

## ارزیابی کارایی دستگاه بادشکن زیستی - خاکی برای کنترل فرسایش بادی (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری - بخش جونقان)

داود نامدار خجسته<sup>۱\*</sup>، سلمان زارع<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱

### چکیده

فرسایش بادی و گردوغبار یکی از معضلات جدی در کشور به خصوص در استان‌های مرزی است. با توجه به شرایط خاص کشور، استفاده از فناوری‌های جدید از جمله بادشکن خاکی با نیاز آبی و هزینه کمتر، بسیار ضروری است. هدف از این تحقیق، ارزیابی بادشکن خاکی برای کاهش سرعت باد و مقایسه آن با بادشکن‌های زیستی است. بدین منظور، از دستگاهی جدید برای ساخت بادشکن خاکی در استان چهارمحال و بختیاری در تیرماه ۱۳۹۸ استفاده شد. این دستگاه، خاک را از عمق ۳۵ سانتی‌متری سطح خاک برداشته، پس از انتقال به نقاله و اضافه شدن پلیمر (سوسپانسیون پلیمری) به آن، بین دو صفحه دایره‌ای ریخته و با توجه به فشار دو صفحه، بادشکن متشکل از خاک و پلیمر با مقاومت فشاری ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و پایداری خاکدانه ۸۰٪ ساخته می‌شود. با تنظیمات قسمت انتهایی دستگاه، ارتفاع و عرض بادشکن بر اساس شرایط خاک، اقلیم آب‌وهوایی منطقه، میزان رطوبت اولیه خاک و سایر شرایط تنظیم می‌شود. در این پژوهش، ارتفاع و عرض بادشکن ساخته شده ۳۲ و ۲۳ سانتی‌متر است. نتایج این پژوهش نشان داد که بادشکن ساخته شده میزان سرعت باد را به‌طور مؤثری کاهش داده به طوری که با افزایش فاصله از بادشکن، میزان سرعت باد نیز افزایش داشته و در ۱۰ تا ۱۲ برابر ارتفاع بادشکن به روند ثابتی می‌رسد. نتایج همچنین نشان داد که میزان سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه، ۶/۵۲ متر بر ثانیه بوده و فواصل بین بادشکن خاکی به فاصله ۲۰ متری به دست آمد. برای کنترل فرسایش با این روش، ۵۰۰ متر بادشکن خاکی برای هر هکتار ضروری است.

**کلیدواژه‌ها:** پلیمر زیستی، رسوب، کاهش سرعت باد، هدررفت خاک.

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، نویسنده مسئول؛ D.namdar@shahed.ac.ir

۱. استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

## ۱. مقدمه

فرسایش بادی یکی از پدیده‌های مخرب و به‌عنوان تهدید جدی برای بقای بشر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. بیش از ۵۰۰ میلیون هکتار اراضی در سراسر جهان تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند (سیرجانی و همکاران، ۲۰۱۹). آثار و تبعات فرسایش بادی متعدد بوده است؛ از جمله این تبعات می‌توان به کاهش حاصلخیزی خاک و تسریع بیابان‌زایی اشاره کرد. همچنین در زمان وزش باد ذرات معلق موجب آلودگی هوا، کاهش دید و تأثیر منفی بر سلامت انسان می‌شوند (خیرآبادی و همکاران، ۲۰۱۸؛ سیرجانی و همکاران، ۲۰۱۹). عواملی مانند رطوبت کم، پوشش گیاهی محدود، خصوصیات فیزیکی خاک و وقوع بادهای شدید احتمال فرسایش بادی را افزایش می‌دهد (دیو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای، کنترل فرسایش بادی و منشأ گردوغبار از روش‌های مختلفی از جمله کاشت گیاهان، استفاده از انواع مختلف خاک‌پوش‌ها (مالچ‌ها) و احداث بادشکن و موانع در سراسر جهان استفاده می‌شود (آزوق<sup>۲</sup> و جعفری، ۲۰۱۸). یکی از مهم‌ترین مسائل در زمینه مدیریت و کنترل فرسایش بادی و گردوغبار، کاهش میزان سرعت باد است؛ بنابراین استفاده از روش‌هایی که بتوان سرعت باد را کاهش داد، ضروری است. احداث بادشکن (زنده و غیرزننده) یکی از روش‌هایی است که باعث کاهش قدرت فرسایش بادی و در نتیجه باعث کاهش خسارات ناشی از آن می‌شود (قائم‌نیا و حکیم‌زاده، ۲۰۱۷؛ ما و همکاران، ۲۰۱۷).

بادشکن به هر شیء، ساختار یا مانعی می‌گویند که عمود بر جهت باد غالب ساخته شود تا سرعت باد را کاهش دهد و فرسایش را محدود سازد (لی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). بادشکن ممکن است از مواد مصنوعی یا از بوته، درخت و درختچه، گیاهان بلند مانند ذرت و آفتابگردان و از شاخه‌های خشکیده درختان و بادشکن‌های ساخته‌شده از مصالح ساختمانی مانند سنگ، الوار چوبی، گل و آجر تشکیل شود؛ بنابراین دو نوع

بادشکن وجود دارد: بادشکن‌های غیرزننده یا مصنوعی یا مکانیکی و بادشکن‌های زنده یا گیاهی (قاسمی و همکاران، ۲۰۱۱). بادشکن زنده، یک یا چند ردیف از گونه‌های گیاهی بومی منطقه است که برای افزایش کارایی، بهتر است ترکیبی از گیاهان همیشه سبز و گیاهان خزان‌کننده استفاده شود (خوشحال و پورخسروانی، ۲۰۱۳).

بادشکن اعم از زنده و غیرزننده دارای مزایا و معایب متعددی هستند (قائم‌نیا و حکیم‌زاده، ۲۰۱۷). از مهم‌ترین مزایای احداث بادشکن می‌توان به کاهش سرعت باد، محافظت از خاک در برابر فرسایش بادی، بهبود تبخیر و تعرق، حفاظت از محصولات کشاورزی، بهبود میکروکلیمای محلی، ایجاد جوامع جدید زیستی، افزایش عملکرد گیاهان و ایجاد زیستگاهی برای حیوانات و پرندگان اشاره کرد (ویک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). از جمله معایب مربوط به احداث بادشکن می‌توان به کاهش سطح زیر کشت، کاهش باروری گیاهان زراعی از طریق سایه انداختن درختان روی گیاهان ردیف‌های نزدیک به بادشکن، ایجاد رقابت با گیاهان برای رطوبت و مواد غذایی و ایجاد پناهگاهی برای گیاهان و جانوران مضر اشاره کرد (رفاهی، ۱۹۹۹).

در صورتی که یک بادشکن به‌خوبی طراحی و احداث شود، می‌تواند فرسایش بادی و گردوغبار را کاهش دهد و مزایای زیادی را نیز داشته باشد. یک بادشکن در صورتی می‌تواند مؤثر واقع شود که عمود بر جهت باد غالب احداث شود (تامنگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). از مهم‌ترین ویژگی بادشکن‌ها که در طراحی و احداث آن‌ها اهمیت دارند، می‌توان به ارتفاع بادشکن، فاصله بین ردیف‌های بادشکن، عرض (ضخامت) بادشکن، تراکم (نفوذپذیری) بادشکن و طول بادشکن اشاره کرد (کورنلیس و گابریلس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵). بادشکن‌ها باعث کاهش سرعت باد می‌شوند، اما شاخص‌های فنی و اجرایی احداث آن با توجه به اهداف، امکانات، تجهیزات، منابع مالی، مصالح مورد نیاز، نیروی انسانی قابل دسترس، شرایط اکولوژیکی منطقه، کاربری و تأثیرپذیری سریع آن در

4. Vacek

5. Tamang

6. Gabriels and Cornelis

1. Du

2. Azoogh

3. Lee

میزان کل جابه‌جایی ذرات را تا ۷۰ تا ۸۰٪ کاهش دهد (پارک و لی،<sup>۴</sup> ۲۰۰۲). در پژوهشی به بادشکن‌هایی با تخلخل ۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۹، ۰/۵ مورد آزمایش قرار گرفت. این محققان تراکم بادشکن‌ها را یکی از عوامل مهم در تقلیل سرعت باد عنوان نمودند و بادشکن با تخلخل ۰/۴ را مؤثرترین بادشکن پیشنهاد کردند (دونگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعه اثرات بادشکن‌های زنده (نخل خرما، گز شاهی و کنار) و غیرزنده (بادشکن گلی) بر روی تغییرات سرعت باد در منطقه حیرت و کهنوج انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد که بادشکن گلی و کنار بیشترین و گز شاهی و نخل خرما کمترین نقش را در کاهش سرعت باد داشته‌اند (امیری، ۲۰۰۹). قائمی‌نیا و حکیم‌زاده (۲۰۱۷) به بررسی نقش آرایش تخلخل بادشکن غیرزنده در تغییر رفتار جریان باد پرداختند. پنج الگوی مشبک با تراکم‌های مختلف به همراه شاهد با تراکم ۱۰۰٪ در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش تخلخل در بادشکن، میزان سرعت باد کاهش می‌یابد. همچنین جریان‌های پیچشی نیز در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این نتایج نشان داد که احداث بادشکن با ارتفاعی کمتر از ارتفاع سازه مورد حفاظت به‌خصوص در بادشکن‌های با تراکم زیاد، باعث ایجاد جریان‌های پیچشی در پشت بادشکن و افزایش خسارت می‌شود (محمدی و محمدعلی، ۲۰۱۷). با توجه به مرور منابع صورت‌گرفته، مشاهده می‌شود که بادشکن‌ها نقش مؤثری در کنترل فرسایش بادی دارند. انتخاب زنده یا غیرزنده بودن بادشکن‌ها با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی منطقه خواهد بود. اما همان گونه که ذکر شد، خشکسالی و کمبود آب در مناطق خشک و بیابانی، استفاده از بادشکن زنده و کاشت گیاهان را با مشکلات جدی مواجه خواهد کرد، لذا استفاده از بادشکن‌های غیرزنده و مکانیکی در این مناطق اهمیت ویژه‌ای دارد. بادشکن خاکی یک نمونه از بادشکن‌های مکانیکی می‌باشد که کارایی آن اثبات شده است؛ اما ساخت این بادشکن خاکی زمان‌بر بوده و این موضوع دلیلی بر استقبال کم از این شیوه بسیار کاربردی برای کنترل

بادشکن‌های زنده و غیرزنده با هم تفاوت دارد (حاجی میر صادقی و همکاران، ۲۰۱۵).

تحقیقات زیادی درباره طراحی، میزان تخلخل، تعداد ردیف‌ها و نوع بادشکن‌های زنده و غیرزنده در دنیا انجام شده است. در تحقیقی استیگتر و آدام<sup>۱</sup> (۱۹۹۶) به طراحی مناسب بادشکن برای مقابله با فرسایش بادی در مرز شمال غربی سودان پرداختند؛ نتایج نشان داد که مناسب‌ترین روش برای مقابله با فرسایش بادی، طرح احداث بادشکن درختی است. بادشکن پیشنهادی می‌بایست چندردیفه، طویل، عریض، بلند، تاج‌پوشش آن مناسب و بدون منفذ بوده و جهت آن عمود بر جهت باد غالب باشد. گونه‌های درختی انتخاب‌شده نیز بایستی دارای رشد سریع، طول عمر زیاد و در مقابل تنش‌های مختلف مقاوم باشند (محمدی و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی دیگر آزمایش‌هایی را روی حصارهای حفاظتی با تخلخل صفر، ۲۰، ۳۴ و ۵۰٪ به‌منظور اندازه‌گیری میانگین سرعت باد انجام شد. نتایج این آزمایش نشان داد که حصار با تخلخل ۲۰٪ بیشترین کاهش سرعت باد را در پشت بادشکن دارد و به‌طور کلی بادشکن‌هایی با تخلخل کم تا متوسط، نسبت به بادشکن‌های متراکم باعث کاهش بیشتر سرعت باد در پشت بادشکن می‌شود (رین و استونسن<sup>۲</sup>، ۱۹۷۷).

در پژوهشی تأثیر ردیف‌های بادشکن در کاهش سرعت باد در کشور دانمارک به‌صورت میدانی مدل‌سازی شد. در این تحقیق که طول ردیف‌های بادشکن به ۲۰۰ متر می‌رسید، اثر این بادشکن‌ها در تغییرات مربوط به اقلیم در ۱۱ نقطه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت؛ نتایج حاصل نشان داد که در فاصله بیش از ۴ تا ۷ برابر ارتفاع بادشکن اقلیم تعدیل و سرعت باد نیز کاهش یافته است. علاوه بر این در حاشیه بادشکن نیز خرد اقلیم تعدیل‌شد (فرید<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). در پژوهشی به بررسی کاربرد بادشکن‌ها در کاهش گردوغبار ناشی از وزش باد بر زغال‌سنگ در یک انبار روباز پرداخته شد؛ نتایج نشان داد که بادشکن با میزان تخلخل بهینه ۳۰٪، توانسته میزان شدت آشفته‌گی ناشی از باد را تا ۵۰٪ و

4. Park and Lee  
5. Dong

1. Stigter and Adam  
2. Raine and Stevenson  
3. Foeroid

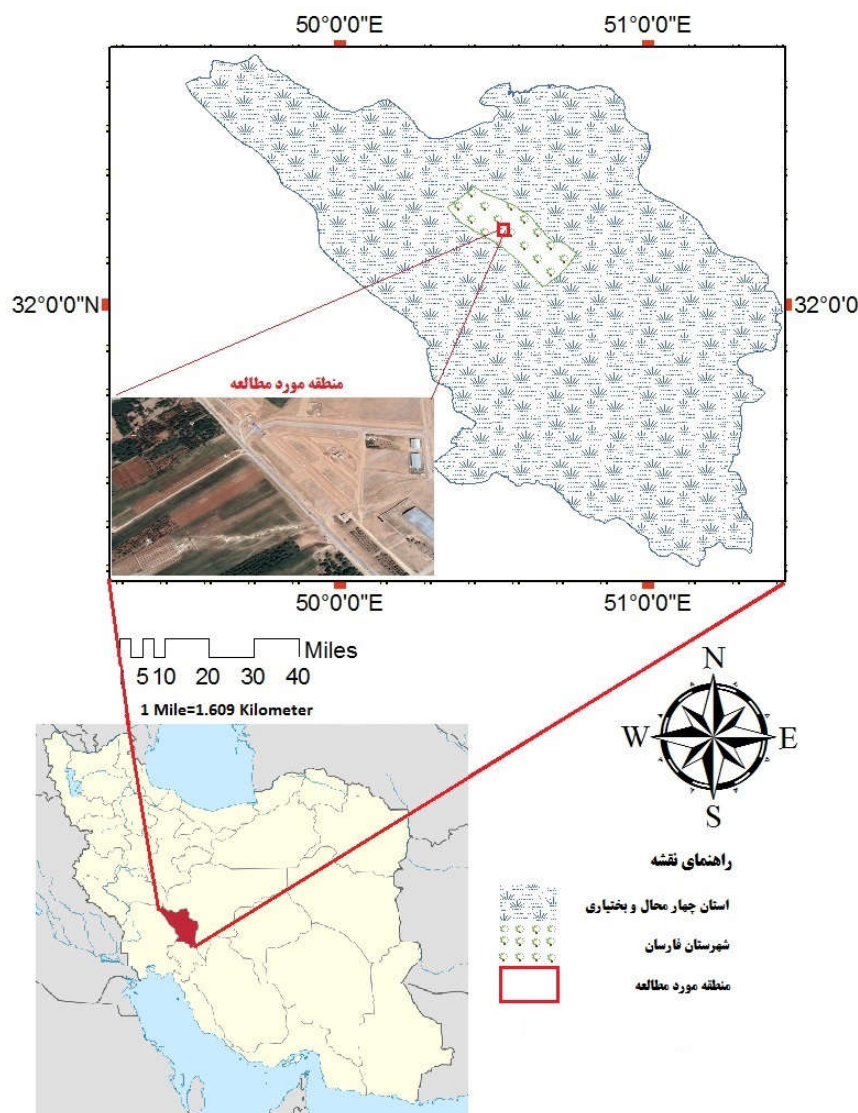
فارسان، بخش جونقان در مساحتی حدود ۳ هکتار با مختصات جغرافیایی  $50^{\circ} 41' 24''$  تا  $50^{\circ} 40' 49''$  طول شرقی و  $32^{\circ} 09' 01''$  تا  $32^{\circ} 09' 36''$  عرض شمالی در تیرماه ۱۳۹۸ انجام شد. متوسط بارندگی سالانه ۴۷۳ میلی متر با تبخیر سالانه ۱۸۹۵ میلی متر در سال بر اساس آمار بلندمدت و متوسط دمای سالانه  $12/6$  درجه سانتی گراد است. با توجه به اقلیم، میانگین رطوبت نسبی برای دوره آماری ۱۰ ساله، ۴۲٪ می باشد. حداکثر سرعت وزش باد در منطقه ۵۸ کیلومتر بر ساعت است. عرصه مطالعاتی شامل اراضی کشاورزی و دشت های آبرفتی و سیلابی است (شکل ۱).

فرسایش بادی شده است. در تحقیق حاضر، بادشکن خاکی به صورت مکانیزه با یک ماشین خودکار جدید ساخته شد. این ماشین قادر است با سرعت مناسب و با استفاده از خاک موجود در منطقه، به صورت مکانیزه بادشکنی در منطقه ایجاد کند. عملکرد بادشکن ساخته شده با این ماشین، با شاخص های مختلف از جمله کاهش سرعت باد در قبل و بعد از بادشکن خاکی بررسی شد. تعداد ردیف های بادشکن مورد نیاز در هر هکتار نیز بررسی شد.

## مواد و روش انجام تحقیق

### انتخاب منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان



شکل (۱): نمایی از منطقه مورد مطالعه

Figure (1): View of the study area



شکل (۲): نمایی از بخش محرک دستگاه بادشکن خاکی  
Figure (2): View of the driver section of the ridger device

### اندازه‌گیری کاهش سرعت باد و بادشکن

برای اندازه‌گیری میزان سرعت باد در ارتفاع ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۱/۲ متری از سطح و در فواصل ۲/۵-، ۱/۲۵-، ۰/۶۲-، ۰/۶۲، ۱/۲۵، ۲/۵، ۳/۷۵، ۵، ۶/۲۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ برابر ارتفاع بادشکن اندازه‌گیری شد (شکل ۴). گفتنی است که برای شبیه‌سازی فرسایش بادی از دستگاه سنجش فرسایش بادی با سرعت ۱۵/۶ متر بر ثانیه در شرایط آزمایشگاهی استفاده شد. اندازه‌گیری میزان سرعت باد با دستگاه سرعت‌سنج مدل AN-4330 بود. میزان کارایی کاهش سرعت باد در ارتفاع و فواصل مختلف با استفاده از معادله (۱) به دست آمد (کورنلیس و گابریلس، ۲۰۰۵):

$$Rc_{xH,Z} = \frac{U_{xH,Z}}{U_{-2.5H,Z}} \quad (1)$$

که  $xH$  فاصله از بادشکن (با ارتفاع بادشکن  $H$ )،  $Z$  ارتفاع بالای سطح،  $u_{xH,Z}$  میانگین سرعت باد در فاصله و ارتفاع مشخص از بادشکن (متر بر ثانیه) و  $u_{-2.5H,Z}$  متوسط سرعت باد در فاصله ۲/۵ برابر ارتفاع بادشکن (جلو بادشکن) برحسب متر بر ثانیه است.

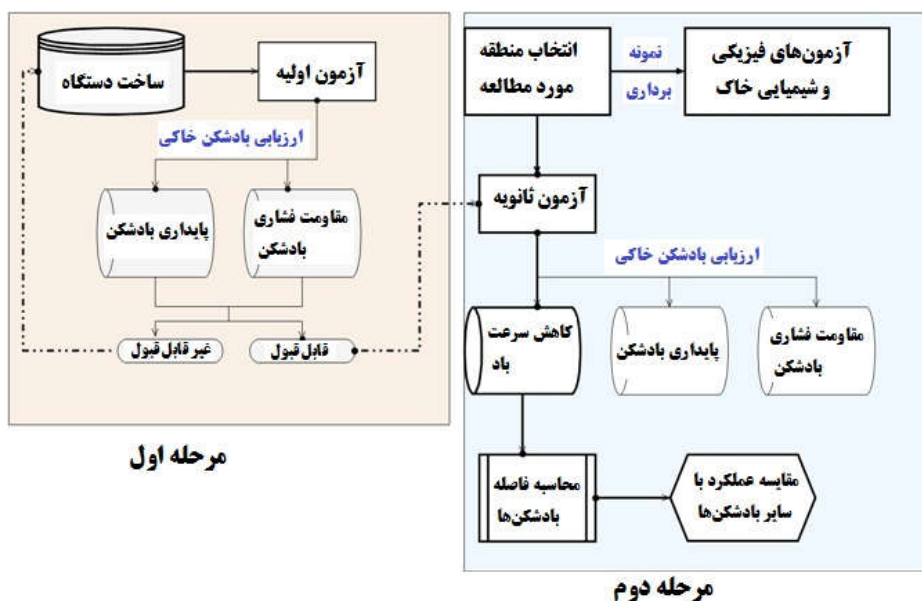
### نمونه‌برداری و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

پس از انتخاب منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری از خاک منطقه انجام شد. آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی برای خاک مورد مطالعه بدین شرح است: بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و بردر<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶)، EC خاک به روش عصاره‌گیری در گل اشباع (رودز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶)، pH به روش عصاره‌گیری در گل اشباع (توماس<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶)، کربن آلی به روش والکی و بلاک (نلسون و سومر<sup>۴</sup>، ۱۹۹۶)، رطوبت ظرفیت زراعی (گاردنر<sup>۵</sup>، ۱۹۸۶)، نقطه پژمردگی دائم (گاردنر، ۱۹۸۶)، درصد اشباع وزنی یا SP (رودز، ۱۹۹۶)، رطوبت خاک با دستگاه TDR (گاردنر، ۱۹۸۶) اندازه‌گیری شد. برای تعیین توزیع اندازه خاکدانه‌ها در حالت مرطوب، از روش بردر استفاده شد (جی و بردر، ۱۹۸۶).

### ساخت بادشکن خاکی

ساخت بادشکن زیستی - خاکی با استفاده از دستگاه ساخته‌شده، در زمینی به مساحت یک هکتار انجام شد (شکل ۲). این بادشکن از ترکیب پلیمر زیست سازگار (پلی‌ونیل استات با خلوص ۷۰٪ به اندازه ۴۰ میلی‌لیتر در لیتر) با خاک منطقه مورد مطالعه (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) ساخته شد. مقاومت فشاری بادشکن ساخته‌شده، ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، پایداری خاکدانه ۸۰٪ و عرض و ارتفاع بادشکن به ترتیب ۳۲ و ۴۳ سانتی‌متر است. شایان ذکر است که میزان غلظت پلیمر زیست سازگار و مقدار مورد نیاز در قالب آزمایش جداگانه قبلاً مورد بررسی قرار گرفته بود. در این مطالعه از نتایج آزمون قبلی برای تعیین میزان غلظت پلیمر، میزان سوسپانسیون، حجم خاک مورد نیاز و... استفاده شده است (نامدار خجسته و بهرامی، ۲۰۱۸).

1. Gee and Bauder
2. Rhoades
3. Thomas
4. Nelson and Sommers
5. Gardner



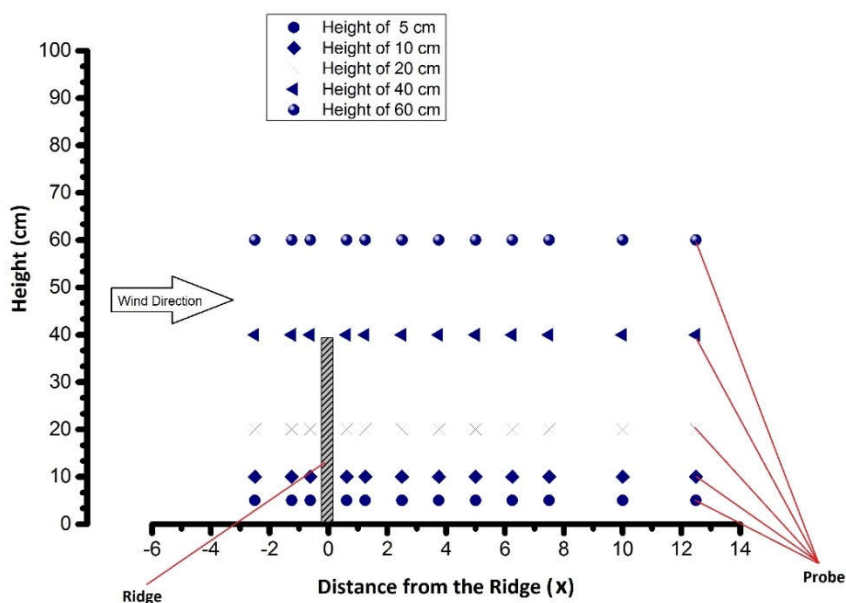
شکل (۳): شماتیک از مراحل انجام کار  
Figure (3): Schematic of work steps

در این معادلات،  $m$  تعداد اندازه‌گیری است. در معادله (۲)، در صورتی که مقدار  $R_{cxH,z} = 0$  باشد، مقدار  $TRC_z = 1$  بوده و این شاخص نشان‌دهنده تأثیر ۱۰۰ درصدی کاهش سرعت باد است.

میزان کاهش سرعت باد در ارتفاع‌های ذکر شده با استفاده از معادلات (۲) و (۳) به دست آمد (کورنلیس و گابریلس، ۲۰۰۵):

$$TRC_z = \frac{1}{x_{Hi} - x_{Hm}} \int_{x_{Hi}}^{x_{Hm}} R_{cxH,z} dxH \quad (2)$$

$$TRC_z = \frac{1}{x_{Hi} - x_{Hm}} \int_{x_{Hi}}^{x_{Hm}} R_{cxH,z} \Delta xH \quad (3)$$



شکل (۴): اندازه‌گیری سرعت باد در فواصل مشخص از بادشکن خاکی  
Figure (4): Measuring wind speed at specified intervals from the ridge



### محاسبه فاصله بادشکن خاکی

فاصله دو بادشکن خاکی با استفاده از معادله (۴) به دست آمد.

$$w = d \cos\theta \quad (4)$$

که  $w$  فاصله بین دو بادشکن،  $d$  فاصله ای که بر مبنای بادشکن عمود بر جهت باد اصلی به دست آمده است و  $\theta$  زاویه ای است که بین جهت باد و خط قائم به بادشکن تشکیل می شود. برای به دست آوردن  $d$  نیز از معادله (۵) به صورت معادله (۵) استفاده شد:

$$d = 17h \left( \frac{V_m}{V} \right) \cos\theta \quad (5)$$

که  $d$  فاصله بین ردیف های بادشکن (طول حفاظتی) برحسب متر،  $h$  ارتفاع بادشکن برحسب متر،  $V_m$  سرعت آستانه فرسایش در ارتفاع ۱۰ متری،  $V$  سرعت باد موجود در ارتفاع ۱۰ متری (برحسب کیلومتر در ساعت) و  $\theta$  زاویه انحراف باد غالب از خط قائم به بادشکن است. همچنین سرعت آستانه فرسایش ( $V_m$ ) از معادله (۶) محاسبه شد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۳):

$$V_m = A \sqrt{\frac{\rho_d - \rho_w}{\rho_w} \cdot d \cdot g} \quad (6)$$

که  $A$  ضریبی ثابت (برای ذرات بزرگتر از ۰/۱ میلی متر  $\rho_d$ ، ۰/۱ وزن مخصوص حقیقی ذرات (۲۶۵۰) کیلوگرم بر متر مکعب)،  $\rho_w$  وزن مخصوص هوا (۱/۳) کیلوگرم بر متر مکعب،  $d$  قطر ذرات متوسط ۲۰۰ میکرون ( $2 \times 10^{-4}$  متر) است. از آنجایی که سرعت آستانه فرسایش بادی در یک

ارتفاع اندازه گیری شد و سرعت بیشینه باد در ایستگاه های سینوپتیک در ارتفاع ۱۰ متری ثبت شد، باید سرعت آستانه در این ارتفاع محاسبه شود. از معادله (۷) سرعت آستانه در ارتفاع مشخص محاسبه شد:

$$V_m = A \sqrt{\frac{\rho_d - \rho_w}{\rho_w} \cdot d \cdot g \cdot \text{Log} \frac{Z}{Z_0}} \quad (7)$$

که در آن  $Z$  ارتفاع مورد نظر و  $Z_0$  زبری آیرودینامیک (برحسب متر) است. زبری آیرودینامیک از معادله (۸) محاسبه شد:

$$Z_0 = \frac{1}{30} D \quad (8)$$

که  $D$  قطر ذرات است. به این ترتیب سرعت آستانه فرسایش و فاصله بین بادشکن ها در منطقه به دست آمد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۳). شایان ذکر است که میزان سرعت آستانه با استفاده از دستگاه تونل باد در منطقه نیز برای مقایسه اندازه گیری شد.

### نتایج و بحث

#### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر نشان داد که pH خاک در حدود ۷/۱، میزان شوری خاک ۱۲/۱۲ دسی زیمنس بر متر، میزان کربن ۲/۳٪ و بافت خاک لومی می باشد. منشأ گردوغبار ذرات رس و سیلت بوده و در خاک مورد مطالعه میزان رس خاک ۲۲٪ و میزان سیلت ۳۸٪ است (جدول ۱).

جدول (۱): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

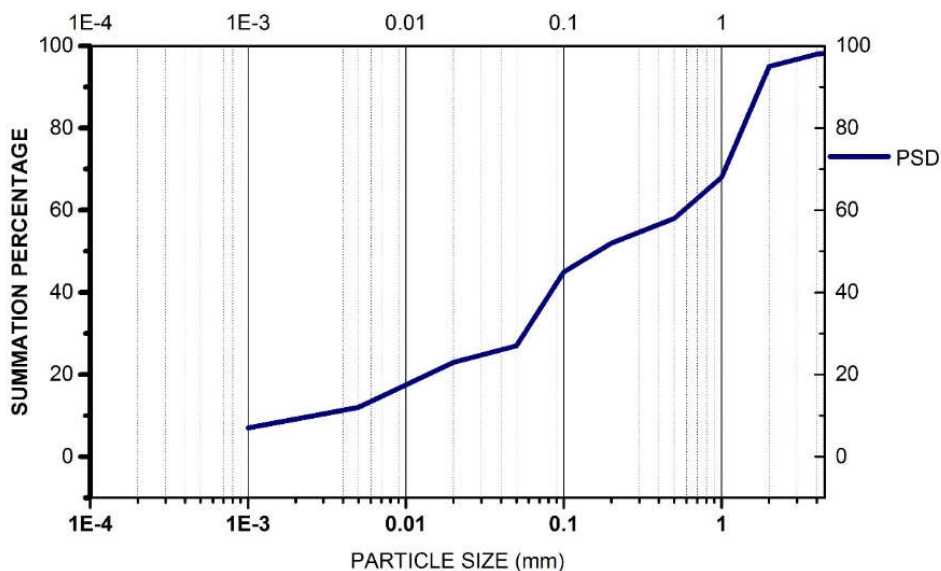
Table (1): Physical and chemical properties of the studied soil

طول (Latitude)	عرض (Longitude)	عمق (Depth)	بافت (Texture)	مواد خشتی شونده (TNV)	کربن آلی (O.C)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	شوری (EC <sub>e</sub> )	اسیدیته (pH)
(m)	(cm)	(cm)		(%)		Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>	
۳۵۶۰۰۳۸	۴۶۷۸۴۱	۱۰	L	۳/۱۲	۲/۱۵۰	۱۶/۷	۱/۱۱	۷/۱
۳۵۵۹۳۹۱	۴۶۷۸۳۹		L	۱/۱۴	۲/۲۴۷	ND	۱/۱۲	۷/۲
۳۵۵۹۶۰۷	۴۶۷۸۴۰		L	۱/۱۵	۲/۱۱۵	ND	۱/۲۳	۷/۱

## توزیع اندازه ذرات

کمتر از ۱٪ می باشد (شکل ۵). بیشترین ذرات در محدوده کوچکتر از ۰/۵ میلی متر بوده که این اندازه برای ذرات سیلت و رس است (عسگری، ۲۰۰۴).

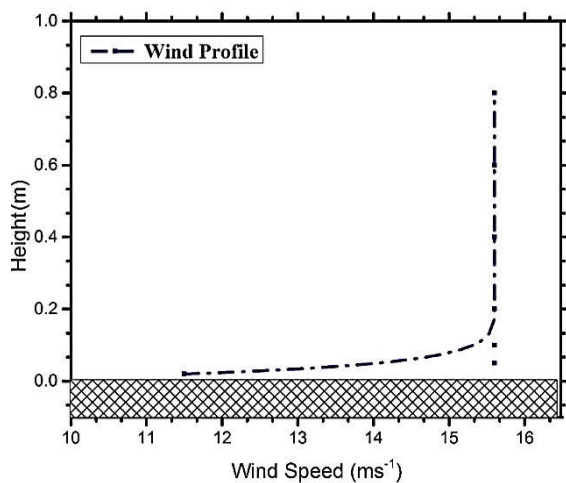
نتایج توزیع اندازه ذرات نشان داد که خاک به صورت یکنواخت بوده و میزان ذرات بزرگتر از ۴ میلی متر در آن



شکل (۵): توزیع اندازه ذرات خاک مورد مطالعه

Figure (5): Particle size distribution of the studied soil

مشروط به توجیه اقتصادی مصالح به کاررفته در نظر گرفته شود. ارتفاع کم بادشکن غیرزنده باعث کاهش سطح پوشش، افزایش تعداد ردیف بادشکن، افزایش هزینه اجرایی می شود. ارتفاع زیاد نیز باعث کاهش مقاومت بادشکن، خطر شکستگی بادشکن و فرسایش بالا شود (کوملیس و گابریلس، ۲۰۰۵).



شکل (۶): رابطه ارتفاع و سرعت باد

Figure (6): Relationship between the height and wind speed

## رابطه ارتفاع با سرعت باد

پروفیل سرعت باد در فاصله یک متری از دستگاه در شکل (۶) نشان داد که با افزایش فاصله از سطح زمین میزان سرعت باد نیز افزایش پیدا کرده و در فاصله ۲۰ سانتی متر از سطح خاک به مقدار ثابت اولیه (۱۵/۶ متر بر ثانیه) رسید. در سطح زمین به علت ناهمواری های سطحی و وجود خاکدانه حداقل ۴ میلی متری در سطح خاک، میزان سرعت باد در ارتفاع ۲ سانتی متر از سطح خاک تقریباً ناچیز است. با فاصله گرفتن از سطح خاک تا ارتفاع ۲۰ سانتی متری، سرعت باد نیز به صورت نمایی افزایش داشته است. این نتایج با یافته های سایر محققان مطابقت دارد. کوک<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) در تحقیقات خود تحت عنوان آنالیز سرعت آستانه فرسایش بادی به این نتیجه رسید که با افزایش ارتفاع از سطح، میزان سرعت باد نیز افزایش پیدا می کند.

بیشتر محققان بر این باورند که بایستی ارتفاع بادشکن های غیرزنده حداقل ۲۰ و حداکثر ۱۵۰ سانتی متر



## کاهش سرعت باد

نتایج کاهش سرعت باد با بادشکن خاکی در شکل (۷) ارائه شده است. سرعت باد در ۵ ارتفاع و در فواصل مختلف (۱۱ فاصله) اندازه‌گیری شد. نتایج این نمودار نشان داد که سرعت در ارتفاعات ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری از سطح روند تقریباً یکسانی داشته و با برخورد جریان باد به بادشکن سرعت باد کاهش یافته است. بیشترین کاهش سرعت باد در فاصله ۱H (در این آزمایش ۴۰ سانتی‌متری) اتفاق افتاده است. با افزایش فاصله از بادشکن میزان سرعت باد نیز افزایش داشته، به طوری که در ۱۰H و ۱۲H به روند ثابتی می‌رسد. روند کاهشی سرعت باد در ارتفاع ۵ سانتی‌متری از سطح به دلیل وجود زبری سطحی، کمتر از سایر ارتفاعات است. در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری از سطح، سرعت باد تا ۳H یکسان بوده و سپس روند کاهشی داشته است. علت عدم کاهش سرعت باد در این ارتفاع‌ها در مقایسه با ارتفاعات دیگر، عدم وجود بادشکن بالاتر از ۴۰ سانتی‌متری است. از طرفی با توجه به اینکه این آزمون با دستگاه تونل باد در سرعت ۱۵/۶ متر بر ثانیه انجام شد، با افزایش فاصله از دستگاه تونل باد، سرعت باد نیز روند کاهشی با ضریب بین ۰/۷ تا ۰/۸ در فاصله ۸H داشته است. جدول (۲) میزان کل کاهش سرعت در ارتفاعات مختلف را نشان می‌دهد. بیشترین کاهش سرعت باد با مقدار ۰/۶۶ در ارتفاع ۵ سانتی‌متری و کمترین کاهش سرعت باد با میزان ۰/۰۸ در ۶۰ سانتی‌متری بالای سطح دیده می‌شود.

میری و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود بر روی کاهش سرعت باد و میزان رسوب با دو گیاه مختلف و یک بادشکن درختی به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی و بادشکن تأثیر معنی‌داری بر کاهش سرعت باد و میزان رسوب داشته و بیشترین کاهش سرعت باد در ابتدای بادشکن اتفاق می‌افتد.

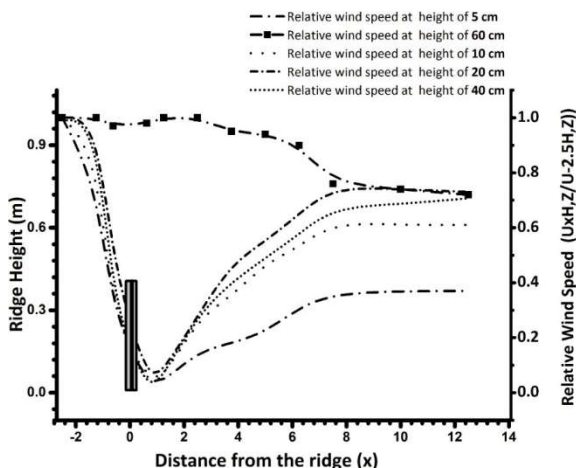
نتایج تحقیقات ما و همکاران (۲۰۱۹) بر روی بادشکن مرکب از گیاهان مختلف نشان داد که بیشترین کاهش سرعت باد (۸۰٪) در قسمت داخلی<sup>۱</sup> بادشکن و بین

ردیف‌های بادشکن<sup>۲</sup> است.

رضایی ترشیزی و همکاران (۲۰۲۰a و ۲۰۲۰b) نشان دادند که بادشکن تأثیر معنی‌داری در کاهش جریان رسوب در فاصله ۵۰ برابر ارتفاع بادشکن دارد. کاهش معنی‌دار جریان رسوب در داخل بادشکن در ۶ طوفان گردوغبار استان سیستان و بلوچستان نشان‌دهنده مؤثر بودن این روش برای کنترل فرسایش است.

نمودار (۸) حالت کلی میزان کاهش سرعت باد برای تمام ارتفاعات در اثر بادشکن را نشان می‌دهد. در فاصله ۳ برابر ارتفاع بادشکن (۳H) سرعت باد به طور معنی‌داری کاهش یافته و نشان‌دهنده کارآمد بودن بادشکن در کاهش سرعت باد و حفاظت در این فاصله است.

به طور کلی نتایج نشان داد که سرعت باد قبل از برخورد با بادشکن و در فاصله‌ای از آن شروع به کم شدن می‌کند و پس از عبور از آن به تدریج افزایش می‌یابد و در فاصله ۱۰ تا ۱۲ برابر ارتفاع بادشکن، به سرعت اولیه خود می‌رسد. نتایج تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که کاهش سرعت باد در جلو بادشکن در فاصله‌ای ۹ تا ۱۰ برابر ارتفاع بادشکن و در پشت بادشکن تا فاصله‌ای ۳۰ برابر ارتفاع بادشکن است (تاکاهاشی<sup>۳</sup>، ۱۹۷۸).

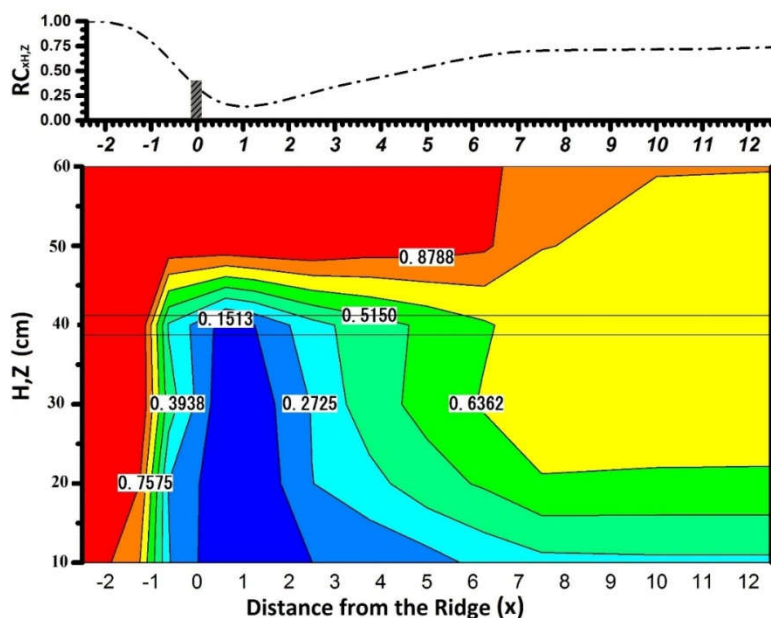


شکل (۷): کاهش سرعت باد با ارتفاع  
Figure (7): Reduction of wind speed with height

جدول (۲): میزان کاهش کل سرعت باد در ارتفاعات مختلف

Table (2): The rate of total wind speed reduction at different heights

xH (-2.5H: 12.5H)	Z (m)				
	TRC <sub>0.05</sub>	TRC <sub>0.1</sub>	TRC <sub>0.2</sub>	TRC <sub>0.4</sub>	TRC <sub>0.6</sub>
	۰/۶۶	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰۸



شکل (۸): کاهش سرعت باد با فاصله از بادشکن خاکی

Figure (8): Reducing wind speed by distance from the ridge

را به نصف تقلیل دهد (هیسلر و همکاران، ۱۹۸۸؛ کوملیس و گابریلس، ۲۰۰۵). علاوه بر کاهش سرعت باد، بادشکن باعث کاهش غلظت ذرات معلق در هوا نیز می‌شود. چانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقات خود نشان دادند که کاهش ۵۶/۸۶٪ ذرات معلق در پشت بادشکن، نشان‌دهنده مؤثر بودن بادشکن در کاهش غلظت PM<sub>10</sub> می‌باشد.

### فاصله بین بادشکن خاکی

فاصله بین ردیف‌های بادشکن خاکی علاوه بر ارتفاع بادشکن به عواملی دیگری نظیر سرعت آستانه فرسایش بادی، حداکثر سرعت باد در دوره برگشت مورد نظر، شیب دامنه‌ها، تراکم بادشکن و... بستگی دارد (سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۲۰۱۴) و با افزایش ارتفاع بادشکن، فاصله بین ردیف‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش شیب دامنه، فاصله بین ردیف‌ها کمتر می‌شود. هرچند موارد یادشده در طراحی بادشکن مهم است، مهم‌ترین

در یک بادشکن درختی با تراکم متوسط وقتی که باد به طور عمودی به آن برخورد می‌کند، سرعت باد بین ۶۰ تا ۸۰٪ در پشت بادشکن و در نزدیکی آن و حدود ۲۰٪ در فاصله ۲۰ برابر ارتفاع بادشکن کاهش یافته و در فاصله ۳۰ تا ۴۰ برابری ارتفاع بادشکن کاهشی وجود ندارد (هیسلر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۸). برخی محققان به این نتیجه رسیدند که سرعت باد در فاصله تقریباً ۸ برابر ارتفاع بادشکن در جلو بادشکن و ۲۴ برابر ارتفاع بادشکن در پشت آن مؤثر است. همچنین به طوری که دیده می‌شود، سرعت باد در کناره‌های بادشکن حدود ۲۰٪ اضافه می‌شود. بنابراین اثر یک بادشکن طولانی بیشتر از یک اثر یک بادشکن کوتاه خواهد بود. در مورد بادشکن‌های درختی باد از فاصله ۵ تا ۱۰ برابر ارتفاع درخت در جلو بادشکن و ۱۰ تا ۲۰ برابر آن در پشت بادشکن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اگر بادشکن به طور صحیحی طراحی شده باشد، می‌تواند سرعت باد

است (کامپی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

مهم‌ترین عامل مؤثر در طراحی بادشکن‌های زنده و غیرزنده، انتخاب مواد اولیه سهل‌الوصول، شرایط اقلیمی منطقه، مقرون به صرفه بودن و... است. به‌طور کلی مهم‌ترین ویژگی بادشکن خاکی نسبت به سایر بادشکن‌های زنده و غیرزنده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

**الف. هزینه:** هزینه احداث بادشکن خاکی در مقایسه با سایر روش‌ها ارزان‌تر بوده زیرا فقط به نیروی کار احتیاج است. مصالح مورد نیاز در این روش، خاک منطقه با یک پلیمر زیست سازگار است. هزینه احداث بادشکن خاکی در هر هکتار ۱ تا ۳ میلیون تومان (هر متر طولی بادشکن به‌طور متوسط بین ۸ تا ۱۵ هزار تومان) بوده در صورتی که این هزینه برای کنترل و تثبیت خاک با روش‌های زنده و با وجود شرایط مساعد معمولاً ۸ میلیون برای بادشکن زنده و ۱۰ تا ۱۲ میلیون برای بادشکن غیرزنده است. برای مالچ‌پاشی نیز این هزینه ۲۵ تا ۴۵ میلیون تومان برآورد شده است (سازمان محیط زیست، ۲۰۱۶). با توجه به مطالب ذکرشده، بادشکن‌های سنگی و بادشکن‌های چوبی و بادشکن‌های زنده از لحاظ هزینه مقرون به صرفه نیستند؛ بنابراین از این نوع بادشکن‌ها معمولاً برای حفاظت مکان‌های حساس یا احیای پوشش مناطق فرسایش یافته مورد نظر استفاده می‌شود (فرید و همکاران، ۲۰۰۲؛ سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۲۰۱۴).

**ب. نیروی کار:** با دستگاه بادشکن خاکی می‌توان حداقل روزانه با چهار نیروی کار تا ۳ کیلومتر در روز را تحت پوشش قرار داد، در صورتی که برای احداث بادشکن زنده و غیرزنده با همین نیروی کار می‌توان حداکثر تا ۵۰۰ متر بادشکن احداث کرد.

**ج. مواد اولیه:** مزیت عمده دیگر بادشکن خاکی، استفاده از مواد اولیه فراوان در منطقه برای ساخت بادشکن خاکی در مقایسه با سایر بادشکن‌های زنده و غیرزنده و کاهش سرعت باد کامل پشت بادشکن است. برای ساختن بادشکن‌های حصیری، حصیرهای بافته‌شده از مواد گیاهی مانند غلات، نی و کلش محصولات زراعی و برای بادشکن زنده گیاه مقاوم به

اصل در رابطه با فاصله بین ردیف‌های بادشکن، سرعت آستانه فرسایش بادی است (نورتون<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸). نتایج این تحقیق نشان داد که میزان سرعت آستانه فرسایش بادی با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی منطقه ۶/۵۲ متر بر ثانیه است. این سرعت در مقایسه با سرعت اندازه‌گیری‌شده در الباجی اهواز توسط تله‌های رسوب‌گیر (۶/۴ متر بر ثانیه) و دست‌یزد اردکان (۷ متر بر ثانیه) اختلاف چندانی نداشت (احمدی و همکاران، ۲۰۰۳). احمدی و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی روش‌های کنترل فرسایش بادی برای حفاظت راه آهن به این نتیجه رسیدند که میزان سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه ۶ متر بر ثانیه است. با در نظر گرفتن سرعت آستانه فرسایش بادی (۶/۵۲ متر بر ثانیه) و متوسط و حداکثر سرعت باد در منطقه (۳ و ۲۲/۵ متر بر ثانیه) بادشکن‌ها به فاصله ۲۰ متری از هم، با وجود تأثیر بادشکن خاکی در کاهش سرعت باد در فاصله کمتر از ۱۲H به دست آمد (شکل ۹). به‌طور کلی برای کاهش سرعت باد در منطقه با بادشکن خاکی، احداث ۵۰۰ متر بادشکن خاکی در هکتار ضروری است. در مناطقی که بادهای غالب و فرساینده دارای یک جهت و یا در دو جهت عمود بر هم باشد، از بادشکن‌های موازی و شطرنجی استفاده می‌شود (سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۲۰۱۴). در بادشکن غیرزنده ابتدا باید ارتفاع بادشکن ردیف اول که عمود بر باد غالب منطقه است، مشخص شود. سپس برای تعیین ردیف‌های بعدی، سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه و محاسبه نسبت آن به حداکثر سرعت باد در دوره برگشت مورد نظر و با توجه به درصد کاهش سرعت باد در پشت و جلو بادشکن فاصله ردیف‌ها مشخص می‌شود (کوملیس و گابریلس، ۲۰۰۵؛ نورتون، ۱۹۸۸).

### مقایسه بادشکن زیستی - خاکی با سایر بادشکن‌های زنده و غیرزنده

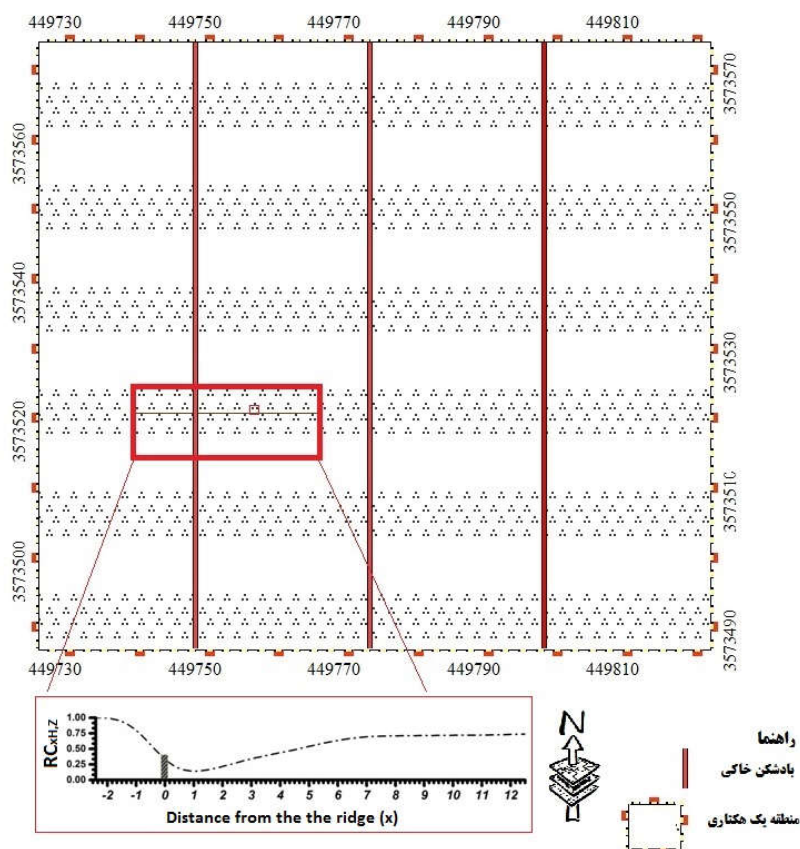
احداث هر نوع بادشکن از نظر تراکم بستگی به هدف و مصالح قابل دسترس برای احداث بادشکن دارد. توصیه شده است از مصالحی استفاده شود که امکان تهیه در محل مورد مطالعه را دارد و همچنین ارزان و از نظر اقتصادی به صرفه

خاک را بهبود بخشیده و شرایط را برای رشد گیاه مهیا می کند. نتایج تحقیقات انجام شده با یک بارندگی ۲۵ سانتی متری در طول چهار روز، آب نفوذ یافته در روی تپه های رسی به ارتفاع ۲۰ سانتی متر و با اثرگذاری بادشکن در جلوگیری از هدررفت آب، نفوذ آب در این تپه ها تا عمق ۲۸/۵ تا ۳۵/۶ سانتی متری و عمق نفوذ آب در شرایط بدون تپه رسی ۱۸/۵ تا ۲۳ سانتی متر است. به علاوه در ۲۰ سانتی متری بالای سطح زمین، پشته های رسی توانسته اند سرعت باد را بین ۲۷ تا ۳۳٪ کاهش دهند، در حالی که افت سرعت باد در بادشکن های بلند تا ۴۲٪ و بادشکن های کوتاه تا ۱۸٪ اندازه گیری شده است (سازمان جنگل ها و مراتع، ۲۰۱۴).

شوری و خشکی و وضعیت مناسب آب ضروری است (نامدار خجسته و بهرامی، ۲۰۱۸).

**د. دوام و ماندگاری:** به طور معمول بادشکن خاکی بین ۴ تا ۵ سال دوام دارد و در صورت تخریب می توان با هزینه کم و کمترین خطر زیست محیطی بادشکن خاکی جدیدی احداث کرد. دستگاه بادشکن خاکی می تواند در تمام شرایط اقلیمی و توپوگرافی، بادشکن مورد نیاز را ایجاد کند. برای بادشکن زنده، شرایط اقلیمی از جمله دما و رطوبت، بایستی تا حد قابل تحمل گیاه باشد.

**ه. حفظ رطوبت خاک و کنترل سیلاب:** بادشکن خاکی به دلیل جمع آوری آب باران در بین بادشکن ها، شرایط رطوبتی



شکل (۹): فواصل بادشکن خاکی در یک هکتار

Figure (9): The ridge distances in one hectare

برخی درختان در مناطق غیر بومی و غیره می گردد. همچنین استفاده از سایر روش های غیرزنده از جمله استفاده از مواد شیمیایی در طبیعت از لحاظ زیست محیطی تبعات زیادی دارد (نامدار خجسته و بهرامی، ۲۰۱۸؛ فریرا، ۲۰۱۱).

**و. تأثیرات زیست محیطی:** بادشکن خاکی هیچ گونه تأثیر زیست محیطی در محیط نمی گذارد. در صورتی که استفاده برخی گیاهان به عنوان بادشکن زنده موجب افزایش شوری در سطح خاک، تجمع آفات و امراض و انتقال شوری از سطح خاک به آب های زیرزمینی توسط گیاه و زادآوری زیاد

## جمع بندی

دلخواه تا ارتفاع حداکثر ۷۰ سانتی متر ایجاد کند و بدین ترتیب در کنترل فرسایش بادی کمک شایانی نماید. در نهایت پیشنهاد می شود عملکرد دستگاه مورد نظر در مناطقی با بافت خاک، شرایط اقلیمی و توپوگرافی مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

## سیاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی مصوب و با حمایت معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری - صندوق حمایت از پژوهشگران و نوآوران کشور به شماره ۹۶۰۰۷۲۶۳ انجام شد. مجری این طرح بر خود لازم می داند صمیمانه از این معاونت و همچنین ناظر طرح، جناب آقای دکتر عباس همت سپاسگزاری کند.

وجود قریب به ۳۰ میلیون هکتار مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی در کشور از یک سو و وجود انواع تنش های محیطی از جمله کم آبی، شوری خاک، بادهای فرساینده و... از سوی دیگر، ضرورت استفاده از روش های کارآمدی مانند بادشکن مکانیکی برای کنترل این عرصه ها را اجتناب ناپذیر می کند. در بین انواع بادشکن های مکانیکی نیز بادشکن خاکی یکی از نمونه های بسیار ارزان قیمت و کارا می باشد که در هر منطقه ای می توان به نهاده مورد نیاز دسترسی پیدا کرده و آن را اجرا نمود. کاربرد دستگاه بادشکن ساز معرفی شده در این تحقیق، گامی مؤثر در اجرای ارزان تر و سریع تر بادشکن است. این دستگاه قادر است در زمان کم، دیواری با اندازه

## منابع

- Ahmadi, A., Ekhtesasi, MR, Feiznia, S. and Ghanei Bafti, M.J., 2003. Investigation of Wind Erosion Control Methods for Railway Protection (Case Study: Bafgh Region). *Iranian Journal of Natural Resources* 55(3), 337-327.
- Amiri, I., 2009. Master thesis. Comparative study of the effects of different windbreakers on wind speed variations in Jiroft and Kohnoj area, Zabol University, Faculty of Natural Resources. 120 pp.
- Asghari, S., 2004. Soil Physics Leaflet. University of Mohaghegh Ardabil.
- Azough, L., Jafari, S., 2018. Interaction of petroleum mulching, vegetation restoration and dust fallout on the conditions of sand dunes in southwest of Iran. *Aeolian research* 32, 124-132.
- Campi, P., Palumbo, A. and Mastroilli, M.J.E., 2009. Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. 30, 220-227.
- Chang, X., Sun, L., Yu, X., Jia, G., Liu, J. and Liu, Z., 2019a. Effect of windbreaks on particle concentrations from agricultural fields under a variety of wind conditions in the farming-pastoral ecotone of northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 281, 16-24.
- Cornelis, W. and Gabriels, D., 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environments* 61, 315-332.
- Department of Environment, 2016. Mulching plan in Ali Biglu Pilot lands on the edge of Lake Urmia. Final Report of the Executive Plan. 12 pp.
- Dong, Z., Qian, G., Luo, W. and Wang, H., 2006. Threshold velocity for wind erosion: the effects of porous fences. *Environmental geology* 51, 471-475.
- Du, H., Wang, T., Xue, X. and Li, S., 2018. Modelling of sand/dust emission in Northern China from 2001 to 2014. *Geoderma* 330, 162-176.
- Ferreira, A., 2011. Structural design of a natural windbreak using computational and experimental modeling. 11, 517-530.
- Foereid, B., Bro, R., Mogensen, V.O. and Porter, J.R., 2002. Effects of windbreak strips of willow coppice—modelling and field experiment on barley in Denmark. *Agriculture, ecosystems & environment* 93, 25-32.
- Forest, Rangeland and Watershed Management Organization of Iran, 2014. Technical criteria and criteria for the construction of biological windbreakers. Vice President of Strategic Planning and Supervision. 15 pp.
- Gardner, W.H., 1986. Water content. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 5, 493-544.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W., 1986. "Particle-size analysis 1," *Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*.
- Ghaemina, A.M. and Hakimzadeh, MA., 2017. Investigating the role of non-lubricating windshield porosity in changing wind flow behavior.
- Ghasemi, H., Shahriari, A., Fakhira, A., Jafari, M. and Hadrabadi G., 2011. Influence of planting pattern and density of live windbreaker on wind speed in Hosseinabad plain.
- Haji Mir Sadeghi, h., Mohammad Ali, M. and Khaled Brin, A., 2015. Technical standards and criteria for the construction of a biological



- windbreaker, criterion 658. organization of forests, rangelands and watersheds of the country.
19. Heisler, G.M., Dewalle, A., ecosystems, and environment, 1988. 2. Effects of windbreak structure on wind flow. 22, 41-69.
  20. Kheirabadi, H., Mahmoodabadi, M., Jalali, V. and Naghavi, H., 2018. Sediment flux, wind erosion and net erosion influenced by soil bed length, wind velocity and aggregate size distribution. *Geoderma*, 323, 22-30.
  21. Khoshhal, V., Pour Khosravani A., 2013. Investigation of the role of windbreaker on some wheat agronomic properties in Isfahan. *Journal of Geography and Planning* 16 (42), 139-153.
  22. Kok, A., 2010. Analytical calculation of the minimum wind speed required to sustain wind-blown sand on Earth and Mars.
  23. Lee, K., Ehsani, R. and Castle, W., 2010. A laser scanning system for estimating wind velocity reduction through tree windbreaks. *Computers and electronics in agriculture* 73, 1-6.
  24. Ma, Q., Fehmi, J.S., Zhang, D., Fan, B. and Chen, F., 2017. Changes in wind erosion over a 25-year restoration chronosequence on the south edge of the Tengger Desert, China: implications for preventing desertification. *Environmental monitoring and assessment* 189,463.
  25. Ma, R., Li, J., Ma, Y., Shan, L., Li, X. and Wei, L., 2019. A wind tunnel study of the airflow field and shelter efficiency of mixed windbreaks. *Aeolian Research* 41,1005-1044.
  26. Miri, A., Dragovich, D. and Dong, Z., 2021. Wind flow and sediment flux profiles for vegetated surfaces in a wind tunnel and field-scale windbreak. *Catena* 196,104836.
  27. Mohammadi, A., Matinkhah, H. and Khajehuddin, J., 2010. Identification of scissor ecology as an effective species in controlling wind erosion. Second National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd, <https://civilica.com/doc/101042>
  28. Mohammadi, Q. and Mohammad Ali. Z., 2017. Investigating the role of non-lubricating windshield porosity in changing wind flow behavior.
  29. Namdar Khojasteh, D. and Bahrami, H., 2018. New windshield design for wind erosion control. Second International Dust Conference, Ilam.
  30. Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis part 3—chemical methods* 961-1010.
  31. Norton, A., 1988. Windbreaks: Benefits to orchard and vineyard crops. 22, 205-213.
  32. Park, C.W. and Lee, S.-J., 2002. Verification of the shelter effect of a windbreak on coal piles in the POSCO open storage yards at the Kwang-Yang works. *Atmospheric Environment* 36, 2171-2185.
  33. Raine, J. and Stevenson, D., 1977. Wind protection by model fences in a simulated atmospheric boundary layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2, 159-180.
  34. Refahi, H., 1999. Wind erosion and its control, University of Tehran Printing & Publishing Institute.
  35. Rhoades, J., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, 417-435.
  36. Sirjani, E., Sameni, A., Moosavi, A., Mahmoodabadi, M. and Laurent, B., 2019. Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma* 333, 69-80.
  37. Stigter, C. and Adam, H., 1996. On shelterbelt design for combating sand invasion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 57, 81-90.
  38. Takahashi, M., 1978. Wind tunnel test on the effect of width of windbreaks on the wind speed distribution in leeward. 33, 183-187.
  39. Tamang, B., Andreu, M.G., Friedman, M.H. and Rockwood, D.L., 2015. Windbreak designs and planting for Florida agricultural fields. FOR227. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences.
  40. Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods* 475-490.
  41. Torshizi, M.R., Miri, A. and Davidson-Arnott, R., 2020a. Sheltering effect of a multiple-row Tamarix windbreak—a field study in Niatak, Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 287,1079-1097.
  42. Torshizi, M.R., Miri, A., Shahriari, A., Dong, Z. and Davidson-Arnott, R., 2020b. The effectiveness of a multi-row Tamarix windbreak in reducing aeolian erosion and sediment flux, Niatak area, Iran. *Journal of Environmental Management* 265,1104-1186.
  43. Vacek, Z., Řeháček, D., Cukor, J., Vacek, S., Khel, T., Sharma, R. P., Kučera, J., Král, J. and Papaj, V., 2018. Windbreak Efficiency in Agricultural Landscape of the Central Europe: Multiple Approaches to Wind Erosion Control. *Environmental management* 62, 942-954.



## Evaluating the efficiency of bio-soil windbreaker device for wind erosion control: A Case Study of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Junqan District

Davood Namdar Khojasteh<sup>1\*</sup>, Salman Zareh<sup>2</sup>

Received: 10/02/2020

Accepted: 08/02/2021

### Expanded Abstract

**Introduction:** As serious problems especially in Iranian border provinces, wind erosion and dust storm exert harmful effects on human health and the environments, including reducing soil fertility, increasing desertification, etc. So far, a variety of efforts such as using polymers and mulch, vegetation, oil emulsions, microorganisms have been done to reduce wind erosion and stabilize the soil. However, none of them have proved effective due to special circumstances that exist in Iran. Therefore, using modern technologies for controlling wind erosion and reducing wind speed in Iran seems necessary. In this research which sought create a bio-soil windbreak to control wind erosion and reduce wind velocity, a new device called "Ridging device" was used to build a ridge or windbreak.

**Material and methods:** The ridging device comprises of three main parts, including the digging of soil part, mixing soil- polymer part, and the ridge maker part. This machine digs the soil from within 30 cm depth, transfer it to the conveyor where polymer (polymer suspension) is added, and finally pours the mixture of soil- polymer into the ridge maker part. As a result of the pressure exerted by two plates embedded in the ridge maker part, a ridge with a penetration resistance of 1.5 kg per square centimeter and an aggregate stability of 80% is created. Moreover, The penetration resistance of the ridge also increases with increasing polymer concentration. Through the settings placed at the end of the ridge maker part, the height and width of the ridge could be adjusted based on soil conditions, the region's climatic conditions, initial soil moisture, and other conditions. To investigate the effect of the ridges on reducing wind velocity, the latter was recorded at heights (Z) of 0.05 m, 0.1 m, 0.2 m, 0.4, and 0.6 m above the surface, and at distances (x) of -2.5H, -1.25H, -0.62H, 0.62H, 1.25H, 2.5H, 3.75H, 5H, 6.25H, 7.5H, 10H, and 12.5H from the ridge. It should be noted that for simulating wind erosion reduction with the ridge, a wind erosion measuring device with a speed of 15.6 m/s was used under laboratory conditions. The wind speed was measured with an AN-4330 Anemometer.

**Results and discussion:** The results of the wind velocity profile showed that the wind velocity increased with increasing distance from the soil surface and reached its initial constant value (15.6 m/s) at a distance of 20 cm from the soil surface. The study also found that the ridge effectively reduced wind speed in such a way that by

1. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran; d.namdar@shahed.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Tehran University, Tehran

DOI: 10.22052/deej.2021.10.30.1

increasing the distance from the ridge, the wind speed also increased and reached a constant trend at 10 to 12 times the height of the ridge. Moreover, it was found that the region's wind erosion threshold speed was 6.52 ms<sup>-1</sup> and the distance between the ridges was 20 m. Therefore, to control erosion with this method, 500 meters of the ridge per hectare is requires.

One of the advantages of this device is that constructing a ridger and controlling wind erosion is less costly compared to other techniques. Another important advantage of this ridger device over other living and non-living windbreaks is the accessible regional raw materials used in its construction. Generally, this ridge device is durable for four to five years, and it is constructed with low costs and no damages to the environment. This technique has no adverse effects on the environment and is very environmentally friendly. Given that the device is first of its kind, further studies are required for upgrading its design and function. Moreover, considering the special circumstances of Iran, effective policies and studies are needed for reducing air pollution and dust concentration in line with Iran's sustainable development.

**Conclusion:** Existence of nearly 30 million hectares of areas affected by wind erosion in Iran and various environmental stresses such as water shortage, soil salinity, erosive winds, etc., makes it necessary to use efficient methods such as mechanical windbreaks to control these areas. On the other hand, soil ridge is a very cheap though efficient mechanical windbreak that can be accessed and implemented in any area.

The application of the windbreak device introduced in this study would be an effective step in using cheaper and faster windbreaks. This device can create a ridge of desired size up to a maximum height of 70 cm in a short time, and thus greatly help control wind erosion. Finally, it is suggested that the performance of the device be evaluated in areas with different soil texture, climatic conditions, and topography

**Keywords:** Biopolymer, Sediment, Wind Reduction, Soilloss.