

بررسی عملکرد محلول‌های DS-300 و کلرید کلسیم در کاهش گردوغبار جاده‌های جنگلی شنی

گوهرالشریعه شهرمادی^۱، آیدین پارساخو^{۲*} و مجید لطفعلیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
(sh.shahmoradii@yahoo.com)

۲- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (parsakhoo@gau.ac.ir)

۳- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (mlotfalian@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۲

چکیده

در این پژوهش برای بررسی عملکرد مواد ضد غبار DS-300 و کلرید کلسیم در کنترل گردوغبار جاده‌ها، هر یک با غلظت‌های وزنی ۱۰، ۳۰، ۲۰ درصد به اندازه دو لیتر در مترمربع در قطعاتی از جاده‌های سری تخت از توابع شهرستان مینودشت توسط سامانه اسپری محلول پاشیده شد. ثبت غلظت گردوغبار هنگام عبور وسیله نقلیه با سرعت ۴۰ کیلومتر در ساعت پس از گذشت ۳، ۹ و ۲۷ روز از انجام تیمارها به کمک دستگاه غبار سنج الکترونیکی مدل HAZ-DUST EPAM-5000 انجام شد. نمونه برداری از خاک حاشیه جاده برای بررسی تغییرات کلسیم و منیزیم خاک و آلودگی آن به کلر به عمل آمد. نتایج نشان داد که غلظت گردوغبار جاده‌های تیمار شده با گذر زمان افزایش یافت. همچنین در هر یک از دوره‌های زمانی با افزایش غلظت تیمارها، غلظت گردوغبار کاهش پیدا کرد. پس از گذشت ۲۷ روز تنها تیمارهای کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد توانستند غلظت انتشار گردوغبار جاده را در محدوده مجاز ۵۰-۰ میکروگرم در مترمکعب حفظ کنند. از آنجایی که غلظت‌های کلرید کلسیم و DS-300 ۳۰ درصد سبب تغییر غلظت عناصر کلسیم و منیزیم و آلودگی خاک حاشیه جاده به کلر شدند، تنها تیمار DS-300 ۲۰ درصد به عنوان غلظت کم خطر برای کنترل گردوغبار جاده شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: جاده شنی، مواد ضدغبار، شاخص آلاینده‌گی، غبارسنج الکترونیکی، شهرستان مینودشت.

مقدمه

کلرید منیزیم هستند (Bolander and Yamada, 1999). این دو نمک نم‌گیر و آب‌شونده بوده و آب را از محیط پیرامون خود جذب کرده و به حفظ غشاء رطوبتی در اطراف ذرات خاک و اتصالشان به یکدیگر کمک می‌کنند (Sadeghi and Jalalian, 2015). توانایی نم‌گیری و نگهداری رطوبت منجر به تأخیر افتادن فرآیند تبخیر از سطح جاده شده و از این‌رو، ازدست رفتن رطوبت سطح جاده به طول می‌انجامد. ویژگی آب شوندگی نمک‌ها به علت جذب رطوبت زیاد از اتمسفر و تبدیل شدن به حالت محلول است که از این راه به تولید رطوبت و اتصال ذرات خاک به یکدیگر کمک می‌کنند (Shabani and Khademi, 2013). کلرید سدیم هم می‌تواند برای کاهش غبار استفاده شود، هرچند که در مقایسه با کلرید کلسیم و کلرید منیزیم خاصیت نم‌گیری و آب‌شوندگی کمتری دارد. نم‌گیری و آب‌شوندگی بیشتر کلرید کلسیم سبب برتری این ماده در مقایسه با نمک‌های دیگر شده است. به‌طورکلی به دلیل اثبات اثرات منفی غلظت‌های بالای این مواد بهتر است در نواحی حساس اقلیم مرطوب از نانوپلیمرها یا پلیمرهای معمولی استفاده شود. در نواحی خشک و بیابانی کاربرد فرآورده‌های نفتی، محلول‌های کلریدی و غیرنفتی آلی می‌تواند مؤثرتر باشد (Gotosa et al., 2015).

Kirchner and Gall (1991) از محلول‌های کلرید کلسیم و کلرید منیزیم به ترتیب با غلظت‌های ۳۸ درصد و یک لیتر در مترمربع ۳۲-۲۶ درصد و دو لیتر در مترمربع برای مقابله با گردوغبار جاده‌های شنی استفاده کردند. نتایج حاکی از عملکرد بهتر کلرید کلسیم در مقایسه با کلرید منیزیم و تیمار شاهد بود. Brown and Elton (1994) در منطقه آلاباما آمریکا به‌منظور مقابله با گردوغبار جاده‌های شنی، از محلول کلرید کلسیم با غلظت ۳۰ درصد به مقدار دو لیتر در

در نواحی روستایی شمال کشور اغلب جاده‌های دسترسی شنی و متشکل از مصالح رودخانه‌ای و یا کوهی هستند. تردد وسایل نقلیه در این جاده‌ها به‌ویژه مسیرهای پرتراфик سبب تخریب مصالح، پرتاب ذرات ریزودرشت آن به اطراف و تولید گردوغبار می‌شود. انباشت گردوغبار بر روی خاک‌های مجاور جاده ممکن است سبب تغییر در ترکیبات شیمیایی خاک شود (Wade, 2009). از طرفی ورود ذرات گردوغبار از طریق انباشت بر سطح برگ می‌تواند بر فتوسنتز و سایر فعالیت‌های گیاه تأثیر بگذارد. در زمان بستن روزنه تعرق کاهش می‌یابد و خنک‌شدن گیاه مختل می‌شود. همچنین اختلال در بیوسنتز کلرفیل سبب اختلال در فتوسنتز و ایجاد کلروز می‌شود. به‌طورکلی بررسی‌ها نشان داده است که گردوغبار از طریق تأثیر بر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و همچنین افزایش دمای برگ می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Kiani et al., 2016, Jones 1984). با تثبیت مصالح سطح جاده و کنترل گردوغبار می‌توان از تخریب روسازی، کاهش میدان دید و ایمنی رانندگان، کاهش رشد گیاهان (به‌دلیل انسداد روزنه‌ها) و اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از غبار مانند آلودگی آب‌وهوا و همچنین تولید رسوب جلوگیری به عمل آورد (Parsakhoo, 2015, Addo et al., 2004).

محصولات مختلفی در دنیا مانند فرآورده‌های آلی، نمک‌ها و محلول‌های کلریدی، پلیمرهای سنتزی و مواد الکتروشیمیایی برای جلوگیری از گردوغبار جاده‌های غیر آسفالتی وجود دارد که از میان آن‌ها، محلول‌های کلریدی کاربرد گسترده‌تر و مؤثرتری در کنترل گردوغبار و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده دارد. مواد شیمیایی جاذب آب که برای کنترل گردوغبار استفاده می‌شوند شامل کلرید کلسیم و

مقایسه با سایر تیمارهای ضد غبار سبب می‌شود تا با وجود آلاینده بودن این مواد در غلظت‌های بالا، نسبت به ارزیابی عملکرد و آلاینده‌گی آنها در غلظت‌های کمتر پژوهش‌های بیشتری صورت گیرد. هدف از این پژوهش بررسی عملکرد DS-300 و محلول کلرید کلسیم در کاهش گردوغبار جاده‌های جنگلی با توجه به عامل زمان و غلظت تیمار و همچنین بررسی تأثیر نوع و غلظت تیمار بر برخی خواص شیمیایی و آلودگی به کلر خاک حاشیه جاده‌ها بود.

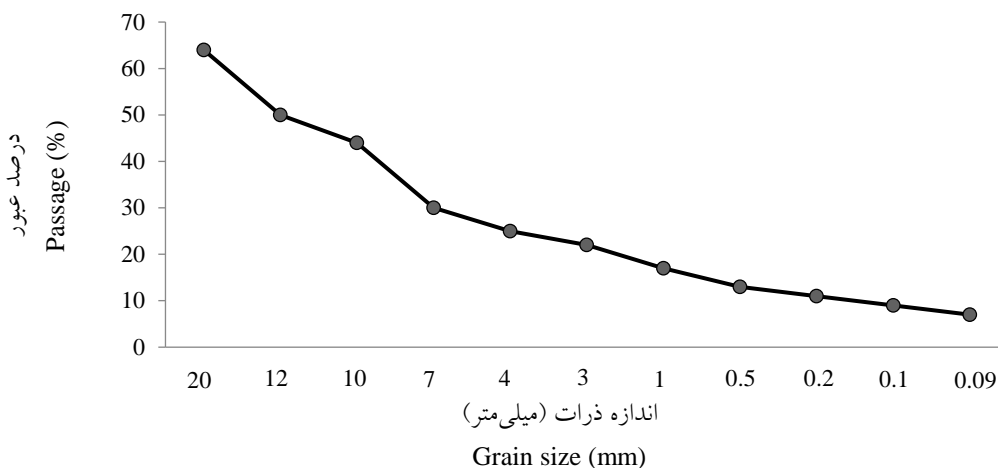
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

سری تخت در محدوده "۰۷'۰۰" تا "۳۷° ۱۲'۳۰" عرض شمالی و "۲۷'۲۰" تا "۵۵° ۲۲'۳۵" طول شرقی قرار داشته و از شمال به شهر مینودشت از جنوب به یال سرخو از شرق به سری ریگ چشمه و از غرب به رودخانه نرم آب محدود است. بررسی در جاده‌های جنگلی روستای تخت به اجرا درآمد. این جاده‌ها در سال ۱۳۸۴ احداث شده و جنس روسازی آن‌ها از مصالح رودخانه‌ای (شن و ماسه) است (شکل ۱). بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید جنس مصالح رویه GW بود. مساحت کل منطقه ۲۱۳۶ هکتار بوده و اکثریت سطح آن بین ارتفاع ۵۰۰ تا ۹۵۰ متر قرار دارد. متوسط درجه حرارت در گرم‌ترین ماه سال ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در سردترین ماه سال ۱۰- درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه ۴۷۵ میلی‌متر بوده که بیشترین آن در اسفندماه اتفاق می‌افتد. بیشتر سطح سری از ماسه‌سنگ سیلتستون و آرژلیت تشکیل یافته‌اند. جنس خاک قهوه‌ای جنگلی و ساختمان آن دانه‌درشت چندوجهی است.

مترمربع استفاده کردند. نتایج نشان داد که کلرید کلسیم دارای ماندگاری و عملکرد قابل قبولی بود. Omane و همکاران (2018) طی پژوهشی در جاده‌های شنی شهر ادمونتون کانادا اثر تیمارهای آب، محلول نمک، عامل عاری از کلراید با محدود اسیدیته ۸-۹، مواد پلیمری با محدود اسیدیته ۸-۹ و ملاس طبیعی را در یک چارچوب زمانی ۷۲ ساعته بر کاهش گردوغبار جاده‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد که محلول نمک، محلول عاری از کلراید، محلول پلیمری و محلول ملاس عملکرد بهتری نسبت به آب داشته و همگی دارای بیش از ۹۹ درصد قابلیت کنترل غبار بودند. امروزه از محلول‌های DC-400 و SSR-400 که از تبخیر شورابه‌های کویر مرکزی ایران به دست می‌آیند نیز برای کنترل گردوغبار استفاده می‌شود. این مواد می‌توانند حتی تا ۱۷ برابر وزن خود رطوبت جذب کنند. کارایی محلول به مقدار و یکنواختی پاشش آن روی سطح جاده نیز بستگی دارد.

سه روش عمده برای استفاده از محلول‌های ضد غبار معرفی شده است که شامل تخلیه محلول بر روی دپوی مصالح موردنظر و سپس انتقال آن به بستر جاده، شخم زدن بستر جاده موردنظر و پاشش محلول و آخرین گزینه پاشش محلول بر روی جاده هستند. روش سوم یعنی پاشش مستقیم محلول روی سطح جاده، کم‌هزینه‌ترین روش است هرچند که عملکرد آن به دلیل عدم نفوذ محلول در لایه متراکم رویه کمتر از دو روش دیگر است (Lotfalian et al., 2018). با این وجود در این پژوهش از روش سوم برای مبارزه با گردوغبار جاده‌های شنی روستای تخت از توابع شهرستان مینودشت گرگان استفاده شد. عملکرد بالا، سهولت و هزینه کم تهیه محلول‌های کلریدی در



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی مصالح رودخانه‌ای

Figure 1. Grain size curve for stream materials

۲ ارائه شده است. محلول کلرید کلسیم (CaCl₂) از شرکت کیمیا تهران اسید و محلول DS-300 از شرکت زیست تثبیت پارس پرگاس تهیه شد. محلول کلرید کلسیم (CaCl₂) محتوی ۵۰۰ گرم کلرید کلسیم در یک لیتر آب و محلول DS-300 شامل ۳۲۰ گرم کلرید کلسیم، ۱۵۰ گرم کلرید منیزیم، ۵ گرم کلرید پتاسیم، ۵ گرم کلرید سدیم و ۲۰ گرم کلسیم نترات در یک لیتر است. قیمت هر تن کلرید کلسیم و DS-300 در سال ۹۷ برابر ۶ میلیون تومان بود.

روش پژوهش

ابتدا مسیری به طول ۴۲۰ متر به ۷ قطعه ۶۰ متری با عرض متوسط ۳/۵ متر تقسیم شد. بدین ترتیب سطح مورد عمل برای هر تیمار ۲۱۰ مترمربع بود. برخی از مشخصات قطعات موردبررسی در جدول ۱ ارائه شده است. ضخامت رویه از طریق حفر گمانه در سه نقطه از طول هر تیمار و اندازه‌گیری ضخامت رویه شن-ریزی شده با خطکش به دست آمد. زاویه اصطکاک داخلی و ضریب چسبندگی نیز با آزمایش مقاومت برشی برآورد شد. چیدمان قطعات و تیمارها در شکل

جدول ۱- مشخصات کلی قطعات تیمار شده با غلظت‌های مختلف محلول کلرید کلسیم و DS-300

Table 1. General characteristics of treated segments with different dosages of CaCl₂ and DS-300.

عرض (متر)	ضریب چسبندگی	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	شیب طولی (درصد)	درصد ریزدانه (Fines %)	ضخامت رویه (متر)	کد قطعه
Width (m)	Cohesion coefficient	Friction angle (degree)	Longitudinal slope (%)	Fines (%)	Surfacing thickness (m)	Segment code
5.5	0.0164	48.49	3	9	0.10	شاهد Control
5.2	0.0142	50.54	3	11	0.10	CaCl ₂ 10%
5.3	0.0160	49.21	3	6	0.10	CaCl ₂ 20%
5.5	0.0139	47.89	2	9	0.12	CaCl ₂ 30%
5.1	0.0141	47.45	2	7	0.12	DS-300-10%
5.1	0.0125	48.13	2	10	0.11	DS-300-20%
5.0	0.0135	50.02	3	6	0.13	DS-300-30%

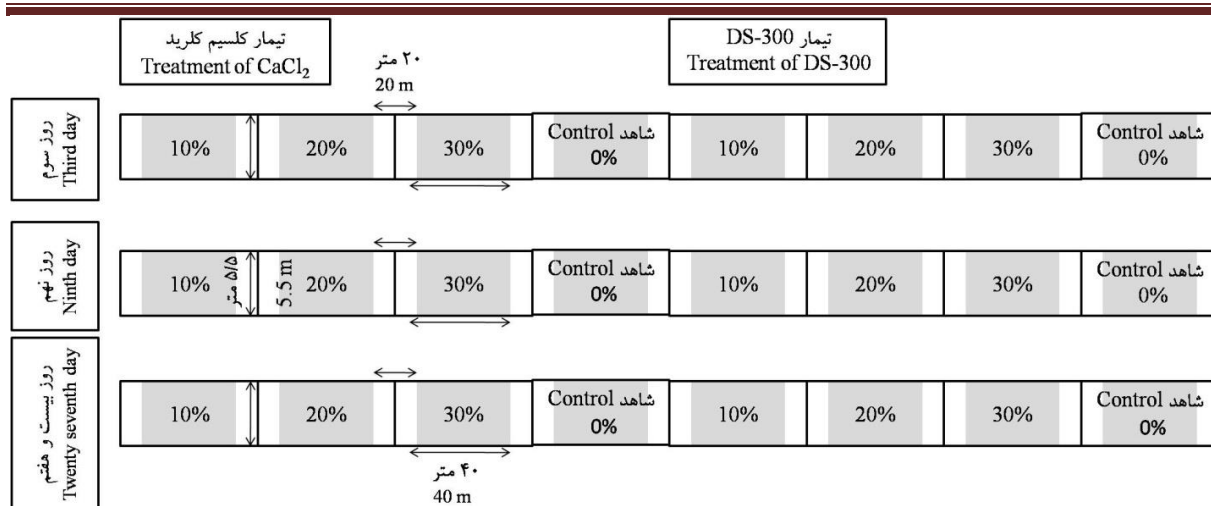
افزایش مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی و کبدی شده است (Gustafsson, 2005, Nourmoradi *et al.*, 2016). در این پژوهش، ایستگاه‌ها در کنار هر یک از قطعات تیمار شده و در ارتفاع ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نصب شدند. ثبت غلظت گردوغبار هنگام عبور یک دستگاه پاترول چهار دیفرانسیل به وزن ۱۸۲۰ کیلوگرم و با وضعیت آج لاستیک ۵۰ درصد که با سرعت یکنواخت ۴۰ کیلومتر در ساعت در حرکت بود (میانگین سرعت وسایل نقلیه در مسیرهای مورد بررسی)، انجام پذیرفت. این عمل برای هر تیمار ۵ بار تکرار شد. برای جلوگیری از اثرگذاری تیمارها بر یکدیگر، ثبت غلظت گردوغبار برای محدوده مرکزی هر قطعه انجام پذیرفت.

۱۲۰ نمونه = {۵ تکرار × ۴ (غلظت) × ۳ رابطه (۱)
(زمان ماندگاری) × ۲ (تیمار ضد غبار)}

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مجاور جاده و آلودگی به کلر

برای بررسی اثرگذاری تیمارهای ضد غبار بر مقدار کلسیم، منیزیم و کلر خاک حاشیه جاده، نسبت به نمونه‌برداری قبل (۷ خرداد ۹۸) و بعد از دوره پژوهش (۲۶ مرداد ۹۸) اقدام شد. در هر منطقه در حاشیه هر یک از جاده‌های تیمار شده، ۳ خط‌نمونه ۵ متری به‌طور تصادفی پیاده شد و در هر خط‌نمونه، ۵ نمونه خاک با فاصله یک متر از یکدیگر از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد. مقدار کلسیم، منیزیم و کلر خاک با دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی یا ICP (Inductively Coupled Plasma) به دست آمد.

محلول‌ها به‌طور جداگانه به‌اندازه دو لیتر در مترمربع با غلظت‌های وزنی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد (Brown and Elton, 1994) یک روز پس از بارندگی (به‌دلیل سرعت و عملکرد بهتر جاذب‌های آب یعنی کلرید کلسیم و DS-300) در تاریخ دوازدهم مرداد سال ۹۸ توسط سامانه اسپری محلول (متصل به عقب یک دستگاه وانت لندرور) روی سطح جاده پاشیده شدند. یک قطعه نیز بدون هرگونه ماده افزودنی به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد (شکل ۳ الف). پس از پیاده‌سازی تیمارها، به مدت ۲۴ ساعت تردد وسایل نقلیه محدود شد تا محلول‌ها بدون مزاحمت، فرصت کافی برای اثرگذاری روی ریزدانه‌های لایه سطحی جاده را داشته باشند. به‌منظور ارزیابی ماندگاری و عملکرد تیمارها در طول زمان، اندازه‌گیری غلظت گردوغبار پس از گذشت ۳، ۹ و ۲۷ روز به کمک دستگاه غبارسنج الکترونیکی مدل HAZ-DUST EPAM-5000 انجام شد (Gebhart *et al.*, 1996). مشخصات فنی این دستگاه در جدول ۲ ارائه شده است. HAZ-DUST EPAM-5000 یک سنجنده گردوغبار ایستگاهی است که در این پژوهش غلظت غبار با قطر آئرودینامیکی کمتر و یا مساوی ۱۰ میکرومتر (PM10) را در هر ثانیه نشان می‌دهد (شکل ۳ ب). ذرات گردوغبار، ذراتی با قطر کمتر از ۱۵۰ میکرومتر می‌باشند؛ اما ذرات با اندازه کمتر از ۱۰ میکرومتر بیشترین مشکلات را برای سلامتی افراد به بار می‌آورد. نتیجه پژوهش‌های پزشکی نشان داده است که افزایش غلظت ذرات گردوغبار با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر، صرف‌نظر از ترکیب ذرات، سبب



شکل ۲- چیدمان تیمارها در منطقه مورد بررسی

Figure 2. Arrangement of treatments in study area

جدول ۲- مشخصات فنی دستگاه غبار سنج الکترونیکی مدل HAZ-DUST EPAM-5000

Table 2. Technical characteristics of electronic dustometer HAZ-DUST EPAM-5000

مقدار Value	ویژگی Characteristics
0.001 - 2000 mg m ⁻³	محدوده اندازه گیری غلظت Measurement range of dosage
0.1-100 μm	محدوده اندازه گیری ذرات Measurement range of particles
± 0.003 mg m ⁻³	دقت دستگاه Device precision
24 h	دوام هر بار شارژ باتری Battery charges longevity
25.4 cm × 15.2 × 35.6	ابعاد دستگاه Device dimensions
4.5 kg	وزن دستگاه Device weight
-10-50 °C	محدوده دمای قابل تحمل Tolerable temperature range



شکل ۳- (الف) سیستم اسپری محلول های ضد غبار و (ب) دستگاه غبار سنج مدل HAZ-DUST EPAM-5000

Figure 3. (a) Anti-dust agent spray system, (b) Dustometer instrument HAZ-DUST EPAM-5000

$$V = \frac{X_t - X_c}{X_c} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن V درصد نسبی تغییر، X_t مقدار در تیمار مربوطه و X_c مقدار در تیمار شاهد است.

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف تیمارها در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثرات اصلی نوع تیمار و زمان در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر مقدار غلظت گردوغبار منتشر شده در هوا معنی‌دار بود. اثرات متقابل نوع تیمار و زمان بر مقدار غلظت گردوغبار منتشر شده در هوا معنی‌دار نبود (جدول ۳).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک آزمایش فاکتوریل به اجرا درآمد. مجموعه داده‌ها عبارت از متغیرهای مستقل شامل نوع ماده ضد غبار و ماندگاری و متغیر وابسته شامل مقدار انتشار گردوغبار (گرم) هستند. نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) بررسی شد. تجزیه واریانس داده‌ها به روش ANOVA و آزمون مقایسه میانگین‌ها با روش SNK در نرم‌افزار SAS انجام شد. در این پژوهش، درصد نسبی تغییر مقدار انتشار غبار با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نوع تیمار و زمان بر مقدار انتشار گردوغبار جاده‌های جنگلی

Table 3. Analysis of variance of the independent and interaction effects of treatment type and time on amount of emitted dust from forest roads

مقدار F F value	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Sources
57.06**	12091.33	24182.67	2	نوع تیمار Treatment type
20.15**	4270.07	8540.13	2	زمان Time
0.094 ^{ns}	19.90	79.62	4	نوع تیمار × زمان Treatment type × Time

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری اثر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد است.

** and *** shows the significant effect of treatments at probability level of 99 and 99.9%, respectively.

انتشار گردوغبار را به خود اختصاص می‌دهد) و کمترین غلظت مربوط به جاده‌های تیمار شده با کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد بود. در روز بیست و هفتم تیمارهای کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد به ترتیب با انتشار غبار ۴۴، ۴۷ و ۳۶ میکروگرم در مترمکعب، تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). نتایج نشان داد که مقدار گردوغبار منتشر شده از جاده‌های تیمار شده با غلظت-

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در روز سوم بیشترین غلظت انتشار گردوغبار مربوط به جاده تیمار شده با کلرید کلسیم ۱۰ درصد و کمترین غلظت غبار مربوط به جاده‌های تیمار شده با کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۱۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد بود. در روزهای نهم و بیست و هفتم بیشترین غلظت انتشار گردوغبار مربوط به جاده‌های تیمار شده با کلرید کلسیم ۱۰ درصد و ۲۰ درصد (به غیر از تیمار شاهد که همواره بیشترین مقدار غلظت

با افزایش غلظت محلول‌های کلرید کلسیم و DS-300 با گذر زمان افزایش یافت. همچنین در هر یک از دوره‌های زمانی 300 مقدار غلظت انتشار گردوغبار کاهش پیدا کرد.

جدول ۴- تأثیر تیمارهای کلرید کلسیم و DS-300 بر مقدار انتشار گردوغبار جاده‌های جنگلی (میکروگرم در مترمکعب)

Table 4. Effect of CaCl₂ and DS-300 treatments on amount of emitted dust from forest roads (µg m⁻³)

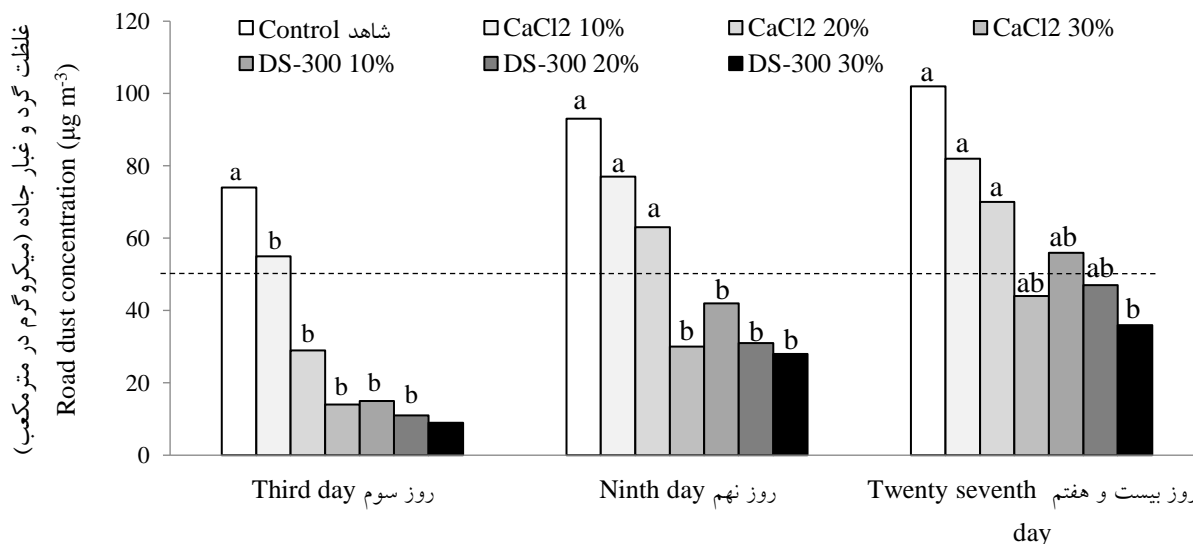
درصد کاهش Reduction (%)	روز بیست و هفتم Twenty seventh day	درصد کاهش Reduction (%)	روز نهم Ninth day	درصد کاهش Reduction (%)	روز سوم Third day	تیمار
-	102 ^a	-	93 ^a	-	74 ^a	شاهد Control
19.6	82 ^b	17.2	77 ^b	25.7	55 ^b	CaCl ₂ 10%
31.4	70 ^b	32.2	63 ^b	60.8	29 ^c	CaCl ₂ 20%
56.9	44 ^c	67.7	30 ^c	81.1	14 ^d	CaCl ₂ 30%
44.1	57 ^{bc}	54.8	42 ^{bc}	79.7	15 ^d	DS-300-10%
53.9	47 ^c	66.7	31 ^c	85.1	11 ^d	DS-300-20%
64.7	36 ^c	69.9	28 ^c	87.8	9 ^d	DS-300-30%

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Different letters in each column shows the significant difference at probability level of 5%.

میکروگرم در مترمکعب حفظ کنند (Amarloei *et al.*, 2014, 2016). کمترین مقدار غلظت انتشار گردوغبار مربوط به تیمار DS-300 ۳۰ درصد بود (شکل ۴).

در این پژوهش پس از گذشت ۲۷ روز تنها تیمارهای کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد توانستند مقدار غلظت انتشار گردوغبار جاده‌ها را در محدوده مجاز ۵۰-۰ درصد



شکل ۴- وضعیت غلظت گردوغبار جاده‌ها با توجه به حد مجاز انتشار غبار (۵۰ میکروگرم در مترمکعب)

Figure 4. Road dust dosages according to the allowable range of PM10 (50 µg m⁻³)

نتایج نشان داد که اثر مستقل و متقابل نوع و غلظت تیمار بر مقدار عناصر کلسیم، منیزیم و کلر خاک حاشیه جاده معنی‌دار بود (جدول ۵). مقدار غلظت کلر و کلسیم خاک حاشیه جاده در تمامی غلظت‌های تیمار کلرید کلسیم در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. همچنین تیمار DS-300 ۳۰ درصد سبب افزایش معنی‌دار غلظت منیزیم در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل نوع و غلظت تیمار بر مقدار کلسیم، منیزیم و کلر خاک حاشیه جاده

Table 5. Analysis of variance of the independent and interaction effects of treatment type and dosage on amount of Ca, Mg and Cl of soil in margin of roads.

متغیر	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F مقدار
Variable	Sources	Degree of freedom	Sum of square	Mean of square	F value
Cl	نوع تیمار Treatment type	1	468.17	468.17	535.0**
	غلظت Dosage	3	372.33	124.11	141.84**
	نوع تیمار × غلظت Treatment type × Dosage	3	240.83	80.28	91.75**
Ca	نوع تیمار Treatment type	1	4565.04	4565.04	224**
	غلظت Dosage	3	7078.12	2359.37	115**
	نوع تیمار × غلظت Treatment type × Dosage	3	3575.12	1191.71	583.69**
Mg	نوع تیمار Treatment type	1	187.04	187.04	88.02**
	غلظت Dosage	3	355.46	118.49	55.76**
	نوع تیمار × غلظت Treatment type × Dosage	3	332.12	110.71	52.09**

** معنی‌داری اثر تیمارها در سطح اطمینان ۹۹ درصد.

** Significant effect of treatments at probability level of 99%.

جدول ۶- آنالیز شیمیایی خاک حاشیه جاده‌های تیمار شده با محلول‌های کلرید کلسیم و DS-300 (پی‌پی‌ام)

Table 6. Chemical analysis of soil at the margin of treated roads by CaCl₂ and DS-300 (PPM)

تیمار	کلر	درصد افزایش	کلسیم	درصد افزایش	منیزیم	درصد افزایش
	Cl	Increment (%)	Ca	Increment (%)	Mg	Increment (%)
شاهد	114.7 ^c	-	102.0 ^c	-	20.3 ^b	-
Control						
CaCl ₂ 10%	122.0 ^b	6.3	118.0 ^c	15.7	21.7 ^b	6.9
CaCl ₂ 20%	126.0 ^b	9.8	142.0 ^b	39.2	22.0 ^b	8.4
CaCl ₂ 30%	134.3 ^a	17.1	180.0 ^a	76.5	21.3 ^b	4.9
DS-300-10%	114.7 ^c	0.0	104.6 ^c	2.5	22.7 ^b	11.8
DS-300-20%	115.7 ^c	0.9	110.0 ^c	7.8	25.0 ^b	23.1
DS-300-30%	116.6 ^c	1.6	115.0 ^c	12.7	39.7 ^a	95.5

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Different letters in each column shows the significant difference at probability level of 5%.

بحث

خاصیت خورندگی این ماده کاست (Garrett, 2004). کلرید منیزیم ماده‌ای است که به منظور کنترل گردوغبار و رطوبت سطح جاده مورد استفاده قرار می‌گیرد. تأثیر مثبت این ماده در بهبود خواص ژئوتکنیکی مصالح ریزدانه حاوی رس به اثبات رسیده است (Turkoz et al., 2014).

بر اساس شاخص کیفیت هوا یا AQI (Air Quality Index) و گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت، محدوده مناسب غلظت PM10 هوای آزاد ۵۰-۰ میکروگرم در مترمکعب است و خروج غلظت این ذرات از محدوده مجاز، سبب افزایش طیف وسیعی از بیماری‌ها و مرگ‌ومیر شده و آثار مخرب زیست‌محیطی را به دنبال دارد (Amarloei et al., 2014, 2016, Nourmoradi et al., 2016). با توجه به این موضوع، در این پژوهش پس از گذشت ۲۷ روز تنها تیمارهای کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد توانستند مقدار غلظت انتشار گردوغبار جاده‌ها را در محدوده مجاز ۵۰-۰ میکروگرم در مترمکعب حفظ کنند. کمترین مقدار غلظت انتشار گردوغبار مربوط به تیمار DS-300 ۳۰ درصد بود.

نتایج نشان داد که مقدار غلظت کلر و کلسیم خاک حاشیه جاده در تیمارهای کلرید کلسیم و همچنین DS-300 ۳۰ درصد در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. همچنین تیمار DS-300 ۳۰ درصد سبب افزایش معنی‌دار غلظت منیزیم در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۵). Shabani and Khademi (2013) از محلول کلریدی SSR-400 برای کنترل گردوغبار جاده‌های روستای فرحزاد در استان اصفهان استفاده کردند. آنها تأثیر معنی‌داری در میزان یون‌های کلر، کلسیم و منیزیم موجود در آب، خاک و درختان مجاور جاده مشاهده نکردند. Johnson and

در این پژوهش استفاده از مقادیر مختلف تیمارهای کلرید کلسیم و DS-300 توانست غلظت انتشار گردوغبار جاده را کاهش دهد. هرچند که با گذر زمان توانایی این مواد در کنترل گردوغبار جاده کاهش یافت. (Kirchner and Gall (1991) و Brown and Elton (1994) و نیز در یافته‌های خود به تأثیر معنی‌دار نوع تیمار، غلظت تیمار و زمان بر مقدار انتشار گردوغبار جاده‌ها اشاره کردند. (Kirchner (1988) میزان گردوغبار ۵ قطعه از جاده‌های شنی که با مواد ضد غبار شامل امولسیون آسفالت، آب‌شور طبیعی، آب‌شور فرآوری شده، کلرید کلسیم مایع و کلرید منیزیم مایع تیمار شده بودند اندازه‌گیری کرد. یک کامیون ۵۰ مرتبه با سرعت ۷۰ کیلومتر در ساعت در فصل تابستان از روی این جاده‌ها عبور کرده و در هر بار عبور میزان گردوغبار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کارایی و ماندگاری تیمار کلرید کلسیم بهتر از سایر تیمارها بود. ضمن آنکه تیمارهای کلرید کلسیم و منیزیم مانع از توسعه شیار و چاله روی جاده شده بودند.

نتایج نشان داد که مقدار گردوغبار منتشرشده از جاده‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم و DS-300 با گذر زمان افزایش یافت. همچنین در هر یک از دوره‌های زمانی با افزایش غلظت محلول‌های کلرید کلسیم و DS-300 مقدار غلظت انتشار گردوغبار کاهش پیدا کرد. این محلول‌ها سطح جاده را مرطوب نگه‌داشته، کشش سطحی را افزایش داده و پیوند بین ذرات ریزدانه و درشت‌دانه مصالح رویه جاده را مستحکم‌تر می‌کنند (Sadeghi and Jalalian, 2015). درعین حال کلرید کلسیم ماده‌ای خورنده است و سبب خوردگی بتون و اجزای وسایل نقلیه می‌شود اما با افزودن نمک‌های دیگر می‌توان از

به کلر شدند، تنها تیمار DS-300 ۲۰ درصد به‌عنوان غلظت کم‌خطر برای کنترل گردوغبار جاده شناسایی شد. محلول‌های تعدیل‌شده ترکیبی مانند SSR-400 و DC-400 دارای مجوز از سازمان حفاظت محیط‌زیست هستند، اما بر اساس یافته‌های این پژوهش حتی ضعیف‌ترین این محلول‌ها یعنی DS-300 هم در دزهای بالای ۲۰ درصد دارای اثرات منفی بر اکوسیستم جنگل و ترکیبات عناصر غذایی خاک بود. از این رو با وجود صدور این مجوز از سازمان باید در استفاده از آنها ملاحظات زیست‌محیطی را با دقت در نظر گرفت و حتی‌الامکان از مواد جایگزین مانند نانوپلیمرها یا پلیمرهای معمولی بهره جست. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی ماندگاری و میزان آبسویی غلظت‌های مختلف این تیمارها در جاده‌های اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کشور و همچنین اثر تیمارها بر کیفیت آب‌های جاری منطقه موردتوجه و بررسی قرار گیرد.

References

- Addo, J.Q., T.G. Sanders & M. Chenard, 2004. Road dust suppression: effect of maintenance stability, safety and the environment phases 1-3. Mountain-Plains Consortium (MPC), University Transportation Centers Program (UTCP), 73p.
- Amarloei, A., A. Jonidijafari, H. Asilian Mohabadi & K. Asadollahi, 2014. The evaluation of PM10, PM2.5 and PM1 concentration during dust storm events in Ilam city, *Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 22(4): 240-259. (In persian)
- Bolander, P., A. Yamada, 1999. Dust Palliative Selection and Application Guide, USDA forest service, 12 p.
- Brown, D.A. & D.J. Elton, 1994. Guidelines for dust control on unsurfaced roads in Alabama. Final report, IR-94-02, Highway Research Center, Harbert Engineering Center, Auburn University, 20 p.

- (2009) Olson از تیمارهای کلرید کلسیم، کلرید منیزیم و پلیمر آلی برای مقابله با گردوغبار جاده‌های شنی ایالت مینسوتا آمریکا با حجم ترافیک ۲۵ تا ۷۰۰ وسیله نقلیه در روز استفاده کردند. نتایج نشان داد که همه تیمارها سبب کاهش گردوغبار جاده‌ها شدند. عامل رطوبت مصالح رویه مهم‌ترین شاخص تعیین‌کننده غلظت گردوغبار بود. همچنین نتایج نشان داد که کارایی تیمارها در جاده‌هایی که در مصالح رویه آنها درصد بیشتری ماسه وجود داشت، کمتر بود. در این پژوهش، کارایی تیمارهای کلرید کلسیم و DS-300 در کنترل گردوغبار جاده‌های جنگلی در یک بازه زمانی ۲۷ روزه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پس از گذشت ۲۷ روز تنها تیمارهای کلرید کلسیم ۳۰ درصد، DS-300 ۲۰ درصد و DS-300 ۳۰ درصد توانستند مقدار غلظت انتشار گردوغبار جاده‌ها را در محدوده مجاز ۰-۵۰ میکروگرم در مترمکعب حفظ کنند؛ اما از آنجایی که غلظت‌های کلرید کلسیم سبب تغییر غلظت کلسیم و آلودگی خاک حاشیه جاده
- Garrett, D.E. 2004. Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride. Processing, Uses and Properties, 237-457.
 - Gebhart, D.L., T.A. Hale & K. Michaels-Busch, 1996. Dust control material performance on unsurfaced roadways and tank trails. USAEC/USACERL Tech. Rep. Champaign, IL: U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, 34 p.
 - Gotosa, J., G. Nyamadzawo, T. Mtetwa, A. Kanda & V.P. Dudu, 2015. Comparative road dust suppression capacity of molasses stillage and water on gravel road in Zimbabwe. *Advances in Research*, 3(2): 198-208.
 - Gustafsson, M. 2005. Vägdam: småpartiklar-stora problem: enkunskapsöversikt [Road dust: small particles- large problems: a knowledge overview]. VTI, Linköping, 56 p.
 - Johnson, E.N. & R.C. Olson, 2009. Best practices for dust control on aggregate roads. Minnesota Department of Transportation, Research Services Section, 395 John Ireland

- Boulevard, MS 330, St. Paul, Minnesota 55155-1899, 54 p.
- Jones, T.E. 1984. Dust emission from unpaved roads in Kenya. Laboratory report 1110, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 52 p.
 - Kiani, S., S.A. Siadat & Sh. Mashauiekhi, 2016. Evaluating the effect of dust on growth morphology and physiology of plants. The First International Conference on Dust, 2-4 March 2016, Ahvaz, 7 p. (In persian)
 - Kirchner, H.W. 1988. Road dust suppressants compared. *Public Works*, 119(13): 27-28.
 - Kirchner, H. & J.A. Gall, 1991. Liquid calcium chloride for dust control and base stabilization of unpaved road systems. *Transportation Research Record*, 1291: 173-178.
 - Lotfalian, M., A. Savadkoobi, A. Parsakhoo & S. Karamirad, 2018. Effects of CBR+ nano materials on mechanical resistance and chemical characteristics of forest roads runoff. *Forest Research and Development*, 4(3): 289-301.
 - Nourmoradi, H., Y. Omidikhaniabadi, G. Goudarzi, M. Jourvand & K. Nikmehr, 2016. Investigation on the dust dispersion (PM10 and PM2.5) by Doroud cement plant and study of its individual exposure rates, *Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 24(1): 64-75. (In persian)
 - Omrane, D., W.V. Liu & Y. Pourrahimian, 2018. Comparison of chemical suppressants under different atmospheric temperatures for the control of fugitive dust emission on mine hauls roads. *Atmospheric Pollution Research*, 9: 561-568.
 - Parsakhoo, A. 2015. Forest road construction and maintenance. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press, 243 p.
 - Sadeghi, M.R. & A. Jalalian, 2015. Earthy road stabilization by Chlorides to control produced dust and particles by traffic. International Conference on Advances in Civil Engineering, Architecture and Urban Management, 14 September 2015, Nikan Institute of Higher Education, Tehran, 8 p. (In Persian)
 - Shabani, M. & A. R. Khademi, 2013. Dust control and soil stabilization of earthy road by SSR-400. 3rd National Conference on Wind Erosion and dust, 15 and 16 January 2013, Yazd University, 7 p. (In persian)
 - Turkoz, M., H. Savas, A. Acaz, & H. Tosun, 2014. The effect of magnesium chloride solution on the engineering properties of clay soil with expansive and dispersive characteristics. *Applied Clay Science*, 101: 1-9.
 - Wade, E.B., 2009. Impacts of dirt and gravel road dust on roadside organic forest soils and roadside vegetation. MSc Thesis, School of Forest Resources, The Pennsylvania State University, 88 p.

Investigating the efficiency of DS-300 and CaCl₂ in dust mitigation from gravel forest roads

G. Shahmoradi¹, A. Parsakhoo^{*2} and M. Lotfalian³

1- MSc. student of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (sh.shahmoradii@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran. (parsakhoo@gau.ac.ir)

3- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (mlotfalian@yahoo.com)

Received: 03.11.2019

Accepted: 22.02.2020

Abstract

In this study, to evaluate the performance of anti dust material DS-300 and calcium chloride in road dust control, each with concentrations of 10, 20, 30% by amount as two liters per square meter in parts of Takht series roads of Minoodasht city were sprayed by the solution spray system. Dust concentration was recorded when passing the vehicle at a speed of 40 km / h after 3, 9 and 27 days after the treatments using the electronic dust meter HAZ-DUST EPAM-5000. Roadside soil sampling was performed to examine soil calcium and magnesium changes and chlorine contamination. The results showed that the concentration of dust on the treated roads increased over time. Also, in each time period, with increasing the concentration of treatments, the dust concentration decreased. After 27 days, only 30% calcium chloride, 20% DS-300 and 30% DS-300 were able to maintain the road dust emission concentration in the allowable range of 0-50 µg / m³. Since 30% of calcium chloride and DS-300 concentrations altered the concentrations of calcium and magnesium and contaminated the roadside soil with chlorine, only 20% of DS-300 was identified as a low-risk concentration for road dust control.

Keywords: Anti-dust agents, Electro-dustometer, Gravel road, Minoodasht city, Pollutant index.

* Corresponding author

Tel: +989126408286