مقایسه تطبیقی مواد مورد استفاده برای یخزدایی جاده‌ها در زمستان و پیشنهاد مواد مناسب برای راههای ایران

عبدالرضا شیخ الاسلامی[۱]، محمد علی آرمان[۲]، حسن خاکسار[۳]

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران

MohammadAli.Arman@gmail.com

خلاصه

معمولاًبرای مقابله با پدیده یخبندان مخلوطی از شن و ماسه به عنوان ساینده و یک ماده‌ی شیمیایی (عمدتا نمک) جهت پایین آوردن دمای انجماد آب در محیط و در نتیجه ذوب یخ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب ماده‌ی شیمیایی مناسب با اقلیم هر محل بر اساس سلسله آزمایش‌هایی انجام می‌شود، با این وجود هنوز اثراتجانبی منفی فراوانی از این عملیات به محیط زیست، راه، تسهیلات وابسته به راه و خودروهای عبوری وارد می‌شود. تا کنون آلترناتیوهای گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است، سنگ ماسه‌ی آهکی رس‌دار یکی از این آلترناتیوها است که به نظر می‌رسد مناسب‌ترین گزینه برای شرایط اقلیمی ایران باشد.

کلمات کلیدی: نگهداری زمستانی، یخزدایی جاده‌ها، ضررهای جانبی، سنگ ماسه‌ی آهکی رسدار.

۱. مقدمه

سالیان زیادی است که مخلوطی از ذرات شن و ماسه و مواد شیمیایی برای یخزدایی و جلوگیری از یخزدگی به عنوان بخشی از عملیات نگهداری زمستانی راه هم در معابر درون شهری و هم در معابر بین شهری مورد استفاده قرار گرفته است. مواد شیمیایی که برای یخزدایی و جلوگیری از یخزدگی (از این به بعد به اختصار راهداری زمستانی) مورد استفاده قرار گرفته‌اند عمدتا نمک ها هستند؛ فرآیند اصلی به این شکل است که دانه های شن و ماسه، اصطکاک وسایل نقلیه را با سطح افزایش می دهند و همچنین به شکستن پیوند های یخ کمک می کند. مواد شیمیایی مورد استفاده نیز با جذب آب به صورت محلول در آمده و در میان برف و شیار های یخ و زیر آن جریان می یابند و با پایین آوردن دمای انجماد در محیط، برف و یخ را ذوب می کنند و موجب جدا شدن قطعات یخ از سطح جاده می شوند. جریان ترافیک عبوری به اضافه‌ی ذرات شن و ماسه که در این مرحله نیز اثر دارند به خرد تر شدن و ذوب کامل برف آب و قطعات یخ جدا شده کمک می‌کنند. نتیجه فراهم آمدن سطحی بدون یخزدگی و با اصطکاک بیشتر است که ضریب ایمنی بیشتری را برای تردد در فصل زمستان فراهم می آورد؛ اما این همه آنچه اتفاق می افتد نیست. بخشی از دانه های شن و ماسه و مواد شیمیایی به کار رفته در جریان راهداری زمستانی، در ساعات و روزهای بعدی روی سطح باقی مانده، بخشی به صورت ذرات ریز وارد هوا شده و باقی به صورت محلول به جریان آب زیر زمینی و خلل و فرج خاک محل راه می یابند و موجب اثرات منفی و زیان های زیست محیطی و فنی می شوند.

۲. مواد مصرفی در راهداری زمستانی

دو دسته مواد ساینده و مواد شیمیایی در راهداری زمستانی کاربرد دارند، ساینده‌ها اصطکاک سطح را افزایش داده و در پیوندهای 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. ساینده‌ها معمولا دانه‌های شن و ماسه هستند.

مواد شیمیایی مورد استفاده در راهداری زمستانی گستردگی زیادی دارند. از میان آنها در این بخش از این مقاله و در قالب جدول شماره یک، هشت مورد از این مواد به عنوان پرکاربرد ترین آنها که ضمنا در ایران نیز شناخته شده هستند معرفی شده‌اند. به طور کلی عملکرد مواد شیمیایی در فرآیند یخزدایی و پیش گیری از یخزدگی به این ترتیب است که این مواد به صورت محلول یا جامد روی سطح پخش می شوند. حالت جامد برای آن

دسته از مواد شیمیایی کاربرد دارد که توانایی آنها در جذب رطوبت بسیار زیاد است و پس از مصرف و در محیط به شکل محلول در می‌آیند. در هر صورت این مواد چه به صورت محلول روی سطح پخش شوند و چه به صورت جامد، در آب موجود در میان برف و یخ روی جاده حل می‌شوند، ماده‌ی شیمیایی این خاصیت را دارد که دمای انجماد محلول خود را به کمتر از دمای طبیعی انجماد آب در محیط (صفر درجه‌ی سلسیوس) می‌رساند در نتیجه برف و یخی که در مجاورت آن است رفته رفته ذوب می‌شود. این کار تا آنجا که بیشترین مقدار برف و یخ ممکن بر اساس حجم عملکردی هر ماده شیمیایی ذوب شود ادامه می‌یابد. گستره حداقل دمای عملکردی مواد شیمیایی گوناگون بین ۷- تا ۲۹- درجه‌ی سلسیوس است. مواد شیمیایی که در راهداری زمستانی به کار می‌روند یا گرماگیر اند یا گرماده، مواد گرماده توانایی ذوب یخ و برف بیشتری را دارند و مواد گرماگیر، گرمای مورد نیاز فرآیند انحلال را از تابش آفتاب یا اصطکاک حاصل از جریان ترافیک بدست می‌آورند.

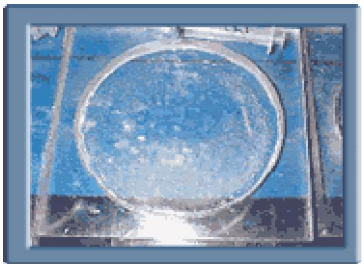
در جدول شماره‌ی یک هشت نمونه مواد شیمیایی پر استفاده به همراه فرمول شیمیایی، حداقل دمای عملکردی، نحوه واکنش شیمیایی و حجم عملکردی آنها معرفی شده است.

جدول ۱- نمونه مواد معروف و پرکاربرد در راهداری زمستانی

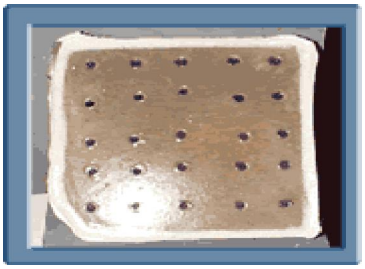
ماده‌ی شیمیایی	فرمول شیمیایی	حداقل دمای عملکردی	نوع واکنش شیمیایی	حجم عملکردی در -9^0C	حجم عملکردی -15^0C
آمونیوم سولفات	$(NH_4)_2SO_4$	-7^0C	گرماگیر	1.3 ml	0.2 ml
کلسیم کلراید	$CaCl_2$	-29^0C	گرماده	14.6 ml	9.0 ml
کلسیم منیزیم استات	$CaCO_3+MgCO_3+CH_3COOH$	-9^0C	گرماگیر	4.7 ml	1.2 ml
منیزیم کلراید	$MgCl_2$	-15^0C	گرماده	9.1 ml	5.7 ml
پتاسیم استات	CH_3COOK	-9^0C	گرماگیر	5.6 ml	1.9 ml
پتاسیم کلراید	KCl	-7^0C	گرماگیر	1.0 ml	0.0 ml
سدیم کلراید	$NaCl$	-9^0C	گرماگیر	5.2 ml	1.5 ml
اوره	NH_2CONH_2	-7^0C	گرماگیر	2.0 ml	0.0 ml

آزمایشگاه‌ها در مراکز پژوهشی، دانشگاهی، ادارات مرتبط و شرکت‌های تجاری در سراسر جهان آزمایش‌های گوناگونی را به منظور انتخاب مناسب ترین ماده شیمیایی برای هر موقعیت جغرافیایی و نیز تعیین دقیق حجم عملکردی هر ماده انجام می‌دهند. این آزمایش‌ها تنوع زیادی دارند اما مرسوم ترین آنها سه آزمایش: تست ذوب یخ، تست جداکنندگی و تست نفوذ، هستند. ظاهراً انجام چنین آزمایش‌هایی در ایران چندان مرسوم نیست و اگر هم در سطوح پژوهشکده‌ها و دانشگاه‌ها این آزمایشات انجام می‌شود نتایج آنها نمود اندکی دارد. سالیان زیادی است که با فرا رسیدن فصل سرما و بارش برف و یخبندان، کارگران شهرداری‌ها اقدام به پاشیدن مخلوطی از شن و ماسه با نمک (NaCl) روی سطوح یخزده می‌کنند بدون این که هیچ مقیاس سنجش یا اندازه گیری در میان باشد.

تست ذوب یخ آزمایشی است که در جریان آن بررسی می شود که واحد وزنی ماده‌ی شیمیایی مورد استفاده در نگهداری زمستانی چه مقدار یخ و برف را بر حسب واحد وزن در دماهای مختلف ذوب می‌نماید. این آزمایش در دو استاندارد SHRP-H-332 و SHRP-H-205.1 برای مواد جامد و استاندارد H-205.2 برای مواد ارائه شده است. تست جداکنندگی معیاری است برای ارزیابی قابلیت واحد وزن هر یک از مواد شیمیایی در جدا کردن مقدار یخ بر حسب واحد سطح از روی سطح روسازی، این آزمایش نیز دارای استاندارد جداگانه‌ی H-205.5 برای مواد جامد و H-205.6 برای مواد شیمیایی در حالت محلول است. بالاخره تست نفوذ کنترل می نماید واحد وزن مواد شیمیایی، قابلیت نفوذ و ذوب کردن قطعات یخ با حداکثر چه ضخامتی بر حسب میلی‌متر را دارند، این آزمایش با استاندارد SHRP-H-205.3 برای مواد جامد و با استاندارد SHRP-H-205.4 برای مواد شیمیایی در حالت محلول انجام می شود. در شکل های یک، دو و سه وسایل و دستگاه‌های مورد استفاده در سه آزمایش فوق‌الذکر آورده شده است. برای جلوگیری از تطویل مطلب، در خصوص آزمایش‌ها بیش از این توضیح داده نمی‌شود، برای بحث بیشتر رجوع شود به مراجع (۱، ۲، ۳).



شکل ۱ – نمونه ابزار مورد استفاده در تست ذوب



شکل ۲ – نمونه ابزار مورد استفاده در تست جداکنندگی

شکل ۳ – نمونه ابزار مورد استفاده در تست نفوذ

۳. اثرات منفی مواد مورد استفاده در راهداری زمستانی

تا به حال بررسی های زیادی در خصوص اثرات منفی استفاده از دانه‌های شن و ماسه و مواد شیمیایی در راهداری زمستانی صورت گرفته است، هدف بسیاری از این مطالعات بررسی مسئله خوردگی آسفالت تحت اثر مواد شیمیایی بوده است اما این اثر تا به حال بجز در مورد پتاسیم استات که استفاده از آن نیز در ایران رایج نمی‌باشد ثابت نشده است، مطالعات مختلفی هم در خصوص اثرات این عملیات روی محیط زیست صورت پذیرفته. در ادامه این مقاله به بررسی اثرات جانبی دانه‌ها و مواد شیمیایی به تفکیک خواهیم پرداخت.

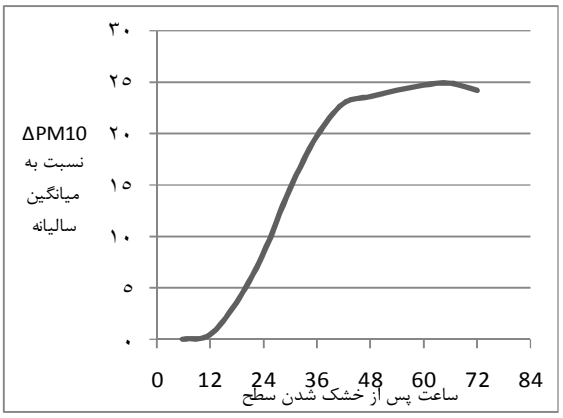
اثرات دانه‌های شن و ماسه

همان طور که پیشتر ذکر شد وظیفه‌ی دانه‌ای شن و ماسه ایجاد اصطکاک است، در حالی که دانه‌های تیز گوشه‌ی شن و ماسه سطح بالاتری از اصطکاک را فراهم می‌آورند و اثرات جانبی منفی بیشتری هم دارند. به طور کلی سه پدیده‌ی افزایش ذرات معلق در هوا، پدیده‌ی کچل شدگی آسفالت و آسیب وارد شدن به شیشه و بدنه‌ی خودروهای عبوری، مهمترین اثرات منفی استفاده از دانه‌های شن و ماسه ارزیابی می‌شوند که در ادامه هر یک را جداگانه و به اختصار بررسی می شود.

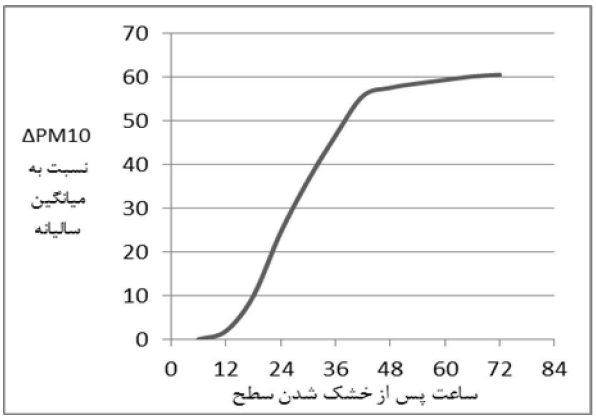
افزایش ذرات معلق در هوا و آلودگی هوا

بر اساس آیین نامه‌ای که در ایران برای انتخاب دانه بندی مناسب برای انجام راهداری زمستانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دانه‌ها می‌بایست قطری بین حداقل ۲/۳۶ تا حداکثر ۱۹ میلی‌متر داشته باشند، اما معمولاً دانه‌های شن و ماسه‌ای که روی سطح معابر پخش می‌شوند مقدار زیادی ذرات ریز تر حتی با ابعادی کوچکتر از قطر یک میلی‌متر را شامل می‌شوند به علاوه همان طور که گفته شد هدف از استفاده از دانه‌ها به عنوان ساینده و جهت ایجاد اصطکاک است، که خود این امر موجب خرد تر شدن دانه‌ها می‌شود، در روزهای بعد از یخبندان و هنگامی که تابش آفتاب سطح معابر را خشک می‌کند این ذرات ریز به صورت گرد درآمده و تحت اثر عبور و مرور عابران، جریان ترافیک و وزش باد به صورت غبار و ذرات معلق وارد هوا می‌شوند. مشاهدات زیادی به خصوص در نواحی درون شهری افزایش ذرات معلق در هوا را حتی تا چند برابر میزان استاندارد نشان داده است. شکل‌های چهار و پنج به ترتیب نتایج بررسی این مسئله را در هوای شهر استکهلم سوئد در دو شرایط کنترل شده و کنترل نشده نشان می‌دهد، تصویر شماره‌ی چهار نتایج مطالعه‌ی کنترل شده است که در آن دانه‌های پاشیده شده در زمان یخبندان از قبل و به منظور این آزمایش دقیقا الک شده و با دانه‌بندی مناسب انتخاب شده‌اند، در حالی که شکل شماره‌ی پنج نتایج دانه پاشی بدون رعایت استاندارد دانه بندی را روی ذرات معلق در هوا نشان می‌دهد. این مطالعه در سال ۱۹۹۹ انجام شده و از آن زمان تا کنون ادارات متصدی اجرای راهداری زمستانی در کشور سوئد ملزم به تهیه‌ی مداوم دانه‌ها با دانه بندی مورد نیاز شده‌اند، این امر در کشوری مانند سوئد که بسیاری از ایام سال را با یخبندان مواجه است حیاتی است. توضیح اینکه برای این مطالعه از حد استاندارد PM10 که حد مجاز ذرات معلق با قطر کمتر از ده میکرومتر را 150 µg/m3معرفی نموده است استفاده شده.(۴)

مقایسه‌ی دو منحنی نشان می‌دهد در وضعیتی که استاندارد دانه بندی رعایت نشده نه تنها شدت آلودگی هوا ناشی از ذرات معلق بیش از دو برابر است بلکه سرعت شروع آلودگی و ماندگاری ذرات در هوا نیز بیشتر است .



شکل ۴–سنجش تغییرات ذرات معلق در هوا در آزمایش با رعایت استاندارد دانه بندی



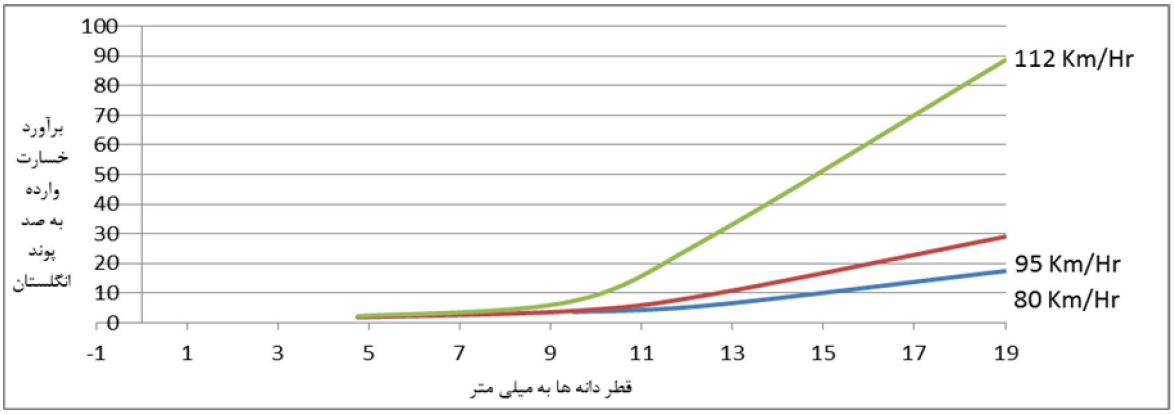
شکل ۵ –سنجش تغییرات ذرات معلق در هوا در آزمایش بدون رعایت استاندارد دانه بندی

پدیده‌ی کچل شدگی آسفالت

در حالی که ریز دانه بودن ساینده‌ها موجب بروز پدیده‌ی آلودگی هوا می‌شود، دانه‌های درشت تر به بروز پدیده‌ی کچل شدگی آسفالت منجر می‌شوند. همان طور که پیشتر بیان شد، مهمترین نقش دانه‌های شن و ماسه ایجاد اصطکاک و کشش سطحی است. این اصطکاک تا زمانی که برف و یخ روی سطح جاده وجود دارد موجب افزایش ایمنی در جریان ترافیک می‌شود اما با گذشت ساعاتی از شروع عملیات دانه پاشی و نفوذ دانه‌ها به بافت‌های یخ و کم شدن ضخامت یخ روی سطح جاده، رفته رفته دانه‌ها با سطح آسفالت تماس پیدا می‌کنند. در این شرایط در اثر عبور جریان ترافیک دانه‌ها روی سطح آسفالت ساییده شده و موجب کنده شدن دانه‌های آسفالت می‌شوند. این پدیده اگر چه به شکلی نامحسوس و با شدت بسیار ناچیز از زمان نازک شدن یخ ها شروع می شود اثر واقعی خود را در مکان‌هایی که یخ کنده شده و دانه‌ها مستقیما با سطح آسفالت تماس دارند و نیز روزهای پس از عملیات راهداری زمستانی و زمانی که سطح عاری از برف و یخ اما به صورت نسبی پوشیده از دانه‌های شن و ماسه است نشان می‌دهد. چنانچه متصدیان راهداری در جاده‌های بین شهری و شهرداری در داخل شهرها نسبت به پاک کردن سطح از این دانه‌ها اقدام ننمایند، تا زمانی که باد، بارش باران و جریان ترافیک سطح را تمیز نکنند آسیب دیدن روسازی ادامه خواهد یافت. این به معنی هفته‌ها اثر سایش دانه‌ها روی روسازی است. اثر این پدیده روی سطح آسفالت اصطلاحا پدیده‌ی کچل شدگی آسفالت خوانده می‌شود. شدت کچل شدگی به میزان زیادی تحت اثر شکل ظاهری دانه‌ها، اندازه‌ی آنها و حجم دانه پاشی بوده و به عوامل موثر در پاک کردن سطح از وجود دانه‌ها بستگی دارد. هر اندازه دانه‌ها تیز گوشه تر بوده یا دانه بندی آنها درشت تر باشد شدت کچل شدگی بیشتر است. به علاوه حجم دانه پاشی اثر مستقیم در شدت کچل شدگی دارد. اگر پاک کردن دانه‌ها از سطح معابر در روزهای پس از یخبندان بر عهده‌ی جریان ترافیک و عوامل جوی مثل باد و باران گذاشته شود، کچل شدگی شدت بیشتری می‌یابد. در حالی که اگر دانه‌ها با دخالت مستقیم انسان از سطح معابر پاک شود، اثر این پدیده بسیار کم و حتی شاید ناچیز خواهد بود. مطالعات متعدد (هانوور ۱۹۹۳ – استکهلم ۱۹۹۹– شیکاگو ۲۰۰۱) نشان داده‌اند که پدیده‌ی کچل شدگی چنانچه فاکتورهای دانه بندی (اندازه – شکل – حجم دانه پاشی) بر اساس دستورالعمل‌های آزمایشگاهی رعایت شوند و دانه‌های پاشیده شده حداکثر تا ۱۲ ساعت پس از بازگشت وضع جاده به حال طبیعی از روی سطح پاک شوند، طی یک دوره‌ی یک ساله که در آن به دلیل بارش برف یا یخبندان هفت یا هشت مرتبه عملیات راهداری زمستانی انجام شده، اثر پدیده‌ی کچل شدگی حدکثر تا پنج درصد خواهد بود و چنانچه این تعداد دفعات نیاز به عملیات راهداری زمستانی طی دوره های دو یا سه ساله اتفاق بیافتد میزان کچل شدگی به ترتیب حداکثر ۳/۲٪ و ۱/۴٪ خواهد بود. این مطالعات نشان دادند حتی با وجود رعایت موازین دانه بندی (بر خلاف شرایط حاکم در ایران) اگر عملیات پاک سازی سطح از دانه‌ها صورت نگیرد انجام هفت یا هشت مرتبه عملیات راهداری زمستانی در طی دوره‌های یک، دو و سه ساله به ترتیب حدود ۲۲، ۱۳/۵ و ۱۲ درصد کچل شدگی را به دنبال خواهد داشت. با توجه به این اعداد و ارقام می‌توان تصور نمود هزینه کردن برای پاک کردن سطح از دانه‌ها پس رفع یخزدگی تا چه میزان هزینه‌های نگهداری راه را کاهش می‌دهد.(۵ ، ۶ ، ۷ ، ۸ ، ۹)

آسیب وارد آمدن به بدنه و شیشه‌ی خودروها

دانه های درشت شن و ماسه علاوه بر پدیده‌ی کچل شدگی موجب بروز اثر منفی دیگری نیز می شوند و آن وارد آمدن آسیب به بدنه و شیشه‌ی خودروها در اثر پرتاب شدن دانه‌ها به علت عبور وسایل نقلیه و جریان ترافیک است، این پدیده در معابر برون شهری که سرعت جریان ترافیک در آنها بیشتر است شدت بیشتری دارد، شکل شش نتایج مطالعات سال ۲۰۰۲ را در تعدادی از جاده‌های برون شهری در شمال بریتانیا نشان می‌دهند.



شکل ٦- نتایج بررسی آسیب وارده بر اثر پرتاب دانه‌های باقی مانده از عملیات شن و ماسه پاشی در زمستان در جاده‌های شمال بریتانیا

نمودار برای سرعت های ۸۰، ۹۵ و ۱۱۲ کیلومتر بر ساعت رسم شده است، محور افقی قطر دانه‌ها را به میلی‌متر و محور قائم برآورد خسارت را برای ده هزار وسیله‌ی نقلیه کیلومتر پیموده شده در جاده‌های مورد مطالعه بر حسب صد پوند انگلستان در سال ۲۰۰۲ نشان می دهد. همان طور که می‌توان دید اثر سرعت روی شدت خسارت وارده بسیار جدی است، به علاوه هرچند دانه‌هایی با قطر نُه میلی‌متر و کمتر نیز خسارات جزئی وارد می کنند، اثرات اصلی برای سرعت های زیر صدکیلومتر بر ساعت ناشی از دانه های با قطر بیش از ۱۵ میلی‌متر و برای سرعت بیش از صد و دَه کیلومتر بر ساعت برای دانه‌های با قطر بیش از ۱۱ میلی‌متر دیده شده است.(۱۰)

اثرات مواد شیمیایی

نقش مواد شیمیایی در عملیات راهداری زمستانی، کاهش دمای انجماد آب در محیط و در نتیجه کمک به ذوب شدن برف و یخ در سطح جاده‌ها می‌باشد. مواد شیمیایی مورد استفاده در راهداری زمستانی هم در زمان عملیات و هم در روزهای پس از آن ابتدا وارد آب و خاک محیط شده و سپس منشا مضراتی می‌شوند، این مواد اثرات منفی و خساراتی را به آسفالت، خاک بستر و مصالح زیرین روسازی، تسهیلات وابسته به جاده، محیط زیست و خودروهایی که از مسیر عبور می کنند وارد می‌آورند که در ادامه نُه مورد از شایع ترین آنها بررسی می‌شود. غیر از این موارد خسارات جدی دیگری وجود ندارد، اما نمی‌توان ادعا نمود تمام اثرات منفی راهداری زمستانی به این موارد خاتمه می‌یابد.

افزایش دفعات یخزدگی و انبساط آب در دمای پایین در درزهای آسفالت

محلولی که در اثر اضافه کردن مواد شیمیایی به سطح پوشیده از برف و یخ جاده پدید می‌آید بسته به نوع ماده‌ی شیمیایی به کار رفته در محدوده‌ی دمایی بین ۷- تا ۲۹- درجه‌ی سلسیوس منجمد می‌شود. در شب‌های زمستانی دما به زیر صفر درجه‌ی سلسیوس می‌رسد و در ساعات مختلف شب تحت اثر جریان ترافیک، باد و تراکم ابرها نوسان می کند، در شب دمای محل برای ادامه‌ی فرآیند ذوب یخ و برف کافی نیست، لذا یخ ذوب شده و برف‌آب ایجاد شده در محل و نیز محلول شیمیایی که اکنون در حقیقت همان برف‌آب و آب ناشی از ذوب یخ‌ها است نیز یخ می‌زنند. چنانچه سطح جاده صاف و بدون هیچ گونه درز و ترک خوردگی باشد (که البته حتی در بهترین جاده‌ها هم احتمال چنین چیزی بسیار ناچیز است)، از بابت این یخزدگی مشکل خاصی ایجاد نمی‌شود، اما در واقع سطح آسفالت پر از درزها و ترک خوردگی‌های کوچک و بزرگ است، آب حتی در کوچکترین درزها هم نفوذ می کند، در حالت طبیعی که آب نزدیک به خالص است و ماده‌ی شیمیایی در آن حل نشده است، پس از رسیدن دما به حدود صفر درجه‌ی سلسیوس آب در درزها یخ زده و موجب انبساط آن می‌شود، اما چون نوسانات دما در محدوده‌ای کمتر از دمای انجماد آب است این اتفاق در طول شب فقط یکبار رخ می‌دهد. در شب‌های بعد از عملیات زمستانی به دلیل وجود ماده‌ی شیمیایی محلول در آب دمای انجماد آب کمتر از صفر درجه‌ی سلسیوس بوده و در میان بازه‌ی نوسانات دمای محیط در شب قرار می گیرد، در نتیجه آب در طول شب چندین مرتبه یخزده و ذوب می‌شود، نتیجه اینکه درزها چندین مرتبه منبسط و منقبض می‌شوند که این امر خسارات زیادی را به رویه‌ی آسفالتی وارد می کند. مطالعاتی که در جاده‌های ایالتی ویسکانسین بین سالهای ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ صورت گرفته است نشان داد: بسته به وضع اولیه‌ی جاده پس از دوره‌ای متشکل از سه بار وقوع یخبندان و انجام عملیات راهداری زمستانی (پاشیدن مواد شیمیایی) روی سطح، میزان ترک‌ها و خرابی روسازی بین ۲۵ تا ۳۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داد تنها راه مبارزه با این آسیب انتخاب ماده‌ی شیمیایی مناسب با شرایط نواسانات دمایی منطقه است، به نحوی که با وجود کاهشی که مواد شیمیایی در دمای انجماد آب ایجاد می کنند، دمای انجماد بالاتر یا پایین تر از محدوده‌ی نوسانات دمایی منطقه در شب باقی بماند.(۱۱)

خوردگی و خرابی تسهیلات فلزی و بتنی وابسته به جاده

همان اثر افزایش دفعات انبساط درزها که کاهش دمای انجماد آب روی آسفالت دارد روی تسهیلات بتنی وابسته به جاده، از قبیل جسم کالورت‌ها و دال‌های پل‌ها و ... نیز دارد، به علاوه مواد شیمیایی عملیات زمستانی عمدتا نمک‌ها هستند که اثرات زیانباری روی بتن دارند، در کارهای عمرانی معمولا برای مناطقی که خاک نمکی است و یا خطر حمله‌ی نمک‌ها وجود دارد از سیمان‌های خاص برای ساخت قطعات بتنی استفاده می‌کنند، به شکل معمول در طراحی جاده و تسهیلات مربوط به آن از بتن معمولی استفاده می‌شود، از طرف دیگر نمک‌ها در واکنش خوردگی فلزات نقش کاتالیزور داشته به آن شدت و سرعت می‌دهند، بنابر این نمکی که در جریان عملیات راهداری زمستانی در سطح جاده ریخته می‌شود، برای تسهیلات فلزی وابسته به جاده مثل گارد ریل‌ها، نرده‌ی پل‌ها، علائم ایمنی و ... مضر است. مطالعات متعددی در سطح مدیریت شبکه در کشورهای مختلف انجام شده و حجم خسارت وارده به این دلیل را جدی ارزیابی کرده است. لازم به ذکر است شرایط اقلیمی مختلف به شدت روی میزان خسارات وارده به تسهیلات وابسته به جاده به دلیل حضور نمک موثرند. در این خصوص بسیار لازم است تا مطالعات مشابهی در مناطق اقلیمی مختلف کشور صورت پذیرد در این صورت می‌توان ارزیابی دقیق‌تری از خسارات وارده ارائه نمود.(۱۲ ، ۱۳)

اثر نمک‌ها روی وسایل نقلیه و ایجاد خوردگی در بدنه‌ی آنها

پس از نمک پاشی برف‌آب و تکه‌های یخ جدا شده در حقیقت محلولی از نمک پاشیده شده در خود دارند، زمانی که وسایل نقلیه از روی این برف‌آب محلول عبور می کنند، آب به سطوح زیرین آنها می‌پاشد، این سطوح عموما رنگ نشده‌اند و در نتیجه همان اثری که این محلول‌های نمکی در تسریع و تشدید خوردگی تسهیلات فلزی وابسته به جاده دارند، با شدت کمتری به خودروهای عبوری نیز وارد می‌شود. دفترچه‌های راهنمای بسیاری از وسایل نقلیه از کاربران خود خواسته اند حتما پس از زمستان و عبور از سطوح نمک پاشی شده اقدام به شستشوی سطوح تحتانی خودرو نمایند، شاید حداقل فعلا این بهترین راهکار مقابله با این آسیب است.

افزایش قطبیت خاک، جذب آب و در نتیجه تورم در خاک بستر و لایه‌های زیرین روسازی

مواد شیمیایی که در جریان عملیات راهداری زمستانی مصرف شده‌اند، درست از شروع ذوب شدن یخ‌ها تا وقتی سطح کاملا خشک شود به صورت محلول وارد آب زیر زمینی و نیز جزیان نهر یا آب زهکشی شده‌ی محل می شوند، این محلول تقریبا ۸۵ تا ۹۵ درصد کل مواد شیمیایی موجود در عملیات را درخود دارد. وقتی یک ماده‌ی شیمیایی حل می‌شود به صورت یون های آزاد در محلول در می‌آید، این یون‌ها موجب افزایش قطبیت خاک به خصوص در خاک‌های رسی می شوند. در مناطق مرطوب، مکان‌هایی که سطح آب زیر زمینی بالا باشد و محل‌هایی با میزان بارش زیاد، خاک قطبی رطوبت زیادی جذب می کند که نتیجه ۲۰ تا ۴۵ درصد تورم و افزایش حجم خاک بسته به جنس آن است، این اتفاق ممکن است در ساب‌گرید یا هر یک از مصالح اساس یا زیر اساس زخ دهد، که نتیجه‌ی آن وارد آمدن فشار به لایه‌های فوقانی و ایجاد خرابی و ترک خوردگی در لایه‌های مختلف روسازی و روکش آسفالتی می‌شود. البته نمک‌های سدیم و پتاسیم خرابی‌های بیشتر به بار آورده و اثر نمک‌ها کلسیم نسبتا کمتر است. متاسفانه مواد شیمیایی مورد استفاده در عملیات راهداری زمستانی در ایران عموما نمک‌های سدیم و پتاسیم هستند.

ایجاد سفره‌های سدیم یا کلسیم و جلوگیری از نفوذ آب به لایه های تحتانی

سدیم و کلسیم جز عناصر سخت طبیعت می‌باشند که در کمبود نسبی رطوبت مولکول‌های آنها با هم تشکیل پیوندهایی سفره مانند می دهند مواد شیمیایی نمکی که یون‌های سدیم یا کلسیم دارند در مناطقی با رطوبت یا بارندگی زیاد موجب تورم خاک می شوند، اما در مناطقی که رطوبت خاک نسبتا کم است، نمک‌های محلولی که وارد خاک شده‌اند در روزهای بعد رطوبت خود را از دست می دهند چون کاملا خشک نشده‌اند که دوباره به صورت نمک متبلور شوند، به صورت سفره‌های یون مثبت در کنار یکدیگر سطوحی به ابعاد چند دهم میلی‌متر مربع تا حتی نزدیک به یک متر مربع را پدید می آورند، این سفره‌ها که کمبود الکترون دارند جاذب آب هستند، آب باران که از بالا به پایین تراوش می‌کند پس از رسیدن به این سفره‌ها قادر به عبور و رفتن به لایه‌های تحتانی نخواهد بود، به این ترتیب آب در زیر لایه‌های روسازی جمع می شود که نتیجه‌ی آن فشار به لایه‌های فوقانی، تورم، سستی خاک و ترک خوردگی روکش آسفالتی است.

اثر سدیم روی گیاهان

سدیم برای گیاهان سمی است، به طور کلی این عنصر جذب بافت‌های ارگانیک می‌شود، هرجا چنین بافتی اعم از زنده یا مرده و در حال تجزیه وجود داشته باشد به خصوص بافت‌های گیاهی. ریشه‌ی گیاهان زنده اولین هدف سدیم است. سدیم اطراف ریشه را پوشانده ضمن ممانعت از جذب آب و اکسیژن موجود در خاک توسط ریشه‌ی گیاه آب موجود در ریشه را نیز به سمت خود جذب کرده، اصطلاحا گیاه را خفه می‌کند. گیاهان کوچک مثل بته‌ها و علف‌ها به شدت متاثر از این مسئله هستند و هم در ایران و هم در سایر نقاط جهان گزارشاتی مبنی بر آسیب دیدگی پوشش گیاهی زمین‌های اطراف جاده‌ها بر اثر سدیم موجود در نمک مصرف شده در عملیات راهداری زمستانی رسیده است. علاوه بر گیاهان کوچک که به شدت آسیب می‌بینند، درختان بزرگ و همیشه سبز با ریشه‌هایی به عمق چند متر هم از سدیم آسیب می‌بینند. بررسی‌های صورت گرفته در ایالات ویسکانسین و داکوتای شمالی در این خصوص ۷ تا ۱۲ درصد زرد شدگی در برگ درختان برگ‌سوزنی را حتی تا ۳ ماه پس از آخرین عملیات راهداری زمستانی تایید کرده‌اند. مطالعات Winglesch در ۱۹۹۸ در آلمان نشان داد: سدیم بسیاری از میکروارگانیزم‌های حیاتی خاک را مختل می نماید. انجام عملیات

راهداری زمستانی (با کلرید سدیم به عنوان ماده شیمیایی)، در جاده‌هایی که در مجاورت مزارع کشاورزی به خصوص گندم و جو قرار دارند، موجب حداقل ۸٪ کاهش در محصول نسبت به مزارع مشابه می شود.(۱۴ ، ۱۵)

نمکی شدن خاک و کاهش مقاومت

اگر آب و هوای منطقه سرد و نسبتا خشک باشد، احتمال یخزدگی سطح جاده در طول سال به یک بازه ۷ تا ۲۰ روزه محدود می‌شود. در این وضعیت اگر جاده مهم و حجم جریان ترافیک زیاد بوده و یا شدت یخزدگی جدی باشد انجام عملیات راهداری زمستانی لازم است. این چنین وضعیتی در مناطق زیادی از ایران و نیز مناطق مرکزی ایالات متحده وجود دارد. محلول شیمیایی استفاده شده در عملیات زمستانی وارد خاک شده اما به دلیل خشک بودن خاک سریعا رطوبت خود را از دست داده و به شکل نمک متبلور می‌شود. تکرار عملیات راهداری زمستانی در طول سالیان به دلیل فقر بارندگی در محل که مانع از شسته شدن تدریجی نمک از خاک می‌شود رفته رفته، خاک اطراف جاده را نمکی می کند. مطالعاتی که Edwards در مناطق مرکزی ایالات متحده بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵ انجام داده است؛ بسته به حجم عملیات زمستانی و میزان خشکی محل و نیز آمادگی قبلی خاک از نظر میزان نمک موجود، خاک نواحی اطراف جاده در این مناطق پس از ۳ تا ۷ سال نمکی می‌شود. خاک نمکی در ایام خشک سال مقاومتی مانند خاک‌های عادی دارد اما در زمان بارندگی به شدت مقاومت خود را از دست می‌دهد. مطالعات انجام شده نشست‌هایی بین ۰/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر و در طول های ۰/۲ تا ۱۵ متر را در اثر نمکی شدن در طول جاده نشان داد.(۱۶)

افزایش میزان نمک در آب منطقه

در مناطق شهری، نزدیک سدها یا رودخانه‌ها و آبگیرها و نیز مناطقی که در آنها سطح آب زیر زمینی بالا است، محلول شیمیایی حاصل از عملیات راهداری زمستانی تا ۸۰٪ وارد آب می‌شود، این به آن معنی است که ماده‌ی شیمیایی مصرف شده در جریان راهداری زمستانی اکنون جزئی از آب منطقه به حساب می‌آید. علاوه بر اینکه بسته به میزان افزایش غلظت این مواد در آب، موجودات زنده‌ی رودخانه‌ها و آبگیرها همین طور گیاهان و مزارع که از این آب‌ها استفاده می کنند تحت تاثیر قرار گرفته، دچار آسیب‌های جدی می‌شوند. افزایش غلظت این مواد تا حد مشخصی بسته به نوع ماده شیمیایی برای حیوانات و انسان نیز تهدید به حساب می‌آید. برای نگهداری ار مواد شیمیایی مورد استفاده در انبار ها در برابر رطوبت، معمولا از مواد شیمیایی مکمل مثل فروسیانید سدیم و فروسیانید آهن استفاده می شود. ۰/۰۲۵ میلی‌گرم فروسیانید سدیم در هر لیتر آب برای ماهی‌ها و جلبک‌های آبزی مضر است و اگر مقدار این ماده به حدود ۰/۱ میلی‌گرم در هر لیتر آب برسد برای انسان مسمومیت زا است.(۱۴، ۱۵)

ایجاد خوردگی سطحی در آسفالت

وقتی سخن از اثر مواد شیمیایی مورد استفاده در راهداری زمستانی به میان می‌آید، اولین سوالی که مهم جلوه می‌کند اثر این مواد روی آسفالت و ایجاد خوردگی در آن است. اگر چه دانه‌هایی که به عنوان ساینده به کار می‌روند مستقیما آسفالت را خراب می‌کنند اما چنین اثری تا به حال برای هیچ یک از مواد شیمیایی مورد اسفاده بجز پتاسیم استات ثابت نشده است که البته این ماده نیز کاربردی در ایران ندارد. در واقع مطالعاتی که طرفداران محیط زیست روی اثرات سایر مواد مورد استفاده در عملیات راهداری زمستانی انجام دادند دلیل معرفی و استفاده از پتاسیم استات برای راهداری زمستانی بود. این ماده نه تنها آسیبی به طبیعت وارد نمی‌آورد بلکه طی فرآیندی طبیعی در خاک تجزیه شده و برای گیاهان مفید است، درحالی که گردی که پس از تبخیر آب از این ماده روی سطح آسفالت باقی می‌ماند در اثر نور خورشید اثر خوردنگی روی قیر دارد.(۱۷)

۴. پیشنهادات و نتیجه گیری

آخرین بخش مقاله حاضر به معرفی ماده‌ای به عنوان جانشین برای مواد شیمیایی فعلی مورد استفاده در راهداری زمستانی، بیان جهت مطالعات آتی و نیز ارائه‌ی پیشنهاداتی برای بهبود وضع کنونی در ایران می‌پردازد.

هر چند هنوز در هیچ کجای دنیا سنگ ماسه‌ی آهکیِ رس دار به طور کامل جایگزین مواد شیمیایی قدیمی نشده و همزمان بسیاری شرکت‌های تجاری سعی دارند با معرفی ترکیب‌ها و محلول های شیمیایی جدید هم سرعت و حجم یخزدایی به ازای واحد جرم ماده را افزایش دهند و هم اثرات منفی فعلی را به حداقل برسانند، اما آزمایش‌های علمی انجام شده در بهینه سازی چند هدفه، با اهداف: کاهش خسارات و اثرات منفی با اولویت کاهش اثرات منفی بر محیط زیست، دستیابی به بهترین عملکرد و بالاخره کاهش هزینه‌ها، نشان داده‌اند که سنگ ماسه‌ی آهکی رس دار، حداقل در حال حاضر بهترین ماده‌ای است که در اختیار است. این ماده کاملا طبیعی بوده و فرآیند لازم برای آماده‌ی استفاده نمودن آن تنها شامل استخراج، کوبیدن تا اندازه ای معین و دانه بندی می‌باشد. توصیه شده است دانه بندی به نحوی باشد که درصد وزنی مانده روی الک شماره‌ی ۱۰ (۲/۳۶ میلی‌متر)، برابر با ۲۰، درصد وزنی مانده روی الک شماره‌ی ۴ (۴/۷۵ میلی‌متر)، برابر با ۴۵، درصد مانده روی الک با قطر چشمه‌ی ۹/۵ میلی‌متر برابر با ۱۰ و بالاخره ۱۰٪ وزنی هم از دانه‌ها روی الک با قطر چشمه‌ی ۱۲/۵ میلی‌متر باقی بماند، همچنین درصد وزنی دانه‌های با قطر کمتر از ۲/۳۶ میلی‌متر و یا بیشتر از ۱۹ میلی‌متر نزدیک به صفر باشد. به این ترتیب به اندازه‌ی کافی درشت دانه وجود دارد تا اصطکاک لازم فراهم شود، دانه‌های ریز تر هم

تحت اثر سایش به قدر کافی خُرد می‌شوند تا جزء آهکی آنها بتواند به راحتی در آب حل شده، دمای انجماد آب در محیط را پایین آورد. علاوه بر اینها انحلال آهک در آب فرآیندی گرماده است که به افزایش سرعت و حجم یخزدایی کمک می‌کند. علاوه بر اینها این ماده فاقد سدیم بوده در نتیجه آسیبی به گیاهان و محیط زیست وارد نخواهد آورد، همچنین ترکیب فاقد جزء نمکی می‌باشد در نتیجه تاثیراتی مثل نمکی شدن خاک یا قطبی کردن خاک وراد نمی‌شود و برای تسهیلات فلزی وابسته به جاده و بدنه‌ی خودروها اثر تسریع و تشدید خوردگی ندارد. البته با وجود همه این حسن ها چون به سادگی خُرد می‌شود شدت آودگی هوا بر اثر ذرات معلق ناشی از این ترکیب بیشتر از استفاده از شن و ماسه است و همچنان اثر افزایش دفعات انبساط درزها به علت پایین آمدن دمای انجماد آب در محیط را دارد (حداقل دمای عملکردی این ترکیب ۹- درجه‌ی سلسیوس است).(۱۸)

مقاله‌ی حاضر جمع آوری و مقایسه‌ی اطلاعات و نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده توسط مجامع علمی خارجی در امر نتایج منفی و اثرات زیانبار جانبی همراه با عملیات راهداری زمستانی است، انجام این چنین مطالعه‌ای هرچند سودمند است اما زمانی مفید واقع خواهد شد که با قدم‌های بعدی به صورت انجام آزمایش‌ها و مطالعات مشابه در داخل کشور تکمیل شود.

نکته‌ی مهم دیگر اینکه چه سنگ ماسه‌ی آهکیِ رس دار چه هر یک از مواد شیمیایی دیگری، زمانی عملکرد بهینه و مناسب حداقل در امر یخزدایی خاصی می‌شود که بر اساس آزمایش‌های دقیق نوع و میزان مصرف ماده‌ی شیمیایی مناسب برای هر محل دقیقا مشخص شده و در عمل آید.

۵. منابع و مآخذ

1- Bacon R., (1998), “Deicing Chemical Use on the Michigan State”, Michigan Department of Transportation.
2-American Society for Testing and Materials, (2001), E 501-94 Specification for Standard Rib Tire for Pavement Skid-Resistance Tests. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04-01.
3-American Society for Testing and Materials, (2001), E 274-97 Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04-01
4-Highway System in F. M. D’ki, ed., (1999), Deicing Chemicals and the Environment.
5-C. Fritzsche, (1996), “CMA in Winter Maintenance: Massachusetts Confronts Environmental Issues,” PublicWorks .
6-Chicago Department of Natural Resources, (2003), Environmental Response Division, Michigan Sites Of Environmental Contamination, prepared pursuant to the Michigan Environmental Response Act.
7-SensIce, (2002), Sweden organization and management of road maintenance, 2/b.6638 report.
8-Meyer, W. E., (1999), Synthesis of frictional requirements research. Report No. FHWA-RD-81-159. Federal Highway Administration. Washington, DC. pp 83-84.
9-Wisconsin Department of Transportation, (2002) Friction Testing Report, Oregon Department of Transportation, Construction Section, Pavement Management Group.
10-British road damage statistics, (2002),
http://dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/roadstraffic/roadstatestsc02.html
11-Flintsch Gerardo W., (2000), “Assessment of the performance of several roadway mixes under rain, snow and winter maintenance activities”, Report No. VTRC 04-CR18. Wisconsin Transportation Research Council. Charlottesville, VA.
12-Besselievre, William C., (1999), “Deicing chemical rates on open-graded pavementsFasilities”, Snow Removal nd Ice Control Research. TRB Special Report 185. Transportation Research Board. Washington,DC.
13-Iwata, H., Watanabe, T., Saito T., (2002), “Study AboutAsphalt Pavement and Metal Road FasiliteisonWinter Road Maintenance”, New Challenges for Winter Road Service. XIth PIARC International Winter Road Congress Conference Sapporo, Japan.
14- EPA, U. S., (1998), “*Environmental Impact of Highway Deicing”,* Water Quality Office, Edison, New Jersey, 11040 GKK 06/71.
15-Winglesch, K., (1999), “Road Salt and Groundwater, Is It a Healthy Combination?” , *On Tap*, Volume 4, Issue 2.
16-Transportation Research Board, (2007), *Deicing Chemicals and Snow Control on Soil and Water,* Transportation Research Record 1157.
17-Ftikos, C., Parissakis. G., (1999), “The Combined Action of Mg2+ and Cl- Ions in Asfalt Paste”, Road and Asfalt Research, Vol. 15, No. 4, pp. 593-599.
18-Heystraeten, G.V., Diericx R., (2002) “A rapid and effective deicing agent for open-graded road surfacings” ,New Challenges for Winter Road Service. XIth PIARC International Winter Road Congress Conference. Sapporo, Japan.