

توسعه روشها و ترکیبات یخ زدا و تاثیر آنها بر محیط زیست

سمیه حیدری¹، سید حسن موسوی¹، ایوب بازگیر*²

¹کرج- معاونت خدمات شهری شهرداری کرج، مرکز پژوهش و مطالعات راهبردی شورای اسلامی کرج

²تهران- دانشگاه شهید بهشتی- دانشکده علوم شیمی و نفت- گروه شیمی آلی (Email: a_bazgir@sbu.ac.ir)

چکیده

نمک های کلریدی و بخصوص کلرید سدیم به دلیل ارزان بودن و دسترسی آسان به عنوان ترکیبات ضد یخ و یخ زدا بطور گسترده در بسیاری از نقاط دنیا و همچنین ایران در فصول سرد سال در هنگام بارش برف و یخ زدن معابر استفاده می شود. متأسفانه این ترکیبات زیانهای جبران ناپذیری به سازه ها و زیرساختهای شهری و همچنین محیط زیست وارد می کنند. از این رو توجه به روش بهینه نگهداری معابر در زمستان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و استفاده از روشهای سنتی سالهاست که در بسیاری کشورها به صورت محدود مورد استفاده قرار می گیرد. صنایع همواره بدنبال راهی برای کم کردن استفاده از نمک های کلریدی در تولید ترکیبات یخ زدا بوده اند. آنها همواره در حال توسعه روش ها و پیشنهاد ترکیبات جدید جایگزین جهت کاهش استفاده از نمک های کلریدی و همچنین کاهش خسارات ناشی از آن هستند. در این مقاله روشهای نوین یخ زدایی و نقش ترکیبات آلی در توسعه ترکیبات یخ زدا و ضد یخ و همچنین تاثیر آنها در کاهش اثرات زیانبار زیست محیطی نمکهای کلریدی پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: ضد یخ، یخ زدا، نمکهای کلریدی، پیش مرطوب کردن، ترکیبات آلی

1- مقدمه

از این روش مشکلات متعددی را در پی دارد از قبیل: توزیع غیر یکنواخت و رانده شدن سریع به حاشیه معبر، صدمه جدی به سطح روسازی معابر به دلیل پخش غیر یکنواخت نمک های کلریدی، خطرات جدی زیست محیطی و آسیب به فضای سبز منابع آب و ... و همچنین افزایش خوردگی در خودروها، بتن و سازه های شهری. در سال 1381 صالحی و بهبهانی طی تحقیقی گزارش نمودند که محلول آب و نمک موجود در سطح آسفالت در درزهای موجود در سطح آسفالت نفوذ کرده و به هنگام شب و سردتر شدن دمای محیط منبسط شده و باعث ایجاد ترک خوردگی در آسفالت می گردد. در این تحقیق بیان شده که در ایالت ویسکانسین بین سالهای 1992 تا 1995 بواسطه سه بار وقوع یخبندان و به تبع پاشیدن نمک های کلریدی بر روی سطح جاده، میزان ترک ها و خرابی روسازی بین 52 تا 53 درصد افزایش یافته است [2]. کرمانی در سال 1387 نشان داد که آب نمک موجود در سطح معابر توسط اتومبیل ها به جدول های یخ بسته حاشیه خیابان ها پاشیده شده و تفاوت درجه حرارت نمک و یخ، متلاشی شدن و فرسایش جدول ها را به دنبال دارد که تعویض این جداول علاوه بر هزینه عمرانی زیاد، حجم عظیمی نخاله را باعث شده که مشکلات زیادی برای محیط زیست ایجاد می کند [3]. فاروغ اکبر وهمکاران طی پژوهشی در کشور انگلستان پیرامون اثرات سدیم کلراید و کلسیم منیزیم استات بر پوشش گیاهی به این نتیجه رسیدند که میزان آسیب به گیاهان در استفاده از سدیم کلراید بیشتر از

بارش برف و نزولات جوی در فصول سرد سال و در شرایط برف و یخبندان میتواند زندگی شهری را مختل نموده و متاسفانه مشکلاتی را برای شهر، شهروندان و همچنین نهادهای شهری بخصوص شهرداریها ایجاد نماید. برف و یخبندان باعث لغزندگی سطح راهها و معابر شده و لذا افزایش تصادفات و صدمات ناشی از آن وهمچنین افزایش هزینههای ترابری را باعث می گردد. لذا عملیات نگهداری اصولی راهها در فصول سرد سال از مهمترین دغدغه های نهادهای شهری و بخصوص شهرداریها است. در حال حاضر در کشور از روشهای سنتی جهت یخ زدایی از سطوح معابر، جاده ها و خیابان ها همچون نمک پاشی (مخلوط نمک کلرید سدیم و شن و ماسه) و برف روبی توسط ماشین های راه سازی استفاده می گردد. مرسوم ترین روش، استفاده از ترکیب شن و نمک است. مطالعه ای در سال 1992 نشان داد که پس از استفاده از نمک های یخزدا، هزینههای مربوط به تصادفات جادهای حدود 88٪ کاهش یافته است. آنها گزارش نمودند که تصادفات در جاده های دولایه 87٪ و در بزرگراهها 78٪ پس از نمک پاشی کاهش یافته است [1].

مخلوط نمک کلرید سدیم و ماسه و سایر نمکهای کلریدی نه تنها ارزان و در دسترس بوده بلکه در عملیات یخ زدایی بسیار موثر عمل مینماید و همواره در زمستان بعنوان اولین گزینه مورد استفاده قرار میگیرد. متاسفانه علیرغم این مزایا استفاده

روسازی مفید بوده و میتوانند با انتقال جریان الکتریکی به سرتاسر راه، سبب بالا رفتن دمای قسمت روسازی معابر شده و از یخ زدگی ممانعت مینمایند. برای تولید انرژی الکتریکی، میتوان از انرژی‌های تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی استفاده نمود. میتوان مجموعه‌ای از پنل‌های خورشیدی در سطح جاده و یا کنار آن قرار داد تا انرژی خورشیدی در طول تابستان و یا روزهای آفتابی جمع‌آوری و ذخیره شود (شکل 1). سپس در روزهایی که هوا سرد است این انرژی ذخیره شده با انتقال حرارت به سطح روسازی، مانع از افت دمای روسازی به زیر صفر درجه و تشکیل یخ می‌شود [6]. این روش کمترین آسیب زیست محیطی را همراه دارد.



شکل 1- استفاده از الیاف رسانا

کلسیم منیزیم استات می‌باشد [4]. زیانمینگ شی در سال 2011 طی پژوهشی هزینه‌های ثانویه نمک پاشی در سطح جاده را با هزینه‌های اولیه آن مقایسه کرده که این تخمین در حدود سه برابر بوده است [5]. متأسفانه در کشور ما نیز هر ساله نهادهای شهری بخصوص شهرداری‌ها بواسطه استفاده از مخلوط نمک کلرید سدیم و ماسه جهت بازگشایی خیابانها و معابر هزینه‌های زیادی متقبل می‌شوند. استفاده از این روش موجب افزایش اثرات منفی بر روی آسفالت و سازه‌های شهری می‌گردد.

استفاده از روشهای سنتی سال‌هاست که در بسیاری کشورهای سردسیر پیشرفته به صورت محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنها همواره در حال توسعه روش‌ها و پیشنهاد ترکیبات جدید جایگزین جهت کاهش استفاده از نمک‌های کلریدی وهمچنین کاهش خسارات ناشی از آن هستند.

2- روشهای نوین در یخ زدایی و جلوگیری از ایجاد یخ

1-2- استفاده از انرژی الکتریکی

از جمله روش‌های جدید در ممانعت از یخ زدن معابر، گرم کردن سطح آنها قبل از رسیدن به دمای زیر صفر درجه است. این روش مشکلات استفاده از مواد شیمیایی یخ‌زدا و ضدیخ را نداشته و با تبدیل انرژی الکتریکی به گرمایی، مانع از یخ زدن راه میشود. در این روش در هنگام ساخت روسازی‌ها از الیاف رسانا استفاده می‌شود. این الیاف برای تقویت مقاومت

2-2- برف‌روبی به روش مکانیکی با تجهیزات پیشرفته

برف‌روبی یا پاکسازی برف به روش مکانیکی شامل برداشتن برف از سطح راه برای تسهیل آمد و شد است. برف‌روبی مسیره‌ها معمولاً توسط اشخاص در محل زندگی خود یا توسط نهادهای دولتی و اداره‌کننده شهر صورت می‌گیرد. افراد معمولاً پس از بارش برف سنگین شروع به پارو کردن برف در مسیرهای پیاده و سواره می‌کنند. شیوه متداول و رایج نهادهای دولتی در کشور ما، برف‌روبی با استفاده از ماشین‌آلات راهسازی (گریدر، بابکت، ماشین‌شن پاش) می‌باشد. روش استفاده از ماشین‌آلات راه‌سازی همانند روش سنتی از معایبی برخوردار است که عبارتند از آسیب به آسفالت در اثر وزن زیاد ماشین‌آلات، کاهش اصطکاک و لغزندگی بیشتر معابر در اثر صیقل داده شدن سطح توسط تیغه‌های برف‌روب، آلودگی زیست‌محیطی به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی و هزینه زیاد مربوط به تامین سوخت و همچنین نگهداری ماشین‌آلات برف‌روبی. لذا امروزه شرکت‌های سازنده تجهیزات برف‌روبی در حال توسعه ماشین‌آلات خود جهت کاهش معایب و افزایش کارایی اینگونه تجهیزات می‌باشند. در ذیل برخی از ماشین‌آلات مدرن مورد استفاده در کشورهای پیشرفته که برای برف‌روبی و ایمن‌سازی و امکان عبور و مرور مردم استفاده می‌گردد اشاره شده است [7].

اور آسن آر اس 200 (OVERAASEN RS 200)

این ماشین یک ماشین فوق‌العاده قدرتمند و سریع در برف‌روبی جاده‌ها است. این ماشین به طور هوشمندانه‌ای قابلیت اضافه نموده تجهیزات جانبی را داشته تا برای برف‌روبی جاده‌های پرترافیک با برف سنگین به کار گرفته شود. استفاده از پوشش فایبرگلاس با فناوری پیشرفته این ماشین را به خوبی آیرودینامیک نموده است. این ماشین با ویژگی‌هایی همچون برس گول‌پیکر، فن ظرفیت بالا و تنظیمات خودکار برف‌روبی به ماشینی با کاربری آسان تبدیل شده که هزینه‌ها را هم پایین آورده است (شکل 2- الف).

اشمیت سوپرا (SCHMIDT SUPRA)

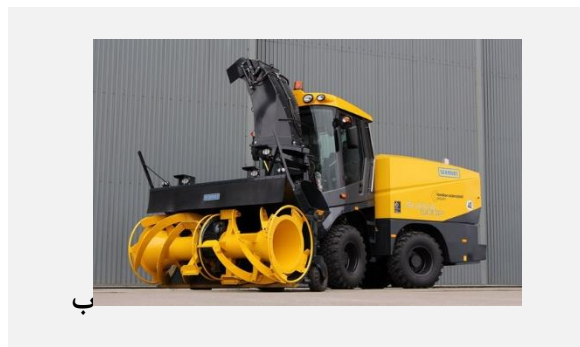
این ماشین برای برف‌روبی مناطق بزرگ با حجم سنگینی از برف طراحی شده است. این ماشین هوشمند به سیستم هدایت دقیق مجهز شده تا بهترین بهره‌وری را داشته باشد. "سوپرا" دارای برف‌روب‌های معکوس است که از شفت اصلی نیرو محرکه خود را تامین مینماید. مخزن سوخت این ماشین قدرتمند ظرفیت بالایی داشته و بنابراین آن را قادر می‌سازد تا 8 ساعت به طور مستمر برف‌روبی کند و برف‌ها را تا فاصله 30 متری پرتاب کند. همچنین این ماشین مصرف سوخت بهینه و آلودگی صوتی بسیار کمی داشته و کابین داخلی آن ضد صدا است (شکل 2- ب).

پرینوت (PRINOTH SW4S)

گرفته میشود. به کمک اطلاعات هواشناسی و اطلاعات سطح راه ها، پیش از شروع بر اقدام به پاشیدن مواد ضد یخ در سطح معابر می کنند. این مواد مانع از یخ زدگی سطح معابر میشود. در بسیاری از کشورهای جهان نظیر آمریکا، ژاپن، فنلاند، نروژ، سوئد، دانمارک، هند و... این شیوه بسیار متداول است.



الف



ب



ج

این ماشین یک ماشین فوق‌العاده برای برف رویی پیاده روها و مسیرهای باریک است. از این ماشین در سطح شهر و برای مسیرهای باریک استفاده می‌شود. این ماشین پس از برف رویی برای اطمینان از آب شدن یخ‌های موجود در لایه های زیرین برف توسط مخزنی که در پشت ماشین تعبیه شده اقدام به پاشش نمک می نماید (شکل 2- ج).

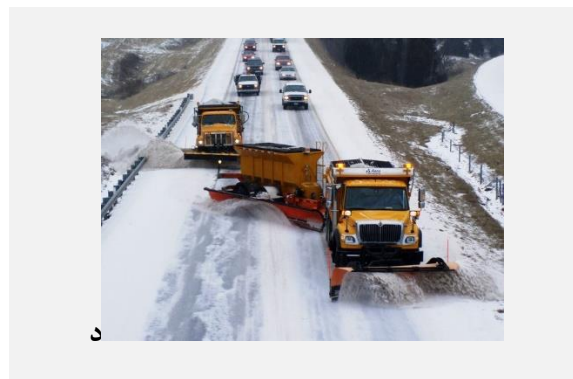
ام‌دوتو پلوز (MDOTTOW PLOWS)

این ماشین غول پیکر بواسطه داشتن حسگرهای الکترونیکی در برف‌روبی که در پشت آن تعبیه شده به سرعت و با دقت قابل توجهی قابلیت برف‌روبی از دو مسیر موازی را بصورت همزمان دارد. برف روب پشتی این ماشین قابلیت تشخیص خودروهای ایستاده در کنار جاده را دارد تا در اثر راندن برف به کنار مسیر آسیبی به این خودروها وارد نگردد. (شکل 2- د).

3-2- روش ممانعت از ایجاد یخ

در این روش از ماشین آلات مخصوص مجهز به تیغه‌ی برف رویی و مخزن و پمپ پاشش مواد ضد یخ استفاده شده و سطح راه ها با این مواد پوشش می‌دهند (شکل 7). بسیاری از شهرهای جهان، طرح جامع پیشگیری از برف‌گرفتگی و یخ‌زدگی محدوده خود را تهیه کرده‌اند. در انجام این روش از داده‌های سیستم‌های پیشرفته اطلاعاتی آب و هوای جاده‌ای و همچنین فناوری‌های تهیه نقشه‌های دمایی و حرارتی بهره

باعث بالا رفتن گرانش می‌شوند. در برخی پتنت‌ها تلاش‌هایی صورت گرفته تا ظرفیت ذوب یخ مخلوط شکر و ملاس افزایش یابد. در این تحقیق بوسیله قلیا پی اچ محلول آبی دورریز صنایع کشاورزی که حاوی مواد قندی است به 6 تا 9 کاهش می‌یابد [10]. البته می‌بایست غلظت قند حدود 10 تا 70 درصد وزنی باشد. همچنین در این پژوهش نقش گلوکوزیدها بررسی شده است. این پژوهش نشان داد که با افزودن متیل



شکل 2- ماشین آلات مدرن عملیات زمستانه

شکل 3- روش ممانعت از ایجاد لایه برف و یخ

4-2- روش پیش مرطوب کردن

یکی دیگر از بهترین روش‌ها برای کاهش استفاده از نمک‌های کلریدی پیش مرطوب کردن این نمک‌ها است. پیش مرطوب کردن در واقع پوشش دهی نمک با یک محلول است. حدود 8 تا 12 گالن از مایع برای پوشش دهی هر تن نمک نیاز است [8]. از مزایای آن بالا بردن قدرت چسبندگی نمک به سطح است که باعث جلوگیری از کنده شدن نمک در اثر تردد وسایل نقلیه و عملکرد بهتر آن می‌شود. این محلول‌ها بصورت سنتی شامل محلول کلسیم کلرید و منیزیم کلرید می‌باشد. گاهی از ترکیبات طبیعی مثل ملاس چغندر قند و ملاس ذرت محلول در آب و یا محلول غلیظ شده جو میتوان استفاده نمود. این ترکیبات که دور ریز کارخانجات قند هستند ارزان بوده و باعث بالا رفتن گرانشی محلول ضد یخ می‌شود [9]. لازم به ذکر است فرایند پیش مرطوب کردن باعث می‌شود نمک کلریدی کمتری استفاده گردد. محصولات جانبی استفاده شده به تنهایی از خاصیت ذوب یخ برخوردار نیستند و فقط



گلوکوزید و متیل اولیگوکلوکوزیدها به نمک‌ها سرعت ذوب یخ زیاد می‌شود. پساب ذرت خیس‌انده و تغلیظ شده که حاوی گلوکوزیدهای قابل توجه است نقش بسزایی در سرعت ذوب یخ دارد. در پتنت دیگری از کربوهیدراتها و پروتئین‌های موجود در ملاس چغندر بدون قند برای ذوب یخ استفاده شده است [11]. در این پتنت ظرفیت ذوب یخ ملاس بدون قند با اضافه کردن محلول قلیایی سود جهت هیدرولیز کربوهیدراتها و پروتئینها و سپس اسیدی کردن محلول نهایی

صورت گرفته است. این محلول در ترکیب با نمکهای کلریدی ظرفیت ذوب یخ بالایی از خود نشان داد. میتوان آن را با اوره هم مخلوط و سپس استفاده نمود. در فرایند له کردن دانه های مغز ذرت و در زمانی که در درون محلول داغ حاوی کمی اسید سولفوریک قرار میگیرند یک محصول فرعی در فاز مایع تولید می گردد. بعد از جدا نمودن مغز ذرت از این محلول میتوان در تولید ضد یخ بهره برد [12]. در پتنت دیگری از مخلوط نمک های کلریدی یا اوره با پساب غلیظ شده فرایند تقطیر الکل به عنوان ضد یخ استفاده می شود. ماده خشک موجود در این پساب غلیظ حدود 200 تا 750 گرم بر کیلوگرم آب است [13]. این ماده خشک حاوی کربوهیدراتهای با وزن مولکولی کاهش یافته حدود 180 تا 1000 دالتون می باشد. وقتی محلولی از یک کربوهیدرات مثل گلوکز یا فروکتوز، قندهای دوتایی، سه تایی، چهارتایی و یا پنج تایی همراه با یک کاهش دهنده نقطه انجماد مثل نمکهای کلریدی همراه شود اثر هم افزایی داشته و می توان از آن به عنوان ضد یخ استفاده نمود.

گاهی از افزایش دهنده چگالی مثل قندها با وزن مولکولی بالای 2000 هم استفاده می شود [14]. در سال 2000 از محصول جانبی صنایع کاغذ که حاوی نمکهای معدنی، سلولز و همی سلولز است استفاده شده است. این محصول خوردگی کمی داشته و قابلیت نسبتا خوبی در ذوب یخ دارد [15]. تمامی این محصولات دور ریز صنایع کشاورزی ارزان بوده و تاثیر مخرب زیست محیطی بسیار کمی دارند.

2-5- استفاده از نمکهای آلی در عملیات زمستانه

این ترکیبات یون کلر نداشته و لذا مشکلات و مضرات ناشی از کلر حذف شده و در بسیاری از موارد جایگزین نمکهای کلریدی شده اند. از دهه 1970 برخی از کشورهای دنیا که بیشتر با این مسئله در تماس بودند سعی نمودند تا مواد مناسبتری به جای نمک های کلریدی و شن جایگزین کنند بواسطه همین مهم استفاده از ترکیبات آلی زیست تخریب پذیر جهت یخ زدایی یا کاهش اثرات منفی نمکهای کلریدی در حال افزایش میباشد. در ذیل برخی از این ترکیبات آلی آورده شده است.

- استاتها

در سال 1976 سازمان مدیریت بزرگراه های آمریکا با همکاری موسسه تحقیقاتی Bjorksten طی تحقیقی نمک استات منیزیم کلسیم (CMA) را به عنوان یخ زدا معرفی نمودند. آنها طی بررسیهای خود متوجه شدند تنها ترکیباتی که از 9 عنصر هیدورژن، کربن، نیتروژن، سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم و فسفر تهیه میگردند قابلیت بکارگیری بعنوان یخ زدای شیمیایی را دارند. دمای یخ زدایی، قابلیت انحلال مواد، PH و هزینه ها برای هر ترکیب مورد ارزیابی قرارگرفت که تنها دو ماده متانول و استات کلسیم منیزیم به عنوان ماده یخ زدا باقی ماند. متانول به علت سمیت، قابلیت اشتعال، و زمان ماندگاری کم بر روی سطح معابر حذف شد و

است. فرم تجاری استات پتاسیم، مایعی با غلظت 50 درصد حاوی بازدارنده خوردگی (اسیدهای تجزیه پذیرضعیف) نیز میباشد. این مخلوط میتواند به عنوان پیش مرطوب کننده یا مستقیماً به عنوان یخ زدا استفاده شود [18] و کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌کند. از این ترکیب به طور گسترده در سیستم‌های پخش کننده روی پل‌ها و دیگر سازه‌های حساس به خوردگی استفاده می‌شود. به وفور در یخ زدایی هواپیماها و تاسیسات برقی کاربرد دارد. امروزه این ترکیب با وجود قیمت گران، بعنوان یک یخ زدای دوستدار محیط زیست در یخ زدایی خانگی استفاده می‌گردد [19]. در سال 2014، استات پتاسیم به همراه گلیسیرین جهت تولید یخ زدایی جدید مورد بررسی قرار گرفت که نه تنها ظرفیت ذوب بالایی داشت بلکه دمای انجماد را به کمتر از منفی 45 درجه منتقل می‌کرد [20]. در سال 1993 از پتاسیم استات به همراه مشتقات بنزوتتری آزول یا تولیل تری آزول و مشتقات ایمیدازول و همچنین یک نمک قلیایی فسفاتی مثل سدیم فسفات بعنوان ضد خوردگی در تهیه ضدیخ و یخ زدا استفاده می‌شود. این ترکیب قابلیت بالایی در ذوب یخ از خود نشان داده و اثرات خوردگی کمی دارد [21]. از معایب این ترکیبات میتوان به میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (Chemical Oxygen Demand) بالاتر نسبت به نمکهای کلریدی نام برد. از ویژگیهای مهم این نمک تخریب سریع آن در طبیعت است که حدود 20 روز به طول می‌انجامد [22].

تنها ماده استات کلسیم منیزیم باقی ماند [16]. این ماده دارای خاصیت خوردگی کمی بوده و باعث تخریب کمی در روسازی معابر می‌گردد. CMA با محیط زیست سازگار بوده و در مقایسه با نمک اثرات مخرب کمی بر روی خاک، روسازی و محیط زیست دارد. قسمت استات این ماده خاصیت تجزیه پذیری داشته و یون های کلسیم و منیزیم آن سازگاری مناسبی با محیط زیست دارند. اکسایش CMA بوسیله میکرو ارگانیسم های خاک کربنات کلسیم منیزیم تولید نموده که غیر سمی بوده و حتی کیفیت خاک را بالا می‌برد. غیرخورنده بودن آن بر روی وسایل نقلیه موتوری، پل ها، جاده ها و ... علت اصلی سودآوری این ماده میباشد. بررسی میزان خوردگی فلزات در ایالت میشیگان نشان داد که میزان خوردگی این ماده نسبت به نمک حدود یک سوم تا یک نهم می‌باشد [17]. علیرغم این ویژگیها، متاسفانه در هنگام بارش برف این ماده عملکرد آهسته تری نسبت به نمک دارد یعنی حدود 15 دقیقه تا نیم ساعت زمان برای عملکرد مناسب نیاز دارد. همچنین در درجه حرارت زیر 5- درجه، در باران یخی، کولاک شدید و مناطق با ترافیک سبک تاثیر کمتری نسبت به نمک دارد. هزینه بالاتر آن نسبت به نمک نیز حایز اهمیت است چرا که برای تاثیر مثبت در عملیات زمستانی میباشد از مقادیر بیشتر از آن استفاده نمود (حدود 2-5 برابر).

پتاسیم استات نمک دیگری از ترکیبات حاوی استات است که در عملیات زمستانه بکار برده میشود. درجه انکتیک استات پتاسیم و محلول آبی آن 60- درجه باغلظت 49٪

امروزه انواع ضد یخ و یخ زداها برپایه استات در سایت آمازون جهت خرید موجود می باشد.

- فرمانها

تحقیقات بسیاری در خصوص استفاده از نمکهای فرمات جهت یخ زدایی و ممانعت از تشکیل یخ صورت پذیرفته است. از دیدگاه کاملاً نظری، فرماتها می بایست موثرتر از استات ها باشد و در مقایسه با استاتها به مقدار کمتری جهت یخ زدایی نیاز می باشد [23]. سدیم فرمات معمولاً بصورت مایع بعنوان پیش مرطوب کننده یا ممانعت از تشکیل یخ و همچنین یخزدا کاربرد دارد. محلول 20٪ سدیم فرمات نقطه انجماد آب را تا منفی 14 درجه پایین می آورد. پس از خشک شدن از سطح زمین تولید پودر و گردو غبار نمی کند و وارد هوا نمی شود [24]. این ترکیب از سمیت کمی برخوردار بوده و در محیط تجزیه میشود. متاسفانه میزان تاثیر منفی سدیم فرمات روی سیمان حتی از سدیم کلرید هم بیشتر است [4]. این ترکیب تاثیر بسیار منفی بر روی آسفالت دارد بعنوان مثال از بین رفتن بافت سیمان برای نمک در غلظت 3٪ حدود 0/46 و برای سدیم فرمات 0/53 کیلوگرم بر متر مربع میباشد. در سال 2013، از مخلوط سدیم فرمات (95 تا 98٪ وزنی) به همراه حدود 1 تا 3٪ سیلیکاتها، حدود 0/1 تا 0/5 درصد سدیم متآلومینات و حدود 0/05 تا 0/1 درصد سدیم کربنات بعنوان یخ زدا استفاده شد. این ترکیب قابلیت یخ زدایی بیشتری از نمک طعام نشان داد [25].

از دیگر نمکهای فرمات که در سیستم هوایی و یخ زدایی از هواپیماها استفاده میشود پتاسیم فرمات است. این نمک قلیایی در آب محلول است، دمای موثر آن 32- بوده و محلول 50٪ آن میتواند نقطه انجماد را تا 51- درجه پایین بیاورد. لذا در نواحی بسیار سرد سیر کاربرد دارد. از نکات قابل توجه این است که COD آن کمتر از استات پتاسیم است [22]. همچنین از محلول آن می توان بعنوان ضد یخ نیز قبل از بارش استفاده نمود. در سال 2005 وضعیت و طول عمر پتاسیم فرمات اضافه شده در معابر در کشور فنلاند بعنوان یخ زدا مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعات نشان داد که فرمات وارد آبهای زیر زمینی نشده و تجزیه می گردد و لذا روی کیفیت آبهای زیر زمینی تاثیر ندارد [25]. از معایب عمده پتاسیم فرمات قیمت بالای آن نسبت به نمکهای کلریدی و میزان بالای خوردگی آن و تاثیر منفی بر روی سیمان می باشد حتماً می بایست با مواد بازدارنده خوردگی استفاده شود.

استفاده از کلسیم فرمات بعنوان یخ زدا اولین بار در سال 1965 اشاره شده است [26]. از مهمترین معایب این ترکیب حلالیت پایین آن در آب بوده که نمیتوان در دماهای پایین بصورت مایع استفاده شود. لذا می بایست بصورت جامد مصرف شود که هزینه بسیار بالا می رود لذا کمتر از نمکهای سدیم و پتاسیم فرمات مورد استفاده قرار میگیرد.

- اوره (کاربامید)

از اوره در برخی از ایالات آمریکا مانند واشنگتن بعنوان یخ زدا در فرودگاه‌ها استفاده می‌شود، به علت اینکه اوره خوردگی کمتری نسبت به نمک بر روی بدنه آلومینیومی هواپیماها دارد. اوره به دلیل خطرات زیست محیطی که برای انسان دارد، کمتر شهرها و محلهای مسکونی استفاده می‌گیرد؛ ولی به دلیل خاصیت خوردگی بسیار کم جهت جلوگیری از یخزدگی و کاستن لغزندگی در باند فرودگاهها و سازههای فلزی، از این ماده استفاده میشود. دمای موثر ذوب یخ آن حدود 4- درجه بوده و اثرات منفی آن روی آسفالت از نمکهای استات و فرمات بیشتر می‌باشد [27].

الکل‌ها، دیول‌ها و پلی‌ال‌ها

بطور کلی ترکیبات پایه الکلی بواسطه امتزاج پذیر بودن با آب بعنوان یخ زدا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از مهمترین آنها می‌توان به اتانول، اتیلن گلیکول، پروپیلن گلیکول و گلیسرین اشاره نمود. اتانول بواسطه فراریت و وسیکوزیته پایین مدت زمان ماندگاری آن روی سطح معابر کم بوده و لذا معمولاً در ترکیب با سایر مواد بعنوان یخ زدا استفاده می‌گردد. در سال 2004، از محلول اتانول به همراه استرهای الکلهای چند عاملی و یک افزایش دهنده ویسکوزیته در کنار عوامل ضد خوردنده پایه فسفری در یخ زدایی استفاده گردید که قابلیت مناسبی از خود نشان داد [28]. همچنین استفاده از مخلوط اتانول و اوره همراه با ترکیبات تری آزولی بعنوان ضد خوردگی مورد استفاده قرار گرفته است [29]. بواسطه

فراریت کمتر و عملکرد بهتر گلیکولها، اتیلن گلیکول و پروپیلن گلیکول جایگزین اتانول گردید. اتیلن گلیکول یک ماده شیمیایی آلی بدون رنگ، عموماً بدون بو، با فراریت اندک، بسیار سمی، ویسکوزیته پایین و جاذب آب در شبکه ی مولکولی است. بواسطه سمیت این ترکیب پروپیلن گلیکول که یک افزودنی خوراکی صنعتی است جایگزین آن گردیده است. پروپیلن گلیکول در اروپا و آمریکا، از لحاظ سالم و بی خطر بودن مورد تأیید است. بنابراین پروپیلن گلیکول سمیت بسیار ناچیزی نسبت به اتیلن گلیکول داشته و بواسطه ویسکوزیته بالاتر ماندگاری بیشتری روی سطح دارد. ولی از نظر قیمت گران تر از اتیلن گلیکول است. این ترکیبات به وفور در یخ زدایی از معابر و باندهای فرودگاه کاربرد دارند. سمیت مایعات یخ زدا یکی دیگر از نگرانیهای زیست محیطی است. لذا برخی از فرودگاهها مایعات یخ زدا مورد استفاده را با جداسازی آب و آلودگی‌های جامد و امکان استفاده مجدد از مایعات برای سایر کاربردها را فراهم می‌کنند. سایر فرودگاهها دارای یک مرکز تصفیه فاضلاب در محل هستند و یا مایع جمع آوری شده را به تصفیه خانه فاضلاب شهری یا یک مرکز تصفیه فاضلاب تجاری منتقل می‌کنند.

در سال 1999، از پروپیلن گلیکول و اتیلن گلیکول در غلظتهای 78 تا 95 درصد وزنی به همراه سورفکتنتهای خنثی و استر اسیدهای چرب مثل روغن نارگیل و بنزوتتری آزول بعنوان عامل ضد خوردگی بعنوان یخ زدا استفاده شده است. این یخ زدا نه تنها دارای پی‌اچ نسبتاً خنثی بوده بلکه

گزارش گردید [33]. در سال 2016، از گلیسرین در کنار نمک‌هایی مثل سولفات آهن یا سولفات آلومینیم و همچنین پلی آمیدها و نمک‌های فسفات بعنوان عوامل ضد خوردگی در تهیه یخ زدا استفاده گردید [34]. در سال 2014 از ترکیب گلیسرین و نمک‌هایی مثل پتاسیم فسفات یا سدیم فسفات یا نمک‌های نیترات مثل آمونیم نیترات یا سدیم نیترات در کنار ترکیبات قندی مثل منیتول ترکیبات یخ زدای جدیدی پیشنهاد گردید [20].

- سایر ترکیبات آلی

در سال 2014 از سایر نمک‌های آلی مثل نمک سدیم یا پتاسیم لاکتیک اسید، گلوکونیک اسید و همچنین اگزالیک و سوکسینیک اسید هم جهت تهیه یخ زدا استفاده شده و نتایج قابل توجهی هم بدست آمده است [20]. همچنین سدیم و پتاسیم لاکتات مخلوط با قندها و الکلهایی مثل گلیسرین بعنوان یخ زدا مورد استفاده قرار گرفته است [31]. در سال 2011 از سدیم لاکتات به‌همراه استرهای لاکتات و قندهای متیله شده یخ زدایی با قابلیت بالا گزارش گردید. [35]. همچنین از دور ریز صنایع لبنی مثل آب پنیر که حاوی لاکتاتها هستند نیز بعنوان ماده اولیه استفاده گردیده است [35]. در سال 2000 نیز از نمک‌های سدیم و پتاسیم لاکتیک اسید و سوکسینیک اسید به همراه عوامل بازدارنده خوردگی مثل فسفاتها یا تری اتانول آمین استفاده گردید [36]. در سال 2001 از نمک‌های سدیم و پتاسیم سوکسینات به همراه

ظرفیت ذوب یخ مناسبی را هم دارا می باشد [30]. در سال 2004 از پروپیلن گلایکول، پلی اکریلات برای بالا بردن ویسکوزیته، روغن های معدنی، عوامل ضد خوردگی و ترکیبات قندی مثل زانتان برای تولید یخ زدا استفاده گردید [28]. از مخلوط پروپیلن گلایکول و ملاس چغندر قند به نسبت مساوی ترکیبی با نقطه انجماد 16- درجه گزارش گردید. همچنین از مخلوط پروپیلن گلایکول و سدیم فرمات یخ زدایی با نقطه انجماد 15- درجه تهیه گردیده است [31].

گلیسرین بواسطه سمیت بسیار ناچیز و ویسکوزیته بالاتر و عملکرد خوب بعنوان یخ زدا و ضد یخ جایگزین گلایکولها شده است. گلیسرین یا گلیسرول در بیشتر چربی های طبیعی گیاهی و حیوانی، از جمله چربی هایی که در پوست بدن هستند وجود دارد. در سال 2013، از محصول جانبی تهیه سوخته‌های بیودیزلی که حاوی درصد بالایی گلیسرین است همراه با نمک‌های غیر کلریدی مثل پتاسیم فرمات و پتاسیم استات در تهیه یخ زدا استفاده گردید که این ترکیب توانایی انتقال نقطه انجماد را به زیر 25- از خود نشان داد. برای بدست آوردن گلیسرین از محصول جانبی واکنش هیدرولیز استرهای اسیدهای چرب گیاهی و حیوانی مثل چربی حیوانی یا روغن آفتاب گردان استفاده می گردد [32]. در سال 2011 از مخلوط پروپیلن گلایکول (9 تا 11٪)، متیل سلولوز برای بالا بردن ویسکوزیته (5 تا 15٪)، گلیسرین جداسده از تری گلسیریدهای گیاهی (9 تا 11٪) و محلول ایزو پروپیل الکل ترکیب یخ زدایی با قابلیت ذوب بالا

زیست محیطی این ماده را بطور کامل مورد ارزیابی قرار نداده است اما کلرید پتاسیم موجود در این ماده و علی‌الخصوص یون کلرید آن می‌تواند بر روی پوشش گیاهی و زیستگاه‌های آبی تاثیر گذار باشد. این ماده از سال 1993 توسط یک شرکت آمریکایی به بازار معرفی شد و قیمت تمام شده آن در حال حاضر در آمریکا حدود 40-50 دلار در هر گالن برآورد می‌شود.

3- خلاصه

از مهمترین چالشها برای ارگانهای شهری و بخصوص شهرداریها نگهداری معابر و راهها در فصل سرما و یخ زدایی بواسطه نشستن برف بر روی سطح معابر و راه‌ها است که امری اجتناب ناپذیر است. حضور برف و یخ بر روی سطح جاده و معابر باعث کاهش ایمنی شده و باعث خسارات سنگین مالی و گاهی جانی می‌شود. در کنار استفاده از روش سنتی استفاده از نمک و شن و ماسه که تاثیرات منفی زیست محیطی زیادی در بر دارد همواره دانشمندان و متولیان این حوزه سعی در ارایه ترکیبات و راهکارهای جدید داشته‌اند. نگاه آنها همواره به کاهش آسیب به زیر ساخت‌ها و سازه‌های شهری بوده و همواره دغدغه‌های زیست محیطی را مد نظر قرار داده‌اند. در این مقاله سعی گردیده بصورت اجمالی به بررسی روش‌های بهینه و بخصوص استفاده از ترکیبات پایه آلی به منظور اصلاح ماده یخ‌زدای مورد نیاز در عملیات زمستانه با نگاه بر مسایل زیست محیطی پرداخته شود.

نمک کلرید سدیم برای یخ‌زدایی استفاده گردید که نتایج نشان داد وجود پتاسیم سوکسینات به مقدار زیادی از خوردگی نمک در برابر فلزات کم می‌نماید. خوردگی در حضور پتاسیم و سدیم سوکسینات به تنهایی تقریبا ناچیز می‌باشد [37]. در سال 2020 یک ماده ژل مانند یونی از مخلوط ژلاتین و بوتیل ایمیدازولیم برماید تهیه گردید و بعنوان بستر یخ‌زدا مورد بررسی قرار گرفت. این ترکیب نه تنها تشکیل یخ زدگی را با ممانعت از رشد هسته‌زایی در یخ به تعویق می‌اندازد بلکه قدرت ذوب یخ خوبی داشته و اثرات زیست محیطی کمی را هم دارا می‌باشد [38].

- CMS-B

یکی از محصولات جانبی تولید چغندر قند می‌باشد که به عنوان یک ماده یخ‌زدا شناخته شده است [16]. با کمک تفاله مغز ساقه، ماده CMS-B که 27 درصد آن جامد می‌باشد تولید می‌گردد. از این 27 درصد، حدود 10 درصد آن را کلرید پتاسیم تشکیل می‌دهد. این ماده همچنین مقادیر کمی از کلرید سدیم را درون خود بصورت محلول دارد. شرکت‌های مختلفی در آمریکا در تلاش هستند تا بتوانند این ماده را به مرحله فروش برسانند. علاوه بر آن این ماده می‌تواند به عنوان یخ‌زدا تا درجه حرارت 10 - سانتیگراد عملکرد مناسبی را از خود نشان دهد. همچنین تحقیقات نشان داده است که چنانچه این ماده با ماسه همراه شود نتایج مطلوب تری را از خود نشان خواهد داد. تحقیقات موجود تاثیرات

adjacent to bodies of water. Publication No. FHWA/MT-04-008/8117-19A Final Report Prepared for the Montana Department of Transportation, Helena, MT, 2004.

[8] R. A. Hartley, D. H. Wood. Deicing solution. U. S. Patent 7014789, 2006.

[9] R. Montgomery, B. Y. Yang, Biodegradable deicing composition. U. S. Patent 6605232, 2003.

[10] K. C. Ossian, K. Behrens, Processed raffinate material for enhancing melt value of de-icers. US Patent 7473379B2, 2009.

[11] G. A. Janke, Jr. Johnson, D. Warren. Deicing composition and method, U. S. Patent 5635101, 1997.

[12] J. Toth, J. Szeles, O. Egenhoffer, Anti-freeze composition suitable for making surfaces free of snow and ice. U. S. Patent 4676918, 1987.

[13] R. A. Hartley, D. H. Wood. Deicing solution. U. S. Patent 8226846, 2012.

[14] J. A. Gall, S. Mertz. Corrosion inhibited chloride salt de-icers. U. S. Patent 6149834, 2000.

[15] A. A. Klyosov, G. P. Philippidis, A. M. James, Y. A. Monovoukas. Liquid and solid de-icing and anti-icing compositions and methods for making same. U. S. Patent 6156226, 2000.

[16] Rainiero, John M. Investigation of the Ice-Retardant Characteristics of Verglimit-Modified Asphalt. Transportation Research record, Transportation Research Board. Issue Number: 1157, 1988.

[17] Production of Calcium Magnesium Acetate (CMA) from Dilute Aqueous Solutions of Acetic Acid Daniel B. Leinweber University of Wisconsin-Madison December 25, 2002.

[18] Jr. W. L, Lewis. Studies of environmental effects of magnesium chloride

تشکر و قدردانی

از شهرداری کلان شهر کرج و شورای اسلامی شهر کرج جهت انعقاد قرارداد پژوهشی شماره 89/5/101694 با عنوان "انجام مطالعات مواد یخ زدای سازگار با محیط زیست" با دانشگاه شهید بهشتی و حمایت‌های مالی آنها تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

[1] D. A. Kuemmel, R. M. Hanbali. Accident analysis of ice control operations. A Final Report Prepared for the Salt Institute, Alexandria, VA, 1992.

[2] عقیل قدیم، مریم دشتی زند، مریم. یخ زداها و تأثیر آن بر آسفالت، خبرنامه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، 1392.

[3] محمد رضا سلیمانی کرمانی. یادداشت پژوهشی تأثیر نمک پاشی زمستانی بر مقاومت لغزشی سطح جاده‌ها، پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره دوم، 1387.

[4] M. Fischel. Evaluation of Selected Deicers Based on a Review of the Literature. The SeaCrest Group. Louisville, Colorado. Report Number CDOT-DTD-R-2001-15. October 2001.

[5] J. Wahlin, A. Klein-past. The effect of common de-icing chemicals on the hardness of compacted snow. Cold Regions Science and Technology, 2015, 109, 28.

[6] محسن ابوطالبی اصفهانی. تأثیر مواد یخزدا و ضد یخ بر مقاومت مخلوط‌های آسفالتی گرم. مهندسی زیر ساخت‌های حمل و نقل، سال دوم، شماره چهارم، زمستان 1395.

[7] J. M. Staples, L. Gamradt, O. Stein, X. Shi, X. Recommendations for winter traction materials management on roadways

- [28] G. Kaes. Freezing-point-lowering composition and method. US Patent 4448702, 1984.
- [29] R. Sapienza, A. Johnson, W. Ricks. Environmentally benign anti-icing or deicing fluids. US Patent 8858826, 2014.
- [30] R. Sapienza, A. Johnson, W. Ricks. Environmentally benign anti-icing or deicing fluids. US Patent 8377328, 2013.
- [31] A. Wiesenfeld, A. Meyers, R. Leicht. Deicing and anti-icing concentrated composition for aircraft. US Patent 5935488, 1999.
- [32] M. Simpson. Anti-icing composition. US Patent 0210284, 2013.
- [33] R. V. Davis, J. Wang, S. J. Blubaugh, W. Gerlach. FREEZE CONDITIONING AGENTS UTILIZING CRUDE GLYCERIN AND FLOWBACK AND PRODUCED WATER. US Patent 0289522, 2016.
- [34] R. Sapienza. Environmentally benign anti-icing or deicing fluids. US Patent 8057694, 2011.
- [35] K. A. Berglund, H. Alizadeh, D. D. Dunuwila. Deicing compositions and methods of use. US Patent 6287480, 2001.
- [36] R. S. Koefod, H. Richard. Deicer and pre-wetting agent. U. S. Patent 7294285, 2007.
- [37] C. C. Chappelow, A. D. McElroy, R. R. Blackbur, D. Darwin, F. G. de Noyelles, C. E. Locke. Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers. National Academy of Science, 1992.
- [38] D. M. Aruguete, A. Wallace, T. Blakney, R. Kerr, G. Gerber, J. Ferko. Palladium release from catalytic converter materials induced by road de-icer components chloride and ferrocyanide. Chemosphere 2020, 245, 125578.
- deicer in Colorado. A Final Report Prepared for the Colorado Department of Transportation, Denver, CO, 1999.
- [19] C. Ftikos, G. Parissakis. The Combined Action of Mg²⁺ and ClIons in Asphalt Paste, Road and Asphalt Research, 1999, 15, 593.
- [20] T. Strobl, D. Raps, K. Zahouily, G. Riess. Active anti-ice coating, coating material and method. US Patent 10471466, 2018.
- [21] A. Stankowiak, J. Kapfinger, G. Bettermann. Liquid de-icing agent based on acetates and process for melting snow and ice on traffic surfaces with the aid of this agent. US Patent 5238592, 1993.
- [22] D. A. PALMER. Formates as Alternative Deicers. TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1127. 1987.
- [23] G. Dossier. Sodium formate use in the industrial production of microbial food cultures. International food additives council, 2016.
- [24] H. A. Dietl, A. Stankowiak. Method of melting snow and/or ice and a deicer comprising sodium formate and sodium chloride. US Patent 6149833, 2000.
- [25] D. B. Boies and S. Bortz. NCHRP Report 19: Economical and Effective Deicing Agents for Use on Highway Structures. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1965.
- [26] C. B. Dickson, R. D. Heiden. Device for spraying anti-icing agents on transport surface. US Patent 7798432, 2010.
- [27] Y. Hassan, A. O. Abd El Halim, A. G. Razaqpur, M. Farha. Laboratory investigation of effect of deicing chemicals on airfield asphalt concrete pavements materials". Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Materials, San Jose, California, 2001, Vol. I, 299-308.