

بررسی میزان کاهش سرعت باد و رسوبات بادی توسط بادشکن گز چندردیفه در سه رخداد طوفان گردوغبار در سیستان

محسن رضایی ترشیزی، عباس میری*

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۱

چکیده

وقوع طوفان‌های گردوغبار از پیامدهای بیابان‌زایی در منطقه سیستان است و استفاده از گیاهان بومی منطقه در غالب بادشکن می‌تواند مؤثرترین راهکار برای کاهش وقوع این پدیده باشد. در این تحقیق، میزان کاهش سرعت باد و رسوبات بادی توسط یک بادشکن ۱۴ ردیفه از درختان گز در منطقه نیاتک زابل بررسی شد. سرعت باد و رسوبات بادی در بالادست بادشکن در $X = -100$ متری، داخل بادشکن در $X = 256$ متری و پایین‌دست بادشکن در $X = 448$ متری با نصب بادسنج‌هایی در ارتفاعات ۲۰، ۸۰، ۳۶۰، ۴۵۰، ۵۷۰ و ۷۰۰ سانتی‌متری و رسوب‌گیرهایی در ارتفاعات ۲۰، ۳۵، ۸۰، ۱۴۰، ۳۰۰، ۵۵۰ و ۷۰۰ سانتی‌متری طی سه رخداد طوفان گردوغبار و سه سرعت باد ۱۴، ۱۶ و ۱۹ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سرعت باد و رسوبات بادی در داخل بادشکن در تمام ارتفاعات کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. در بالادست و پایین‌دست بادشکن انحراف معیار رسوبات در ارتفاعات مورد بررسی از هم فاصله داشته ولی داخل بادشکن به هم نزدیک شده است. کاهش بیش از ۳۰٪ سرعت باد و بیش از ۵۰٪ رسوبات بادی در ارتفاعات مورد بررسی توسط بادشکن نشان می‌دهد که بادشکن از کارایی مناسبی در کنترل فرسایش بادی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، بادشکن، بیابان‌زایی، گیاهان بومی، نیاتک زابل.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، نویسنده مسئول، miri.abbas@uoz.ac.ir

* این مقاله مستخرج از پایان نامه دانشجوی می باشد.

مقدمه

فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گردوغبار یکی از پیامدهای بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در نتیجه کاهش بارندگی و کمبود پوشش گیاهی تشدید می‌شود (میدلتون، ۲۰۱۷). قرار گرفتن بیش از ۳۰٪ از مساحت ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک و قرار گرفتن بر روی کمربند بیابان‌زایی باعث شده است تا مناطق وسیعی از ایران به‌خصوص در شرق و غرب کشور درگیر این پدیده باشند (میری و همکاران، ۲۰۰۹؛ شاهسونی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ابراهیم‌خوسفی، ۲۰۱۹؛ بروغنی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). طی سال‌های اخیر این پدیده به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی کشور تبدیل شده است. بنابراین یافتن بهترین و کارآمدترین روش برای کاهش وقوع و تشدید این پدیده ضروری است.

گیاهان به دلیل ساختار ویژه خود (تخلخل، انعطاف‌پذیری و...) بسیار مؤثرتر از انواع روش‌های غیربیولوژیکی (انواع مالچ‌ها و بادشکن‌های غیرزنده) در کاهش سرعت باد و فرسایش بادی عمل می‌کنند (گیلیز^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان انجام شده که مؤید نقش بسیار مؤثر گیاهان در کنترل فرسایش بادی است (برشرز^۴؛ ۲۰۰۹؛ بوری^۵ و همکاران، ۲۰۱۱؛ هاگن و کاسادا^۶؛ ۲۰۱۳؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷؛ هسپ^۷ و همکاران، ۲۰۱۹؛ هونک^۸ و همکاران، ۲۰۲۰). گیاهان سرعت باد در نزدیکی سطح زمین را با افزایش زبری کاهش می‌دهند (موزیک و جیلتی^۹؛ ۱۹۹۰؛ دونگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۱).

به‌طور کلی گیاهان در غالب بادشکن، کمربند سبز و به‌صورت تک‌بوته نقش بسزایی در کاهش سرعت باد و فرسایش بادی ایفا می‌کنند (دونگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ بوری

و همکاران، ۲۰۱۱؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹). بادشکن‌ها به‌صورت زنده و غیرزنده در یک ردیف و یا چند ردیف گیاه ایجاد می‌شوند (کلو^{۱۱}؛ ۱۹۹۸؛ کورنلیز و گابریل^{۱۲}؛ ۲۰۰۵). از آنجایی که گیاهان نقش مؤثرتری نسبت به موانع غیرزنده در کاهش سرعت باد و رسوبات بادی ایفا می‌کنند (گیلیز و همکاران، ۲۰۰۲؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷) بادشکن‌های زنده بسیار کارآمدتر از بادشکن‌های غیرزنده عمل می‌کنند. از طرفی بادشکن‌های چندردیفه نسبت به بادشکن‌های یک‌ردیفه بسیار مؤثرترند (وو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۵؛ چنگ^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹). میزان کارایی بادشکن‌ها به خصوصیات ساختاری آن‌ها از جمله ارتفاع بادشکن، میزان تخلخل و تراکم، عرض بادشکن، تعداد ردیف‌ها، فاصله بوته‌ها در هر ردیف و همچنین سرعت باد وابسته است (برندل^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۴؛ کورنلیز و گابریل، ۲۰۰۵؛ گائو^{۱۶}؛ ۲۰۱۰؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷؛ کوسرا^{۱۷} و همکاران، ۲۰۲۰).

سرعت باد و رسوبات بادی در محدوده‌ای بعد از بادشکن کاهش می‌یابد که این محدوده نیز تحت تأثیر خصوصیات ذکر شده می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که بادشکن‌های با تخلخل ۲۰ تا ۴۰٪ بیشترین راندمان را در کاهش سرعت باد و رسوبات بادی دارند و می‌توانند در محدوده‌ای حدود ۵ برابر ارتفاع خود در بالادست و ۳۰ تا ۳۵ برابر ارتفاع خود در پایین‌دست بر سرعت باد تأثیرگذار باشند (گیلیز و همکاران، ۲۰۰۰؛ لی و شرمن^{۱۸}؛ ۲۰۱۵؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۰؛ دونگ و همکاران، ۲۰۱۲). در کنار پارامترهای اشاره‌شده الگوی کشت نیز بر کارایی بادشکن‌ها مؤثر است. در تحقیقی، تأثیر الگوی کشت و تراکم بادشکن زنده از دو گونه ذرت علوفه‌ای و سورگوم اسپیدفید با دو آرایش و سه تراکم بر سرعت باد در دشت حسین‌آباد سربیشه بررسی شد و نتایج نشان داد که تأثیر

1. Middleton
2. Shamsavani
3. Boroghani
4. Gillies
5. Breshears
6. Burri
7. Hagen and Casada
8. Hesp
9. Hong
10. Musick and Gillettie 0
11. Dong 1

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 . Cleugh | 2 |
| 1 . Cornelis, W. & Gabriels | 3 |
| 1 . Wu | 4 |
| 1 . Cheng | 5 |
| 1 . Brandle | 6 |
| 1 . Gao | 7 |
| 1 . Kučera | 8 |
| 1 . Li and Sherman | 9 |

شرایط میدانی باشد (وو و همکاران، ۲۰۱۵؛ قائمی‌نیا و حکیم‌زاده، ۲۰۱۷؛ فانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۹). پژوهش حاضر به بررسی تأثیر یک بادشکن زنده در شرایط میدانی در سرعت‌ها و رخدادهای مختلف طوفان گردوغبار پرداخته است و نتایج آن می‌تواند در کنترل فرسایش بادی استفاده شود. بررسی تغییرات عمودی سرعت باد و رسوبات بادی از سطح زمین تا دو برابر ارتفاع بادشکن در خارج و داخل بادشکن در این پژوهش علاوه بر اینکه اطلاعات مفیدی را از نحوه تأثیر بادشکن بر این دو پارامتر در نقاط ارتفاعی مختلف در اختیار محققان فرسایش بادی قرار می‌دهد، در ارزیابی مدل‌های فرسایش بادی و طراحی بادشکن‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت سیستان با مساحت ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی بین ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جغرافیایی در جنوب شرق ایران واقع شده است. این منطقه با میانگین بارندگی سالانه ۵۰/۹ میلی‌متر و تبخیر سالانه حدود ۴۷۷۵ میلی‌متر دارای اقلیم فراخشک و بیابانی است. ارتفاع آن از سطح دریا ۴۸۰ متر بوده و وزش بادهای ۱۲۰ روزه مهم‌ترین ویژگی این منطقه است. بادشکن مورد مطالعه در منطقه نیاتک در شرق سیستان در موقعیت جغرافیایی بین ۶۰ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). منطقه نیاتک از وسعتی حدود ۴۸۲۰ هکتار برخوردار بوده و به‌عنوان یکی از کانون بحرانی فرسایش بادی سیستان شناخته شده است. وجود تپه‌های ماسه‌ای روان در منطقه، مؤید عبور مقدار زیادی از رسوبات بادی در این منطقه است. این منطقه همواره در یکی از دالان‌های گردوغبار قرار گرفته است؛ به‌طوری که غلظت گردوغبار در این منطقه بیشتر از سایر مناطق سیستان است (شکل ۱). بادشکن مورد مطالعه در حقیقت یکی از مناطق

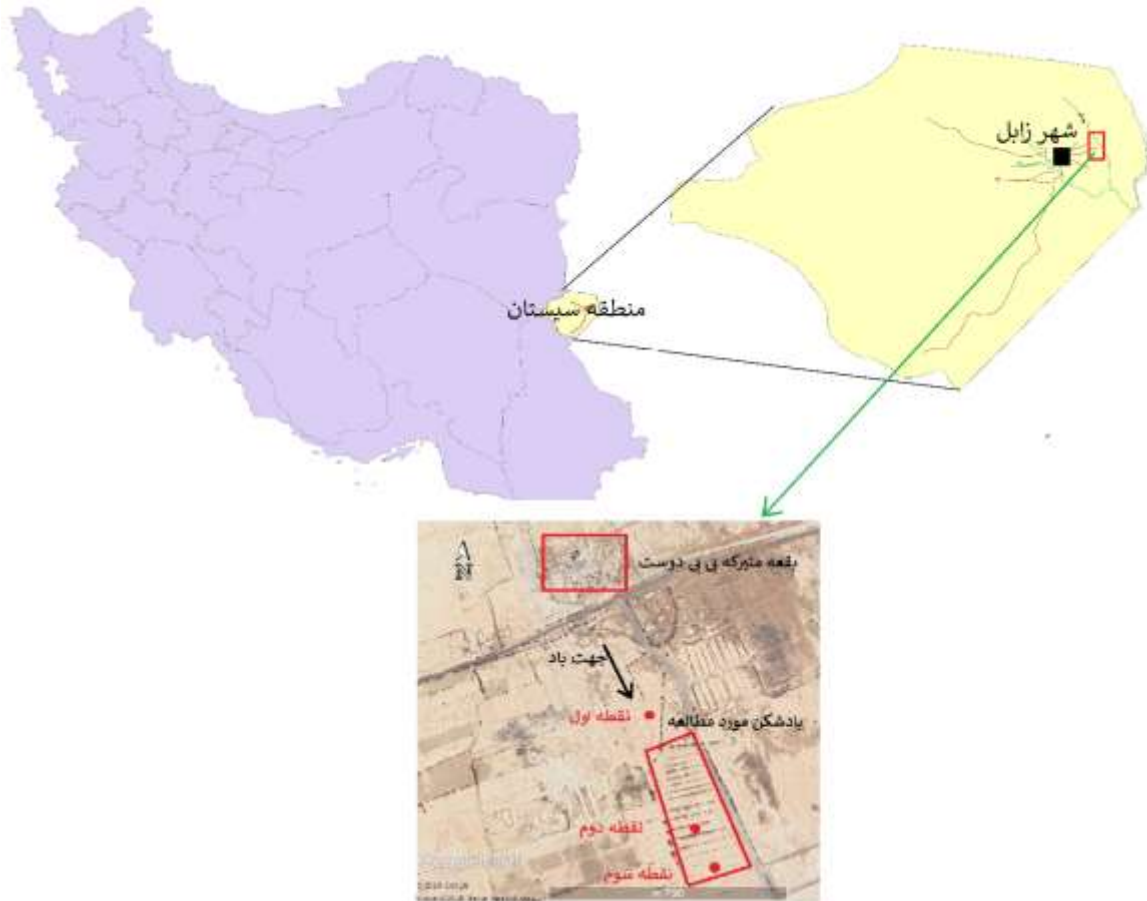
تراکم بر کاهش سرعت باد در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین مشاهده شد که آرایش مثلی گیاهان و تراکم ناشی از فاصله کاشت ۶۰ سانتی‌متر مطلوب‌ترین آرایش و تراکم در کاهش سرعت باد است؛ زیرا با این تراکم و آرایش مسافت بیشتری در پایین‌دست بادشکن محافظت می‌شود (قاسمی و همکاران، ۲۰۰۹). قائمی‌نیا و حکیم‌زاده (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر بادشکن غیرزنده از جنس آجر چینی مشبک در یک دستگاه تونل باد پرداختند و ایجاد تراکم بهینه با کاربرد الگوهای آجر چینی مشبک را برای احداث بادشکن‌های غیر زنده پیشنهاد کردند.

منطقه سیستان در شرق ایران یکی از کانون‌های فرسایش بادی است و وقوع و تشدید طوفان‌های گردوغبار از پیامدهای آن می‌باشد (گودی^۱ و میدلتون، ۲۰۰۱؛ میری و همکاران، ۲۰۰۹). این طوفان‌ها نه تنها منطقه سیستان بلکه کشورهای افغانستان و پاکستان را نیز تحت‌تأثیر قرار داده و اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای را ایجاد می‌کنند (راشکی^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین به‌منظور کنترل فرسایش بادی و کاهش وقوع طوفان‌های گردوغبار و جلوگیری از خسارات زیان‌بار آنها، یافتن راهکارهای مناسب امری ضروری به نظر می‌رسد (گودی و میدلتون، ۲۰۰۱؛ میری و همکاران، ۲۰۰۹؛ گودی، ۲۰۱۴). اگرچه منطقه سیستان سال‌هاست تحت‌تأثیر فرسایش بادی شدید و وقوع طوفان‌های گردوغبار قرار دارد، تحقیقات کاربردی در خصوص تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف و ارزیابی کارایی گونه‌های بومی در غالب تک‌بوته یا بادشکن بر سرعت باد و فرسایش بادی در این منطقه انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر یک بادشکن گز چندردیفه بر سرعت باد و رسوبات بادی با بررسی تغییرات این دو پارامتر در ارتفاعات مختلف از سطح زمین تا دو برابر ارتفاع بادشکن در خارج و داخل بادشکن در منطقه سیستان انجام گرفته است. از طرفی تحقیقات انجام‌شده در گذشته عمدتاً با شبیه‌سازی بادشکن‌ها در شرایط کنترل‌شده (داخل دستگاه تونل باد) به بررسی کارایی آن‌ها در کاهش سرعت باد پرداخته‌اند که نتایج این تحقیقات نمی‌تواند به‌طور کامل گویای عملکرد بادشکن‌ها در

1. Goudie
2. Rashki

3. Fang

نهال کاری شده توسط اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان زابل می باشد که با هدف کنترل و تثبیت ماسه های روان احداث شده است. این بادشکن یک بادشکن ۱۴ ردیفه است که درختان گز (*Tamarix aphylla*) بر روی ردیف هایی عمود بر جهت باد کشت شده اند. فاصله بین ردیف ها ۲۱-۳۲ متر و فاصله درختان روی هر ردیف حدود ۱/۵ متر است. تراکم بادشکن حدود ۸٪، متوسط ارتفاع بادشکن ۴ متر و تخلخل آن ۴۰٪ برآورد شد (ترشیزی و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل (۱): موقعیت منطقه سیستان بر روی نقشه ایران (با رنگ زرد مشخص شده است)، موقعیت منطقه نیاتک (با مستطیل قرمز مشخص شده است) و موقعیت بادشکن مورد مطالعه و نقاط اندازه گیری سرعت باد و رسوبات بادی در منطقه نیاتک

Figure (1): Location of the Sistan region on the Iran's map (is indicted by yellow color), location of Niatak area in the Sistan region (is indicted by a red rectangular) and locations of the windbreak and monitored points of wind speed and sediment flux in Niatak area

سرعت باد و رسوبات بادی در سه نقطه (شکل ۱) در نقاط در جدول (۱) آورده شده است.

طی سه رخداد طوفان گردوغبار اندازه گیری شد. موقعیت

جدول (۱): موقعیت نقاط نمونه برداری و فاصله آنها از بادشکن (اولین ردیف بادشکن به عنوان صفر، بالادست بادشکن با عدد منفی و داخل و بعد از بادشکن با اعداد مثبت نمایش داده شده اند)

Table (1): Location of sampling and their distance to the windbreak (the first row is considered as zero, distance upwind of the first row is expressed as a negative value and distance downwind of the first row is expressed as a positive value)

فاصله (متر) از اولین ردیف بادشکن	موقعیت نقاط نسبت به بادشکن	نقاط نمونه برداری
X = -۱۰۰	بالادست بادشکن	۱
X = ۲۵۶	داخل بادشکن بین ردیف های ۱۰ و ۱۱	۲
X = ۴۴۸	پایین دست بادشکن و ۴۰ متر فاصله از آخرین ردیف بادشکن	۳

برای اندازه گیری سرعت باد از ۷ عدد بادسنج فنجانی - قابلیت اندازه گیری سرعت های باد از صفر تا ۵۰ متر بر ثانیه دیجیتالی مدل Samrt Biene استفاده شد. این بادسنج ها که را با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه دارند، به وسیله یک کابل به یک

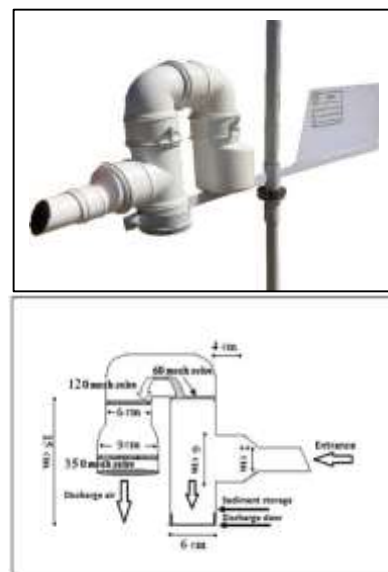
(شکل ۲ الف). رسوب گیرها در ارتفاعات ۲۰، ۳۵، ۸۰، ۱۴۰، ۳۰۰، ۵۵۰ و ۷۰۰ سانتی متری بر روی پایه‌ای ۷ متری نصب شدند (شکل ۲). این رسوب گیرها به وسیله بازوهای که از یک طرف به پایه ۷ متری متصل بودند، نگه داشته می‌شد. لازم بود تا پایه ۷ متری توسط سیم بوکسل‌هایی محکم شده تا از سرنگونی آن‌ها در طی طوفان جلوگیری گردد. قبل از شروع هر طوفان، رسوب گیرها در نقاط مورد نظر نصب شده و پس از پایان طوفان و آرام شدن هوا جمع‌آوری می‌شدند. سپس رسوبات جمع‌آوری شده داخل کیسه‌های نایلونی (از قبل کدگذاری شده بود) تخلیه می‌شدند. رسوبات جمع‌آوری شده به وسیله یک ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ در آزمایشگاه وزن و یادداشت می‌شد.

دیتالاگر دیجیتالی وصل می‌شوند و این دیتالاگر سرعت‌های باد را در هر ثانیه ثبت می‌کند. به منظور اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاعات مختلف از نزدیک سطح زمین تا حدود دو برابر ارتفاع بادشکن بادنچ‌ها در ارتفاعات ۲۰، ۸۰، ۳۶۰، ۵۷۰ و ۷۰۰ سانتی متر بر روی یک پایه ۷ متری نصب شدند (شکل ۲). اندازه‌گیری سرعت باد در ساعات اولیه صبح صورت می‌گرفت و در هر نقطه نمونه برداری سرعت باد در بازه زمانی ۱۵ دقیقه ثبت می‌شد.

اندازه‌گیری رسوبات بادی توسط ۲۱ رسوب گیر سیفونی نسل ۳ صورت گرفت. این نوع رسوب گیرها که از راندمان جذب (گیرش) حدود ۹۰٪ و راندمان نگهداشت حدود ۹۵٪ برخوردارند، با هدف اندازه‌گیری ذرات جهشی و معلق طراحی و ساخته شده‌اند (اختصاصی و همکاران، ۲۰۱۷)



ب



الف

شکل (۲): (الف) رسوب گیر و (ب) بادنچ‌های نصب شده در ارتفاعات مختلف بر روی پایه هفت متری
Figure (2): (a) Sand sampler and (b) installed anemometers at different heights on a 7 m tower

در بالادست بادشکن ($X = -100$ متری) تا نقطه دوم در داخل بادشکن ($X = 256$ متری) و نقطه سوم در پایین دست بادشکن ($X = 448$ متری) نشان داده شده است. توزیع افقی سرعت باد نشان می‌دهد که در تمامی سرعت‌های مورد بررسی، سرعت باد در داخل بادشکن، یعنی در نقطه ۲ ($X = 256$ متری) کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. این نتایج

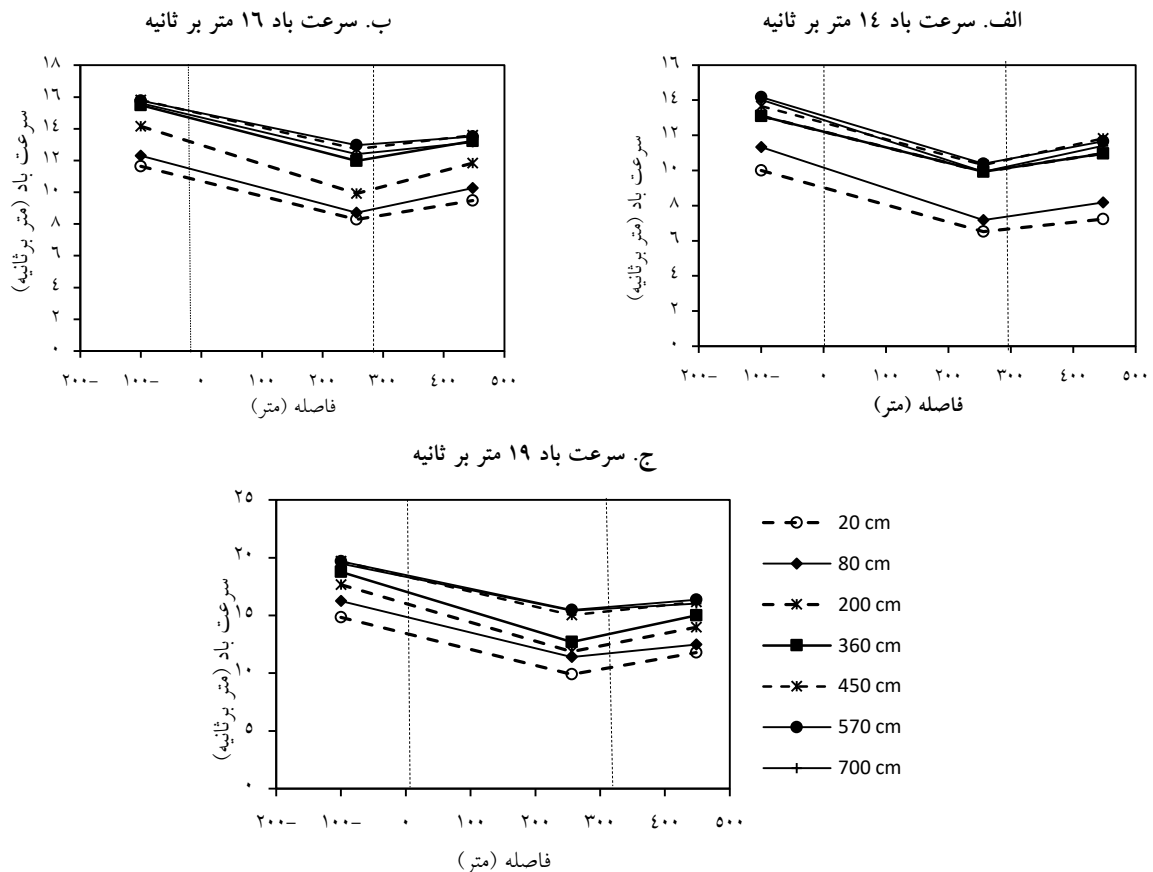
از آنجایی که انحراف معیار، یک معیار مناسب برای نشان دادن پراکندگی داده‌های آماری است، در این تحقیق از انحراف معیار رسوبات بادی برای نشان دادن نحوه تغییرات رسوبات در نقاط مورد بررسی استفاده شد.

نتایج

در شکل (۳) تغییرات سرعت باد (توزیع افقی) از نقطه اول

می‌باشد. البته میزان تأثیر کمتر از ارتفاعات پایین و داخل بادشکن است. اگرچه روند افزایشی سرعت باد از نقطه ۲ به طرف نقطه ۳ در پایین دست بادشکن دیده می‌شود، مقدار سرعت باد در نقطه سوم ($X = 448$ متری) نسبت به نقطه اول ($X = -100$ متری) کمتر می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر بادشکن بر سرعت باد در پایین دست بادشکن است.

مؤید آن است که بادشکن به طور قابل ملاحظه‌ای بر سرعت باد تأثیر گذاشته و باعث کاهش سرعت باد می‌شود. کاهش سرعت باد در تمام ارتفاعات از نزدیک سطح زمین (ارتفاع ۲۰ سانتی متری) تا دو برابر ارتفاع بادشکن (۷۰۰ سانتی متری) نیز مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیرگذاری بادشکن بر سرعت باد حتی در ارتفاعات بالاتر و در بالای بادشکن نیز



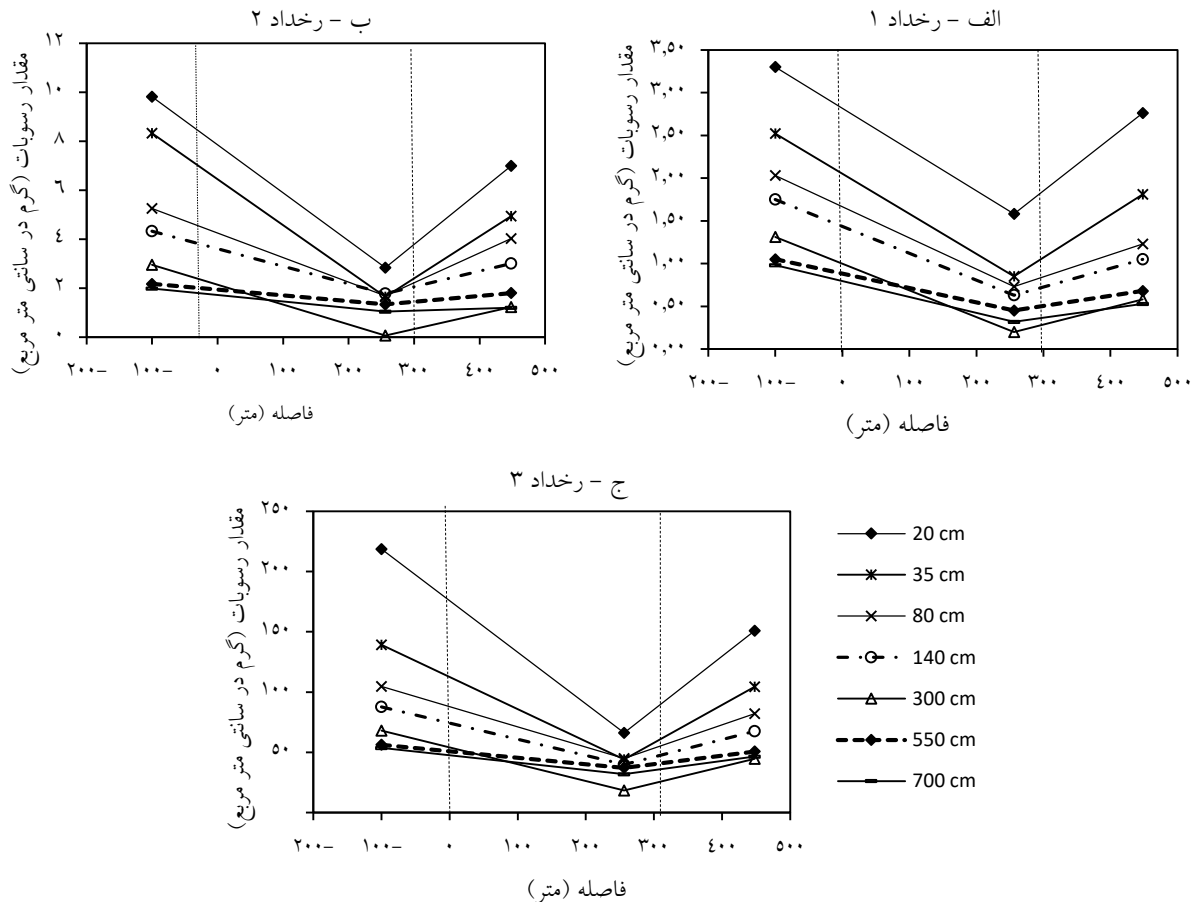
شکل (۳): تغییرات سرعت باد داخل و پایین دست بادشکن در سه سرعت باد (محدوده بادشکن بین دو خط شکسته است)

Figure (3): Variation of wind speed within and downwind of the windbreak in the three wind speeds (the area of the windbreak is indicated by dash lines)

داخل بادشکن می‌باشد. این شکستگی که در تمام ارتفاعات از نزدیک سطح زمین (ارتفاع ۲۰۰ سانتی متری) تا دو برابر ارتفاع بادشکن (۷۰۰ سانتی متری) نیز مشاهده می‌شود، مؤید آن است که بادشکن بر توزیع افقی رسوبات حتی در بالاتر از ارتفاع خود نیز تأثیر گذاشته است؛ برای مثال در رخدادهای در ارتفاع ۲۰۰ سانتی متری (نزدیک سطح زمین) مقدار رسوبات بادی $۳/۳۰$ ، $۱/۵۸$ و $۲/۷۶$ گرم در سانتی مربع، در ارتفاع ۱۴۰ سانتی متری برابر با $۱/۷۵$ ، $۰/۶۳$ و $۱/۰۵$ گرم در سانتی مربع و در ارتفاع ۷۰۰ سانتی متری برابر با $۰/۹۸$ ، $۰/۳۲$

در شکل (۴)، تغییرات رسوبات بادی (توزیع افقی) از نقطه اول در بالادست بادشکن ($X = -100$ متری) تا نقطه دوم در داخل بادشکن ($X = 256$ متری) و نقطه سوم در پایین دست بادشکن ($X = 448$ متری) نشان داده شده است. در هر سه رخداد مورد بررسی، الگوی توزیع افقی رسوبات بادی (تغییرات افقی رسوبات بادی) همانند الگوی توزیع افقی سرعت باد است. همانند سرعت باد، شکستگی قابل توجهی در توزیع افقی رسوبات بادی در تمامی ارتفاعات رخ داده است که نشان‌دهنده کاهش قابل ملاحظه رسوبات در

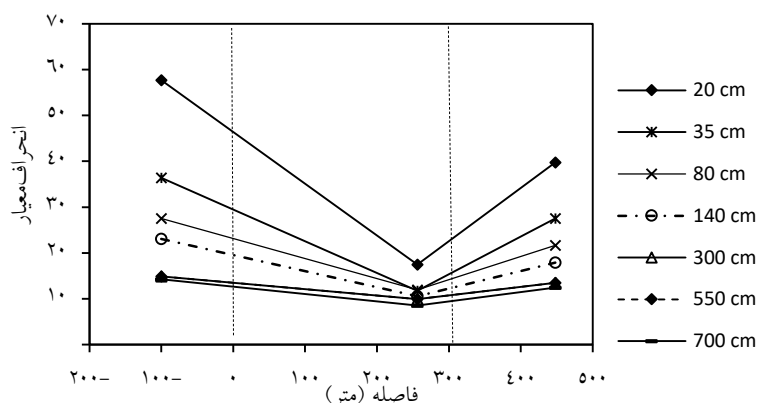
و ۰/۵۳ گرم در سانتی‌مربع به ترتیب در نقاط اول ($X = -100$) متری)، دوم ($X = 256$) متری) و سوم ($X = 448$) متری) می‌باشد. همچنین در ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متری مقدار رسوبات بادی در رخدادهای ۲ برابر $1/78$ ، $4/32$ و ۳ گرم در سانتی‌مربع و در رخدادهای ۳ برابر $87/63$ ، $39/9$ و $67/66$ گرم در سانتی‌مربع به ترتیب در نقاط اول ($X = -100$) متری)، دوم ($X = 256$) متری) و سوم ($X = 448$) متری) می‌باشد.



شکل (۴): تغییرات رسوبات بادی داخل و پایین‌دست بادشکن در طی سه رخداد مورد بررسی (محدوده بادشکن بین دو خط شکسته است)
 Figure (3): Variation of sediment within and downwind of the windbreak in the three dust storm events (the area of the windbreak is indicated by dash lines)

نکته قابل توجه در تغییرات مقدار رسوبات در نقاط مورد بررسی این است که مقدار رسوبات در نقطه اول ($X = -100$) متری) در ارتفاعات پایین از هم فاصله بیشتری نسبت به ارتفاعات بالا داشته و همچنین در داخل بادشکن مقادیر در ارتفاعات پایین به مقادیر در ارتفاعات بالا نزدیک می‌شود. این مشاهدات با مقادیر انحراف معیار در سه نقطه مورد نظر و در ارتفاعات مختلف مطابقت دارد (شکل ۵). مقادیر انحراف معیار در ارتفاعات و نقاط مورد بررسی نشان می‌دهد که انحراف معیار در ارتفاعات مورد بررسی در نقطه اول یعنی بالادست بادشکن ($X = -100$) متری) از هم فاصله داشته ولی در داخل بادشکن و در نقطه دوم ($X = 256$) متری) به هم نزدیک می‌شوند. در نقطه

سوم یعنی در پایین‌دست بادشکن ($X = 448$) متری) مقادیر از هم فاصله گرفته اما کمتر از نقطه اول و بیشتر از نقطه دوم. از طرفی، مقادیر انحراف معیار در داخل بادشکن کمتر از خارج بادشکن است. مقادیر انحراف معیار در پایین‌دست بادشکن نیز کمتر از بالادست بادشکن است. این نتایج مؤید آن است که در بالادست بادشکن یعنی در نقطه اول پراکندگی، مقادیر رسوبات از داخل و پایین‌دست بادشکن بیشتر است. در داخل بادشکن مقادیر رسوبات در داخل بادشکن از پراکندگی کمی برخوردار بوده و به مقدار میانگین نزدیک است. هرچه مقدار انحراف معیار کمتر و به صفر نزدیک‌تر باشد، پراکندگی کمتر رسوبات در اطراف میانگین را نشان می‌دهد (علیزاده، ۲۰۰۶؛ رضایی و



شکل (۵): انحراف معیار رسوبات بادی در سه نقطه مورد بررسی در ارتفاعات مختلف (محدوده بادشکن بین دو خط شکسته است)

Figure (3): Variation of standard deviation in the three locations at different heights (the area of the windbreak is indicated by dash lines)

می باشد. در سرعت ۱۶ متر بر ثانیه در رنج ۲۰ تا ۲۵٪ و در سرعت ۱۹ متر بر ثانیه در رنج ۳۰ تا ۳۳٪ می باشد. این نتایج نشان می دهد که مقدار سرعت باد در داخل بادشکن یعنی در نقطه دوم و در ارتفاعات ۲۰ تا ۳۶۰ سانتی متری بین ۶۵ تا ۷۰٪ مقدار آن قبل از بادشکن (نقطه اول: $X = -100$ متری) می باشد. مقادیر کاهش سرعت باد در بالای بادشکن نیز قابل ملاحظه بوده و در دو ارتفاع بالا (۵۷۰ و ۷۰۰ سانتی متری) در سه سرعت باد نیز یکسان است و در رنج ۱۸ تا ۲۳٪ در نقطه دوم ($X = 256$ متری) و در رنج ۱۴ تا ۱۸٪ در نقطه سوم ($X = 448$ متری) مشاهده می شود؛ به عبارت دیگر، مقدار سرعت باد در بالای بادشکن بین ۷۷ تا ۸۶٪ مقدار آن قبل از بادشکن در نقطه اول ($X = -100$ متری) است.

در جدول (۲)، درصد کاهش سرعت باد در نقاط دوم و سوم (۴۴۸ و $X = 256$ متری) در ارتفاعات مختلف نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که میزان کاهش سرعت باد در داخل بادشکن در هر سه سرعت باد تقریباً به یک میزان است؛ برای مثال درصد کاهش سرعت باد در ارتفاع ۲۰ سانتی متری در داخل بادشکن ($X = 256$ متری) برابر ۳۵، ۲۹ و ۳۲ به ترتیب در سرعت های ۱۴، ۱۶ و ۱۹ متر بر ثانیه است. همچنین در ارتفاع ۲۰۰ سانتی متری درصد کاهش سرعت باد در رنج ۳۰ تا ۳۵٪ در طی سه سرعت باد می باشد. از طرفی، کاهش سرعت باد در داخل بادشکن در ارتفاعات ۲۰ تا ۳۶۰ سانتی متری در هر سه سرعت تقریباً به یک میزان است. در سرعت ۱۴ متر بر ثانیه، درصد کاهش سرعت باد داخل بادشکن در ارتفاعات ۲۰ تا ۳۶۰ سانتی متر در رنج ۳۳ تا ۳۵٪

جدول (۲): درصد کاهش سرعت باد در ارتفاعات مختلف در سرعت های مختلف

Table (2): Percentage of wind speed reduction at different heights in various wind speeds

ارتفاعات مختلف از سطح زمین تا دو برابر ارتفاع بادشکن							نقاط نمونه برداری	سرعت باد
۷۰۰ cm	۵۷۰ cm	۴۵۰ cm	۳۶۰ cm	۲۰۰ cm	۸۰ cm	۲۰ cm		
۲۳	۲۱	۳۳	۳۴	۳۵	۳۳	۳۵	متر ۲۵۶	۱۴ متر بر ثانیه
۱۶	۱۴	۱۶	۲۰	۲۵	۲۲	۲۵	متر ۴۴۸	
۲۱	۱۸	۲۰	۲۳	۳۰	۲۹	۲۹	متر ۲۵۶	۱۶ متر بر ثانیه
۱۶	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	متر ۴۴۸	
۲۱	۲۱	۲۴	۳۲	۳۳	۳۰	۳۲	متر ۲۵۶	۱۹ متر بر ثانیه
۱۸	۱۷	۱۸	۲۰	۲۱	۲۲	۲۱	متر ۴۴۸	

شده است. نتایج نشان می دهد میزان کاهش رسوبات در داخل بادشکن در هر سه رخداد تقریباً به یک میزان است؛

در جدول (۳)، درصد کاهش رسوبات در نقاط دوم و سوم (۴۴۸ و $X = 256$ متری) در ارتفاعات مختلف نشان داده

آن‌ها توسط درختان به دام افتاده و قادر به حرکت به پایین دست نیستند. همچنین ۲۰ تا ۴۰٪ رسوبات در نقطه سوم و بعد از بادشکن ($X=448$ متری) در همه رخدادها کاهش یافته است. مانند سرعت باد که اگرچه کاهش رسوبات بادی در داخل بادشکن و در ارتفاعات ۲۰ تا ۳۶۰ سانتی‌متر قابل ملاحظه است، مقدار کاهش رسوبات نیز در بالای بادشکن و در ارتفاعات بالا قابل ملاحظه است. این نتایج نشان می‌دهد که حتی در ارتفاعات بالا نیز رسوبات بادی تحت تأثیر بادشکن قرار گرفته و به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته‌اند.

برای مثال درصد کاهش رسوبات در ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری در داخل بادشکن ($X=256$ متری) برابر ۵۹، ۷۲ و ۶۹ به ترتیب در رخدادهای ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. همچنین در ارتفاع ۲۰۰ سانتی‌متری، درصد کاهش رسوبات برابر ۶۴، ۶۸ و ۵۷ به ترتیب در رخدادهای ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. همانند سرعت باد رسوبات بادی نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای در داخل بادشکن کاهش یافته است؛ به طوری که در نقطه سوم ($X=256$ متری) رسوبات بین ۵۰ تا ۶۰٪ در رخداد ۱، ۶۰ تا ۸۰٪ در رخداد ۲ و ۵۵ تا ۷۰٪ در رخداد ۳ کاهش نشان داده است که این مقادیر قابل ملاحظه است؛ زیرا تقریباً از کل رسوباتی که از بالادست وارد بادشکن شده‌اند، بیش از نصف

جدول (۳): درصد کاهش رسوبات بادی در ارتفاعات مختلف طی سه رخداد طوفان گردوغبار

Table (2): Percentage of sediment reduction at different heights in the three dust storm events

ارتفاعات مختلف از سطح زمین تا دو برابر ارتفاع بادشکن								نقاط نمونه برداری	رخداد
۷۰۰ cm	۵۷۰ cm	۴۵۰ cm	۳۶۰ cm	۲۰۰ cm	۸۰ cm	۲۰ cm			
۶۸	۵۸	۸۵	۶۴	۶۴	۶۶	۵۹	۲۵۶ متر	رخداد ۱	
۵۶	۴۴	۶۴	۴۰	۴۰	۲۸	۱۷	۴۴۸ متر		
۴۸	۳۹	۶۰	۵۹	۶۸	۸۱	۷۲	۲۵۶ متر	رخداد ۲	
۳۹	۱۸	۵۹	۳۱	۲۴	۴۱	۲۹	۴۴۸ متر		
۴۱	۳۵	۷۳	۵۵	۵۷	۷۰	۶۹	۲۵۶ متر	رخداد ۳	
۱۳	۱۰	۳۵	۲۳	۲۲	۲۵	۳۱	۴۴۸ متر		

استفاده شود (وو، ۱۹۸۷؛ نامیکاس، ۲۰۰۳).

نتایج نشان داد که پوشش گیاهی مورد مطالعه که از درختان گز تشکیل شده است، سرعت باد و رسوبات بادی را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و همانند تحقیقات گذشته نقش گیاهان در کنترل فرسایش بادی را بیشتر روشن می‌کند (گیلیز، ۲۰۰۲؛ لیندرز و همکاران، ۲۰۰۷؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹). کاهش بیش از ۳۰٪ سرعت باد و بیش از ۵۰٪ رسوبات بادی توسط بادشکن در تمامی ارتفاعات از سطح زمین تا دو برابر ارتفاع بادشکن نشان می‌دهد که بادشکن از کارایی بالایی برخوردار است. ون د ون^۳ (۱۹۸۹) معتقد است که تراکم اندک پوشش گیاهی می‌تواند تأثیر بسزایی بر سرعت باد و رسوبات بادی داشته باشد. کاهش

بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه تحقیقاتی در خصوص تأثیر بادشکن‌های زنده و غیرزنده بر سرعت باد و فرسایش بادی صورت گرفته (قاسمی، ۲۰۰۹؛ لی و شرمن، ۲۰۱۵؛ وو و همکاران، ۲۰۱۵؛ قائمی‌نیا و حکیم‌زاده، ۲۰۱۷؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۹) اما تحقیق حاضر به بررسی تأثیر یک بادشکن زنده چندردیفه بر سرعت باد و رسوبات بادی در بادهای با سرعت‌های مختلف و طوفان‌های گردوغبار با بررسی تغییرات سرعت باد و رسوبات در ارتفاعات مختلف از بالادست تا داخل و پایین دست بادشکن پرداخته است و نتایج آن می‌تواند در طراحی بادشکن‌های زنده استفاده شود. توزیع سرعت باد و رسوبات بادی در ارتفاعات مختلف در این تحقیق می‌تواند برای اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش بادی، ارزیابی ظرفیت انتقال رسوب، ارزیابی فرسایش بادی و روش‌های کنترل آن

1. Namikas
2. Leenders
3. Van de Van

۵۰ درصدی فرسایش بادی در یک پوشش گیاهی با تراکم ۸ درصدی توسط بوکلی (۱۹۸۷) و در یک پوشش گیاهی با تراکم ۴ درصدی توسط آرمبراست و بیلبرو (۱۹۹۷) گزارش شده است.

اگرچه سرعت باد در یک رنج متوسط تا شدید می باشد و رخدادهای مورد بررسی از شدت متوسط تا زیاد برخوردارند، بادشکن قادر است تا سرعت باد و رسوبات بادی را در تمامی رخدادها به میزان مناسبی کاهش دهد. این توانایی بادشکن به دلیل ساختار بادشکن است. نتایج تحقیقات نشان داده است که بادشکن های چندردیفه از توانایی بیشتری نسبت به بادشکن های تکردیفه در کاهش سرعت باد و فرسایش برخوردارند (کورنیل و گابریل، ۲۰۰۵؛ لیندرز و همکاران، ۲۰۰۷؛ وو و همکاران، ۲۰۱۵؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۹). تخلخل بادشکن (۳۹٪) نیز یکی دیگر از خصوصیات ساختاری آن است که توانایی آن را در کاهش سرعت باد و رسوبات بادی افزایش داده است. تحقیقات نشان داده است که بادشکن های با تخلخل ۲۰ تا ۴۰٪ از بیشترین راندمان در کاهش فرسایش بادی برخوردارند (لی و همکاران، ۲۰۰۲).

کاهش سرعت باد و رسوبات در تمامی ارتفاعات مورد بررسی از سطح زمین تا دو برابر ارتفاع بادشکن (شکل ۳ و ۴) منطبق با مشاهدات میری و همکاران (۲۰۱۹) است. آن ها با بررسی تأثیر دو پوشش گیاهی بر سرعت باد و رسوبات بادی در دستگاه تونل باد در سرعت های مختلف باد مشاهده کردند که سرعت باد و رسوبات بادی در تمامی ارتفاعات مورد بررسی شان از سطح زمین تا بیشتر از دو برابر ارتفاع گیاهان کاهش یافته است. کاهش سرعت باد و رسوبات بادی در بالای بادشکن و تا ارتفاعی حدود دو برابر ارتفاع بادشکن به دلیل تأثیر زبری بادشکن است (فینینگان، ۲۰۰۰)؛ به طوری که گیاهان علاوه بر کاهش سرعت باد در داخل در ارتفاعات بالا نیز بر توزیع سرعت باد و رسوبات بادی تأثیر گذارند (میری و همکاران، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹). یانگ و همکاران (۲۰۰۶)

نیز در یک پوشش جنگلی مشاهده کردند که سرعت باد تا ارتفاعی حدود ۱/۵ برابر ارتفاع درختان سرعت باد کاهش یافته است.

کاهش قابل ملاحظه سرعت باد و رسوبات در انتهای بادشکن و در فاصله $X=256$ متری به دلیل افزایش تعداد درختان و به حداکثر رسیدن میزان تأثیرگذاری بادشکن است. با افزایش تعداد درختان میزان تأثیر گیاهان بر سرعت باد بیشتر می شود؛ به عبارت دیگر، تعداد بیشتری از درختان به عنوان مانع در برابر باد عمل می کند (گیلیز و همکاران، ۲۰۰۲؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷). در نتیجه سرعت باد به مقدار بیشتری کاهش یافته و قسمت اعظم رسوبات در انتهای بادشکن توسط درختان به تله می افتند.

روند تغییرات مقدار رسوبات از بالادست بادشکن به داخل و پایین دست بادشکن منطبق با روند تغییرات سرعت باد است؛ به طوری که منطبق با کاهش سرعت باد رسوبات بادی در داخل بادشکن کاهش می یابد. به دلیل تأثیر زبری درختان بر جریان هوا (وولف و نیکلینگ، ۱۹۹۳)، سرعت باد کاهش یافته که این خود باعث کاهش سرعت رسوبات در حال حرکت به زیر سرعت آستانه انتقال ذرات می شود (بگنولد، ۱۹۹۴). در نتیجه کاهش سرعت رسوبات به زیر آستانه انتقال، مقدار زیادی از رسوبات قادر به حرکت و ادامه مسیر نبوده و داخل بادشکن رسوب می کنند. در پایین دست بادشکن و در فاصله ای از بادشکن هنوز تأثیر زبری درختان بر رسوبات بادی اعمال می شود؛ به طوری که مقداری از رسوبات که از بادشکن خارج شده، در پایین دست بادشکن و در نقطه سوم رسوب می کنند. میری و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش رسوبات در پایین دست پوشش های گیاهی مورد بررسی شان را گزارش کرده اند. از طرفی اگرچه سرعت باد و مقادیر رسوبات در پایین دست بادشکن افزایش نشان می دهد، این مقادیر کمتر از مقدار اولیه آن ها در جلو بادشکن یعنی نقطه اول می باشد. این مشاهدات نشان می دهد که پاسخ بادشکن به رسوبات بادی همانند پاسخ آن به سرعت باد است. میری و همکاران (۲۰۱۷) و

7. Wolfe and Nickling
8. Bagnold

1. Buckley
2. Armbrust and Bilbro
3. Cornelis and Gabriels
4. Lee
5. Finnigan
6. Yang

فرسایش بادی به خصوص در مناطقی که درگیر فرسایش بادی شدید و طوفان‌های گردوغبارند، استفاده شود. در این حین، از گیاهان بومی منطقه به دلیل سازگار بودن با شرایط منطقه استفاده شود و راندمان گونه‌های مختلف (گز، تاغ و...) در کاهش سرعت باد و فرسایش بادی مورد ارزیابی قرار گیرند تا از گونه‌هایی استفاده گردد که بیشترین راندمان را دارند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه زابل با شماره پژوهانه ۶۶-۹۶۱۸ UOZ-GR انجام گرفت.

رسوبات بادی در پوشش‌های گیاهی مورد بررسی‌شان دست یافتند و بیان کردند که پاسخ گیاهان به رسوبات بادی همانند پاسخ به سرعت باد است.

به طور کلی یافته‌های این تحقیق نقش مؤثر بادشکن‌ها را در کاهش سرعت باد و فرسایش بادی نشان داد. بادشکن‌های چندردیفه می‌توانند به طور مؤثر در کاهش سرعت باد و فرسایش بادی در مناطقی که درگیر فرسایش بادی شدید و طوفان‌های گردوغبارند استفاده شوند. این بادشکن‌ها می‌توانند در سرعت‌های مختلف باد و طوفان‌های با شدت مختلف، نقش مؤثری در کاهش فرسایش بادی ایفا کنند. پیشنهاد می‌شود از بادشکن‌های چندردیفه برای کاهش سرعت باد و

منابع

- Alizadeh, A., 2006. Weather and continent (9th Ed.) Mashhad: Ferdousi Mashhad University Pub.
- Armbrust, D.V. and Bilbro Jr., J.D., 1997. Relating plant canopy characteristics to soil transport capacity by wind. *Agronomy Journal*, 89 (2): 1.
- Bagnold, R.A., 1941. The physics of wind blown sand and desert dunes. Methuen, London, 265.
- Boroughani, M., Pourhashemi, S. and Zarei, M., 2019. Identification of Dust Source Areas and its Characteristics in Eastern Iran. *Desert Ecosystem Engineer*, 25: 39-52 (in Farsi).
- Brandle, J.R., Hodges L. and Zhou, X.H. 2004. Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry System*, 61: 65-78.
- Breshears, D.D., Whicker, J.J., Zou, C.B., Field, J.P. and Allen, C.D., 2009. A conceptual framework for dryland aeolian sediment transport along the grassland-forest continuum effects of woody plant canopy cover and disturbance. *Geomorphology*, 105(1): 28-38.
- Buckley, R., 1987. The effect of sparse vegetation on the transport of dune sand by wind *Nature* 325 (6103): 426-428.
- Burri, K., Gromke, C., Lehning, M. and Graf, F., 2011. Aeolian sediment transport over vegetation canopies: A wind tunnel study with live plants. *Aeolian Research*. 3: 205-213.
- Cheng, H., He, W., Liu, C., Zou, X., Kang, L., Chen, T. and Zhang, K., 2019. Transition model for airflow fields from single plants to multiple plants. *Agriculture and Forest Meteorology*, 266: 29-42.
- Cleugh, H., 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforestry System*, 41(1): 55-84.
- Cornelis, W. and Gabriels, D., 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environment*, 61(2): 315-332.
- Dong, Z., Gao, S. and Fryrear, D.W., 2001. Drag coefficients, roughness length and zero-plane displacement height as disturbed by artificial standing vegetation. *Journal of Arid Environment*, 49 (3): 485-505.
- Dong, Z., Liu, X., Wang, X., 2002. Aerodynamic roughness of gravel surfaces. *Geomorphology*, 43 (1), 17-31.
- Dong, Z., Lv, P., Zhang, Z., Qian, G., Luo, W., 2012. Aeolian transport in the field: a comparison of the effects of different surface treatments. *Journal of Geophysical Research, Atmosphere*. 117 (9), 1984-2012.
- Ebrahimi Khosfi, Z., 2019. Analysis of the effect of wind speed and soil moisture on horizontal visibility variations caused by dust event in arid regions (Study region: southeast of Iran). *Desert Ecosystem Engineer*, 16: 49-58 (in Farsi).
- Ekhatesasi, MR., Saremi Naeini, M.A., Jaganbakhshi, F. and Mirnejad, O., 2017. Introduction and Comparison of adsorption and maintenance effect of sediment trap by erosion model of Siphoni Model III. Fourth national conference of wind erosion and dust storms. Yazd. Iran. (in Farsi).
- Fang, H., Wu, X., Zou, X. and Yang, X., 2018. An integrated simulation-assessment study for optimizing wind barrier design. *Agriculture and Forest Meteorology*. 263: 198-206.
- Finnigan, J., 2000. Turbulence in plant canopies. *Annual review of fluid mechanics*, 32: 519-571.
- Gao, H., 2010. Study on the windbreak and barrier sand effect of the low profile afforestation. Doctoral dissertation. Beijing Forestry University.
- Ghaemina, A.M. and Hakimzadeh, M.A., 2017. Investigation of abiotic windbreak porosity patterns on change of air flow. *Desert Ecosystem Engineer*. 16: 49-58 (in Farsi).
- Ghasemi, A., Shahriari, AR., Fakhireh, A., Jafari, M. and Haderbadi, G., 2009. Effect of pattern and density of live windbreak on the wind speed in the Hussein Abad plain, Sarbisheh. *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 89: 16-26 (in Farsi).
- Gillies, J.A., 2002. Drag coefficient and plant form response to wind speed in three plant species: burning Bush (*Euonymus alatus*), Colorado Blue Spruce (*Picea pungens glauca*) and Fountain Grass (*Pennisetum setaceum*). *Journal of Geophysical Research*, 107 (D24).

23. Goudie, A. and Middleton, N., 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56: 179-204.
24. Goudie, A.S., 2014. Desert dust and human health disorders. *Environment international*, 63: 101-113.
25. Hagen, L.J. and Casada, M.E., 2013. Effect of canopy leaf distribution on sand transport and abrasion energy. *Aeolian Research*. 10: 37-42.
26. Hesp, P.A., Yuxiang Dong, Hong Cheng and Booth, J.L., 2019. Wind flow and sedimentation in artificial vegetation: Field and wind tunnel experiments. *Geomorphology*, 337: 165-182.
27. Hong, C., Chenchen, L., Xueyong, Z., Huiru, L., Liqiang, K., Bo, L. and Jifeng, L., 2020. Wind erosion rate for vegetated soil cover: A prediction model based on surface shear strength. *CATENA*, 187: 104398.
28. Kučera, J., Podhrázská, J., Karásek, P. and Papaj, V., 2020. The Effect of Windbreak Parameters on the Wind Erosion Risk Assessment in Agricultural Landscape. *Journal of Ecological Engineering*, 21(2): 150-156.
29. Lee, S.-J., Park, K.-C. and Park, C.-W., 2002. Wind tunnel observations about the shelter effect of porous fences on the sand particle movements. *Atmospheric Environment*. 36:1453-1463.
30. Leenders, J.K., Boxel, J.H.v. and Sterk, G., 2007. The effect of single vegetation elements on wind speed and sediment transport in the Sahelian zone of Burkina Faso. *Earth Surfaces Process and Landforms*, 32(10): 1454-1474.
31. Li, B. and Sherman, D.J., 2015. Aerodynamics and morphodynamics of sand fences: A review. *Aeolian Research*, 17: 33-48.
32. Middleton, N.J., 2017. Desert dust hazards: a global review. *Aeolian Research*. 24, 53-63.
33. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N., and Ghanbari, A., 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*. 66: 343-55.
34. Miri, A., Dragovich, D. and Dong, Z., 2017. Vegetation morphologic and aerodynamic characteristics reduce aeolian erosion. *Scientific Reports*. 7(1): 12831
35. Miri, A., Dragovich, D. and Dong, Z., 2019. Wind-borne sand mass flux in vegetated surfaces-Wind tunnel experiments with live plants. *Catena*, 172: 421-434.
36. Musick, H. and Gillette, D., 1990. Field evaluation of relationships between a vegetation structural parameter and sheltering against wind erosion. *Land Degradation and Development*. 2 (2): 87-94.
37. Namikas, S.L., 2003. Field measurement and numerical modelling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach. *Sedimentology*, 50: 303-326.
38. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C.D., Eriksson, P.G., Qiang, M. and Gupta, P., 2012. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5: 51-62.
39. Rezaei, A. and Mirmohammadi Meiboudi, A.M., 2005. *Statistics and Probability (application in agriculture) (first ed.)*. Isfahan: Jihad-e- Daneshgahi of Isfahan University of Technology (In Farsi).
40. Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghhighifard, N.J., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Arahami, M., Sowlat, M.H., Yarahmadi, M., Saki, H. and Alimohamadi, M., 2012. The evaluation of PM10, PM2. 5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Journal of arid environments*, 77: 72-83.
41. Torshizi, M.R., Miri, A. and Davidson-Arnott, R., 2020. Sheltering effect of a multiple-row Tamarix windbreak—a field study in Niatak, Iran. *Agriculture Forest Meteorology*, 287: 107937.
42. Van de Ven, T., Fryrear, D. and Spaan, W., 1989. Vegetation characteristics and soil loss by wind. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44: 347-349.
43. Wolfe, S.A. and Nickling, W.G., 1993. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress Physical Geogrsphy*, 17(1): 50-68.
44. Wu, X., Zou, X., Zhou, N., Zhang, C. and Shi, S., 2015. Deceleration efficiencies of shrub windbreaks in a wind tunnel. *Aeolian Res*. 16, 11-23.
45. Wu, Z., 1987. *Aeolian geomorphology*. Beijing: Science Press. (in Chinese).
46. Yang, H., Lu, Q., Wu, B., Zhang, J. and Lin, Y., 2006. Vegetation diversity and its application in sandy desert revegetation on Tibetan Plateau. *Journal of arid environments*, 65(4); 619-631.29.

Investigating Wind Speed Reduction Rate and Aeolian Erosion via Multi-Row Windbreak in Three Dust Storm Events

Mohsen Rezaei Torshizi¹, Abbas Miri^{2*}

Received: 09/04/2020

Accepted: 11/06/2020

Extended abstracts

Introduction: Wind erosion results from desertification in arid and semi-arid regions and is intensified by any decrease in rainfall and vegetation. Sistan region, located in southeastern Iran, has been exposed to severe wind erosion and dust storms for about 23 years as a result of frequent and prolonged drought in the region and desiccation of Hamoun lakes. Therefore, finding appropriate methods for reducing wind erosion and controlling dust storms is essential. Using local vegetation is the most efficient method in this regard. This study investigated the reduction rate of wind speed and aeolian sediments within a fourteen-row windbreak in Niatak.

Material and Methods: The study windbreak is located in Niatak area in eastern Sistan region. Being located in a dusty corridor, the region is always exposed to severe dust storms. Therefore, to reduce wind erosion and control sediment movement, the area has been re-vegetated. The windbreak is actually one of those revegetated areas. Having been located perpendicular to the prevailing wind direction, it consists of 14 rows of *Tamarix* trees with a distance of 21-32 m between the row and 1.5 m between each tree on the row. The windbreak's mean height and porosity were obtained as 4 m and 39% respectively. Moreover, wind speed and aeolian sediments were measured at seven heights and three points, namely upwind ($x = -100$), within ($x = 256$), and downwind ($x = 448$) of the windbreak. Wind speed was monitored during three wind speeds of 14, 16 and 19 m/s and aeolian sediments was assessed throughout three dust storms. Seven anemometers were mounted at the heights of 20, 35, 80, 200, 360, 450, 570, and 700 cm, and seven sediment samples were installed at the heights of 20, 35, 80, 140, 300, 550, 570, and 700 cm. The sand samplers were installed before each event and were collected after the event. They were, then, emptied into labelled plastic bags, taken to the laboratory, and weighed with an electronic balance with a precision of 0.001 g. Standard deviations were measured for aeolian sediments at each point and height.

Results: The study's findings indicated that wind speed and aeolian sediment were decreased within the windbreak, and that the reduction rates were the same in all wind speeds and dust storm events. This reduction was roughly 30% for wind speed and more than 50% for aeolian sediment at all heights from the ground surface (0.2 m) to about two times the windbreak' height (7 m). Moreover, the rate of aeolian sediment was higher at downwind ($x = 448$) than within ($x = 256$) the windbreak, but less than the rate for the upwind of the windbreak

1. MSc student, Department of Watershed and Range Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

2. Assistant professor, Department of Watershed and Range Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran; miri.abbas@uoz.ac.ir
DOI: 10.22052/deej.2020.9.29.21

($x = -100$). It was also found that the horizontal pattern of aeolian sediment changed from upwind to within and downwind of the windbreak in according to the wind speed variations in all events. Similar to wind speed, a significant breaking was observed in the aeolian sediment patterns, indicating that the windbreak considerably affected wind speed and aeolian sediment in all heights, even in heights higher than its own one. The aeolian sediment' standard deviation within the windbreak was reported as being less than its value downwind and upwind of the windbreak. Moreover, the standard deviation values at different heights close within the windbreak were found to be close to each other and far from each one upwind of the windbreak. These findings suggested that the deviations of the aeolian sediment values were less within the windbreak than its upwind.

Discussion and Conclusions: This study investigated the effect of a multi-row windbreak on wind speed and aeolian sediment in three dust storm events and three wind speeds. The study's findings could be used for designing windbreaks. Moreover, the results of wind speed and aeolian sediment distribution at different heights are applicable to validating wind erosion models, assessing wind erosion and its control. The study's findings indicated the critical role of vegetation in reducing wind speed, aeolian sediment, and aeolian erosion. It was also found that windbreak reduced wind speed and aeolian sediment in all dust storms and wind speeds, suggesting effectiveness of the windbreak which results from its multi-row structure. Generally, the study's findings showed that windbreak was able to reduce wind speed and aeolian erosion in various dust storms and different wind speeds. Therefore, it could be argued that multi-row windbreaks are applicable for other regions of Iran that are engaged with severe wind erosion and dust storms.

Keywords: Windbreak, Wind Erosion, Sediment Flux, Wind Speed, Niatak Sistan.