



## مقایسه روش‌های یخ‌زدایی روسازی‌های آسفالتی و بتنی

سید سجاد حسینی<sup>۱</sup>، احد باقرزاده خلخالی<sup>۲\*</sup>، پرهام حیاتی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۲\*</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (a\_bagherzadeh@srbiau.ac.ir)

### چکیده

یکی از مشکلاتی که در روسازی راه‌های برون شهری و فرودگاه‌ها گریبان‌گیر سیستم حمل‌ونقل می‌شود، یخ زدن سطح روسازی و در پی آن ایجاد حادثه است. بدین منظور مطالعاتی انجام گرفته تا روش‌های مقابله با این پدیده شناسایی شود. از دیرباز روش سنتی برای مقابله با این پدیده 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 دارد، از این روش در فرودگاه نمی‌توان استفاده کرد. به خاطر مسائل زیست محیطی هم استفاده از نمک توصیه نمی‌شود. روش‌های نوین مبتنی بر انرژی گرمایی از جدیدترین و مناسب‌ترین این روش‌هاست. با توجه به تعدد روش‌ها، همچنین مزایا و معایب آن، لازم است مطالعاتی به صورت تخصصی در این زمینه انجام شود تا در شرایط مختلف بهترین روش انتخاب شود. در این مقاله با شیوه‌ی جمع‌آوری اطلاعات، روش‌های سنتی در کنار روش‌های نوین یخ‌زدایی معرفی شده است. همچنین با توجه به اینکه در حال حاضر متداول‌ترین روش یخ‌زدایی، استفاده از مواد شیمیایی مختلف به عنوان یخ‌زدا است، این مواد به صورت کامل معرفی شده و با بررسی خواص آزمایشگاهی آن تحت آزمایش ظرفیت ذوب یخ، نفوذ در یخ و جرم کاهشی نمونه بتنی در حضور ماده یخ‌زدا در سیکل‌های متوالی، مواد دارای عملکرد بهتر معرفی شده است. در نهایت ماده کلسیم منگنز استات با نام اختصاری CMA در بین مواد شیمیایی مختلف، بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.

### کلمات کلیدی

یخ‌زدا، ضد یخ، روسازی، تعمیر و نگهداری راه، CMA.



# Comparing Deicing Methods of Asphalt/Cement Concrete Pavements

Seyed Sajjad Hosseini<sup>1</sup>, Ahad Bagherzadeh Khalkhali<sup>2\*</sup>, Parham Hayati<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Department of Geotechnical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. (a\_bagherzadeh@srbiau.ac.ir)

## ABSTRACT

*One of the issues facing the transportation system regarding paved suburban roads and airport runways is the icing of the pavement surface, which may lead to accidents. Hence, numerous studies have been conducted to identify which methods to apply to address this phenomenon. Historically, the conventional method to combat this has been to spread salt together with abrasives (sand and gravel) over the pavement surface. Given the corrosive nature of salt as well as the breaking of big ice slabs into smaller pieces, which have the risk of being kicked out and thrown by airplane tires, this method cannot be applied on airport runways. Due to environmental issues, the use of salt is also not recommended. New methods based on thermal energy are the most recent and appropriate ones in this area. Considering the number of different methods, as well as their pros and cons, specific research are needed in this regard to choose the best method in different conditions. In this paper, using a data gathering procedure, conventional together with modern deicing techniques were introduced. Furthermore, given the fact that currently the most widely applied deicing method is to use different chemical substances as deicing agents (deicers), they were introduced in detail, and by investigating their experimental characteristics under the tests of ice melting capacity, ice penetration, and weight loss of concrete specimen in the presence of a deicer in successive cycles, the materials with a better performance were identified. Finally, calcium magnesium acetate (CMA) was revealed to show the best performance among different chemical substances.*

**Keywords:** Deicer agent, Anti-icing agent, Pavement, CMA.



## ۱- مقدمه

در هر کشوری نقش حیاتی شبکه حمل و نقل جاده‌ای در اقتصاد آن غیر قابل اجتناب است. لذا شرایط فیزیکی زیرساخت‌ها بسیار مهم می‌باشد. بدون شک، بدون نگهداری کافی و به موقع، بزرگراه‌ها و راه‌های برون شهری و فرودگاه‌ها به شدت دچار زوال و تخریب خواهد شد، که این امر منجر به بیشتر شدن هزینه بهره‌برداری وسیله نقلیه، افزایش تعداد تصادفات و کاهش اعتماد به خدمات حمل و نقل می‌شود. وقتی عملیات تعمیر و نگهداری به موقع انجام نشود، نیاز به بهسازی و حتی بازسازی گسترده‌ای خواهد بود که اغلب هزینه‌ای بیشتر از تعمیر و نگهداری ساده‌ای که می‌توانست زودتر انجام شود، در بر خواهد داشت. مراقبت از شبکه موجود و نگهداری آن در شرایط مطلوب امر مهمی بوده و اغلب در تخصیص بودجه‌های جدید دارای اولویت می‌باشد. بدین منظور باید خرابی‌هایی که در طول عمر روسازی رخ می‌دهد و پدیده‌های منجر به آن شناخته شود تا بتوان روش مناسبی برای مقابله با آن اتخاذ شود. یکی از پدیده‌هایی که در فصول سرد سال عملکرد روسازی را مختل می‌کند، پدیده‌ی یخ‌زدگی روسازی می‌باشد. این پدیده سبب ایجاد مشکلات متعدد در سطح انواع راه‌ها از جمله ایجاد خرابی روسازی شده و پتانسیل رخ دادن حادثه را بالا می‌برد. در باند فرود با توجه به سرعت و وزن بالای هواپیما و نیروی بالای ضربه حاصل از فرود، سبب کننده شدن یخ‌های جامد از روی روسازی شده و با پرتاب آن به سمت بدنه هواپیما و موتور آن، سبب بروز فاجعه‌های جبران ناپذیری می‌شود. همچنین به هنگام صعود هواپیما، به دلیل کم بودن اصطکاک سطح روسازی، به نیروی بالابرنده بیشتری برای صعود نیاز است که این امر موجب اختلال در فرآیند صعود شده و احتمال بهم خوردن تعادل و سرنگونی هواپیما بالا می‌رود. در جاده‌ها نیز وجود یخ سبب کم شدن اصطکاک وسایل نقلیه با سطح روسازی و سر خوردن وسایل نقلیه می‌شود که در نهایت باعث رخ دادن حادثه می‌شود. به همین دلیل جلوگیری از رخ دادن این پدیده یا برطرف کردن آن در بحث مدیریت راه‌ها و فرودگاه‌های کشور از اهمیت بالایی برخوردار است [۱].

## ۲- روش‌های مقابله با یخ‌زدگی روسازی

روش‌های متعددی برای مقابله با این رخداد وجود دارد که به طور کلی این روش‌ها در دو دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

## ۱-۲- روش‌های پیشگیری از ایجاد لایه برف و یخ (Anti-Icing)

این عملیات با هدف پیشگیری از یخبندان در سطح راه‌ها و معابر انجام می‌گیرد. در این روش به کمک اطلاعات هواشناسی و همچنین اطلاعات سطح راه‌ها، با پیش‌بینی احتمال یخبندان معابر، پیش از شروع یخ‌زدگی اقدام به پاشیدن مواد ضد یخ مخصوص می‌کنند. این مواد با پایین آوردن نقطه انجماد آب، مانع از یخ‌زدگی سطح معابر می‌شوند. همچنین روش‌های نوینی در این زمینه توسعه یافته است که به صورت مکانیزه به پخش مواد ضد یخ می‌پردازد. روش دیگری که در این بخش دسته‌بندی می‌شود، استفاده از انرژی گرمایی برای روسازی به منظور بالابردن دمای آن و جلوگیری از تشکیل یخ می‌باشد [۲]. شکل ۱ روش مکانیزه پخش مواد ضد یخ در سطح روسازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: روش مکانیزه پخش مواد ضد یخ در سطح روسازی [۲]

## ۲-۲- روش‌های مبتنی بر یخ‌زدایی (De-Icing)

یخ‌زدایی، عملیات لازم برای از بین بردن لایه برف و یخ ایجاد شده بر سطح راه‌ها و معابر است. این روش‌ها به صورت‌های مکانیکی (خراش دادن و هل دادن یخ)، روش‌های گرمایی (استفاده از مواد شیمیایی و یا انرژی گرمایی) و یا ترکیبی از این دو نوع روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیرباز روش‌های سنتی پاشیدن نمک به همراه شن روی سطح روسازی و هل دادن و خراش دادن یخ توسط ابزارآلات راهسازی مورد استفاده می‌گرفته است. در سال‌های اخیر با توجه به معایب این روش، روش‌ها و مواد جدیدی به عنوان ماده یخ‌زدا مورد استفاده قرار گرفته است [۲]. شکل ۲ پخش مواد یخ‌زدا را در سطح راه یخ زده نشان می‌دهد.



شکل ۲: پخش مواد یخ‌زدا در سطح روسازی [۲]



## ۲-۳- پاشیدن شن و ماسه به همراه انواع نمک

فرآیند یخ زدایی در جاده‌ها به طور سنتی با پخش شن و ماسه به همراه انواع نمک بوسیله‌ی ماشین‌آلات راه‌داری می‌باشد. قدمت این روش به اوایل قرن نوزدهم برمی‌گردد. مکانیزم عملکردی این روش بدین صورت است که نمک پخش شده در راه با پایین بردن نقطه انجماد آب، سبب ذوب یخ شده و در آب حل می‌شود. از طرفی با توجه به لغزنده بودن سطح روسازی یخ زده و دیر عمل کردن فرآیند ذوب یخ، به منظور بالا بردن اصطکاک روسازی از پاشیدن شن و ماسه استفاده می‌شود. نمک‌های استفاده شده در این روش سدیم کلرید (نمک طعام)، منگنز کلرید، کلسیم کلرید و پتاسیم کلرید می‌باشد [۳]. نمک طعام بدلیل ارزان تر بودن بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال با توجه به این موضوع که محلول آب نمک در دمای زیر ۱۸- درجه سانتیگراد، منجمد می‌شود، این روش در دماهای پایین کارایی خود را از دست می‌دهد. همچنین نمک به دلیل خاصیت بالای خوردندگی باعث آسیب به راه‌ها خصوصاً در راه‌های بتنی (آسیب به آرماتورها) می‌شود. همچنین این محلول برای برخی گونه‌های گیاهی و حیوانات خاصیت سمی دارد و سبب آسیب به اکو سیستم منطقه می‌شود. سایر نمک‌ها مانند کلرید کلسیم و کلرید منیزیم در دمای پایین تری منجمد شده ولی خاصیت خوردندگی همچنان در این نوع مواد مشهود است و همچنین پس از باز شدن یخ، باید از سطح روسازی جمع آوری شود [۳]. شن و ماسه استفاده شده در این روش سبب آلودگی هوا و انباشته شدن در شانه راه به مرور زمان می‌شود و به دلیل پرتاب شدن، احتمال صدمه زدن به وسیله نقلیه وجود دارد. مهم‌تر از این موارد، شن و ماسه سبب آسیب رساندن به روسازی و کنده شدن آن می‌گردد. با توجه به اینکه شن و ماسه تا زمان بارش باران از سطح راه پاک نمی‌شود، پتانسیل این نوع آسیب بسیار بالاست. از این رو پس از طی شدن فرآیند ذوب یخ، باید شن و ماسه از سطح راه جمع‌آوری شود. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد اگر عملیات پاکسازی پس از فرآیند یخ‌زدایی انجام نشود، تا حدود ۲۰ درصد به روسازی آسیب می‌رسد [۴]. روند آسیب رساندن نمک به روسازی بتنی به صورت پورته پورته شدن سطح روسازی می‌باشد. علت رخ‌داد این پدیده وجود محلول آب نمک در سطح بتن و پدیده‌ی ذوب و یخ آن می‌باشد. این پورته پورته شدن سطح بتن سبب نفوذ رطوبت همراه یون کلر به درون بتن و آغاز فرآیند خوردگی بتن می‌باشد. در نهایت مقاومت روسازی بتنی کاهش می‌یابد. در روسازی آسفالتی پس از ذوب یخ، محلول آب نمک به درون درزها و ترک‌های آسفالت نفوذ می‌کند و در طی دوره‌های ذوب یخ بعدی، سبب عریان‌شدگی سطح آسفالت می‌شود. همچنین با نفوذ به عمق مخلوط آسفالتی، خاک بستر یونیزه می‌شود. به طور کلی مشکلاتی که محلول آب نمک برای روسازی به وجود می‌آورد در بخش‌های زیر دسته‌بندی می‌شود [۵]:

الف- نفوذ به درزها

ب- افزایش قطبیت خاک

ج- ایجاد سفره‌های سدیم و تورم خاک

د- نمکی شدن خاک و کاهش مقاومت خاک در هنگام بارندگی

## ۲-۴- ترکیبات ارگانیک

پس از شناسایی مسائل و مخاطرات ناشی از استفاده از انواع نمک در راه‌ها و به منظور پیدا کردن ماده‌ای که بتوان در سطح باند فرود استفاده کرد، محققین مختلفی تلاش‌هایی انجام دادند. لاینور در سال ۱۹۹۲ با بررسی عناصر موجود در جدول تناوبی، لیست عناصری با قابلیت یخ‌زدایی که خاصیت خوردندگی، سمی و رادیواکتیو ندارند را شناسایی کرد. در نهایت به این نتیجه رسید که عناصر هیدروژن، کربن، نیتروژن، سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم، فسفر و ترکیباتی شامل این عناصر از ویژگی‌های مطلوب برخوردارند. سپس با تولید ترکیب‌های مختلف و استفاده از آن به عنوان ماده یخ‌زدا، ماده‌ی متانول و CMA<sup>۱</sup> را به عنوان ماده مناسب یخ‌زدا شناسایی کرد. البته در مطالعات بعدی به دلیل خاصیت اشتعال متانول و فرار بودن آن از سطح روسازی، این ماده نیز حذف شد و عملاً CMA به عنوان ماده‌ای مناسب بدون مشکلات خوردندگی و زیست محیطی مشخص شد [۶]. CMA از واکنش آهک دولومیتی با استیک اسید به‌وجود آمده و دمای ذوب آن ۲۷- درجه سانتیگراد می‌باشد. برای رسیدن به کارایی همانند نمک در یخ‌زدایی باید مقدار بیشتری از این ماده (حدود ۷ برابر) استفاده کرد و با توجه به تراکم کمتر آن نسبت به نمک و قیمت بیشتر آن، هزینه خرید و نگهداری این ماده بیشتر می‌باشد. با این وجود بدلیل عدم آسیب رساندن به روسازی و همچنین عدم آلودگی زیست محیطی، ماده‌ی مناسبی برای ذوب یخ می‌باشد. در حال حاضر در مناطق سردسیر آمریکا استفاده از این ماده به عنوان ماده یخ‌زدا

<sup>1</sup> Calcium Magnesium Acetate



موثر رواج زیادی دارد [۶]. از دیگر مواد ارگانیک که در این زمینه استفاده می‌شود می‌توان پتاسیم استیک، فرمیت پتاسیم، فرمیت سدیمفرمیت کلسیم و اوره را نام برد. پتاسیم استیک با نقطه انجماد ۶۰- درجه سانتیگراد و قابلیت انحلال در آب و الکل در مناطق خیلی سرد کاربرد بهتری دارد. همچنین اوره بدلیل ارزان بودن در گذشته رواج زیادی داشته است ولی بدلیل مسائل زیست محیطی، از سال ۲۰۱۲ مصرف آن در آمریکا ممنوع شده است [۷]. به طور کلی بدلیل اینکه مواد ارگانیک مانند نمک‌ها خاصیت خوردگی روسازی و تجهیزات را ندارند، در فرودگاه‌ها بسیار استفاده می‌شوند [۶].

## ۲-۵- استفاده از انرژی گرمایی

یکی از روش‌های نوین پیشگیری از یخ زدن روسازی، گرم کردن سطح راه قبل از رسیدن به دمای زیر صفر درجه 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 روسازی‌ها از الیاف رسانا استفاده می‌شود. 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 می‌گردد [۸]. در این روش برای تولید انرژی الکتریکی، بهتر است از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده شود. همچنین برای کم بودن هزینه انتقال انرژی باید روندی طراحی شود تا به کمترین تجهیزات انتقال انرژی نیاز باشد. در سال‌های اخیر، محققین مختلفی در زمینه استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مطالعاتی به انجام رساندند. یکی از این انرژی‌ها انرژی خورشیدی می‌باشد. این انرژی در این مورد هم استفاده شده و سبب ساخت سیستم جاده خورشیدی<sup>۲</sup> برای جلوگیری از یخ‌زدگی روسازی شده است. در این سیستم مجموعه‌ای پانل‌های خورشیدی در سطح جاده و یا کنار آن تعبیه شده است تا انرژی خورشیدی در طول تابستان و یا روزهای آفتابی جمع‌آوری و ذخیره کند. سپس در 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 [۹]. شکل ۳ قرارگیری پانل خورشیدی در راه را نشان می‌دهد. نحوه قرار گیری پانل‌های خورشیدی به دوصورت است. در روش اول در زیر روسازی قرار می‌گیرد (شکل ۳ الف) و در روش دوم در کنار راه نصب می‌شود (شکل ۳ ب). پانل‌ها از شیشه‌های مخصوصی ساخته شده که با بالابردن مقاومت آن، تحمل وزن کامیون را هم دارد [۹]. در روش استفاده از مواد ضد یخ و یا یخ زدا، در نهایت باید این مواد از سطح روسازی جمع‌آوری شود. ولی در استفاده از روش انرژی گرمایی، این فرآیند انجام نمی‌گیرد و هزینه هر دوره ذوب و یخ کمتر می‌شود.



ب

الف

شکل ۳: سیستم جاده خورشیدی و نحوه قرار گیری پانل خورشیدی در آن

<sup>2</sup> Solar Road Systems



### ۳- مقایسه و عملکرد مواد ضد یخ و یخ زا

هر کدام از موادی که در قسمت قبل توضیح داده شد، 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 این که 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 [۱۰]:

جدول ۱: مشخصات مواد ضد یخ و یخ‌زدا [۱۰]

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

با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود مواد ارگانیک استات پتاسیم و استات منیزیم کلسیم، در دامنه دمایی پایین‌تری همچنان کارایی خود را دارا می‌باشند. هر چند دمای عملکردی این مواد از کلسیم کلرید بیشتر است، ولی به دلیل خواص خوردندگی کلسیم کلرید، استفاده از مواد ارگانیک در مناطق سردسیر عملکرد بهتری از خود نشان خواهد داد. در ادامه عملکرد چند ماده یخ‌زدا از جمله مواد سنتی (نمک‌ها) و مواد جایگزینی که اخیراً به عنوان یخ‌زدا شناخته شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور اثر استفاده از این مواد در مقابله با یخ را با آزمایش‌های ظرفیت ذوب یخ<sup>۳</sup> و مقدار نفوذ ماده در یخ<sup>۴</sup> و همچنین آزمایش ذوب-یخ<sup>۵</sup> در روسازی‌های بتنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مشخصاتی موادی که در این قسمت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد در جدول ۲ ذکر شده است [۱۱]:

<sup>3</sup> ice melting capacity test

<sup>4</sup> ice penetration test,

<sup>5</sup> freeze-thaw test



جدول ۲: مواد یخ زدا و ضد یخ مختلف استفاده شده در آزمون‌ها [۱۱]

نوع (c یا r)	درصد خلوص	حالت	فرمول شیمیایی	ماده یخ زدا
آزمایشگاهی <sup>۶</sup> r	99 %	جامد	NaCl	NaCl
صنعتی <sup>۷</sup> c	100 %	جامد	NaCl	NaCl-based
صنعتی	27-29 %	مایع	MgCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub> -based1
صنعتی	26 %	مایع	MgCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub> -based2
صنعتی	25 %	مایع	MgCl <sub>2</sub>	Agro-based1
صنعتی	97 %	جامد	Na <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	NaAc-based
صنعتی	98 %	جامد	Na (CHOO)	NaFm-based
صنعتی	97-98 %	جامد		NaAc/NaFm
صنعتی	50 %	مایع	K <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	KAc-based
صنعتی	96 %	جامد	CaMg <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	CMA-based
آزمایشگاهی	99 %	جامد	K (CHOO)	KFm-based

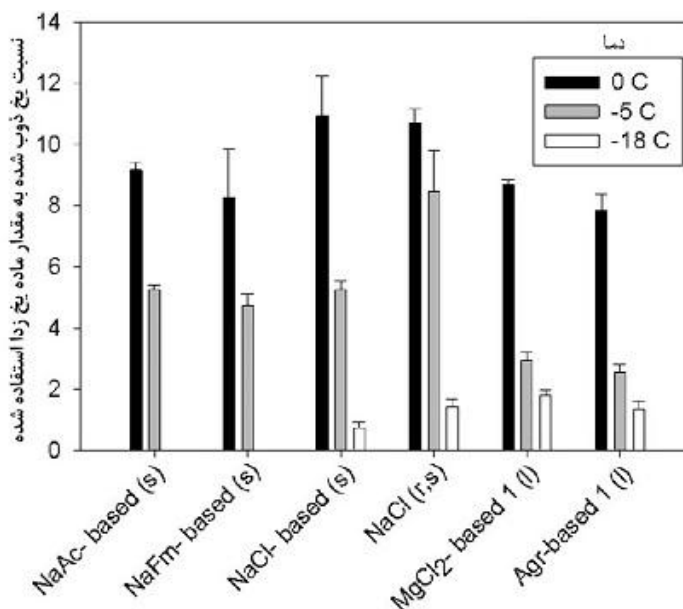
#### ۴- ظرفیت ذوب مواد یخ زدا

به منظور اندازه‌گیری ظرفیت ذوب یخ مواد یخ‌زدای مختلف، از استاندارد SHRP H205.1 برای یخ‌زدای جامد و استاندارد SHRP H205.2 برای یخ‌زدای مایع استفاده شده است. این آزمایش ظرفیت ذوب یخ مواد یخ‌زدای جامد و مایع را نشان می‌دهد. روش کار بدین صورت است که ۲۵ میلی‌لیتر آب به ضخامت یکنواخت منجمد می‌شود و در نهایت ورقه‌ای یخی با شعاع ۳۵ میلی‌متر تشکیل می‌شود. پس از گذشت ۲۴ ساعت زمان و به تعادل رسیدن دمایی ورقه یخی، ۱ گرم ماده‌ی یخ‌زدای جامد و یا ۰.۹ گرم ماده یخ‌زدای مایع روی نمونه پاشیده می‌شود. در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه بعد از قرار دادن یخ‌زدا روی آن، مقدار یخ ذوب شده از روی نمونه برداشته شده و وزن می‌شود و سپس دوباره روی نمونه قرار داده می‌شود. فرآیند برداشتن و وزن کردن و دوباره ریختن نباید بیشتر از ۱ دقیقه طول بکشد. همچنین برای جلوگیری از وارد شدن مواد دیگر به ترکیب ماده یخ‌زدا و آب و یخ، از ظروف مخصوص استفاده می‌شود. این فرآیند در ماه‌های صفر، ۵- و ۱۸- درجه سانتیگراد انجام می‌شود. نتایج آزمایش به صورت نسبت وزنی یخ ذوب شده به مقدار ماده یخ‌زدا گزارش داده می‌شود. شکل ۴ نتایج حاصل این آزمایش را نشان می‌دهد [۱۱]:

<sup>6</sup> Reagent-grade

<sup>7</sup> commercial product





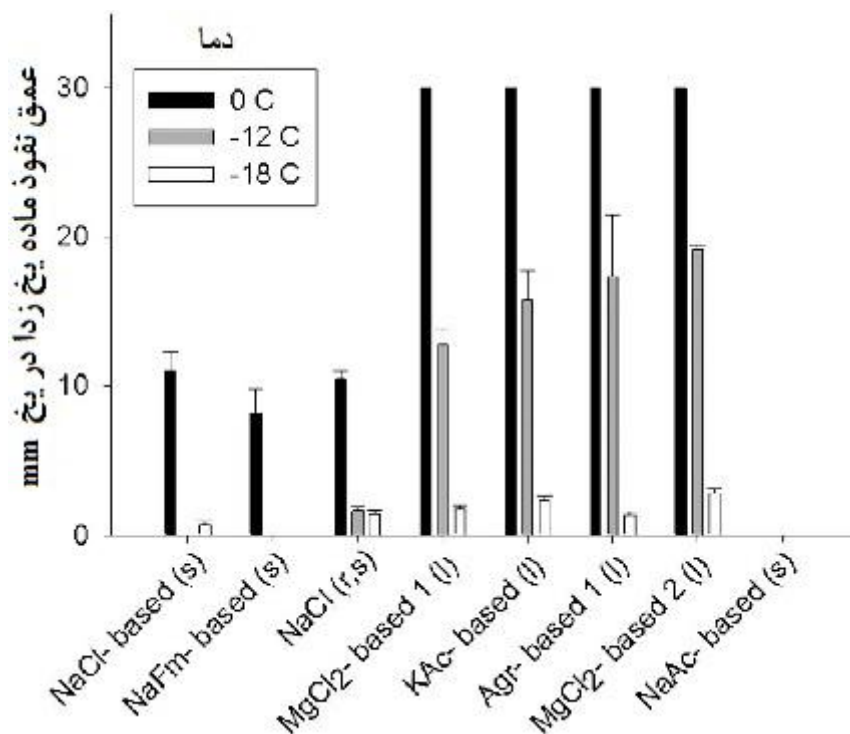
شکل ۴: ظرفیت ذوب یخ توسط مواد یخزداي مختلف [۱۱]

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، بازده استفاده از مواد یخزدا با کم شدن دما، کاهش می‌یابد. این مشاهده با توجه به گستره‌ی دمایی فعالیت مواد مختلف (جدول ۱) قابل پیش‌بینی بود. در دمای صفر درجه نمک‌ها و مواد ارگانیک حاصل از سدیم بهترین پاسخگویی را دارد به طوری که با استفاده از ۱ گرم از این مواد بیش از ۱۰ گرم یخ، ذوب می‌شود. ولی در دماهای پایین‌تر نمک‌های منگنز بازده بیشتری دارد. مطلب بعدی که از این نمودار برداشت می‌شود این است که نمک‌های مختلف، تا دمای ۵- درجه سانتیگراد، بیشترین کاهش ظرفیت یخزدايی را دارند. علت این امر را باید در فعل و انفعالات شیمیایی نمک‌ها مورد ارزیابی قرار داد.

## ۵- مقدار نفوذ ماده یخ زدا در یخ

به منظور اندازه‌گیری میزان نفوذ ماده یخزدا درون یخ از استانداردهای SHRP H205.3 و H205.4 برای مواد یخزداي جامد و مایع استفاده می‌شود. برای انجام این آزمون به ظرف مخصوص پلکسی‌گلاس<sup>۸</sup> نیاز می‌باشد. ابعاد این ظرف ۵ در ۲۰ به ضخامت ۱,۳ سانتی‌متر است که دارای ۱۰ حفره می‌باشد. اندازه هر حفره ۰,۴ به عمق ۳,۵ سانتی‌متر می‌باشد که به فاصله‌ی ۱,۷ سانتی‌متر در طول ظرف قرار گرفته است. این حفره‌ها توسط آب پر شده و به مدت ۱۲ تا ۲۴ ساعت منجمد می‌شود. مواد یخزدا در همان دما روی یخ قرار داده می‌شود تا تعادل دمایی آزمون برقرار شود. پس از شروع عملیات یخزدايی و تشکیل آب، محلول رنگی به منظور اندازه‌گیری عمق نفوذ روی یخ قرار داده می‌شود. عمق نفوذ رنگ در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه اندازه‌گیری می‌شود. این فرآیند در سه دمای صفر، ۱۲- و ۲۰- درجه سانتیگراد اندازه‌گیری می‌شود. برای مواد یخزداي مایع مقدار ۲ قطره رنگ درون ۲۵ میلی‌لیتر ماده یخزدا حل می‌شود و اجازه داده می‌شود این محلول روی یخ درون فریزر به تعادل دمایی برسد. سایر روند مانند ماده یخزداي جامد است. رنگی که به منظور شناسایی به ماده یخزدا اضافه می‌شود، رنگ خوراکی می‌باشد و این ماده در فرآیند ذوب یخ تاثیری ندارد. در نهایت عمق نفوذ ماده یخزدا درون یخ در دماهای مختلف به صورت میلی‌متر گزارش می‌شود. شکل ۵ نتایج حاصل این آزمایش را نشان می‌دهد [۱۱]:

<sup>8</sup> Plexiglas



شکل ۵: عمق نفوذ ماده یخزدا در یخ (mm) [۱۱]

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود، در تمامی دماها نمک‌ها و مواد ارگانیک حاصل از سدیم کمترین ضریب نفوذ به درون یخ را دارند و در دماهای بالاتر از ۱۲- درجه، این میزان نفوذ در حد صفر میلی‌متر می‌باشد. این در حالی است که مواد حاصل از منیزیم و پتاسیم، به میزان بیشتری درون یخ نفوذ می‌کنند. همچنین این مواد در دماهای پایین‌تر از ۱۲- درجه نیز، همچنان کارایی خود را حفظ کرده و به درون یخ نفوذ می‌کنند. علت عملکرد بهتر مشتقات منیزیم و پتاسیم نسبت به مشتقات سدیم را باید با مسائل مربوط شیمی تحلیل کرد. همچنین در تمامی مواد، با پایین رفتن دما، مقدار نفوذ به درون یخ کمتر می‌شود که این امر قابل پیش‌بینی بود.

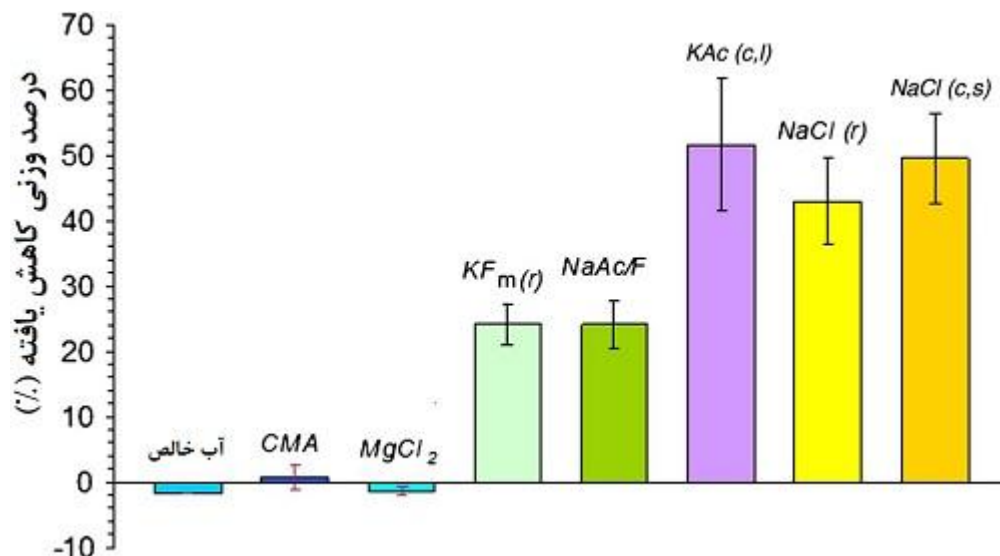
#### ۶- آزمایش ذوب یخ در بتن در حضور مواد یخ‌زا

این آزمون با توجه به استاندارد SHRP H205.8 انجام می‌گیرد. برای ساخت نمونه بتنی از استاندارد ASTM C 672-91 استفاده می‌شود. اساس این روش اندازه‌گیری مقدار وزن از دست داده‌ی بتن پس از انجام فرآیند یخ‌زدایی می‌باشد. پس از عمل‌آوری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی و خشک کردن آن، این نمونه‌ها را ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده تا کاملاً خشک شود. پس از آن وزن نمونه بتنی اندازه‌گیری می‌شود. ۳۱۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت ۳ درصد برای ماده یخ‌زدای مایع و با غلظت ۳ درصد برای ماده یخ‌زدای جامد ساخته می‌شود. برای هر ماده یخ‌زدا ۴ نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در انتهای هر نمونه یک اسفنج که محلول یخ‌زدا روی آن ریخته شده قرار داده شده و به همراه نمونه به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در دمای  $17.8 \pm 2.7$  - درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. پس از آن نمونه به دمای اتاق ( $23 \pm 1.7$  درجه سانتیگراد) با رطوبت نسبی ۴۵ تا ۵۵ درصد انتقال داده می‌شود و به مدت ۶ الی ۸ ساعت در این فضا نگهداری می‌شود. پس از آن دوباره به فریزر انتقال داده می‌شود. نرخ کاهش دما در فریزر و افزایش دما باید به‌ترتیب به صورت ۱،۲ و ۰،۴ درجه سانتیگراد در دقیقه باشد. این چرخه ۱۰ بار انجام می‌شود. پس از اتمام چرخه‌ی دهم، نمونه از ظرف و اسفنج جدا شده و با آب به صورت کامل شست و شو شده تا موادی که انسجام خود را از دست داده‌اند، از نمونه جدا شود. بزرگترین قسمت نمونه در هوای آزاد با دمای  $1.7 \pm 2.3$  درجه سانتیگراد با رطوبت نسبی ۴۵ تا ۵۵ درصد به



مدت ۲۴ ساعت قرار داده می‌شود. پس از آن نمونه وزن می‌شود. نحوه گزارش این آزمایش به صورت درصد وزنی کاهش یافته می‌باشد که از رابطه ۱ بدست می‌آید. همچنین شکل ۶ نتایج حاصل این آزمایش را نشان می‌دهد [۱۱]:

$$(۱) \quad \text{درصد وزنی کاهش یافته} = \frac{(\text{وزن ثانویه نمونه بتنی} - \text{وزن اولیه نمونه بتنی})}{\text{وزن اولیه نمونه بتنی}} \times 100$$



شکل ۶: درصد وزنی کاهش یافته نمونه بتنی پس از ۱۰ چرخه‌ی ذوب یخ در حضور ماده یخ‌زدا [۱۱]

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، نمک‌ها و مواد ارگانیک حاصل از سدیم و پتاسیم به مقدار بالایی سبب از بین رفتن نمونه‌های بتنی می‌شود. به طور مثال یخ‌زدایی با نمک طعام سبب از بین رفتن حدود ۵۰ درصد نمونه‌ی بتنی می‌شود. این در حالی است که نمک‌ها و مواد ارگانیک حاصل از منیزیم بهترین عملکرد را داشته و مقدار نمونه‌ی بتنی از بین رفته در حد صفر است. ستون اول نشان داده شده در شکل، حاصل از قرار دادن آب خالص روی اسفنج است تا به عنوان نمونه کنترلی مقدار درصد وزنی کاهشی در استفاده از مواد یخ‌زدا با آب خالص مورد ارزیابی قرار گیرد. آب خالص پس از گذراندن سیکل‌های متعدد همچنان سبب خرابی نمونه‌ی بتنی نشده است.

## ۷- مخاطرات زیست محیطی

نمک‌های یخ‌زدا بدلیل عملکرد یونی خود و انباشته شدن، سبب کاتدی شدن محیط خاک می‌شوند. این محیط برای ادامه حیات گیاهان مشکل ساز خواهد شد [۱۲]. مواد شیمیایی نیز در غلظت‌های بالا می‌تواند به اکوسیستم منطقه آسیب برساند. به طور مثال ترکیبات ارگانیک با جذب اکسیژن سبب کم شدن اکسیژن شده و هوای اطراف را با ترکیبات گلخانه‌ای آلوده می‌کنند. همچنین این مواد با حل شدن در آب اطراف منطقه، سبب مصرف اکسیژن درون آب شده و باعث می‌شود اکسیژن مورد نیاز برای آبزیان در دسترس آنان قرار نگیرد. این کاهش سطوح اکسیژن درون آب باعث می‌شود آبزیان به مناطق با اکسیژن بالاتر نقل مکان کرده و یا در اثر کمبود اکسیژن از بین بروند. با از بین رفتن این گونه آبزیان، اکوسیستم آبی منطقه دچار بحران شده و آسیب‌های جدی به آن وارد خواهد شد. در سال ۲۰۰۲ بارش برف شدید در آتلانتا و در پی آن استفاده از اوره به عنوان ماده یخ‌زدا در روسازی فرودگاه، سبب آلودگی ناگهانی رودخانه فلینت در پایین‌دست فرودگاه آتلانتا شد [۱۳]. بنابراین لازم است در صورت استفاده از این مواد پس از فعالیت یخ‌زدایی، از سطح روسازی جمع‌آوری شده و به تصفیه‌خانه‌های تجاری انتقال پیدا کند.



## ۸- جمع بندی و نتیجه گیری

یخزدگی روسازی وجود دارد. هر کدام از روش‌ها مزیت و معایب مخصوص خود را دارد، بنابراین منطقی است با توجه به نوع روسازی و درجه اهمیت راه، از روش‌های متنوع استفاده کرد. به عنوان مثال در فرودگاه‌ها بدلیل صدماتی که روش‌های معمول یخزدایی با نمک به راه وارد می‌کند، و همچنین خطر سقوط هواپیما در اثر برخورد یخ با آن، باید از روش‌هایی با ریسک پذیری کمتری کمک گرفت که اصولاً این روش‌ها هزینه بر هستند. اما با توجه به اهمیت باند فرود هواپیما و مخاطرات آن، استفاده از این روش‌های گران، معقول است. با بررسی مواد یخزدای ارگانیک و نمک‌های متداول در امر یخزدایی، مشاهده شد نمک‌های سدیم در محدوده دماهای پایین، عملکرد مناسبی نداشته و میزان یخزدایی با این مواد در دماهای پایین به طرز قابل توجهی کمتر از دماهای نزدیک به صفر است. نمک‌ها و مواد ارگانیک حاصل از پتاسیم و منیزیم در دماهای پایین هم عملکرد مناسبی دارد. اما در نهایت دماهای پایین‌تر از ۱۸- درجه سانتیگراد، میزان کارایی این مواد شیمیایی بسیار کم است و برای یخزدایی به حجم بیشتری از این مواد نیاز می‌باشد. همچنین با بررسی عمق نفوذ مواد یخزدا درون یخ، نتایج مشابه با بررسی کارایی مواد یخزدا حاصل شد. بنابراین لازم است در مناطقی که دماهای بسیار پایین را تجربه می‌کند از روش‌های نوین جایگزین استفاده کرد. یکی از مشکلات استفاده از مواد سنتی به عنوان یخزدا، نفوذ به درون ساختمان روسازی و ایجاد جدایش و دانه‌دانه شدن روسازی می‌باشد. برای مقایسه میزان این جدایش در استفاده از مواد یخزدای مختلف، نمونه‌های بتنی ساخته شده و درصد جرم کاهشی آن پس از دوره‌های ذوب و یخ اندازه‌گیری شد. در نهایت نتایج نشان داد مواد حاصل از سدیم و پتاسیم، بیشترین اثر مخرب روی نمونه‌های بتنی را دارند. با این حال مواد حاصل از منگنز مخصوصاً CMA بهترین پاسخ را در این زمینه داد و جرم نمونه‌های بتنی کمتر از ۲ درصد کاهش یافت. قیمت این ماده و هزینه نگهداری آن نسبت به نمک‌ها و مواد متداول بیشتر است، ولی با توجه به اینکه استفاده از آن سبب خرابی روسازی نمی‌شود، استفاده از آن توجیه اقتصادی دارد. بنابراین استفاده از این مواد به عنوان ماده یخزدا پیشنهاد می‌شود. به منظور استفاده از مواد یخزدا و ضد یخ برای پاک‌سازی روسازی از یخ، می‌بایست نیروی کاری مجرب بکار گرفته شود تا با دانستن اطلاعات تخصصی و بازه عملکردی مواد مختلف، بتوانند انتخاب درستی برای انتخاب ماده داشته باشند. با توجه به مخاطرات زیست محیطی ناشی از روش‌های شیمیایی، بهتر است روش‌های مدرن در استفاده از انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار گیرد. این روش‌ها علاوه بر استفاده از انرژی تجدیدپذیر، هیچ آلودگی برای محیط زیست نداشته و تعادل اکوسیستم منطقه هم حفظ می‌شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه روش‌های ذکر شده عموماً روش‌های پیشگیرانه‌ای هستند، خطر رخ دادن سانحه‌های ناشی از وجود یخ در روسازی را نیز از بین می‌برند. توصیه می‌شود مطالعات در این زمینه گسترش یابد تا در راستای توسعه کشور، گام بزرگی برداشته شود.

## ۹- مراجع

- ۱- شاهین، م. ترجمه عامری، م. مدیریت روسازی برای راه‌ها، فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۸.
- [2]-Thomas, Scott K., Robert P. Cassoni, and Charles D. MacArthur. "Aircraft anti-icing and de-icing techniques and modeling." *Journal of Aircraft* 33, no. 5 (1996): 841-854.
- [3]-Sanzo, Domenico, and Stephen J. Hecnar. "Effects of road de-icing salt (NaCl) on larval wood frogs (*Rana sylvatica*)." *Environmental Pollution* 140, no. 2 (2006): 247-256.
- [4]-Blomqvist, Göran, and Eva-Lotta Johansson. "Airborne spreading and deposition of de-icing salt—a case study." *Science of the Total Environment* 235, no. 1 (1999): 161-168.
- [5]-Ftikos, Ch, and G. Parissakis. "The combined action of Mg<sup>2+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in cement pastes." *Cement and Concrete Research* 15, no. 4 (1985): 593-599.
- [6]-Fay, Laura, Kevin Volkening, Chase Gallaway, and Xianming Shi. "Performance and impacts of current deicing and anti-icing products: User perspective versus experimental data." In *87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*, pp. 1-22. 2008.
- [7]-Jiang, Chaozhe. "Evaluation of the Performance of Deicing and Anti-icing Using Organic Alternatives for Sustainable Winter Road Maintenance." Master's thesis, University of Waterloo, 2017.



- [8]-Bai, Ying-hua, 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).
- [9]-Nasir, Diana SNM, 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).
- [10]-Anburaj Muthumani, Laura Fay, 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) 21–32.
- [11]-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, no. 3 (2010): 89-114.
- [12]-Mary Ann Cunningham & Eric Snyder & Daniel Yonkin & Morgan Ross & Toren Elsen, Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment, *Urban Ecosyst* (2008) 11:17–31
- [13]-Ramakrishna, Devikarani M., and Thiruvengkatachari Viraraghavan. "Environmental impact of chemical deicers—a review." *Water, Air, and Soil Pollution* 166, no. 1-4 (2005): 49-63
- [14]-ASTM Standard C33, 2003 (2006), "Specification for Concrete Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, DOI: 10.1520/C0033-03R06