نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۵۱ تا ۶۴

ارزیابی کارایی برخی روش‌های مقابله با فرسایش بادی در مناطق بیابانی (مطالعه موردی: بیابان کاشان)

سید مرتضی ابطحی[1*] و محمد خسروشاهی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۸)

چکیده

عملیات بیولوژیک مقابله با فرسایش بادی باید در بستر آرام ماسه‌زارها صورت گیرد و این کار به دلیل وجود بادهای با سرعت زیاد همواره با مشکلاتی مواجه است؛ بنابراین پیش‌شرط لازم برای متوقف کردن جابه‌جایی ماسه‌ها، ایجاد موانع بر سر راه حرکت آن‌ها است تا طی چند سال اول، گیاهان کاشته شده از آسیب باد مصون مانده و پایدار شوند. در این پروژه روش‌های مختلف جلوگیری از فرسایش بادی اعم از ایجاد بادشکن و ریگ‌پاشی با هدف افزایش سرعت آستانه فرسایش باد، در ماسه‌زارهای ابوزید آباد کاشان که تحت فرسایش شدید باد است، مورد ارزیابی قرار گرفت. بادشکن‌های مورداستفاده شامل توری با درصد تخلخل ۵۰ درصد به‌صورت شطرنجی به ابعاد ۲/۵ در ۲/۵ متر، پنبه‌چوب‌های برداشت شده از مزارع پنبه به‌صورت شبکه‌ای به ابعاد ۵*۵ متر بود. ارتفاع و فاصله بادشکن‌ها به کمک سرعت آستانه باد و بیشینه سرعت باد منطقه محاسبه شد. ریگ‌پاشی روی تپه‌های ماسه‌ای و کفه‌های رسی - نمکی مجاور آن با تراکم ۵۰ و ۳۰ درصد مورد آزمایش قرار گرفت. به‌منظور مقایسه میزان جابه‌جایی خاک در تیمارهای یادشده و شاهد، از شاخص‌های چوبی مدرج به ارتفاع یک متر و تله‌های رسوبی استفاده شد. در این پژوهش هزینه اجرای هر روش به‌طور جداگانه محاسبه و با هزینه پاشش مالچ نفتی مقایسه شد. نتایج نشان داد، ریگ پاشی ۵۰ درصد با تثبیت ۱۰۰ درصدی، بهترین عملکرد را به لحاظ تثبیت ماسه‌های روان و همچنین ثبات و پایداری دارد. هزینه اجرای روش‌های ریگ‌پاشی ۵۰ درصد، بادشکن چوبی و بادشکن توری به‌ترتیب برابر ۱۲۲/۵، ۱۵۶ و ۵۲۴ میلیون ریال در هکتار بود؛ بنابراین روش ریگ‌پاشی ۵۰ درصد به‌عنوان بهترین روش جلوگیری از فرسایش با کمترین هزینه و همچنین سازگار با محیط‌زیست معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش بادی، بادشکن، ریگ‌پاشی، سرعت آستانه، کاشان

۱. بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کاشان، ایران

۲. بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Morabtahi70@gmail.com

مقدمه

تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از جابه‌جایی آن‌ها و همچنین کاشت گیاه، از مهم‌ترین عوامل کاهنده تخریب فرسایش بادی به شمار می‌رود. بیشتر مطالعه ها و فعالیت‌های اجرایی تثبیت ماسه‌های روان در ایران و جهان، مبتنی بر تثبیت موقت ماسه‌های روان برای استقرار گیاه بوده است. ازاین‌رو، از دو روش احداث بادشکن زنده و غیرزنده به‌منظور کاهش سرعت باد به‌سرعت کمتر از آستانه فرسایش بادی و ایجاد خاکپوش‌های مختلف با وزن مخصوص زیاد و چسبنده برای افزایش سرعت آستانه استفاده می‌شود. باتوجه‌به این که عرصه‌های وسیعی از کشور تحت فرسایش شدید بادی قرار دارد و اجرای عملیات تثبیت و احیا بسیار هزینه‌بر است، سالانه بودجه زیادی از بخش اجرا را به خود اختصاص می‌دهد. مطالعه هایی که تاکنون در خصوص مقایسه روش‌های مقابله با فرسایش بادی در ایران و جهان انجام شده است، به شرح زیر است:

احمدی و اختصاصی (۱)، اثر مالچ سنگریزه‌ای در کنترل فرسایش بادی اراضی رسی نمکی (دق) دشت یزد – اردکان را مطالعه کردند. باتوجه‌به نتایج به‌دست آمده، استفاده از سنگریزه‌های با تراکم ۵۰ درصد، مناسب‌ترین روش در اراضی حساس به فرسایش بادی دشت یزد پیشنهاد شد. امیری و همکاران (۴) به مقایسه اثرات بادشکن‌های مصنوعی و گیاهی بر تغییرات سرعت باد در منطقه جیرفت پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد، دیوار گلی بیشترین و گز شاهی کمترین نقش حفاظتی را در کاهش سرعت باد داشته است . نوری‌زاده و توکلی (۱۱)، تأثیر تاغزارهای طبیعی و دست کاشت بر حفظ و تثبیت خاک و کنترل فرسایش بادی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها بیانگر این واقعیت است که کاشت گونه‌های گیاهی نه تنها به تثبیت و تقویت خاک و جلوگیری از فرسایش بادی کمک می‌کند، بلکه با ایفای نقش پرستار برای سایر گونه‌ها، بستر ساز تنوع گونه‌ای (چه گیاهی و چه جانوری) و در یک کلام تنوع زیستی می‌شود. احمدی و همکاران (۲) به بررسی نقش نهال‌کاری در کاهش فرسایش بادی در مناطق بیابانی ایران پرداختند. نتایج نشان داد، فرسایش بادی در مناطقی که سه سال از عملیات نهال‌کاری آن‌ها گذشته است، تا حد قابل قبولی کاهش یافته و می‌توان این عرصه‌ها را تثبیت شده تلقی کرد. کمالی و همکاران (۷) با هدف انتخاب بادشکن مناسب برای منطقه جیرفت، به تغییرات سرعت باد در اطراف ۲ نوع بادشکن (دیوار گلی و نخل خرما) پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد، دیوار گلی نسبت به نخل خرما نقش حفاظتی بیشتری را در کاهش سرعت باد داشته است . هی و همکاران (۶) مناسب‌ترین روش در کاهش سرعت باد و تثبیت ماسه‌های روان را ایجاد پوشش گیاهی بر روی تپه‌های ماسه‌ای عنوان کردند. اکبریان و بی‌نیاز (۳) به شناسایی مناسب‌ترین گونه از بین گونه‌های متداول و مورد استفاده نهال‌کاری در تثبیت ماسه‌های روان شهرستان جاسک استان هرمزگان پرداختند. نتایج ایشان کاربرد گونه سمر به‌عنوان گونه اصلی مورد استفاده در تثبیت ماسه‌های روان منطقه را مورد تأیید قرار داد . لی و همکاران (۹) کنترل فرسایش بادی توسط یک سطح سنگریزه‌ای را در بیابان‌های گبی بررسی کردند. آن‌ها بر خلاف مطالعه های قبلی که پوشش بالای ۵۰ درصد را مناسب می‌دانستند، استفاده از پوشش ۳۰ درصد را پیشنهاد دادند. تان و همکاران (۱۳)، تأثیر پوشش سنگریزه در کاهش فرسایش بادی را در تونل بادی بررسی کردند. نتایج نشان داد، سنگریزه‌های با قطر ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر با پوشش ۲۵، ۳۵ و ۲۰ درصدی به‌ترتیب از کارایی بیشتری برخودار هستند. صفایی و همکاران (۱۲)، بهترین ترکیب سرباره فولاد سازی را به‌عنوان مالچ برای جلوگیری از فرسایش بادی تعیین کردند. آن‌ها با کمک تونل بادی، مالچ‌های سرباره با تراکم ۷۵ درصد و دانه‌بندی ۴۵-۳۰ میلی‌متر به‌صورت یک لایه را به‌عنوان بهترین تیمار معرفی کردند. ژانگ و همکاران (۱۶) فرایند فرسایش بادی را روی سطوح سنگریزه‌ای در تونل بادی بررسی کردند. بیشترین فرسایش در پوشش کمتر از ۳۰ درصد، فرسایش متوسط در پوشش ۳۰ تا ۵۰ درصد و کمترین فرسایش در پوشش بیشتر از ۵۰ درصد اتفاق افتاد. یونپ (۱۵)

نتایج استفاده از شبکه بادشکن‌های توری پلاستیکی را که توسط موسسه بیابان‌زدایی گانژو چین انجام شده بود، منتشر کرد. نتایج نشان داد، ابعاد ۱*۱ متری می‌تواند به‌طور کامل فرسایش بادی را کنترل کند. همچنین یونپ (۱۴)، مطالعات مؤسسه اکولوژی و جغرافیایی Xinjiang چین را منتشر کرد که در آن روش‌های مکانیکی گوناگون برای کنترل فرسایش بادی با کمک سرشاخه‌ها، گراس و موانع رسی مورد بررسی قرار گرفته بود. لی‌هوی و همکاران (۸)، وضعیت فرسایش و رسوب را در ابعاد مختلف بادشکن‌های ساقه گندم در منطقه ماسه‌ای آلپین بررسی کردند. آن‌ها دریافتند، ضریب فرسایش (افزایش) در بادشکن‌های با ابعاد ۱*۱ متری، کمتر از ۰/۰۷ و میزان ترسیب رسوب بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و ضریب فرسایش (افزایش) در ابعاد ۲*۲ متری بیشتر از ۰/۱۲ و میزان رسوب کمتر از ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع است. باباخانی و کریم‌زاده (۵)، کاربرد سرباره فولادسازی در تثبیت خاک‌های فرسایش پذیر هرند واقع در شرق اصفهان را بررسی کردند. آن‌ها استفاده از مالچ سرباره با تراکم ۵۰ درصد و دانه‌بندی ۳۰-۴۵ میلی‌متر به‌صورت یک لایه را توصیه کردند. زورقی و همکاران (۱۷) نقش دوغاب آهک هیدراته در تثبیت حرکت ماسه‌های روان را مطالعه کردند. نتایج نشان داد، دوغاب آهک ۳ درصد مقاومت کافی نداشته است، ولی دوغاب ۷ درصد با ضخامت ۳/۶ میلی‌متر بیشترین مقاومت سایشی را از خود نشان داده است. نورافر و همکاران (۱۰) آستانه فرسایش بادی را در پوشش‌های اراضی مختلف و تأثیر خصوصیات خاک بر آن را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند، بیشترین سرعت آستانه در اراضی با کاربری کشاورزی بود و بافت خاک بیشتر از بقیه پارامترهای فیزیکی خاک بر سرعت آستانه تأثیر گذار است.

بررسی مطالعه های یادشده نشان می‌دهد، تاکنون پژوهش کامل که مقایسه تمامی روش‌های مرسوم تثبیت ماسه به لحاظ کارایی و اقتصادی را دربرگرفته باشد، انجام نشده است. هر سال سطح وسیعی از ماسه‌زارها و تپه‌های ماسه‌ای کشور تحت عملیات تثبیت قرار می‌گیرد که هزینه بسیار زیادی برای بخش اجرا به دنبال دارد؛ بنابراین اجرای این پژوهش به دلیل مقایسه جامع روش‌های تثبیت دارای اهمیت است.

هدف از اجرای این پژوهش، مقایسه کارایی بادشکن‌های غیرزنده و خاک‌پوش سنگریزه در جلوگیری از حرکت ماسه‌های روان و فرسایش بادی و همچنین هزینه‌های اجرای هر روش و معرفی مناسب‌ترین آن‌ها به بخش اجرا است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه موردمطالعه

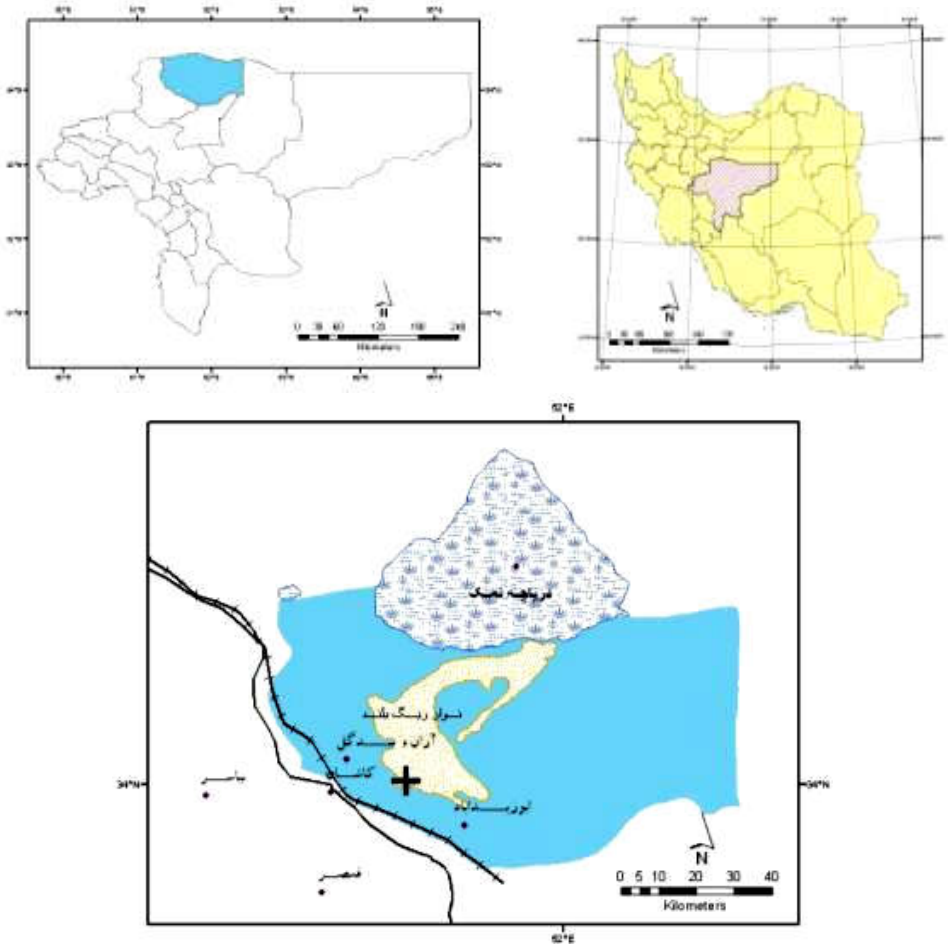
محل اجرای طرح، بیابان‌های شهریاری ابوزیدآباد کاشان در حاشیه غربی ریگ بلند با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه و ۲۱ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی بود (شکل ۱). میانگین سالانه بارندگی و دمای منطقه به‌ترتیب ۱۳۲ میلی‌متر و ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس روش دومارتن این منطقه از اقلیم فراخشک سرد برخوردار است.

روش تحقیق

به‌منظور طراحی بادشکن‌ها و تعیین جهت باد غالب، آمار ۳ ساعته سرعت و جهت باد ایستگاه هواشناسی کاشان به‌عنوان نزدیکترین ایستگاه به منطقه، طی سالهای ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۶ (۵۰ ساله) جمع‌آوری و وارد محیط اکسل شد. به‌منظور تحلیل این داده‌ها و ترسیم گلباد و گل‌طوفان، از نرم‌افزار WRPLOT 8 استفاده شد.

برایند توان حمل ماسه (RDP)، بیانگر مقدار برآیند بردار توان حمل ماسه است که از جمع‌برداری مقادیر DP در جهات مختلف ۸ یا ۱۶ گانه حاصل می‌شود. جهت برآیند حمل ماسه (RDD)، جهت بردار برآیند حرکت ماسه را در طول سال، ماه یا فصل نشان می‌دهد. شاخص همگنی جهت باد (UDI)، تغییرپذیری جهت حمل ماسه است که از نسبت برآیند حمل ماسه به مجموع توان حمل ماسه به‌دست می‌آید. تغییرپذیری جهت باد را بر اساس این شاخص، طبق جدول ۱ طبقه‌بندی کرده‌اند.

برای مقایسه کارایی روش‌های تثبیت ماسه از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با تیمار روش تثبیت در ۳ تکرار استفاده شد.



شکل ۱. محل اجرای طرح

جدول ۱. شاخص تغییرپذیری جهت باد

UDI	قدرت فرسایشی باد	طبقه‌بندی جهات باد
>۰/۸	کم	بادهای یک‌جهته
۰/۸ – ۰/۳	متوسط	بادهای دوجهته با زاویه باز
<۰/۳	زیاد	بادهای چند جهته با زاویه تند

آزمایش در ۲ محیط انجام شده است. یکی روی تپه های ماسه‌ای که صفت برداشت شده، میزان تغییرات فرسایش بر اساس عدد شاخص چوبی برحسب سانتی‌متر در تیمارهای بادشکن چوبی، توری، ریگ‌پاشی با تراکم ۵۰ درصد و شاهد است و دیگری روی کفه‌های رسی نمکی مجاور تپه‌ها که صفت وزن رسوب جمع شده در تله‌های رسوبی برحسب گرم، در تیمارهای ریگ پاشی با تراکم ۳۰ و ۵۰ درصد برداشت و آنالیز شده است.

روش‌ها و فناوری‌هایی که در تپه‌های ماسه‌ای و کفه رسی – نمکی مجاور آن در راستای اجرای این طرح بکار گرفته شد، شامل موارد زیر است:

بادشکن‌ها

برای تعیین فاصله بین دو بادشکن یا مسافتی که بیشینه محافظت در پشت بادشکن در مقابل باد را ایجاد می‌کند،

از رابطه (۱) استفاده شد:

$$d = 17h(V_{min}/V)\cos\theta \qquad (۱)$$

در این معادله، d مسافت در پشت بادشکن است که بیشینه حفاظت در مقابل باد را داراست. h ارتفاع بادشکن، V_{min} کمینه سرعت باد (آستانه فرسایش) است که در ارتفاع ۱۵ متری قادر است، غالب ذرات فرسایش‌پذیر را به حرکت درآورد. V سرعت واقعی باد در ارتفاع ۱۵ متری و θ زاویه برخورد باد غالب با خط عمود بر بادشکن است.

رابطه یادشده برای سرعت‌های کمتر از ۱۸ متر بر ثانیه اعتبار دارد. در شرایط آب‌وهوایی ایران، سرعت باد حتی در دوره‌های بازگشت طولانی‌مدت از سرعت یادشده کمتر است . درصورتی‌که جهت باد عمود بر شبکه بادشکن نباشد، می‌توان از رابطه (۲) نیز برای محاسبه فاصله بین بادشکن‌ها استفاده کرد .

$$W = d\cos\theta \qquad (۲)$$

دراین‌رابطه، W فاصله جدید بین دو بادشکن و d فاصله‌ای است که بر مبنای بادشکن عمود بر جهت باد غالب محاسبه شده است .

احداث بادشکن با استفاده از توری

هدف، ایجاد یک دیواره عمودی مشبک به‌عنوان بادشکن کوتاه برای کاهش سرعت باد و به دام انداختن ذرات ماسه است. برای این منظور توری‌های سبزرنگ ضدآفتاب با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و با درصد تخلخل ۵۰ درصد انتخاب شد. باتوجه‌به دوجهته بودن باد غالب در منطقه، بادشکن به‌صورت شطرنجی و با ابعاد ۲/۵ در ۲/۵ متر اجرا شد. کارایی روش به کمک نصب شاخص و کشت نهال تاغ بررسی شد (شکل ۲ و ۳).

احداث بادشکن با استفاده از پنبه‌چوب

یکی از محصولات کشاورزی منطقه کاشان بخصوص در منطقه سفیدشهر، پنبه است. کشاورزان پس از برداشت پنبه، با صرف هزینه کارگری اقدام به پاک‌سازی زمین خود از ساقه‌های باقی‌مانده می‌کنند. استفاده از این ساقه‌ها به‌عنوان بادشکن، می‌تواند به دلیل نزدیکی مزارع پنبه به محل اجرای پروژه و هزینه کم اجرای آن نسبت به بقیه روش‌ها مدنظر قرار گیرد. ارتفاع این ساقه‌ها ۱۲۰ سانتی‌متر بوده و اگر ۲۰ سانتی‌متر آن داخل خاک قرار بگیرد، ارتفاع مؤثر آن ۱۰۰ سانتی‌متر خواهد بود.

این بادشکن‌ها به‌صورت شطرنجی به ابعاد۵ در ۵ متر طراحی شد. ابعاد ذکرشده براساس میزان سرعت باد غالب، سرعت آستانه فرسایش و رابطه ۱ تعیین شد. شاخص‌های چوبی داخل هر یک از مربع‌ها نصب شد تا تغییرات و جابه‌جایی ماسه‌ها با تیمار شاهد که در مجاور آن قرار گرفته شده است، مقایسه شود (شکل ۴).

ریگ‌پاشی (پخش سنگ‌ریزه)

در سال‌های اخیر و در پاره‌ای از اظهارنظرها برای مقابله با گردوغبار، تأکید بر ریگ‌پاشی شده است. منظور از ریگ‌پاشی، فراهم‌کردن بستری شبیه به دشت‌های ریگی است که پس از رفت و روب ذرات ریز لابه‌لای ریگ‌ها، مواد درشت‌دانه برجای‌مانده و مانند سنگفرشی، بستر نرم زیر را از فرسایش بادی مصون نگه می‌دارد. این تیمار بیشتر مناسب عرصه‌های ماسه‌ای نرم فرسایش پذیر و عرصه‌های رسی نمکی است که امکان عملیات بیولوژیک در آن‌ها میسر نیست.

ریگ‌پاشی روی کفه رسی - نمکی

برای این منظور، ۵ کامیون سنگریزه با قطر ۳ سانتی‌متر که به اصطلاح بادامی نامیده می‌شود، به وزن ۵۶ تن در محل تخلیه شد. براساس روش پژوهش، ریگ‌پاشی در دو تراکم (۵۰ و ۳۰ درصد) در ۳ تکرار به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع اجرا شد (شکل ۵). ابتدا سنگریزه‌ها به کمک یک دستگاه تراکتور به نزدیکی محل اجرا حمل، سپس توسط نیروی کارگری با توجه با تراکم مدنظر پاشیده شد. برای تعیین وزن ریگ موردنیاز در تراکم‌های ۵۰ و ۳۰ درصد در مترمربع، ابتدا یک محدوده یک مترمربعی

شکل ۲. احداث بادشکن توری و نصب شاخص چوبی

شکل ۳. کشت نهال تاغ در مرکز شبکه های شطرنجی بادشکن توری

شکل ۴. احداث بادشکن شطرنجی به کمک پنبه چوب

شکل ۵. ریگ‌پاشی روی کفه نمکی (۵۰ درصد)

مشخص و سپس نیمی از آن (نیم مترمربع) با ریگ به‌طور کامل پوشانده شد. با توزین ریگ مشخص شد، برای ایجاد تراکم ۵۰ درصد به‌ازای هر مترمربع، به ۱۶/۵ کیلوگرم ریگ نیاز است. براین‌اساس برای تراکم ۳۰ درصد، به ۹/۹ کیلوگرم بادامی نیاز است. در هر تکرار، ۳ شاخص ۱۰۰ سانتی‌متری مدرج برای محاسبه میزان جابه‌جایی خاک نصب شد. همچنین برای اندازه‌گیری میزان ماسه جابجا شده از تله‌های رسوبی در هر تکرار و تراکم با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۶).

ریگ‌پاشی روی تپه‌های ماسه‌ای

به‌منظور بررسی تأثیر و کارایی این روش روی تپه‌های ماسه‌ای کم‌ارتفاع و فعال، تیمار ریگ‌پاشی ۵۰ درصد در ۳ تکرار روی ۳ تپه اجرا شد (شکل۷). برای بررسی میزان جابه‌جایی ماسه‌ها، از شاخص‌های چوبی یک‌متری مدرج که نیمی از آن داخل ماسه قرار گرفته بود، استفاده شد. برای محاسبه میزان جابه‌جایی ماسه طی سال‌های اجرای طرح، عدد خوانده‌شده در پایان شهریور ماه، ملاک محاسبه ها قرار گرفت.

تیمار شاهد

برای مقایسه روش‌های استفاده شده در تثبیت ماسه، ۳ تپه ماسه‌ای در منطقه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و تغییرات فرسایش با نصب شاخص روی آن بررسی شد (شکل ۸).

محاسبه هزینه‌های اجرای هر روش

یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین مؤلفه در انتخاب یک روش، بحث هزینه‌های اجرای آن روش است. به‌منظور مقایسه هزینه اجرای روش‌های یادشده، کلیه هزینه‌ها شامل مواد مصرفی، نیروی کار و زمان اجرا محاسبه و به‌صورت جداولی ارائه شد.

نتایج

بررسی آمار بادسنجی ایستگاه هواشناسی کاشان نشان داد، ۸۳ درصد دیده‌بانی‌های سه ساعته ایستگاه، از شرایط آرام برخوردار است و در بقیه اوقات، سرعت باد بیشتر از یک نات است. باتوجه به فراوانی بادهای شمال شرقی، شمال غربی، شرقی، شمالی و غربی به‌ترتیب ۳/۰۱، ۲/۷۱، ۲/۴۱، ۲/۳۴ و ۲/۱۶ درصد، باد غالب منطقه بادهای شرقی تا غربی است. با در نظر گرفتن سرعت پایه ۱۱ نات به‌عنوان سرعت آستانه و ترسیم گل طوفان، مشخص شد که بادهای غربی و جنوب غربی از فراوانی بیشتری برخوردار هستند و توانایی ایجاد طوفان گردوغبار و ماسه را دارند. مجموع توان حمل ماسه در ایستگاه کاشان برابر ۸۶/۶ است، بنابراین قدرت فرسایشی باد کم است. برایند توان حمل ماسه (RDP)، برابر ۴۶/۱۴۱ است. جهت برآیند حمل ماسه (RDD)، معادل ۶۰ در ایستگاه کاشان است. شاخص همگنی جهت باد (UDI) برای کاشان معادل ۰/۵۳۳ است که در گروه بادهای دوجهته با زاویه منفرجه قرار می‌گیرد.

صفت برداشت شده در تیمارهای ریگ‌پاشی، بادشکن چوبی، توری و شاهد روی تپه‌های ماسه‌ای در ۳ تکرار، میزان فرسایش و افزایش ماسه باتوجه‌به تغییرات عدد شاخص‌های نصب شده برحسب سانتی‌متر بود. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تیمار نوع بادشکن روی میزان فرسایش اثر معنی‌داری در سطح یک درصد دارد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) گویای بیشترین میزان تثبیت به‌ترتیب در روش‌های ریگ‌پاشی، بادشکن چوبی و بادشکن توری است.

اثربخشی ریگ‌پاشی روی کفه‌های رسی – نمکی در ۲ تراکم ۳۰ و ۵۰ درصد، به کمک نصب شاخص و تله‌های رسوبی در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری بررسی شد. بررسی شاخص‌ها در ۲ تراکم ۳۰ و ۵۰ درصد در طول اجرای طرح، هیچ‌گونه تغییری را نشان نداد و گویای اثر بخشی کامل دو روش یادشده در منطقه است.

باتوجه‌به نمودار گل طوفان فصول مختلف، بیشترین وزش باد مربوط به فصل بهار و تابستان است؛ بنابراین مجموع ماسه جمع‌شده در تله‌های رسوبی طی ۶ ماه ابتدای سال ۹۸، تیمارهای ریگ‌پاشی ۳۰ و ۵۰ درصد و شاهد روی کفه رسی – نمکی برداشت شد. تجزیه واریانس داده‌های آماری نشان می‌دهد، تیمار تراکم ریگ‌پاشی به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد از وقوع فرسایش جلوگیری می‌کند (جدول ۴). همچنین مقایسه

شکل ۶. تله رسوبی نصب شده در ریگ‌پاشی تراکم ۳۰ درصد در کفه نمکی

شکل ۷. ریگ‌پاشی ۵۰ درصد روی تپه های ماسه ای و نصب شاخص

شکل ۸. تپه های ماسه ای بدون عملیات تثبیت و بادشکن به‌عنوان شاهد

جدول۲. تجزیه واریانس میزان فرسایش در تیمارهای مختلف

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
تیمار	۲۱۷۶/۳	۳	۷۲۵/۴	۰۰**
خطای آزمایشی	۱۸۵/۳	۸	۲۳/۲	
کل	۲۳۶۱/۷	۱۱		

** معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین میزان فرسایش بادی در تیمارهای مختلف

تیمار	میانگین(cm)
ریگ	۰c
چوبی	۱۵b
توری	۳۰/۶a
شاهد	۳۳/۶a

مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح یک درصد

جدول۴. تجزیه واریانس میزان ماسه تحت تیمار ریگ پاشی

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
تیمار	۱۱۲۱/۵	۲	۵۶۰/۸	۰۰**
خطای آزمایشی	۳۸	۶	۶/۳	
کل	۱۱۵۹/۵	۸		

** معنی‌دار در سطح یک درصد

میانگین داده‌ها نشان می‌دهد، ریگ‌پاشی با تراکم ۵۰ درصد و سپس با اختلاف کم با تراکم ۳۰ درصد، بهترین روش جلوگیری از جابه‌جایی ماسه از کانون‌های رسی – نمکی است (جدول ۵).

بادشکن توری

بادشکن‌های توری در چند ماه اول، توان مقابله با بادهای منطقه را داشتند. بررسی شاخص‌ها و زنده‌مانی نهال‌های کشت‌شده در مقایسه با شاهد، گویای کارایی این روش بود. اما با گذشت زمان و وزش بادهای شدیدتر و گرمتر شدن هوا در بهار و تابستان سال بعد، به علت پوسیدگی و باز شدن بست‌های پلاستیکی، میزان فرسایش و بادبردگی افزایش و نهال‌های سبز دچار خشکیدگی شدند (شکل ۹).

هزینه اجرای بادشکن توری به شرح جدول ۶ است (بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۹۸). بیشترین هزینه صرف خرید توری می‌شود که قیمت آن به‌طور روزانه در حال افزایش است. هزینه اجرای این روش در هکتار معادل ۵۲ میلیون تومان است.

بادشکن چوبی

باتوجه‌به ارتفاع یک‌متری چوب‌ها و رابطه ۱، شبکه‌های شطرنجی ۵ در ۵ متر طراحی و اجرا شد. کارایی این روش به کمک شاخص‌های یک‌متری بررسی شد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد، این روش می‌تواند از فرسایش و جابه‌جایی ماسه‌ها جلوگیری کند. ولی با انباشته‌شدن ماسه پشت بادشکن‌ها، دوباره فرصت جابه‌جایی آن‌ها فراهم می‌شود و امکان تثبیت کامل به‌خصوص با وزش بادهای شدید وجود ندارد (شکل ۱۰).

هزینه اجرای این روش به‌مراتب کمتر از روش توری پلاستیکی است، زیرا تهیه پنبه چوب به دلیل نزدیکی مزارع کشت پنبه هزینه چندانی ندارد (جدول ۷).

ریگ‌پاشی

الف- ریگ‌پاشی روی تپه‌های ماسه‌ای

کارایی این روش به کمک شاخص‌های چوبی بررسی شد. در طول اجرای پژوهش، هیچ‌گونه جابه‌جایی ماسه دیده‌نشد؛ بنابراین بهترین روش جلوگیری از فرسایش بادی و جابه‌جایی ماسه‌ها روی تپه‌ها، روش ریگ‌پاشی است (شکل ۱۱).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های میزان ماسه به روش دانکن در سطح ۵ درصد

تیمار	میانگین(gr)
ریگ‌پاشی ٪۳۰	۴۰/۳b
ریگ‌پاشی ٪۵۰	۳۴/۶c
شاهد	۶۰/۶a

مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح یک درصد

شکل۹. بادشکن توری پس از گذشت ۸ ماه

جدول۶. هزینه‌های اجرای بادشکن توری در هکتار

ردیف	عنوان	واحد	قیمت(ریال)	مقدار	هزینه (هکتار)
۱	توری	مترمربع	۶۰۰۰۰	۴۰۰۰	۲۴۰/۰۰۰/۰۰۰
۲	قیم چوبی	متر	۵۰۰۰۰	۱۶۰۰	۸۰/۰۰۰/۰۰۰
۳	کارگر	روز	۲۰۰۰۰۰۰	۱۰۰	۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰
۴	بست پلاستیکی		۱۰۰۰	۴۸۰۰	۴/۸۰۰/۰۰۰
		جمع			۵۲۴/۸۰۰/۰۰۰

شکل۱۰. کارایی بادشکن چوبی پس از گذشت ۱۰ ماه

جدول۷. هزینه اجرای بادشکن پنبه‌چوب

ردیف	عنوان	واحد	قیمت (ریال)	مقدار	هزینه (هکتار)
۱	پنبه‌چوب	کیلوگرم	۱۰۰۰	۶۰۰۰	۶/۰۰۰/۰۰۰
۲	هزینه حمل	سرویس	۳/۰۰۰/۰۰۰	۱۰	۳۰/۰۰۰/۰۰۰
۳	کارگر	روز	۲/۰۰۰/۰۰۰	۶۰	۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰
		جمع			۱۵۶/۰۰۰/۰۰۰

شکل ۱۱. ریگ‌پاشی ۵۰ درصد روی تپه های ماسه ای

ب- ریگ‌پاشی روی کفه رسی - نمکی

میزان رسوب جمع‌شده در تله‌های رسوبی در دو منطقه شاهد و ریگ‌پاشی شده ۵۰ درصد و ۳۰ درصد، به لحاظ آماری معنی‌دار بود و نسبت به شاهد تفاوت محسوسی داشتند. مشاهده شاخص‌ها (شکل ۱۲) به‌صورت ماهانه، حاکی از عدم جابه‌جایی و فرسایش در منطقه ریگ‌پاشی‌شده ۳۰ و ۵۰ درصد بود.

تهیه و حمل ریگ در این روش هزینه زیادی دارد. هر چند پخش ریگ‌ها روی عرصه با تراکم دلخواه، کمی زمان‌بر و پر هزینه است (جدول ۸)، ولی در مقایسه با بادشکن توری و چوب‌پنبه، هزینه کمتری در بردارد.

بحث و نتیجه‌گیری

برای انتخاب بهترین روش جلوگیری از فرسایش بادی ۲ موضوع کارایی و هزینه اجرا مدنظر بود. کارایی و عملکرد روش‌های اجرا شده در منطقه به کمک نصب شاخص و تله‌های رسوبی بررسی شد. از بین روش‌های اجرا شده ریگ‌پاشی به دلیل تثبیت کامل ماسه‌های روان، به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد. این روش مانند پوششی پایدار بدون ایجاد عوارض زیست محیطی، موجب فراهم شدن تثبیت و ایجاد بستر مناسب برای کشت بیولوژیک (در صورت مناسب بودن خاک بستر) می شود. بررسی هزینه روش‌های مختلف نشان داد، روش ریگ‌پاشی کمترین هزینه اجرا (ریگ‌پاشی ۵۰ درصد ۱۲۲/۵ ۳۰ درصد ۷۳/۵ میلیون ریال در هکتار) را دارد.

نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های احمدی و اختصاصی (۱)، باباخانی و کریم‌زاده (۵) و ژانگ و همکاران (۱۶) که پوشش سنگریزه و سرباره فولاد با پوشش ۵۰ درصد را بهترین روش جلوگیری از فرسایش بادی دانستند، همخوانی دارد. همچنین توصیه لی و همکاران (۹) در استفاده از پوشش ۳۰ درصد رد می‌شود. صفایی و همکاران (۱۲) تراکم ۷۵ درصد را به‌عنوان بهترین پوشش در مطالعه ها اعلام کردند که باتوجه‌به هزینه زیاد اجرای آن برای سطوح وسیع، قابل دفاع نیست. اجرای روش شبکه توری پلاستیکی توصیه شده توسط یونپ (۱۵) به ابعاد ۱*۱ متر، هرگز توجیه اقتصادی ندارد و برای سطوح وسیع قابل اجرا نیست.

شکل ۱۲. ریگ پاشی ۵۰ درصد روی کفه رسی – نمکی

جدول ۸ . هزینه اجرای ریگ‌پاشی

ردیف	عنوان	واحد	قیمت(ریال)	تراکم ٪۵۰		تراکم ٪۳۰	
				مقدار	هزینه (هکتار)	مقدار	هزینه (هکتار)
۱	بادامی	تن	۵۰۰/۰۰۰	۱۶۵	۸۲/۵۰۰/۰۰۰	۹۹	۴۹/۵۰۰/۰۰۰
۲	کارگر	روز	۲/۰۰۰/۰۰۰	۲۰	۴۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۲	۲۴/۰۰۰/۰۰۰
		جمع			۱۲۲/۵۰۰/۰۰۰	–	۷۳/۵۰۰/۰۰۰

هزینه اجرای مالچ‌پاشی نفتی با ضخامت ۳ تا ۵ میلی‌متر که به تازگی در همین منطقه توسط منابع طبیعی اجرا شده است و شامل هزینه خرید مالچ، حمل و نقل، اجاره بلدوزر، کارگر و هزینه های جانبی دیگر است، حدود ۷۰ میلیون تومان در هکتار است. پایداری مالچ‌نفتی بسته به نوع پاشش و مواد استفاده‌شده، بین ۲ تا ۵ سال است. این ماده به دلیل وارد کردن خسارت‌های غیرقابل‌جبران به فون و فلور منطقه و همچنین آلودگی هوا مورد انتقاد شدید دوستداران محیط‌زیست است. با این توصیف سه نکته ملاحظه می‌شود که نکته اول، هزینه اجرای روش ریگ‌پاشی (حدود ۱۲ میلیون تومان در هکتار) نسبت به مالچ نفتی (۷۰ میلیون تومان در هکتار)، حدود یک به شش است. نکته دوم این است که این روش به محیط‌زیست خسارت نمی‌زند. نکته سوم و از همه مهم‌تر، کار تثبیت را به‌طور کامل و صد در صد انجام می‌دهد و بدون هیچ‌گونه جابه‌جایی ماسه، می‌توان کار تثبیت بیولوژیک را با کشت گونه‌های سازگار مانند تاغ و اسکنبیل را انجام داد.

طراحی بادشکن، نیاز به آمار دقیق سرعت و جهت باد منطقه دارد. آمار استفاده شده در طراحی بادشکن در این پژوهش، آمار ایستگاه هواشناسی کاشان است که در فاصله ۴۰ کیلومتری منطقه قرار دارد و آمار این ایستگاه به‌طور دقیق نمی‌تواند گویای شرایط باد منطقه باشد.

استفاده از بادشکن‌های چوبی می‌تواند از جابه‌جایی ماسه‌های روان جلوگیری کند، به شرطی که طراحی آن دقیق و بر اساس آمار واقعی باد منطقه باشد. ابعاد لحاظ شده برای این بادشکن ۵*۵ متر بود و نتایج نشان داد، کارایی کامل برای حفاظت را ندارد و به مرور زمان به دلیل انباشته‌شدن ماسه‌های اطراف در پشت بادشکن و تخریب آن به دلیل هجوم موریانه و پوسیدگی، از کارایی روش کاسته می‌شود؛ بنابراین باتوجه‌به نتایج حاصل، اجرای این روش با ابعاد کوچکتر در حد ۴*۴ متر قابل بررسی است. هزینه اجرای این روش معادل ۱۵ میلیون تومان در هکتار بود که نسبت به روش ریگ‌پاشی گران‌تر است.

ابعاد شبکه توری طراحی شده بر اساس سرعت باد ایستگاه کاشان، ۲/۵ در ۲/۵ متر بود. که دسترسی به آمار باد خود منطقه

می‌تواند طراحی را دقیق‌تر و کارایی این روش را روشن‌تر نمایان کند. استفاده از ابزارهای اتصال توری به قیم چوبی که در برابر آفتاب و باد مقاومت بیشتری دارد، نیز توصیه می‌شود. هزینه اجرای این روش، معادل ۵۲ میلیون تومان در هکتار است که نسبت به روش‌های دیگر بسیار زیاد است.

در مجموع روش ریگ‌پاشی به دلایلی که ذکر شد، بهترین روش تثبیت ماسه‌های روان است و اجرای آن در سطحی وسیع‌تر به‌صورت پایلوت توصیه می‌شود.

منابع مورداستفاده

1. Ahmadi, H. and M. R. Ekhtesasi. 2000. Survey of effect of gravelly mulch in reduction of wind erosion in dagh lands clayey – salty non- renewabale with biological method. *Biaban*, 5(2):1-14 (In Farsi).
2. Ahmadi, H., A. M. Tahmasebi Birgani, H. Dosti and N. Ghazanfarpour. Investigating the Role of Planting Operations in Reducing Wind Erosion in Desert Areas of Iran Case Study: Ein Khosh – Dehloran. In: Proceeding of 2010 the Second National Conference on Wind Erosion, Yazd, Iran (In Farsi).
3. Akbariyan, M. and M. Biniaz. 2011. Evaluation of plant species used in wind erosion control (Case Study Jask city, Hormozgan province). *Environmental Erosion Research Journal*, 1(2): 29-42 (In Farsi).
4. Amiri, I., S. M. Hosseini, M. R. Ekhtesasi and A. R. Shahriari. Comparative study of the effects of artificial and plant windbreaks on changes in wind speed (Case study of Jiroft region). In: Proceeding of 2010 the Second National Conference on Wind Erosion, Yazd, Iran (In Farsi).
5. Babakhani, S. and H. Karimzadeh. 2013. Application of steel slag for stabilizing erodible soils (Case study: Harand area). *Desert Management*, 2(2): 1-12.
6. He, J. J., Q. G. Cai and Z. J. Tang. 2008.Wind tunnel experimental study on the effect of PAM on soil wind erosion control. *Environmental Monitoring and Assessment Journal*. 145 (3) 85-93.
7. Kamali Maskoni, E., I. Amiri and M. R. Ekhtesasi. A comparative study of the effects of mud wall and palm wall windbreaks on wind speed changes in a case study of Jiroft region. In: Proceeding of 2010 the Second National Conference on Wind Erosion, Yazd, Iran (In Farsi).
8. Lihui, T., W. Wangyang, Z. Dengshan, L. Ruigie and W. Xuequan. 2015. Characteristics of erosion and deposition of straw heckerboard barriers in alpine sandy land. *Environment Earth Science*, 74:573-584.
9. Liu, B., W. Zhang, J. Qu, K. Zhang and Q. Han. 2011. Controlling windblown sand problems by an artificial gravel surface: A case study over the gobi surface of the Mogao Grottoes. *Geomorphology* 134: 461-469.
10. Nourafar, A., A. pahlavanravi, M. nohtani and V. rahdari. 2022. Investigation of Wind Erosion Threshold in Different Land Cover and the Effect of Soil Properties on It (Case Study: Niatak Region of Sistan). *Journal of Water and Soil Science*. 26 (1) :41-54 (In Farsi).
11. Nourizadeh Molasarai, S. and A. Tavakoli. Study of the effect of natural and hand-planted Haloxylon forest on soil conservation and control and wind erosion control-advantages and disadvantages. In: Proceeding of 2010 the Second National Conference on Wind Erosion, Yazd, Iran. (In Farsi)
12. Safaei Gahnaviyeh, A.R., H. Karimzadeh, F. Rouhani Shahraki and M. Tarkesh Isfahani. 2011. 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 (In Farsi).
13. Tan, L., W. Zhang, B. Liu, Z. H. An and J. Li. 2013. Simulation of wind velocity reduction effect of gravel beds in a mobile wind tunnel atop the Mogao Grottoes of Dunhuang, China. *Engineering Geology*, 159:67-75.
14. UNEP, 2014. The Manual of Mechanical Measures for Desertification Control. 12P.
15. UNEP. 2014. The Plastic Checkerboard Sand Barrier. 12p.
16. Zhang, W., L. Tan, G. Zhang, F. Qiu and H. Zhan. 2014. Aeolian processes over gravel beds: Field wind tunnel simulation and its application atop the Mogao Grottoes, China. *Aeolian Research*, 15: 335-344.
17. Zoraghi G. H, K. Shabani Goraji, M. R. Noura, A. R Rashki. 2019. The Effect of Hydrated Lime Slurry on Stabilizing Sand Dunes Mobility. *Journal of Water and Soil Science*. 23 (2) :127-140 (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 4, Winter 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Assessment of Some of Wind Erosion Control Methods in Desert Areas (Case Study: Kashan Desert)

M. Abtahi[1*] and M. Khosroshahi[2]

(Received: June 29-2022 ; Accepted: January 28-2023)

Abstract

Biological operations to combat wind erosion must be carried out in the calm bed of dunes, which is often challenging due to high-velocity winds. Therefore, the necessary precondition for stopping the movement of sand is to create obstacles in the path of their movement, protecting newly planted vegetation from wind damage and ensuring stability during the initial years. In this project, various methods of preventing wind erosion, including creating a windbreak to reduce wind speed below the erosion threshold and sand spraying to increase the wind threshold, were evaluated in the dunes of Abuzidabad, Kashan, under severe wind erosion. The windbreaks used include mesh with a percentage of 50% porosity in a checkerboard with dimensions of 2.5 * 2.5 m, and cottonwood harvested from cotton fields in a grid of 5 * 5 meters. The height and distance of the windbreaks were calculated using the wind threshold speed and the maximum wind speed of the region. Sand spraying was tested on dunes and clay-salt panes with 50% and 30% density. To compare the rate of soil displacement in the above and control treatments, graded wooden indicators up to a height of one meter of sediment traps were used. In addition, the effect of net windbreak on the percentage of successful establishment of the *Holoxylon sp.* plant compared to the control was investigated. In this study, the cost of each method was calculated separately and compared with the cost of spraying oil mulch. The results showed that 50% sand spraying, in addition to having the best performance in stabilizing sands and preventing the formation of dust, as well as stability, also has a lower implementation cost than other methods. Therefore, the 50% sand spraying method is introduced as the best method to stabilize and prevent erosion at the lowest cost and also environmental compatibility.

Keywords: Wind erosion, Windbreak, Sand spraying, Threshold speed, Kashan

1. Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Kashan, Iran.
2. Research Division of Desert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
*: Corresponding author, Email: Morabtahi70@gmail.com