی برخوردار هستند. استفاده از مصالح مرطوب باعث افزایش نسبت آب به سیمان می شود. حال آنکه نسبت آب به سیمان خود از پارامتر های مهم در حفظ دوام جداول بتنی بوده و کنترل آن در محدوده تعیین شده ضروری می باشد.
 - استفاده از مواد حباب زا به دلیل کاهش آب انداختگی بتن و جلوگیری از نفوذ نمک در حفظ دوام و پایداری جدول بتنی موثر می باشد.
 - ریز دانه بودن دانه بندی بتن تاثیر مهمی بر پر شدن خلل و فرج بتن داشته و مقاومت بالایی در مقابل نفوذ نمک در یخ گشایی زمستانه دارد.
 - پخش مخلوط شن و نمک علاوه بر تاثیرات مخرب زیست محیطی تاثیر بالایی بر تخریب جداول بتنی دارد. روش های پیش مرطوب سازی و جلوگیری از ایجاد لایه برف و یخ در این زمینه پیشنهاد شده است. این روش ها علاوه بر کاهش مقدار ماده شیمیایی اثرات تخریبی کمتری داشته و اقتصادی هستند.
- جایگزینی نمک با موادی نظیر منیزیم کلرید و مواد استاتی نظیر کلیسم منیزیم استات و پتاسیم استات در کاهش اثرات خوردگی نمک موثر است. قیمت بالای مواد استاتی کاربرد این مواد را محدود کرده است. با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی و مشکلات زیست محیطی میتوان منیزیم کلرید را به عنوان ترکیب بهینه معرفی کرد.

مراجع

- [1] Eskandari-Naddaf, Hamid, and Mohammad Azimi-Pour. "Performance evaluation of dry-pressed concrete curbs with variable cement grades by using Taguchi method." *Ain Shams Engineering Journal* (2016).
- [2] Dowson, Allan J. "Back-to-Basics-Measuring the Progress of Understanding of Over 35 Years of the Use of Concrete Block Paving in the UK." *9th International Conference on Concrete Block Paving*. Buenos Aires, Argentina. 2009

[3] پیروی، م.، لباف زاده، محمد صالح. (۱۳۹۶) بررسی اثر استفاده از روباره مس ضایعاتی بر خواص مکانیکی جداول پیش ساخته بتنی تولید شده با فناوری پرسی تر. *مهندسی عمران*.

[4] رمضانپور علی اکبر، جعفری ندوشن محسن، پیدایش منصور. اثر حباب های هوا در پدیده پوسته پوسته شدن بتن های حاوی سیمان های مرکب در مجاورت نمک و در سرما.

[5] Ramezani pour, A. A., Nadooshan, M. J., Peydayesh, M., & Ramezani pour, A. M. (2014). Effect of entrained air voids on salt scaling resistance of concrete containing a new composite cement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 213-219

[6] استاندارد ملی ایران به شماره 12728؛ جداول بتنی پیش ساخته - ویژگی ها و روش های آزمون

[7] EN B, 1340. *Concrete kerb units—requirements and test methods*. London: British Standards Institution; 2003

[8] Ramezani pour, A. A., Mohammadi, A., Dehkordi, E. R., & Chenar, Q. B. (2017). Mechanical properties and durability of roller compacted concrete pavements in cold regions. *Construction and Building Materials*, 146, 260-266

[9] Ghahari, S. A., Mohammadi, A., & Ramezani pour, A. A. (2017). Performance assessment of natural pozzolan roller compacted concrete pavements. *Case studies in construction materials*, 7, 82-90

[10] Shi, X., Akin, M., Pan, T., Fay, L., Liu, Y., & Yang, Z. (2009). Deicer impacts on pavement materials: Introduction and recent developments. *Open Civil Engineering Journal*, 3, 16-27

[11] Verian, K. P., & Behnood, A. (2018). Effects of deicers on the performance of concrete pavements containing air-cooled blast furnace slag and supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 90, 27-41.

[12] Rad, S. A. M., & Modarres, A. (2017). Durability properties of non-air entrained roller compacted concrete pavement containing coal waste ash in presence of de-icing salts. *Cold Regions Science and Technology*, 137, 48-59

[13] ASTM, A. (2011). Standard specification for silica fume used in cementitious mixtures

[14] Asrar, N., Malik, A. U., Ahmad, S., & Mujahid, F. S. (1999). Corrosion protection performance of microsilica added concretes in NaCl and seawater environments. *Construction and Building Materials*, 13(4), 213-219.

[15] Farstad, Tom. "Comparing Frost-Salt Scaling of Field Exposed Concrete with Laboratory Testing According to SS 13 72 44." *Frost Resistance of Building Materials* (1991): 40-41

[16] فامیلی هرمز، تدین محسن و خوش سیما محمدرضا. اثر دمای ریختن بر برخی مشخصات مکانیکی و دوام جداول بتنی پرسی خشک (یادداشت پژوهشی).

[17] اسکندری، حمید و مرشدی تربتی (۱۳۹۶) بررسی دوام جداول پرسی خشک در برابر یخبندان و ذوب برای رده های مقاومتی سیمان. مهندسی عمران.

[18] Gayarre, F. L., López-Colina, C., Serrano, M. A., & López-Martínez, A. (2013). Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW. *Construction and Building Materials*, 40, 1193-1199.

[19] Litvan, G. G. (1975). Phase transitions of adsorbates: VI, effect of deicing agents on the freezing of cement paste. *Journal of the American Ceramic Society*, 58(1-2), 26-30.

[20] معاونت آموزش - تحقیقات و فناوری. (1388) راهنمای مدیریت نگهداری زمستانی راهها وزارت راه و ترابری، دفتر مطالعات و فناوری و ایمنی

[21] Leineweber, Daniel B. Production of Calcium Magnesium Acetate (CMA) from Dilute Aqueous Solutions of Acetic Acid. Diss. University of Wisconsin-Madison, 2002

[22] Staples, J. M., Gamradt, L., Stein, O., & Shi, X. (2004). Recommendations for winter traction materials management on roadways adjacent to bodies of water. Montana Department of Transportation.

- [23] Shi, X., Veneziano, D., Xie, N., & Gong, J. (2013). Use of chloride-based ice control products for sustainable winter maintenance: A balanced perspective. *Cold Regions Science and Technology*, 86, 104-112.
- [24] Fischel, M. (2001). Evaluation of selected deicers based on a review of the literature.
- [25] Bäckström, M., Karlsson, S., Bäckman, L., Folkesson, L., & Lind, B. (2004). Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Water research*, 38(3), 720-732.
- [26] Farnam, Y., Dick, S., Wiese, A., Davis, J., Bentz, D., & Weiss, J. (2015). The influence of calcium chloride deicing salt on phase changes and damage development in cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 64, 1-15.
- [27] Bester, M. L., Frind, E. O., Molson, J. W., & Rudolph, D. L. (2006). Numerical investigation of road salt impact on an urban wellfield. *Groundwater*, 44(2), 165-175.
- [28] Perera, N., Gharabaghi, B., & Howard, K. (2013). Groundwater chloride response in the Highland Creek watershed due to road salt application: A re-assessment after 20 years. *Journal of Hydrology*, 479, 159-168.
- [29] [29] معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران. 1385. طرح جامع یخ زدایی و پیشگیری از ایجاد لایه برف و یخ در معابر با محلول پاشی (Anti-Icing & Deicing)
- [30] Shi, X., & O'Keefe, K. (2005). Synthesis of Information on Anti-icing and Pre-wetting for Winter Highway Maintenance Practices in North America. Pacific Northwest Snowfighters in collaboration with the Washington State Department of Transportation.
- [31] Ketcham, S. A., Minsk, L. D., Blackburn, R. R., & Fleege, E. J. (1996). Manual of practice for an effective anti-icing program: a guide for highway winter maintenance personnel (No. FHWA-RD-95-202).
- [32] Blackburn, R. R. (2004). Snow and ice control: Guidelines for materials and methods (Vol. 526). Transportation Research Board
- [33] [33] فیضی، فرزانه و عبدالرضا کرباسی، (۱۳۹۳) جایگزینی مواد مناسب به جای نمک در یخ زدایی معابر شهر تهران و ارائه راهکارهای زیست محیطی، اولین همایش الکترونیکی یافته های نوین در محیط زیست و اکوسیستم های کشاورزی، بصورت الکترونیکی، پژوهشکده انرژی های نو و محیط زیست دانشگاه تهران
- [34] Raukola, T., Kuusela, R., Lappalainen, H., & Piirainen, A. (1993). Anti-icing activities in Finland: field tests with liquid and prewetted chemicals. *Transportation Research Record*, (1387).
- [35] O'Keefe, K., & Shi, X. (2006, January). Anti-icing and pre-wetting: improved methods for winter highway maintenance in North America. In *Proceedings of the Transportation Research Board Annual Meeting* (pp. 22-26).
- [36] Xie, Binglei, Ying Li, and Lei Jin. "Vehicle routing optimization for deicing salt spreading in winter highway maintenance." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 96 (2013): 945-953
- [37] Farnam, Y., Wiese, A., Bentz, D., Davis, J., & Weiss, J. (2015). Damage development in cementitious materials exposed to magnesium chloride deicing salt. *Construction and Building Materials*, 93, 384-392
- [38] Shaikh, F., Gul, B., Li, W. Q., Liu, X. J., & Khan, M. A. (2007). Effect of calcium and light on the germination of *Urochondra setulosa* under different salts. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8(1), 20-26.
- [39] Fay, Laura, and Xianming Shi. "Laboratory investigation of performance and impacts of snow and ice control chemicals for winter road service." *Journal of Cold Regions Engineering* 25.3 (2010): 89-114
- [40] Santagata, M. C., & Collepardi, M. (2000). The effect of CMA deicers on concrete properties. *Cement and Concrete Research*, 30(9), 1389-1394.
- [41] Menzies, Thomas R. "Overview of National Research Council study on the comparative costs of using rock salt and CMA for highway deicing." *Resources, conservation and recycling* 7.1-3 (1992): 43-50.



کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران

تهران – دانشگاه تهران

مرداد ماه 1397



- [42] Shi, X., Veneziano, D., Xie, N., & Gong, J. (2013). Use of chloride-based ice control products for sustainable winter maintenance: A balanced perspective. *Cold Regions Science and Technology*, 86, 104-112
- [43] Wang, K., Nelsen, D. E., & Nixon, W. A. (2006). Damaging effects of deicing chemicals on concrete materials. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 173-188