مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان
سال هفتم، شماره هجدهم، بهار ۱۳۹۷، صفحه ۱۵ـ۲۶

امکان‌سنجی عملیاتی، زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از سربارهٔ فولاد به‌عنوان مالچ برای کنترل فرسایش بادی

عباس علیپور[۱]، علی طویلی[۲]، حامد سنگونی[۳*]، احسان علیپوری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۳**

چکیده

در این پژوهش، امکان استفاده از سربارهٔ فولاد به‌عنوان مالچ سنگ‌ریزه‌ای برای کنترل فرسایش بادی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار دو قطعهٔ هزار مترمربعی به‌عنوان تیمار و شاهد در اطراف یوسف‌آباد نیشابور در نظر گرفته شد و سربارهٔ مورد نیاز برای انجام مالچ‌پاشی از شرکت فولاد خراسان تأمین شد. پس از مالچ‌پاشی، اثر عملیاتی آن با استفاده از سینی‌های اندازه‌گیری مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین با توجه به خطر فلزات سنگین موجود در سرباره، میزان این فلزات با استفاده از روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. در نهایت هزینه‌های اقتصادی اجرای این طرح هم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از مالچ سرباره باعث کنترل چشمگیر فرسایش بادی در منطقه شده و اختلاف بین شاهد و تیمار در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. در بخش ارزیابی اقتصادی هم میزان هزینهٔ لازم برای منطقهٔ هزار مترمربعی مورد مطالعه، حدود ۶۴۲ هزار تومان برآورد شد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که برای استفاده از این نوع مالچ، مهم‌ترین مانع، فلزات سنگین آن است که می‌تواند خطرات زیست‌محیطی به همراه داشته باشد. اما استعمال این روش با توجه به کارایی آن، در مواردی که نیاز به کنترل فوری فرسایش بادی و ریزگردها وجود داشته باشد، قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: امکان‌سنجی، رسوب، سرباره، فرسایش بادی، گردوغبار.

---

۱. استادیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه امام حسین(ع)
۲. دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳. دکتری علوم مرتع، مدرس مدعو گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه تربت حیدریه/ H.Sangoony@gmail.com
۴. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

مقدمه

ایران در کمربند خشک جهان قرار گرفته و درحالی‌که سهم کشور از خشکی‌های جهان فقط ۲/۱درصد می‌باشد، کشور ما ۴/۲درصد از بیابان‌های جهان را در خود جای داده است. مناطق بیابانی کشور به وسعت ۳۴ میلیون هکتار، ۲۰درصد مساحت کل و ۲۵درصد منابع طبیعی کشور را شامل شده است (جعفری و همکاران، ۲۰۱۸). آغاز توجه به موضوع فرسایش بادی و پیامدهای مصیبت‌بار آن، بارش غبار سال ۱۹۳۰ در اثر فرسایش خاک توسط باد در دشت بزرگ آمریکا می‌باشد که در نتیجهٔ آن، حدود ۳۵۰ میلیون تن خاک سطحی از بین رفته و ۲ میلیون هکتار از اراضی زراعی و مرتعی به تپه‌های ماسه‌ای تبدیل شده است. همچنین در طوفان شدید گردوغبار سال ۱۹۳۴ که از چند ایالت آمریکا آغاز شد، ابرهایی حاوی مواد آلی، رس و سیلت صدها کیلومتر به‌سمت اقیانوس اطلس حمل گردید (بیات موحد، ۲۰۱۰). در حال حاضر، فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان به تأسیسات اقتصادی و منابع زیستی یکی از معضلات اصلی در کشور محسوب می‌شود. چهارده استان که در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، با معضل فرسایش بادی روبه‌رو هستند (بوعلی و همکاران، ۲۰۱۷). فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان یک شاخص مهم در وقوع پدیدهٔ بیابان‌زایی و یک تهدید جدی برای مناطق خشک به شمار می‌آید. هجوم ماسه‌های روان باعث آسیب‌های زیاد به شهرها و آبادی‌ها، جاده‌ها، راه‌ها و همچنین از بین رفتن حاصلخیزی خاک می‌شود. نمونه‌های فراوانی از آسیب‌های جدی فرسایش بادی در تاریخ وجود دارند که از آن جمله می‌توان به جنگل‌های غان ایسلند، اراضی شوروی سابق و جمهوری خلق چین اشاره کرد. حتی فاجعهٔ انسانی ساحل (۱۹۶۸_۱۹۷۳) هم در اثر سال‌ها ندیده گرفتن فرسایش‌های آبی و بادی در منطقه رخ داد (بیات موحد، ۲۰۱۰). مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش بادی شامل ویژگی‌های خاک، سرعت باد و میزان پوشش سطح خاک هستند. در این میان، بافت، درصد رطوبت و زبری سطح خاک از اهمیت بیشتری برخوردارند (چپیل[1] و همکاران، ۱۹۶۳). تاکنون روش‌های مختلفی برای کنترل فرسایش بادی مورد استفاده قرار گرفته است که هریک از آن‌ها دارای مزایا و محدودیت‌های خاصی هستند. استقرار پوشش گیاهی طبیعی در مناطقی که در معرض این خطر قرار دارند، بهترین و پایدارترین روش جلوگیری از فرسایش بادی است (رفاهی، ۲۰۱۲). با وجود این، در صورت فراهم نبودن شرایط زیستی برای حیات گیاهان، انجام این کار ممکن نیست و به همین دلیل روش‌های غیرزیستی مانند استفاده از بادشکن‌ها و انواع مختلف مالچ‌ها نیز مورد توجه و بهره‌برداری قرار دارند که با توجه به شرایط مختلف، هریک می‌توانند کارایی و بازده خاصی داشته باشند. مالچ به‌عنوان یک پوشش که سطح خاک را از تماس با جریان فرسایندهٔ باد حفظ می‌کند، تعریف شده است. با این تعریف، انواع مختلفی از مواد طبیعی و مصنوعی را می‌توان به‌عنوان مالچ به کار برد. از بقایای گیاهی که روی زمین پخش می‌شوند تا فرآورده‌های نفتی، سنگ‌ریزه، سرباره‌های ذوب‌آهن و فولادسازی و حتی گدازه‌های سردشدهٔ آتشفشانی در این تعریف جا می‌گیرند (نیکخو، ۱۹۷۱؛ تجدور[2] و همکاران، ۲۰۰۳). در کشور ما مالچ‌های نفتی به‌واسطهٔ استعمال گسترده، بیشتر شناخته شده‌اند. این مالچ‌های نفتی که به‌طور عمده شامل مخلوطی حاوی ۹۰درصد نفت خام، ۸درصد نفت سوخت و ۲درصد قیر طبیعی است، به‌وسیلهٔ پمپ‌هایی بر روی سطح شن‌های روان پاشیده می‌شود (زابلی و همکاران، ۲۰۱۰). اما این روش دارای مضرات زیادی است که استفاده از آن را با تردیدهای جدی مواجه می‌سازد (کوثر[3] و همکاران، ۱۹۶۸). در این بین، استفاده از سرباره به‌عنوان مالچ برای مقابله با فرسایش بادی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این ماده با توجه به توانایی آن در افزایش زبری سطح خاک می‌تواند اثرات مثبتی داشته باشد. باباخانی (۲۰۱۱) اثر استفاده از سربارهٔ فولادسازی برای کنترل فرسایش بادی را مورد مطالعه قرار داد و با بررسی‌های آزمایشگاهی نتیجه گرفت که این

1. Chepil
2. Tejedor
3. Kowsar

روش بسیار مؤثر است. صفایی (۲۰۱۲) ضمن مطالعهٔ این گزینه، ابعاد و درصد پوشش بهینهٔ استعمال سرباره برای کنترل فرسایش بادی را در خاک‌های دشت سگزی تعیین کرد. او برای این کار از تونل باد استفاده کرد و نتایج نشان داد که پوشش ۷۵درصد و اندازهٔ ۳ تا ۴ سانتی‌متری، بهترین نتایج را در کنترل فرسایش بادی از سینی‌های آزمایش داشته است. البته شایان ذکر است که این نوع مالچ علاوه بر کنترل فرسایش بادی در مرحلهٔ برداشت، رسوبات در حال حمل (به‌ویژه به‌شکل جهشی) را نیز به دام می‌اندازد و بنابراین نه‌فقط باعث توقف برداشت خاک می‌شود، بلکه می‌تواند با به دام‌اندازی رسوبات برداشت‌شده، روند فرسایش خاک را معکوس کند. گرسون[1] و همکاران (۱۹۸۵) گزارش کردند که راندمان به دام انداختن گردوغبار در مالچ‌های سنگ‌ریزه‌ای تا حد زیادی به حجم منافذ، اندازهٔ منافذ و سطح پوشش بستگی دارد. تحت سطح پوشش مشابه، گرچه مالچ‌های دربرگیرندهٔ سنگ‌ریزه‌های بزرگ‌تر منافذ بزرگ‌تری بین سنگ‌ریزه‌ها نسبت به مالچ‌های دربرگیرندهٔ سنگ‌ریزه‌های کوچک‌تر دارند، تعداد منافذ در مالچ‌های دربرگیرندهٔ سنگ‌ریزه‌های بزرگ‌تر کمتر است. بنابراین سنگ‌ریزه‌های کوچک می‌توانند گردوغبار بیشتری را به دام بیندازند. باید در نظر داشت در سطوح زبر چون موانع به‌وجودآمده معمولاً نفوذناپذیر است، تمامی جریان باد را به‌طرف بالا منحرف می‌سازد و در نتیجه شدت تلاطم باد زیادتر می‌شود و ممکن است منجر به فرسایش خاک گردد. بنابراین اگر ناهمواری سطح خیلی زیاد باشد، ممکن است از مزایای آن کاسته شود، به‌طوری که چپیل و میلن[2] (۱۹۴۱) اظهار می‌دارند اپتیموم ارتفاع ناهمواری از نظر کنترل مؤثر فرسایش بادی ۳ تا ۱۲/۵ سانتی‌متر است. آرم براست[3] و همکاران (۱۹۶۴) در بررسی‌های خود دربارهٔ نقش برجستگی‌ها در فرسایش بادی، پشته‌هایی را که ارتفاع آن‌ها بین ۱/۳ و ۲۰ سانتی‌متر تغییر می‌کرد، مورد مطالعه قرار دادند و ملاحظه کردند که در اکثر موارد، برجستگی‌های به ارتفاع ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر هستند که در کنترل فرسایش بادی مؤثرند. برجستگی‌های کوتاه‌تر از ۳ سانتی‌متر از نظر کاهش سرعت باد و از نظر به دام انداختن ذرات، نقش کمتری داشته‌اند و برجستگی‌های بلندتر از ۱۰ سانتی‌متر نیز غالباً سبب به‌وجودآمدن فرسایش شدید در اثر بادهای شدید می‌شوند؛ زیرا سرعت باد در بالای برجستگی‌ها افزایش یافته و تلاطم و گردباد به وجود می‌آید. میزان فرسایش بادی با مقدار زبری سطح رابطهٔ معکوسی دارد؛ یعنی هرچه سطح زبرتر باشد، فرسایش کمتر است و بالعکس. البته باید در نظر داشت که این موضوع در مورد یک سطح کاملاً صاف صدق نمی‌کند؛ زیرا یک سطح کاملاً صاف با ذرات خیلی ریز قادر است سرعت‌های خیلی بالا را تحمل کند و در نتیجه ذرات منتقل نمی‌شوند.

آهن و فولاد پرمصرف‌ترین مصالح صنعتی است. تولید و مصرف آهن و آلیاژهای آن امروزه به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (آذربایجانی و ویکتاش، ۲۰۰۴). فولاد هم‌اکنون در ۱۰۰ کشور و در ۵ قاره تولید شده و در تمام کشورهای دنیا به مصرف می‌رسد. تنوع و میزان تولید و مصرف فولاد در دنیای امروز، معیاری از پیشرفتگی و توسعه‌یافتگی یک کشور به حساب می‌آید (جولازاده، ۲۰۱۶). ایران با تولید بیش از ۱۶/۱ میلیون تن در سال ۲۰۱۵ (کاهش ۱/۴درصد نسبت به سال ۲۰۱۴) از نظر حجم تولید در محدودهٔ تقریبی ۱۴ کشور برتر جهان قرار می‌گیرد (همان). سهم ایران در تولید فولاد خام جهان ۰/۹۹درصد است. سرباره یکی از فراورده‌های جنبی کارخانجات ذوب‌آهن و فولاد است که در اروپا و در کشور ما به مقدار زیاد تولید می‌شود و نحوهٔ استفاده از آن به‌عنوان موضوعی اساسی مطرح است. به‌ازای تولید یک تن فولاد، حدود ۱۵۰ کیلوگرم از این ماده تولید می‌شود. هرساله ۲۵۰ میلیون کیلوگرم سربارهٔ فولادسازی در اصفهان تولید می‌شود که حاوی مواد و ترکیبات باارزشی هستند. نتایج تجزیهٔ شیمیایی سرباره که توسط آزمایشگاه مرکزی شرکت فولاد مبارکه انجام گرفته، نشان می‌دهد که اکسید کلسیم از نظر کمّی، بیشترین درصد سرباره (۵۲/۸۵ درصد) را تشکیل می‌دهد. آهن کل سرباره ۱۶/۸۳درصد بوده و پس از آن به‌ترتیب عناصر دیگری همچون سیلیسیوم،

1. Greson
2. Chepil & Milne
3. Armbrust

فسفر، منگنز، منیزیم، گوگرد و مقادیر کمی پتاسیم و روی نیز در سرباره موجودند که می‌توانند در تأمین عناصر غذایی گیاه مؤثر باشند (رضوی دینانی و همکاران، ۲۰۱۷). میزان تولید زیاد، قیمت ارزان، هزینه‌های نگهداری بالا و نیز کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی از عوامل مؤثر در به‌کارگیری این پسماند است (رائو،[1] ۲۰۱۱). در ایران سالانه بیش از ۲ میلیون تن سرباره تولید می‌شود که با توجه به رشد روزافزون صنایع آهن و فولاد، این میزان افزایش نیز می‌یابد. علاوه بر این، میزان انباشتگی موجود در کارخانه‌های بزرگ فولادسازی کشور حدود ۳۵ میلیون تن تخمین زده شده است (عامری و شهابی، ۲۰۱۱) .

یکی از فناوری‌های جدید به‌کارگیری سرباره، استفاده از آن به‌عنوان مالچ در کنترل فرسایش بادی است. اگرچه کارایی مالچ‌های نفتی در تثبیت خاک‌های مستعد به فرسایش شناخته‌شده است، استفاده از این نوع مالچ‌ها پرهزینه است. همچنین این مالچ‌ها دارای چشم‌انداز نامناسب، بوی نامطبوع، مقاومت کم در برابر جریان باد و کاهش کارایی با گذشت زمان نیز هستند که به‌عنوان معایب آن‌ها شناخته می‌شود. همچنین نفت موجود در این مالچ‌ها روی پوشش گیاهی منطقه اثرات منفی زیادی دارد (کالکینز،[2] ۲۰۰۸). در مقابل، مالچ‌های سنگ‌ریزه‌ای، سنگ‌های خردشده و سرباره، مالچ‌های مؤثرتری برای کنترل فرسایش بادی (به‌خصوص در مناطقی با ترافیک پایین وسایل نقلیه) هستند. این نوع مالچ‌ها به‌عنوان یک مانع سطحی برای کاهش تبخیر و رواناب عمل می‌کنند و از این طریق باعث حفظ رطوبت خاک می‌شوند (لی و لیو،[3] ۲۰۰۳؛ کوری و کمپر،[4] ۱۹۶۸). اجزای سنگی بر روی سطح خاک باعث افزایش زبری خاک شده و در نتیجه بر روی سرعت عمودی باد و ساختار جریان هوا اثرگذار است. در حقیقت در سطوح سنگی طول زبری دینامیکی بیشتر از سطوح بدون سنگ است، اما سرعت عمودی باد نزدیک زمین کمتر است. این بدین معناست که پوشش‌های سنگی می‌تواند باعث افزایش آشفتگی جریان هوا و تقلیل حد آستانه گردد. بنابراین سطح خاک حفظ می‌شود و باعث تثبیت ذرات مستعد فرسایش می‌شود (دونگ[5] و همکاران، ۲۰۰۲).

مالچ‌های شن و سنگ‌ریزه در کنترل فرسایش بادی دو عملکرد دارند: ۱. مالچ مانع فرسایش خاک توسط باد می‌گردد؛ ۲. مالچ باعث به دام‌اندازی گرد و خاک می‌شود. همچنین دسترسی آسان و قیمت ارزان مالچ سرباره و دارا بودن عناصر مورد نیاز رشد گیاهان از جمله آهن، فسفر، منیزیم و منگنز از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از سرباره در کنترل فرسایش بادی است. دامنهٔ اندازهٔ کوچک‌ترین ذرات سرباره مشابه با شن است (حدود ۲ میلی‌متر)، بنابراین حتی کوچک‌ترین ذرات سرباره هم از اغلب ذرات خاک بزرگ‌تر هستند. از طرف دیگر، ذرات بزرگ‌تر سرباره اندازه‌ای تا حدود ۲۰۰ میلی‌متر هم دارند که با چنین اندازه‌ای امکان جابه‌جایی آن‌ها توسط باد وجود ندارد (پروکتور[6] و همکاران، ۲۰۰۲).

در مطالعات مختلفی از سینی‌های فرسایش برای اندازه‌گیری اثر تیمارهای مختلف بر فرسایش و رسوب استفاده شده است (شهنواز و همکاران، ۲۰۱۶؛ صفایی و همکاران، ۲۰۱۲). البته در اغلب آن‌ها اندازه‌گیری وزنی خاک موجود در سینی مبنای کار بوده است که در مطالعات صحرایی می‌تواند مشکلات اجرایی را به همراه داشته باشد.

در این پژوهش امکان استفاده از سربارهٔ فولاد به‌عنوان مالچ برای کنترل فرسایش بادی از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

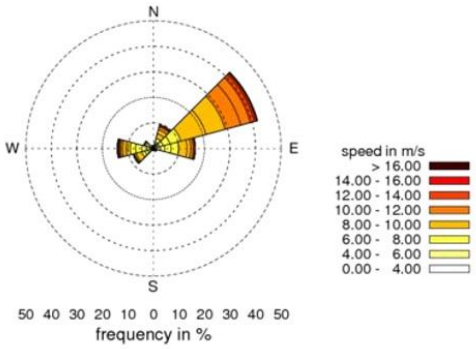
مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

شهرستان نیشابور یکی از شهرستان‌های استان خراسان رضوی است که با مساحت ۷۱۳۶۱۵ هکتار در مرکز این استان واقع شده است. این شهرستان در حد فاصل مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه قرار گرفته

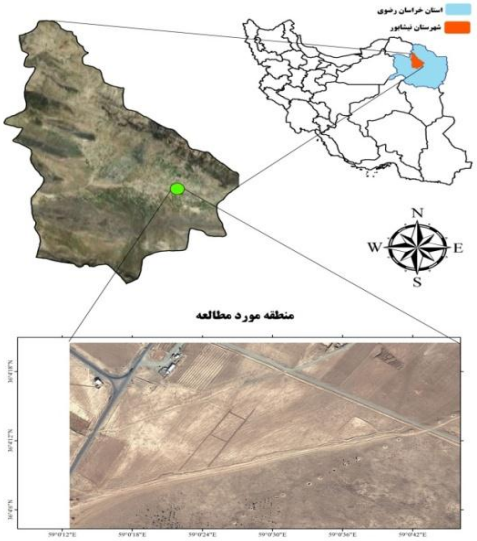
1. Rao
2. Calkins
3. Li & Liu
4. Corey & Kemper
5. Dong
6. Proctor

است. منطقهٔ انتخاب‌شده برای انجام مطالعات میدانی این پژوهش در بخش زبرخان شهرستان نیشابور و در نزدیکی روستای یوسف‌آباد واقع شده بود. این محدوده در امتداد تونل بادی دیزباد و در فاصلهٔ حدود ۳۰ کیلومتری نیروگاه بادی بینالود قرار گرفته است. سرعت باد در این منطقه به‌طور متوسط ۹ متر بر ثانیه است که جهت غالب آن تقریباً از شرق به غرب می‌باشد (شکل ۱) (گردونی[1] و همکاران، ۲۰۱۲). شدت فرسایش بادی در این منطقه که جزء مناطق برداشت طبقه‌بندی می‌شود، به‌حدی است که ادارهٔ منابع طبیعی شهرستان نیشابور پروژه‌های متعددی (به‌وسیلهٔ تاغکاری) را برای کنترل آن تعریف شده است. بنابراین این منطقه با توجه به ویژگی‌های خاک فرسایش‌پذیر و رژیم وزش باد منظم آن مورد انتخاب قرار گرفت (شکل ۲).



شکل (۱): گلباد نشان‌دهندهٔ شدت و جهت باد غالب منطقه

Figure (1): Windrose indicating the region's velocity and direction of the dominant wind



شکل (۲): موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

Figure (2): Location of the studied area

برای مطالعهٔ ویژگی‌های خاک منطقهٔ مورد نظر، از نمونه‌برداری خاک استفاده شد. نمونهٔ برداشت‌شده به آزمایشگاه خاک دانشکده کشاورزی نیشابور منتقل شده و در آنجا میزان شوری، قلیائیت و بافت آن مورد بررسی قرار گرفت. پوشش گیاهی منطقه هم با مطالعهٔ صحرایی و عرصه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین موجود در ترکیب سرباره که از منظر موارد زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارند، از روش جذب اتمی استفاده شد. برای هضم و آماده‌سازی نمونه برای تزریق به دستگاه جذب اتمی، بر اساس پیشنهاد آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحدهٔ آمریکا و به‌منظور بازیابی بیشتر فلزات از روش 3050 B استفاده گردید (دپارتمان سلامت امریکا،[2] ۲۰۰۸). با توجه به بررسی منابع و مطالعات قبلی، به‌خصوص مطالعهٔ صفایی (۲۰۱۲)، اندازهٔ مناسب ذرات سرباره بین ۳ تا ۴ سانتی‌متر مشخص شد. برای تبدیل اندازهٔ سرباره موجود در شرکت فولاد خراسان به این سایز، چندین مرحله خردایش با استفاده از ابزارهای خاص خردایش و سنگ‌شکنی انجام گرفت. در نتیجهٔ انجام این عملیات، سربارهٔ یکدست و یکنواخت با ابعاد مورد نظر و ویژگی‌های شناخته‌شده به میزان لازم برای انجام مطالعه حاصل شد. همچنین با استناد به همین مطالعه، پوشش ۷۵درصد سرباره بهترین کارایی را در کنترل فرسایش بادی دارد که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

با تأمین نظر ادارهٔ منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان نیشابور برای در اختیار قرار دادن اراضی ملی جهت انجام طرح و موافقت شرکت فولادیار (به نمایندگی از شرکت فولاد خراسان) برای تأمین سربارهٔ مورد نیاز، شروع عملیات صحرایی ممکن شده و کار عرصه‌ای آغاز شد. دو قطعهٔ هزار مترمربعی برای اعمال تیمار و اندازه‌گیری فرسایش در منطقهٔ یوسف‌آباد نیشابور در نظر گرفته شد. این دو قطعه طوری روی زمین قرار گرفتند که هر دوی آن‌ها عمود بر جهت جریان باد غالب و فرساینده منطقه باشند و احتمال حرکت رسوبات از یکی به‌سوی دیگری به حداقل برسد.

1. Gardooni

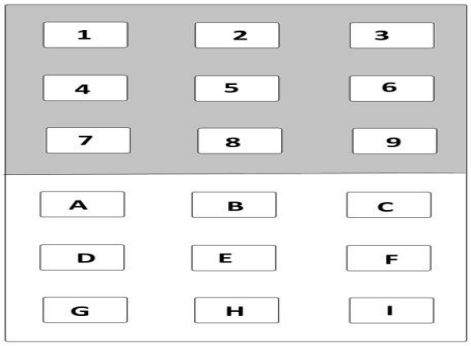
2. US Department of Health and Human Services

با تعیین و علامت‌گذاری منطقهٔ مورد نظر برای انجام طرح، بعد از هماهنگی‌های لازم با شرکت فولادیار، میزان سربارهٔ مورد نیاز توسط کامیون به منطقه حمل شد. سپس توسط یک دستگاه لودر، سربارهٔ حمل‌شده بدون ورود به محدودهٔ مورد مطالعه در اطراف قطعهٔ تیمار توزیع شد و در نهایت با استفاده از نیروی کار محلی، سرباره با درصد پوشش مورد نظر در سطح خاک توزیع شد (شکل ۳).

برای مشخص شدن اثر اعمال مالچ سرباره، لازم بود تا مقایسه‌ای میان میزان فرسایش بادی انجام‌شده در قطعهٔ شاهد با قطعهٔ تیمار صورت پذیرد. برای این کار از یک روش ساده استفاده شد. به این صورت که در هریک از قطعات تیمار و شاهد، ۹ سینی ثابت به‌طوری که روی هر سینی ۱۵ میلی‌متر خاک وجود داشته باشد، قرار داده شد (شکل ۴ و ۵). سپس در مقاطع زمانی ۱ ماهه، میزان عمق خاک روی هر سینی توسط کولیس و با دقت یک‌صدم میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفادهٔ آزمون t جفت‌شده، نتایج این دو گروه با هم مقایسه شدند و با توجه به معنی‌داری آن، به‌عنوان کارایی روش مورد استفاده گزارش شدند.

شکل (۳): توزیع سربارهٔ دانه‌بندی‌شده روی زمین

Figure (3): Distribution of graded slag on site

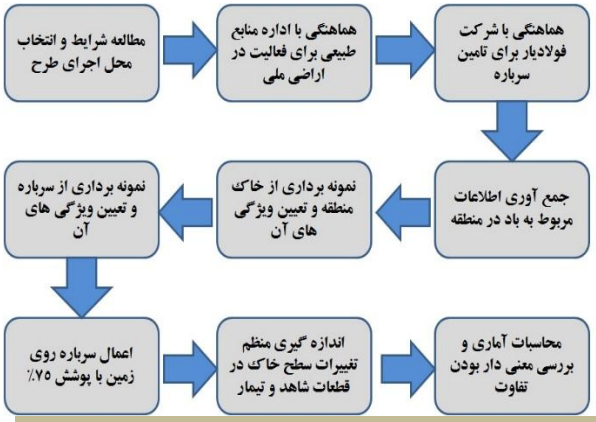


شکل (۴): موقعیت قرارگیری سینی‌های اندازه‌گیری

Figure (4): Position of the measuring trays

شکل (۵): نحوهٔ اندازه‌گیری فرسایش یا رسوب در سینی‌ها

Figure (5): Measuring erosion or deposition in trays



شکل (۶): فلوچارت مراحل اجرای پژوهش

Figure (6): Flowchart of the study

نتایج

خاک منطقهٔ مورد مطالعه در ردهٔ اریدیسول بوده و میزان شوری آن برابر با ۱,۴۰۸ دسی‌زیمنس بر متر و pH آن هم برابر با ۷,۴۸ تعیین شد. مطالعهٔ بافت خاک با روش هیدرومتری نشان داد که ۵۶درصد این خاک را سیلت، ۳۱ درصد را شن و ۱۳ درصد را رس تشکیل داده است. بنابراین بافت این خاک لومی سیلتی است که یکی از فرسایش‌پذیرترین انواع بافت خاک در برابر فرسایش بادی محسوب می‌شود.

همچنین مطالعهٔ عرصه‌ای پوشش گیاهی نشان داد که این منطقه دارای پوشش گیاهی پراکنده و کم‌تراکم است که توانایی زیادی برای کنترل فرسایش بادی ندارد. مهم‌ترین گونه‌های گیاهی منطقه را بعد از گراس‌های یک‌ساله، بوته‌های کوچک گیاهانی همچون اسپند، قره‌داغ و استیپا تشکیل داده است.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان فلزات سنگین کروم، کبالت، سرب و کادمیوم با استفاده از روش جذب اتمی نشان داد که میزان فلزات سرب، کادمیوم و کبالت در سرباره، کمتر از حد بحرانی تعریف‌شده برای آن‌ها هستند و حضور آن‌ها در ترکیب سرباره، اثر چندانی بر محیط‌زیست نخواهد داشت. اما در مورد کروم این مقدار چشمگیر بود و باید به‌عنوان یک عامل خطرآفرین احتمالی مورد توجه قرار بگیرد (جدول ۱).

جدول (۱): غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری‌شده در سرباره

Table (1): Concentration of heavy metals measured in slag

فلز سنگین	کروم ۶	کروم ۳	فرو کروم	نیکل	سرب	کادمیوم
میزان غلظت در سرباره	۱۱ mg/kg	۱۴۷۰ mg/kg	۳۰۰۰ mg/kg	۲۰۳ mg/kg	میزان غلظت در سرباره	mg/kg۱۱

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان تغییرات خاک در قطعه‌های مورد مطالعه نشان داد که در قطعه‌ای که تیمار مالچ سرباره‌ای اعمال شده بود، نه تنها فرسایش رخ نداده است، بلکه به دام‌اندازی رسوبات هم انجام شده است. این در حالی است که در قطعه شاهد میزان فرسایش خاک قابل توجهی به وقوع پیوسته است (جدول ۲ و ۳).

جدول (۲): عمق خاک موجود در هریک از سینی‌های موجود در قطعهٔ فاقد مالچ سرباره

Table (2): Depth of soil in each of the trays in the witness section

تاریخ و عمق متناظر خاک در سینی (اعداد عمق با واحد میلی‌متر اندازه‌گیری و درج شده‌اند)

کد سینی	۹۶/۰۷/۱۵	۹۶/۰۸/۱۵	95/09/15	96/02/15	۹۶/۰۷/۱۵	۹۶/۰۸/۱۵	96/05/15	96/06/15	۹۶/۰۷/۱۵	۹۶/۰۸/۱۵	میانگین هر سینی	میزان تغییر در عمق خاک
-۰/۲۲	۱۴/۵۲	۱۴/۴۸	۱۴/۷۸	-۰/۲۲	۱۴/۵۲	۱۴/۴۸	۱۴/۷۸	-۰/۲۲	۱۴/۵۲	۱۴/۴۸	۱۴/۷۸	-۰/۲۲
-۰/۲۶	۱۴/۵۳	۱۴/۴۹	۱۴/۷۵	-۰/۲۶	۱۴/۵۳	۱۴/۴۹	۱۴/۷۵	-۰/۲۶	۱۴/۵۳	۱۴/۴۹	۱۴/۷۵	-۰/۲۶
-۰/۲۶	۱۴/۴۹	۱۴/۴۷	۱۴/۷۴	-۰/۲۶	۱۴/۴۹	۱۴/۴۷	۱۴/۷۴	-۰/۲۶	۱۴/۴۹	۱۴/۴۷	۱۴/۷۴	-۰/۲۶
-۰/۲۴	۱۴/۵۷	۱۴/۵۳	۱۴/۷۷	-۰/۲۴	۱۴/۵۷	۱۴/۵۳	۱۴/۷۷	-۰/۲۴	۱۴/۵۷	۱۴/۵۳	۱۴/۷۷	-۰/۲۴
-۰/۲۴	۱۴/۵۴	۱۴/۵۱	۱۴/۷۷	-۰/۲۴	۱۴/۵۴	۱۴/۵۱	۱۴/۷۷	-۰/۲۴	۱۴/۵۴	۱۴/۵۱	۱۴/۷۷	-۰/۲۴
-۰/۲۹	۱۴/۴۳	۱۴/۴۳	۱۴/۷۲	-۰/۲۹	۱۴/۴۳	۱۴/۴۳	۱۴/۷۲	-۰/۲۹	۱۴/۴۳	۱۴/۴۳	۱۴/۷۲	-۰/۲۹
-۰/۲۶	۱۴/۴۸	۱۴/۴۸	۱۴/۷۴	-۰/۲۶	۱۴/۴۸	۱۴/۴۸	۱۴/۷۴	-۰/۲۶	۱۴/۴۸	۱۴/۴۸	۱۴/۷۴	-۰/۲۶
-۰/۲۲	۱۴/۵۳	۱۴/۵۱	۱۴/۷۸	-۰/۲۲	۱۴/۵۳	۱۴/۵۱	۱۴/۷۸	-۰/۲۲	۱۴/۵۳	۱۴/۵۱	۱۴/۷۸	-۰/۲۲
-۰/۱۷	۱۴/۶۸	۱۴/۶۴	۱۴/۸۳	-۰/۱۷	۱۴/۶۸	۱۴/۶۴	۱۴/۸۳	-۰/۱۷	۱۴/۶۸	۱۴/۶۴	۱۴/۸۳	-۰/۱۷
-۰/۲۴	۱۴/۵۳	۱۴/۵۰	۱۴/۷۶	-۰/۲۴	۱۴/۵۳	۱۴/۵۰	۱۴/۷۶	-۰/۲۴	۱۴/۵۳	۱۴/۵۰	۱۴/۷۶	-۰/۲۴

جدول (۳): عمق خاک موجود در هریک از سینی‌های موجود در قطعهٔ دارای مالچ سرباره
Table (3): Depth of soil in each of the trays in the slag mulch section
تاریخ و عمق متناظر خاک در سینی (اعداد عمق با واحد میلی‌متر اندازه‌گیری و درج شده‌اند)

کد سینی	۹۶/۰۷/۱۵	۹۶/۰۸/۱۵	95/09/15	96/02/15	۹۶/۰۷/۱۵	۹۶/۰۸/۱۵	96/05/15	96/06/15	۹۶/۰۷/۱۵	۹۶/۰۸/۱۵	میانگین هر سینی	میزان تغییر در عمق خاک
+۰/۱۹	۱۵/۳۰	۱۵/۳۳	۱۵/۱۹	+۰/۱۹	۱۵/۳۰	۱۵/۳۳	۱۵/۱۹	+۰/۱۹	۱۵/۳۰	۱۵/۳۳	۱۵/۱۹	+۰/۱۹
+۰/۱۷	۱۵/۲۹	۱۵/۳۳	۱۵/۱۸	+۰/۱۷	۱۵/۲۹	۱۵/۳۳	۱۵/۱۸	+۰/۱۷	۱۵/۲۹	۱۵/۳۳	۱۵/۱۸	+۰/۱۷
+۰/۱۷	۱۵/۳۲	۱۵/۳۹	۱۵/۱۸	+۰/۱۷	۱۵/۳۲	۱۵/۳۹	۱۵/۱۸	+۰/۱۷	۱۵/۳۲	۱۵/۳۹	۱۵/۱۸	+۰/۱۷
+۰/۲۰	۱۵/۳۳	۱۵/۳۸	۱۵/۲۱	+۰/۲۰	۱۵/۳۳	۱۵/۳۸	۱۵/۲۱	+۰/۲۰	۱۵/۳۳	۱۵/۳۸	۱۵/۲۱	+۰/۲۰
+۰/۲۲	۱۵/۳۶	۱۵/۳۳	۱۵/۲۲	+۰/۲۲	۱۵/۳۶	۱۵/۳۳	۱۵/۲۲	+۰/۲۲	۱۵/۳۶	۱۵/۳۳	۱۵/۲۲	+۰/۲۲
+۰/۲۲	۱۵/۳۴	۱۵/۴۰	۱۵/۲۲	+۰/۲۲	۱۵/۳۴	۱۵/۴۰	۱۵/۲۲	+۰/۲۲	۱۵/۳۴	۱۵/۴۰	۱۵/۲۲	+۰/۲۲
+۰/۲۱	۱۵/۳۱	۱۵/۳۹	۱۵/۲۱	+۰/۲۱	۱۵/۳۱	۱۵/۳۹	۱۵/۲۱	+۰/۲۱	۱۵/۳۱	۱۵/۳۹	۱۵/۲۱	+۰/۲۱
+۰/۲۲	۱۵/۳۷	۱۵/۴۲	۱۵/۲۲	+۰/۲۲	۱۵/۳۷	۱۵/۴۲	۱۵/۲۲	+۰/۲۲	۱۵/۳۷	۱۵/۴۲	۱۵/۲۲	+۰/۲۲
+۰/۱۶	۱۵/۲۶	۱۵/۳۱	۱۵/۱۶	+۰/۱۶	۱۵/۲۶	۱۵/۳۱	۱۵/۱۶	+۰/۱۶	۱۵/۲۶	۱۵/۳۱	۱۵/۱۶	+۰/۱۶
+۰/۲۰	۱۵/۳۲	۱۵/۳۶	۱۵/۲۰	+۰/۲۰	۱۵/۳۲	۱۵/۳۶	۱۵/۲۰	+۰/۲۰	۱۵/۳۲	۱۵/۳۶	۱۵/۲۰	+۰/۲۰

در واقع با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از فرسایش بادی به‌شکل جهشی انجام می‌شود، قطعات سرباره توانسته‌اند با به دام انداختن این ذرات، باعث افزایش میزان خاک در اطراف خود شوند و نه‌تنها فرسایش خاک را از محلی که در آن حضور دارند کنترل کنند، بلکه خاک فرسایش یافته از سایر نقاط را هم به دام انداخته و از ادامهٔ چرخهٔ مخرب بمباران توسط ذرات فرسایش‌یافته و فرسایش جدید جلوگیری کنند. نتایج مقایسهٔ میانگین این دو گروه با استفاده از آزمون t جفت‌شده نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح ۱درصد بین آن‌ها وجود دارد و بنابراین باید گفت که اعمال تیمار سرباره اثر مثبتی بر کنترل فرسایش بادی در منطقهٔ مورد مطالعه داشته است.

با توجه به اینکه بسیاری از شرکت‌های فولاد و ذوب آهن کشور ماهیتی دولتی یا شبه‌دولتی دارند، تأمین سربارهٔ مورد نیاز برای جلوگیری از فرسایش و بروز گردوغبار، می‌تواند توسط دولت انجام شود. با این حال در این پژوهش فرض بر این بوده است که این گزینه ممکن نیست و سربارهٔ مورد نیاز از شرکت فولاد خراسان (به پیمانکاری شرکت فولادیار) خریداری شد. بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در سطح کشور و اعلام این شرکت مبنی، قیمت هر تن سرباره برابر با هفت هزار تومان تعیین شد. با توجه به مساحت منطقهٔ مورد مطالعه (۱۰۰۰ مترمربع برای تیمار)، ابعاد ۳ سانتی‌متری سرباره، وزن مخصوص آن (۲/۲ تن در متر مکعب) و ۷۵درصد پوشش مورد نیاز، میزان کل سربارهٔ مورد نیاز برای این مطالعه برابر با ۴۹/۵ تن برآورد شد. هزینهٔ این مقدار سرباره برابر با ۳۴۶۵۰۰ تومان بود که توسط سه دستگاه کامیون بیست تنی به منطقه حمل شد. محل بارگیری سرباره‌ها (شرکت فولاد خراسان، نیشابور) از محل اعمال آن‌ها حدود ۴۵ کیلومتر فاصله داشت. با توجه به هزینهٔ حمل‌ونقل سنگین در عرف منطقه (هر تن کیلومتر معادل ۵۰ تا ۱۰۰ تومان، که در این مطالعه ۵۰ تومان مورد توافق قرار گرفت)، کل هزینه حمل سرباره از محل تولید به محل استفاده، معادل ۱۱۵ هزار تومان محاسبه و پرداخت شد. البته این بخش از هزینه هم می‌تواند طی قراردادهای بزرگ و طولانی‌مدت، کاهش زیادی داشته باشد. در صورتی که استفاده از تیمار سرباره به‌صورت وسیع مدنظر باشد، باید برآورد قیمت توزیع آن در سطح بر اساس هزینهٔ ماشین‌آلات موجود یا ابداعی باشد که مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما در این مطالعه با توجه به ماهیت پایلوت بودن طرح، از نیروی کار انسانی برای پخش و پراکنش سرباره در سطح منطقه استفاده شد. برای این کار از ۴ نفر نیروی بومی استفاده شد. هزینهٔ هر نفر نیروی کار در روز ۴۵ هزار تومان و برای کل

فعالیت برابر با ۱۸۰ هزار تومان تعیین و پرداخت شد. بنابراین از نظر اقتصادی، اعمال این نوع تیمار در منطقهٔ مورد مطالعه ۶۴۲ هزار تومان هزینه در بر داشته است.

در نهایت برای جمع‌بندی از هزینه‌های اجرای این طرح، خلاصه‌ای از شرایط اقتصادی آن در جدول ۴ ارائه می‌شود.

جدول (۴): خلاصهٔ لیست هزینه‌های انجام‌شده در طرح

Table (4): Summary List conducted in project costs

عنوان هزینه	نرخ واحد	میزان انجام کار	هزینهٔ تمام‌شده
خرید و دانه‌بندی سرباره	۷۰۰۰ تومان در هر تن	۴۹,۵ تن	۳۴۶۵۰۰ تومان
حمل سرباره	۵۰ تومان در تن کیلومتر	۵۱ تن، ۴۵ کیلومتر	۱۱۵۰۰۰ تومان
اعمال تیمار روی زمین	۴۵۰۰۰ تومان در روز	۴ نفر روز	۱۸۰۰۰۰ تومان
مجموع هزینه‌ها			۶۴۱۵۰۰ تومان

بحث و نتیجه‌گیری

مقدار فلزات سنگین در اکثر موارد به‌جز کروم نگران‌کننده و چشمگیر نبود. با در نظر گرفتن این واقعیت که کروم یکی از عناصر سنگین خطرناک برای محیط‌زیست است، نباید در مورد استفاده از سرباره در سطح و مقیاس وسیع بی‌محابا عمل کرد. البته نکتهٔ مهم این است که باید توجه شود که تنها کروم ۶ (Cr VI) به‌عنوان ترکیب سمی شناخته شده است و آن هم در طبیعت سریعاً به کروم ۳ تبدیل می‌شود که به‌عنوان یک ریزمغذی مورد نیاز بدن موجودات زنده مختلف است. از طرف دیگر، اصلی‌ترین بخش کروم موجود در سرباره به‌صورت فروکروم بوده که ترکیب آهن‌دار کروم است و در اثر قوس الکتریکی به وجود می‌آید. این ترکیب یک شکل پایدار آهن و کروم ایجاد می‌کند. همچنین از آنجا که ممکن است این کروم اصلاً به‌شکل آزاد درنیاید، مسئلهٔ آزادسازی کروم موجود در سرباره توسط فرایندهای طبیعی هم باید مورد توجه قرار بگیرد. از طرف دیگر، اثرات زیست‌محیطی کاربرد سرباره به‌عنوان مالچ کنترل فرسایش محدود به فلزات سنگین موجود در آن نمی‌شود و برای مثال بر تبخیر و تعرق هم مؤثر است (زریبی[1] و همکارن، ۲۰۱۵). اثر دمایی اصلاحی که این نوع مالچ بر خاک دارد، می‌تواند بهبود شرایط جوانه‌زنی گیاهان را فراهم کند (کادر[2] و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین وانگ[3] و همکاران (۲۰۱۴) هم به مطالعهٔ اثر مالچ سنگ‌ریزه‌ای بر ویژگی‌های خاک پرداختند و تأثیرات معنی‌داری را گزارش کردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در این پژوهش، می‌توان با اطمینان زیادی گفت که استفاده از مالچ سرباره اثر کاملاً روشنی بر کاهش فرسایش بادی در مناطق برداشت دارد. حتی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان ادعا کرد که این مالچ علاوه بر جلوگیری از برداشت ذرات خاک توسط باد، می‌تواند ذرات برداشت‌شده را که در فرایند حرکت به‌صورت خزشی یا جهشی در حال حمل توسط باد هستند، هم به دام بیندازد. بنابراین از این بُعد، قطعاً می‌توان استفاده از این نوع مالچ را مورد توصیهٔ اکید قرار داد. این نتایج با نتایج صفایی (۲۰۱۲) و باباخانی (۲۰۱۱) مشابهت دارد. همچنین نتایج لی و همکاران (۲۰۰۱) در این زمینه نشان می‌دهد که مالچ سنگ‌ریزه‌ای نه‌تنها توانایی کنترل فرسایش را دارد، بلکه دارای ظرفیت بالایی برای به دام انداختن رسوبات بادی نیز هست.

با جمع‌بندی سه دیدگاه اقتصادی، زیست‌محیطی و کاربردی استفاده از مالچ سرباره برای کنترل فرسایش بادی، در نهایت باید گفت که استفاده از این نوع مالچ علی‌رغم دارا بودن هزینهٔ نسبتاً بالا، می‌تواند اثرگذاری بسیار روشنی در کنترل فرسایش بادی و جلوگیری از بروز طوفان‌های گردوغبار و حرکت شن‌های روان داشته باشد. اما در این بین نباید از اثرات زیست‌محیطی (و به‌خصوص موضوع فلزات سنگین) چشم‌پوشی کرد. بنابراین به‌عنوان یک توصیهٔ نهایی باید گفت که استفاده از این نوع سرباره در مواردی تجویز شود که راه حل دیگری برای کنترل فرسایش بادی در منطقه وجود نداشته باشد؛ چراکه همان طور که در ابتدای این مقاله اشاره شد، بهترین راه کنترل انواع فرسایش، استفاده از

1. Zribi
2. Kader
3. Wang

روش‌های زیستی است. اما چنانچه منطقه توانی برای استقرار پوشش گیاهی مؤثر در کنترل فرسایش نداشته باشد و یا اگر نیاز باشد که فرسایش بادی و ایجاد ریزگردها به‌سرعت کنترل شوند، این نوع مالچ با میزان پوشش اشاره‌شده (۷۵٪) و اندازهٔ ذرات پیشنهادی (۳ تا ۴ سانتی‌متر) می‌تواند به‌خوبی این کار را انجام دهد.

سپاسگزاری

این مقاله نتیجهٔ طرح تحقیقاتی با عنوان «امکان‌سنجی استفاده از مالچ سرباره برای تثبیت شن‌های روان و کنترل فرسایش بادی در منطقهٔ بیابانی جنوب نیشابور» و تحت پشتیبانی مرکز تحقیقات راهبردی دفاعی است. در ضمن نویسندگان مقاله از هیئت‌مدیرهٔ شرکت فولادیار (نمایندهٔ شرکت فولاد خراسان) برای تأمین سربارهٔ مورد نیاز و تبدیل آن به اندازهٔ مورد نظر تشکر می‌کنند. همچنین از ریاست محترم ادارهٔ منابع طبیعی نیشابور برای صدور مجوز فعالیت علمی در اراضی ملی و از شورای اسلامی و اهالی روستای یوسف‌آباد نیشابور به‌خاطر همکاری صمیمانه‌شان قدردانی می‌شود.

منابع

1. Ameri, M., Shahabi Shahmeri, H., 2011. The Effect of Steel Slag from the Esfahan Refinery on the Performance of the Base and Sublayer of Pavements. Road journal 67, 61-67.
2. Armbrust, D. W., Chepil, W. S., Siddoway, F. H., 1964, effect of ridges on erosion of soil by wind. Soil science 28 (8): 557-560.
3. Azarbaijani, K., Viktash, F., 2004. Production and consumption of steel industry primary material in Iran and around the world. Steel symposium, Iran Iron and Steel Association.
4. Babakhani, S., 2011. Application of steel slag in the stabilization of degradable sediments. M.Sc. thesis, Isfahan University of Technology. 89 pp.
5. Bayatmovahed, F., 2010. Role of vegetation on wind erosion control. Agriculture science, Tehran, Iran.
6. Boali, A., Jafari, R., Bashari, H., 2017. Wind erosion estimation and assessment using Bayesian belief networks in eastern Isfahan Township. Desert Ecosystem Engineering Journal 6 (14), 45- 58
7. Calkins, M., 2008. Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation, selection and use of sustainable construction materials. John Wiley and Sons, Newyork, USA.
8. Chepil W.S., Milne, R. A., 1941. Wind erosion of soil in relation to roughness of surface. Soil Science 52 (6), 417-434.
9. Chepil, W. S., Woodruff, N. P., Siddoway, F. H., Armbrust, D.V., (1963). Mulches for wind and water erosion control. USDA, ARS 41–84, 23 pp.
10. Chepil, W. S., Woodruff, N. P., Siddoway, F. H., Fryrear, D. W., Armbrust, D.V., 1963. Vegetative and non-vegetative materials to control wind and water erosion, Soil Science Society Proceedings 27, 86–89.
11. Corey, A.T., Kemper, W.D., (1968). Conservation of soil water by gravel mulches. Ft. Collins, CO: Colorado State University.
12. Dong, Z., Liu, X., Wang, W. 2002. Aerodynamic roughness of gravel surfaces. Geomorphology 42 (1): 17-31.
13. Gardooni, E., Shariat, M., Sadeghi, H., Veisi, I., 2012. Feasibility study of a 39 MW wind power plant in Binaloud region. Iran Wind energy Conference.
14. Gerson, R., Amit, R., Grossman, S., 1985. Dust Availability in Desert Terrains. A Study in the desert of Israel and the Sinai. Jerusalem, Israel.
15. Jafari, M., Tavili, A., Panahi, F., Zandi Esfahan, E., Ghorbani, M., 2018. Reclamation of Arid Lands. Springer. Gewerbestrasse, Cham, Switzerland.
16. Joulazadeh, M.H., 2016. Steel reference of 2014-2015. Science bases, Tehran, Iran.
17. Kader, M.A., Senge, M., Mojid, M.A., Ito, K., 2017. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment, Soil and Tillage Research 168, 155-166.
18. Kowsar, A., Boersma, L., Jarman, G.D., (1968). Effects of petroleum mulch on soil water content and soil temperature. Soil Science Society of America Journal 33(5), 783–786.
19. Li, X.Y., Liu, L.Y., 2003. Effect of gravel mulch on Aeolian dust accumulation in the semiarid region of north west China. Soil and Tillage Research 70 (1): 81-73.
20. Li, X.Y., Liu, L.Y., Gong, J.D., (2001). Influence of pebble mulch on soil erosion by

wind and trapping capacity for windblown sediment. Soil and Tillage Research 59(3), 137–142.
21. Nikkhou, S.H., (1971). Mulch. Secretariat of the National Iranian Oil Company.
22. Proctor, D.M., Shay, E.C., Fehling, K.A., Finley, B.L., 2002. Assessment of human health and ecological risks posed by the uses of steel-industry slags in the environment. Human and ecological risk assessment 8 (4): 681-711.
23. Rao, S.R., 2011. Resource recovery and recycling from metallurgical wastes; technology and engineering. McGill university, Montreal, Canada.
24. Razavi dinani, Z, Mirghaffari, N., Joulazadeh, M.H., 2017. Protection of environment in iron and steel industries. Publication of iron and steel, Isfahan, Iran.
25. Refahi, H.Gh., 2012. Wind erosion & conservation. University of Tehran press, Tehran, Iran.
26. Safaei A.R., Karimzadeh H., Rouhani Shahraki F., Tarkesh Isfahani, M., 2012. Use of Steel Manufacturing Slag (Foulad Mobarake Co.) as Mulch To Stabilize Wind Eroded Sediment Case Study: Soils in East of Isfahan. Environmental Erosion Research Journal 2 (2), 15-24.
27. Shahnavaz, M., Gholami, A., Nourzadeh Haddad, M., Panahpoor, E., 2016. Study of Performance polymer and plant mulch to reduce soil loss in areas prone to wind erosion in Khuzestan, Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research 48 (3): 651-658.
28. Tejedor, M., Jimenez, C., Diaz, F., 2003. Volcanic materials as mulches for water conservation. Geoderma 117, 283–295.
29. US Department of Health and Human Services, 2008, Toxicological Profile, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
30. Wang, Y., Xie, Z., Malhi, S.S., Vera, C.L., Zhang, Y., 2014. Gravel-sand mulch thickness effects on soil temperature, evaporation, water use efficiency and yield of watermelon yield in semi–arid Loess Plateau, China. Acta Ecologica Sinica 34(5), 261–265.
31. Zaboli, M., Kakaie, L., Zaboli, J., Zaboli, Z., 2010. Application of oil mulch in stabilizing sandy soils and its environmental impacts. Second national conference on wind erosion and dust storms. Yazd university.
32. Zribi, W., Aragüés, R., Medina, E., Faci, J. M., (2015). Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. Soil & Tillage Research 148, 40–45.

Operational, Environmental and Economic Feasibility of Using Steel Slag as Mulch for Controlling Wind Erosion

Abbas Alipour[1], Ali Tavili[2], Hamed Sangoony[3], Ehsan Alipouri[4]

Received: 22/01/2018 Accepted: 3/05/2018

Extended abstract

Introduction: Wind erosion and the influx of sandy soils to economic facilities and biological resources are one of the main problems in the country. 14 provinces, located in arid and semi-arid regions, face wind erosion. Wind erosion and the influx of sandy soils are two important indicators in the occurrence of desertification and a serious threat to arid areas. The best and lasting way to prevent erosion is to deploy natural vegetation in areas at risk. But this will require a minimal fit for environmental conditions for the environment, and vegetation cannot be established in areas where these conditions are not met. For this reason, non-physical methods, such as the use of wind turbines and various types of mulches, are also of interest, each of which can, in certain circumstances, have

1. Assistant Professor, Imam Hussein University
2. Associate Professor, University of Tehran
3. Assistant Professor, Invited Lecturer, University of Torbat Heydarieh; H.Sangoony@gmail.com
4. PhD candidate, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

the highest efficiency and efficiency. The mulch is defined as a coating that protects the soil from contact with the wind erosion current. In this study, the use of steel slag as a mulch for controlling wind erosion from different dimensions has been investigated.

Materials and Method: The selected area for field studies was located in Zebarkhan district of Neyshabour, near YousefAbad village. This area was selected according to the characteristics of erosion soil and regular wind power regime. Soil sampling was used to study the soil characteristics of the area and acidity and its salinity were determined. The atomic absorption method was used to measure the amount of heavy metals in the slag compound which is important in terms of environmental issues. The appropriate size of slag was 3 to 4 cm. Two thousand square meters were used for treatment and erosion measurements in YousefAbad area of Neyshabour. The two pieces were placed on the ground, both of which are perpendicular to the direction of the dominant and erosion of the wind. To determine the effect of applying slag mulch on each treatment and control part, nine fixed trays were placed on each 15 mm soil tray. Then, at 1-month intervals, the depth of soil was measured on each tray by a caliper and accurately one hundredth of a millimeter. The results of these two groups were compared using t-coupled test.

Results: The soil of the study area was Aridisol and its salinity was 1.408 dS m-1 and its pH was 7.48. Soil study using hydrometric method showed that 56% of this soil was Silt, 31% sand and 13% Clay. So the texture of this soil is silty loam; one of the most erodible types of soil in wind erosion. The results of measurements of heavy metals of chromium, cobalt, lead and cadmium by atomic absorption method showed that the amount of lead, cadmium and cobalt in slag is less than the critical level defined for them and their presence in the slag compound will have small impacts on the environment. But in the case of chromium, it was significantly high and should be considered as a potential risk factor. The results of measurements of soil changes in the studied parts showed that not only erosion was controlled in the slag mulch treatment part but also to the sedimentation occurred. However, there has been significant soil erosion in the control unit. The results of the comparison of these two groups using the t-test showed that there was a significant difference between them at 1% level and therefore, slag treatments had a positive effect and was able to control wind erosion in the study area. Considering all costs, the application of this kind of treatment in the studied area cost 642 thousand Tomans.

Discussion and Conclusion: The amount of heavy metals in most cases except chromium was not alarming. Considering the fact that chromium is one of the most hazardous substances for the environment, steel and iron slag should not be used without the precautions at large scales. Of course, it's important to note that only chromium 6 (Cr VI) is known as a toxic compound, and it quickly turns into chromium 3 (Cr III) in nature, which is a micronutrient needed by various living organisms. Also, since this chromium may not be free at all, the issue of the release of chromium in slag by natural processes should also be considered. According to the results of the measurements carried out in this study, it can be confidently stated that the use of slag mulch has a clear effect on reducing wind erosion in studied area. Even with regard to the results, it can be argued that this mulch, in addition to preventing soil particles from being removed by wind, can also trap eroded particles that are transported by wind in the creeping or jump process. Therefore, from an operational point of view, slag can definitely be recommended for the wind erosion control. These results are similar to those of Safaie (2012) and Babakhani (2011). Also, the results of Li et al. (2001) showed that the pebble mulch has not only the ability to control erosion, but also has a high capacity to trap wind deposits. If there is no potential area for effective vegetation cover in erosion control, or if wind erosion and dusts are required to be controlled quickly, this type of mulch by the coverage rate of 75% and the proposed particle size (3-4 cm) can do it well.

Keywords: Dust, Feasibility, Sediment, Slag, Wind Erosion.