

بررسی میدانی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد و شدت آشفته‌گی جریان هوا در خارج و داخل بادشکن زنده

عباس میری^{۱*}، علی شهریاری^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۶

چکیده

با وجود پژوهش‌های گسترده در خصوص تأثیر بادشکن‌ها بر سرعت باد و فرسایش بادی، ویژگی‌های دینامیکی باد از جمله تغییرات لحظه‌ای سرعت آن و شدت آشفته‌گی جریان هوا در خارج و داخل بادشکن‌ها به‌طور کامل بررسی نشده است؛ از این رو به منظور بررسی این ویژگی‌ها در خارج و داخل یک بادشکن زنده ۱۴ ردیفه با تخلخل ۳۹٪، طول حدود ۱۶۱ متر، عرض ۱۳۰-۱۶۰ متر و میانگین ارتفاع ۴ متر در منطقه نیاتک سیستان، سرعت باد در بالادست و پایین‌دست بادشکن از ارتفاع ۲۰ تا ۷۰۰ سانتی‌متری در دو سرعت باد ۱۰/۵ و ۱۹/۵ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که الگوی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد در تمامی ارتفاعات، در خارج و داخل بادشکن یکسان بود و سرعت باد در تمامی ارتفاعات به‌طور همزمان تغییر کرد. سرعت باد داخل بادشکن به‌طور چشمگیری کاهش یافت اما انحراف معیار و شدت آشفته‌گی افزایش داشت. بیشترین مقادیر انحراف معیار و شدت آشفته‌گی در ابتدای بادشکن، جایی که سرعت باد کمترین مقدار بود، مشاهده شد. شدت آشفته‌گی در بالادست بادشکن تقریباً یکسان بود اما در داخل بادشکن، اختلافی بین شدت آشفته‌گی در دو سرعت باد مشاهده شد و در پایین‌دست بادشکن، این اختلاف کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که بادشکن به‌طرز خیره‌کننده‌ای بر سرعت باد و شدت آشفته‌گی تأثیر گذاشت و انحراف معیار و شدت آشفته‌گی جریان هوا در دو سرعت باد مورد بررسی متفاوت بود.

کلیدواژه‌ها: گیاهان، فرسایش بادی، انحراف معیار، نیاتک، سیستان.

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

۲. استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

* این مقاله مستخرج از پژوهش علمی مستقل است.

مقدمه

استفاده از گیاهان به منظور کاهش سرعت باد، بسیار مؤثرتر از انواع روش‌های غیربیولوژیکی (انواع بادشکن‌های غیرزنده) است؛ زیرا گیاهان به دلیل انعطاف‌پذیری و ساختار ویژه خود نسبت به موانع غیرزنده، به‌طور مؤثرتری بر جریان هوا تأثیر گذاشته و نقش کارآمدتری در کاهش سرعت باد از خود نشان می‌دهند (گیلیز^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). به‌طور کلی، گیاهان با افزایش زبری خاک سرعت باد را کاهش داده و از این طریق نقش بسیار مؤثری را در کنترل فرسایش بادی ایفا می‌کنند (دونگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۱؛ وولف و نیکلینگ^۳، ۱۹۹۳). گیاهان همچنین بر پراکنش جریان هوا نزدیک سطح زمین تأثیر گذاشته و از این طریق بر فرسایش‌پذیری خاک مؤثرترند (فینینگان^۴، ۲۰۰۰؛ وولف و نیکلینگ، ۱۹۹۳). پاسخ گیاهان به جریان هوا نقش تعیین‌کننده‌ای بر میزان این تأثیرگذاری دارد و گیاهان با ساختار متفاوت تأثیرات متفاوتی را نشان می‌دهند (میری و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، بررسی تقابل بین گیاهان با جریان هوا می‌تواند به دانستن نحوه اثرگذاری گیاهان بر جریان هوا و همچنین رسوبات بادی کمک کند.

نوع جریان هوا (آرام یا آشفته) نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان برداشت رسوبات بادی دارد. خصوصیات مانع بر سر راه جریان هوا از جمله ارتفاع، تخلخل و انعطاف‌پذیری بر نوع جریان هوا تأثیرگذار است (برشرز^۵ و همکاران، ۲۰۰۹). بوهوم^۶ و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که آشفته‌گی جریان هوا از یک سطح صاف و بدون مانع به یک سطح زبر (با مانع) تغییر می‌کند. به‌طور کلی با ورود جریان هوا از یک سطح صاف به یک سطح زبر (موانع زنده یا غیرزنده) آشفته‌گی در جریان هوا ایجاد شده که این آشفته‌گی در نحوه تقابل موانع با جریان هوا اثر می‌گذارد (میری و همکاران، ۲۰۲۱؛ نیومن^۷ و نیکلینگ، ۱۹۹۵).

جوود^۸ و همکاران (۱۹۹۶) با بررسی جریان هوا در اطراف یک گیاه دریافتند که سرعت باد در بادپناه گیاه به‌شدت کاهش می‌یابد. در بالادست و پایین‌دست گیاه سرعت باد زیاد و جریان آشفته می‌شود. در پژوهشی، افزایش سرعت باد در بالای پوشش‌های گیاهی و نزدیک به سطح زمین در داخل پوشش مشاهده گردید و این افزایش به مسدود شدن جریان هوا توسط گیاه در قسمت میانی گیاه مرتبط شد (میری و همکاران، ۲۰۱۸). لیندرز^۹ و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تغییرات سرعت باد در بالادست، پایین‌دست و اطراف سه تک‌بوته گیاهی (*Commiphora Hyphaene thebaica*) و دو تک‌درخت (*Ziziphus mauritiana* و *Africana*) پرداختند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که سرعت باد در پایین‌دست گیاهان کاهش یافته (تا ۷ برابر ارتفاع گیاهان) اما تلاطم و آشفته‌گی هوا و همچنین انحراف معیار سرعت باد برای تمام گیاهان به‌جز *F. albida* افزایش یافته که این افزایش مؤید بالا رفتن نوسانات سرعت باد است. آن‌ها همچنین عدم افزایش تلاطم هوا در بادپناه *F. albida* را به بیشتر بودن تخلخل این گیاه نسبت به بقیه گیاهان مورد بررسی نسبت دادند.

به‌طور کلی، گیاهان در قالب پوشش‌های گیاهی، بادشکن و کمبرند سبز به‌منظور کاهش سرعت باد در اطراف مزارع و کنترل فرسایش بادی در پهنه‌های ماسه‌ای استفاده می‌شوند (کلو^{۱۰}، ۱۹۹۸، میری و همکاران، ۲۰۲۱؛ میری و همکاران، ۲۰۱۷؛ کوکرا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۰). بادشکن به هر مانع زنده و غیرزنده‌ای که باعث کاهش و متوقف کردن سرعت باد گردد، اطلاق می‌شود. استفاده از بادشکن‌ها با اهداف مختلف از جمله حفاظت از اراضی زراعی و باغی، محافظت از دام‌ها، جلوگیری از فرسایش خاک، حفاظت از ساختمان‌ها، کاهش آلودگی صوتی و بهبود ویژگی‌های زیبایی‌شناختی اهمیت بادشکن‌ها را نشان می‌دهد (کلو، ۱۹۹۸؛ کوکرا و همکاران، ۲۰۲۰؛ مری^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۰؛ میری و

1. Gillies
2. Dong
3. Wolf and Nickling
4. Finnigan
5. Breshears
6. Böhm
7. Neuman

8. Judd
9. Leenders
10. Cleugh
11. Kučera
12. Merhy

میلی‌متر، فراخشک و بیابانی است. تیر گرم‌ترین ماه سال با میانگین سالانه ۳۵ درجه سانتی‌گراد و دی سردترین ماه سال با میانگین سالانه ۸/۹ سانتی‌گراد هستند و وزش بادهای ۱۲۰ روزه در فصل تابستان مهم‌ترین مشخصه این منطقه است. منطقه نیاتک که در شرق شهرستان زابل و در موقعیت جغرافیایی بین $60^{\circ} 52''$ تا $61^{\circ} 52''$ طول شرقی و $30^{\circ} 45''$ تا $31^{\circ} 28''$ عرض شمالی در شرق سیستان واقع شده است، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱).

از آنجا که این منطقه، از کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در منطقه سیستان است (راشکی^۶ و همکاران، ۲۰۱۴)، نهال‌کاری در آن با هدف تثبیت ماسه‌های روان و مبارزه با فرسایش بادی در سال ۱۳۴۸ صورت گرفته است. بادشکن مورد مطالعه که یکی از مناطق نهال‌کاری شده، از ۱۴ ردیف درخت گز (*Tamarix aphylla*) با میانگین ارتفاع ۴ متر که عمود بر جهت باد قرار دارند، تشکیل شده است. فاصله بین ردیف‌های این بادشکن ۲۱-۳۲ متر و فاصله درختان روی هر ردیف حدود ۱/۵ متر است. عرض بادشکن حدود ۱۳۰-۱۶۰ متر و تخلخل آن ۳۹٪ است. بالادست و پایین‌دست این بادشکن عاری از پوشش گیاهی است (شکل ۲). اندازه‌گیری سرعت باد طی دو ماه در فصل تابستان و بین ساعت ۷ تا ۱۲ صبح انجام گرفت. سرعت باد توسط ۷ عدد بادسنج از نوع فنجانی-دیجیتالی مدل Samrt Biene که قابلیت اندازه‌گیری سرعت‌های باد از صفر تا ۵۰ متر بر ثانیه و با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه را دارد، اندازه‌گیری شد. هر بادسنج از طریق یک کابل به یک ثبت‌کننده داده دیجیتال مدل Samrt Biene وصل می‌شود که این ثبت‌کننده قابلیت ثبت سرعت‌های باد را در هر ثانیه دارد. این بادسنج‌ها بر روی پایه‌ای ۷ متر در ارتفاعات ۲۰، ۳۵، ۸۰، ۲۰۰، ۳۶۰، ۴۵۰، ۵۷۰ و ۷۰۰ متری نصب شدند تا سرعت باد در ارتفاعات مختلف از نزدیک به سطح زمین تا حدود دو برابر ارتفاع بادشکن اندازه‌گیری گردد (شکل ۲).

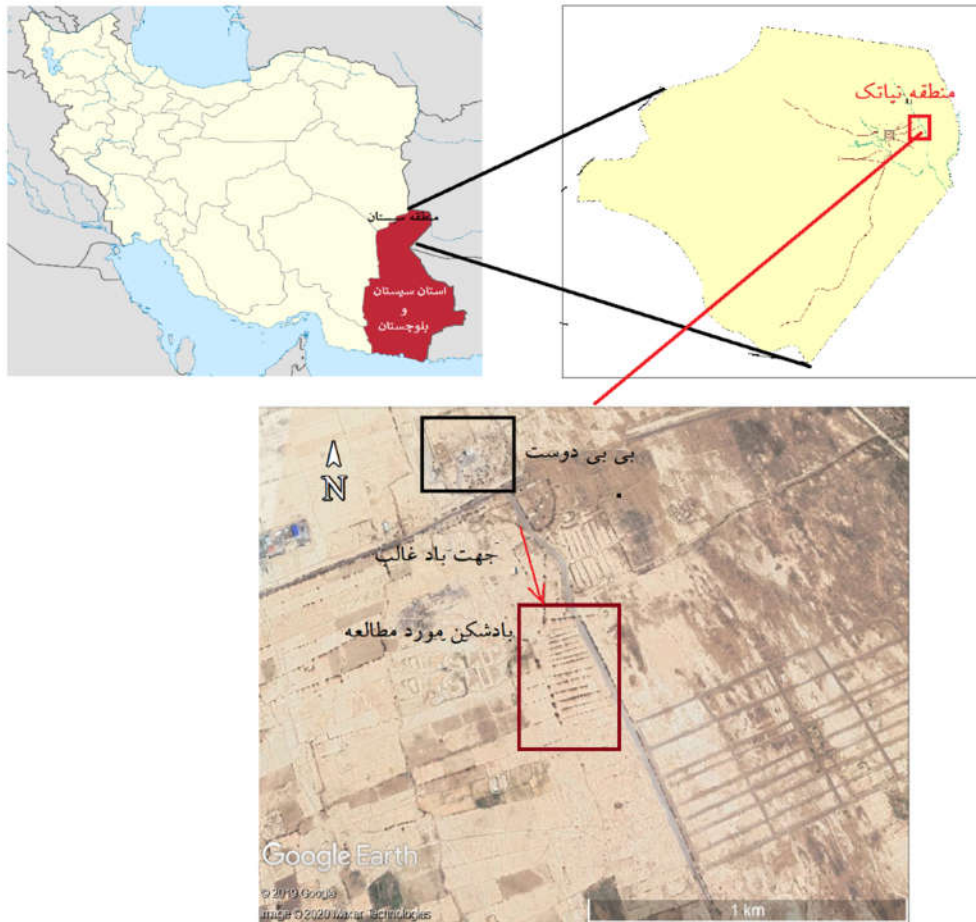
همکاران، ۲۰۲۱؛ ریمنت^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). بادشکن‌ها به‌صورت زنده و غیرزنده و به‌صورت یک‌ردیفه یا چندردیفه ایجاد می‌شوند و می‌توانند سرعت باد را در محدوده‌ای در بالادست (حدود ۵ برابر ارتفاع بادشکن) و پایین‌دست خود (حدود ۳۰ برابر ارتفاع بادشکن) کاهش دهند (کورنیل و گابریل^۲، ۲۰۰۵، دونگ و همکاران، ۲۰۰۱).

اگرچه مطالعات زیادی در خصوص نحوه تأثیر گیاهان بر کاهش سرعت باد و همچنین نحوه تقابل آن‌ها با جریان هوا انجام شده است و این پژوهش‌ها نقش مؤثر گیاهان در کاهش سرعت باد را نشان داده‌اند (برگامتی^۳ و همکاران، ۲۰۱۰؛ برشرز^۴ و همکاران، ۲۰۰۹؛ بوری^۵ و همکاران، ۲۰۱۱؛ لیندرز و همکاران، ۲۰۰۷؛ مری و همکاران، ۲۰۲۰؛ میری و همکاران، ۲۰۱۹؛ وولف و نیکلینگ، ۱۹۹۳). دانش در خصوص تقابل گیاهان با جریان هوا کامل نیست؛ در نتیجه، نحوه تأثیر گیاهان بر جریان هوا و سرعت باد همچنان موضوع مهم برای بررسی است. از طرفی، اگرچه پژوهش‌هایی در خصوص کاهش سرعت باد توسط بادشکن‌ها (زنده یا غیرزنده) صورت گرفته است، تغییرات لحظه‌ای سرعت باد و شدت آشفته‌گی جریان هوا در داخل بادشکن‌ها نیاز به بررسی بیشتر دارد. از این‌رو، در پژوهش حاضر به بررسی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد و شدت آشفته‌گی در خارج و داخل یک بادشکن زنده پرداخته شد تا اطلاعات مفیدی از نحوه اثرگذاری گیاهان بر جریان هوا در اختیار محققان قرار گیرد.

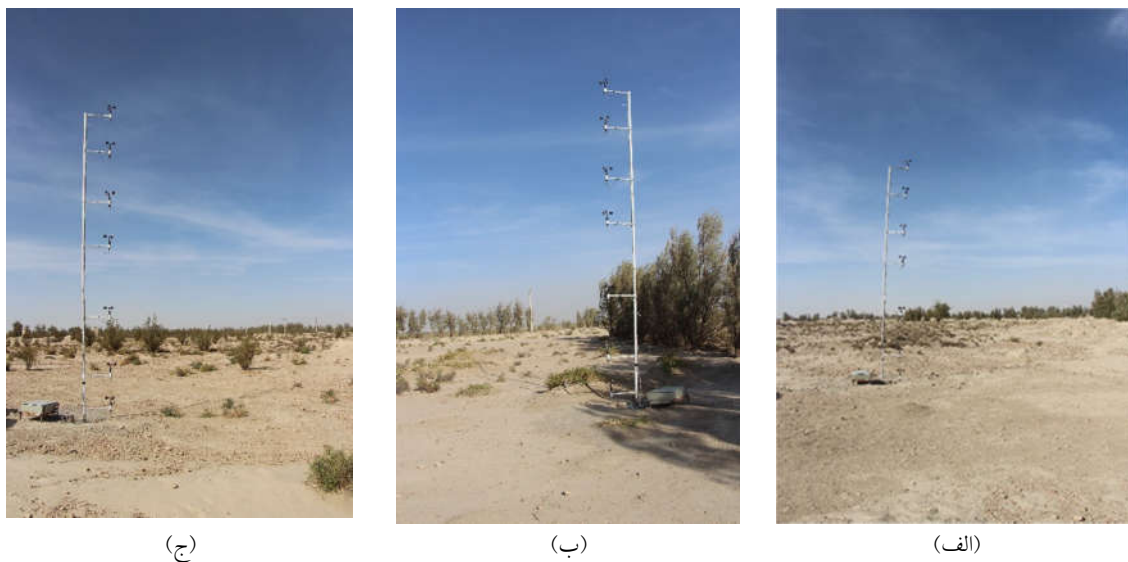
مواد و روش‌ها

دشت سیستان در جنوب شرق ایران، سال‌هاست درگیر طوفان‌های گردوغبار می‌باشد، به‌طوری که فراوانی و شدت آن‌ها در طی سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های ممتد افزایش یافته است (میری، ۲۰۲۰). اقلیم این منطقه با میانگین بارندگی سالانه ۵۰/۹ میلی‌متر و تبخیر سالانه حدود ۴۷۷۵

1. Rayment
2. Cornelis and Gabriels
3. Bergametti
4. Breshears
5. Burri



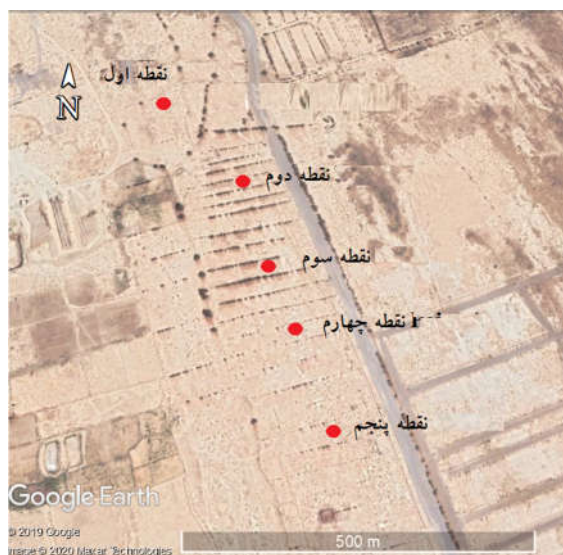
شکل (۱): موقیعت منطقه سیستان بر روی نقشه ایران، موقیعت منطقه مورد مطالعه در منطقه سیستان و موقیعت بادشکن مورد مطالعه
 Figure (1): The locations of the Sistan region on Iran's map, the study area on in the Sistan region and location of the windbreak



شکل (۲): نصب بادسنجها در ارتفاعات مختلف و در بالادست بادشکن (الف)، داخل بادشکن (ب) و پایین دست بادشکن (ج)
 Figure (2): Set up anemometers at different heights upwind of the windbreak (a), within the windbreak (b) and downwind of the windbreak (c)

اندازه‌گیری سرعت باد در تمامی نقاط به دلیل نبود بادسنج کافی (فقط ۷ عدد) به‌طور همزمان امکان‌پذیر نبود، پس از اندازه‌گیری سرعت در هر نقطه پایه ۷ متری به همراه بادسنج‌ها به نقطه بعدی منتقل شد. زمان اندازه‌گیری در هر نقطه ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد (۶۰۰ داده در هر نقطه در هر سرعت). داده برداری در سرعت‌های مختلف صورت گرفت و از بین آن‌ها دو سرعت باد ۱۰/۵ متر بر ثانیه به‌عنوان سرعت کم و ۱۹/۵ متر بر ثانیه به‌عنوان سرعت زیاد باد انتخاب شد تا نحوه تغییرات سرعت لحظه‌ای باد و شدت آشفستگی جریان هوا در این دو سرعت باد مورد بررسی قرار گیرد. این سرعت‌ها میانگین سرعت‌های اندازه‌گیری‌شده در ارتفاع ۱۰ متری در ایستگاه هواشناسی زابل در زمان جمع‌آوری داده‌هاست.

پنج نقطه اندازه‌گیری سرعت باد در بالادست، داخل و پایین‌دست بادشکن انتخاب شد که موقعیت آن‌ها نسبت به بادشکن در شکل (۳) و جدول (۱) آورده شده است. از آنجا که بادشکن‌ها در محدوده ۵ برابر ارتفاع خود در بالادست و حدود ۳۰ برابر ارتفاع خود در پایین‌دست بر سرعت باد تأثیرگذارند (کلو، ۱۹۹۸؛ کورنیل و گابریل، ۲۰۰۵). نقطه اول در خارج از محدوده تأثیر بادشکن (۲۵ برابر ارتفاع بادشکن)، نقاط دوم و سوم در داخل بادشکن، نقطه چهارم در پشت بادشکن اما در محدوده تأثیر آن (۱۰ برابر ارتفاع بادشکن) و نقطه پنجم در فاصله‌ای بیشتر از ۳۰ برابر ارتفاع آن (۵۰ برابر ارتفاع بادشکن) انتخاب شدند تا نحوه تأثیر و محدوده اثرگذاری بادشکن بر سرعت باد بررسی شود. از آنجا که امکان



شکل (۳): موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت باد در بالادست، داخل و پایین‌دست بادشکن

Figure (3): The location of measured wind speeds upwind, within and downwind of the windbreak

جدول (۱): موقعیت نقاط نمونه‌برداری و فاصله آن‌ها از بادشکن

(اولین ردیف بادشکن به‌عنوان صفر، بالادست بادشکن با اعداد منفی و داخل و پایین‌دست بادشکن با اعداد مثبت نمایش داده شده‌اند)

Table (1): Location of data collecting points and their distance from the windbreak (the first row was considered as zero, upwind locations as negative and downwind locations as positive values)

فاصله (متر)	موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت باد	نقاط
X = -۱۰۰	۱۰۰ متر در بالادست بادشکن	۱
X = ۱۰۰	داخل بادشکن ۱۰۰ متر فاصله از اولین ردیف بادشکن - بین ردیف‌های ۵ و ۶	۲
X = ۲۵۶	داخل بادشکن ۲۵۶ متر فاصله از اولین ردیف بادشکن - بین ردیف‌های ۱۰ و ۱۱	۳
X = ۴۴۸	پایین‌دست بادشکن ۴۴۸ متر فاصله از اولین ردیف بادشکن - ۴۰ متر فاصله از آخرین ردیف بادشکن	۴
X = ۵۶۰	پایین‌دست بادشکن ۵۶۰ متر فاصله از اولین ردیف بادشکن - ۲۰۰ متر فاصله از آخرین ردیف بادشکن	۵

باد برای نشان دادن میزان تغییرات لحظه‌ای سرعت باد استفاده شد. هرچه مقدار انحراف معیار کمتر و به صفر نزدیک‌تر باشد، پراکندگی کمتر سرعت باد در اطراف میانگین را نشان می‌دهد؛

از آنجا که انحراف معیار، معیار مناسب برای نشان دادن پراکندگی داده‌های آماری است (علیزاده، ۲۰۰۶؛ رضایی و میرمحمدی، ۲۰۰۵)، در این پژوهش، از انحراف معیار سرعت

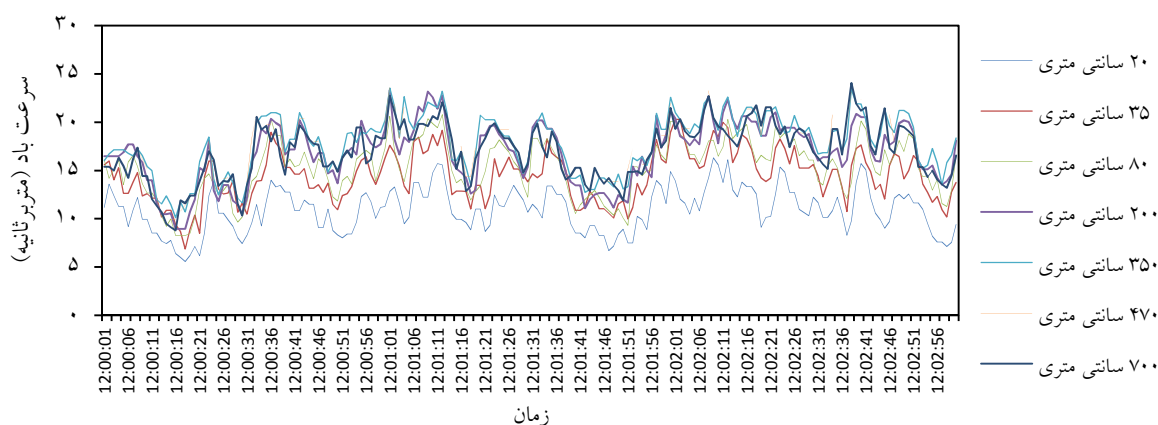
به عبارت دیگر، سرعت‌های ناگهانی و شدید باد کمتر اتفاق می‌افتد (وولف و نیکلینگ، ۱۹۹۳). انحراف معیار سرعت باد در تمامی نقاط و ارتفاعات مورد بررسی محاسبه شد و با تقسیم انحراف معیار بر میانگین سرعت باد، شدت آشفتگی برآورد

گردید (جوود و همکاران، ۱۹۹۶). بررسی اختلاف میانگین بین نقاط توسط آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) در سطح معنی داری ۰/۰۵ و با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

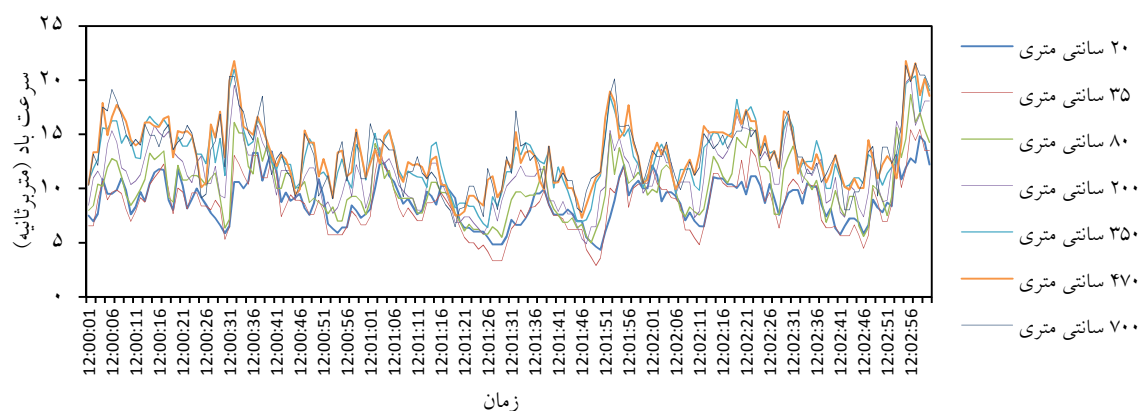
جدول (۲): برخی خصوصیات آماری جریان باد در دو سرعت و پنج موقعیت مورد مطالعه

Table (2): Some statistical characteristics of wind flow at two wind speed and five studied location

سرعت	موقعیت	کمینه	میانگین	بیشینه	واریانس	انحراف معیار	چولگی	کشدگی
۱۰/۵ متر بر ثانیه	اول	۱	۹/۸۶	۱۶	۳/۴۴	۱/۸۵	۰/۴۷	-۰/۲۶
	دوم	۲	۵/۸۷	۱۳	۳/۷۳	۱/۹۳	۰/۹	۰/۶۸
	سوم	۱	۶/۰۵	۱۲	۳/۶۱	۱/۹	۰/۴۵	-۰/۰۵
	چهارم	۳	۷/۹	۱۴	۳/۸	۱/۹۵	۰/۲۹	-۰/۲۳
	پنجم	۲	۱۰/۱۵	۱۸	۴/۹۴	۲/۲۲	۰/۳۶	۰/۰۸
۱۹/۵ متر بر ثانیه	اول	۱۰	۱۷/۰۹	۲۳	۶/۱۴	۲/۴۸	-۰/۰۷	-۰/۱۹
	دوم	۵	۱۰/۴	۲۰	۷/۶	۲/۷۶	۰/۵۴	-۰/۴
	سوم	۷	۱۱/۸۳	۱۹	۴/۶۵	۲/۱۶	۰/۵	۰/۳۴
	چهارم	۷	۱۲/۱۸	۲۰	۳/۲۴	۱/۸	۰/۲۷	۰/۵۳
	پنجم	۱۲	۱۶/۲۶	۲۲	۳/۱۱	۱/۷۶	۰/۲۷	-۰/۲۹



(الف)



(ب)

شکل (۴): تغییرات لحظه‌ای سرعت باد در ارتفاعات مختلف در بالادست بادشکن در نقطه اول ($x = -100$ متری) (الف)

و داخل بادشکن نقطه سوم ($x = 256$ متری) (ب) در سرعت باد ۱۹/۵ متر بر ثانیه

Figure (4): Variation of wind speed at different heights upwind of the windbreak ($x = -100$) and within the windbreak ($x = 256$) in wind speed of 19.5 m/s

نتایج و بحث

نشان می‌دهد که به همان صورت که در بالادست بادشکن سرعت باد در تمام ارتفاعات در یک زمان بالا یا پایین می‌رود، در داخل بادشکن نیز روند تغییرات به همین صورت است. این نتایج مؤید آن است که بادشکن بر الگوی تغییرات همزمان سرعت باد در ارتفاعات مختلف تأثیر گذار نیست.

در جدول (۳) و (۴) مقادیر حداکثر و حداقل سرعت باد و اختلاف بین این سرعت‌ها در هر ارتفاع در دو نقطه بالادست و داخل بادشکن در سرعت ۱۹/۵ متر بر ثانیه نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع مقادیر حداکثر و حداقل سرعت باد در بالادست و داخل بادشکن افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش تأثیر زبری سطح بر سرعت باد است (موزیک و جیلیتی^۱، ۱۹۹۰). مقادیر حداکثر و حداقل سرعت باد در بالادست بادشکن بیشتر از مقادیر داخل بادشکن است. اختلاف بین حداکثر و حداقل سرعت باد در ارتفاعات بالا بیشتر از ارتفاعات پایین است که نشان‌دهنده افزایش نوسانات سرعت باد با افزایش ارتفاع و دور شدن از سطح زمین می‌باشد.

خصوصیات آماری داده‌های سرعت باد در دو سرعت ۱۰/۵ و ۱۹/۵ متر بر ثانیه و پنج موقعیت مورد مطالعه (جدول ۲) نشان از نرمال بودن داده‌ها دارد. در سرعت کمتر (۱۰/۵ متر بر ثانیه) داده‌ها به‌خصوص در مورد انحراف معیار مناسب‌تر هستند.

نتایج حاصل از مقایسه الگوی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد در ارتفاعات مختلف (از سطح زمین تا ارتفاع تقریباً دو برابر ارتفاع بادشکن) در بالادست ($X = -100$ متری) و داخل بادشکن ($X = 256$ متری) (شکل ۴) نشان می‌دهد که چه در بالادست بادشکن و چه در داخل بادشکن، الگوی تغییرات در تمامی ارتفاعات یکسان است. این الگوها نشان می‌دهند که سرعت باد در تمامی ارتفاعات به‌طور همزمان تغییر می‌کند؛ به‌عبارت دیگر نوسانات جریان هوا در ارتفاعات مختلف چه نزدیک سطح زمین (۲۰ سانتی‌متر) و چه در فاصله ۷۰۰ سانتی‌متر از سطح زمین یکسان است. مقایسه رفتار نوسانات سرعت باد در ارتفاعات مختلف در بالادست و داخل بادشکن

جدول (۳): حداکثر و حداقل سرعت باد ثبت‌شده در بالادست بادشکن ($X = -100$ متری) در سرعت باد ۱۹/۵ متر بر ثانیه

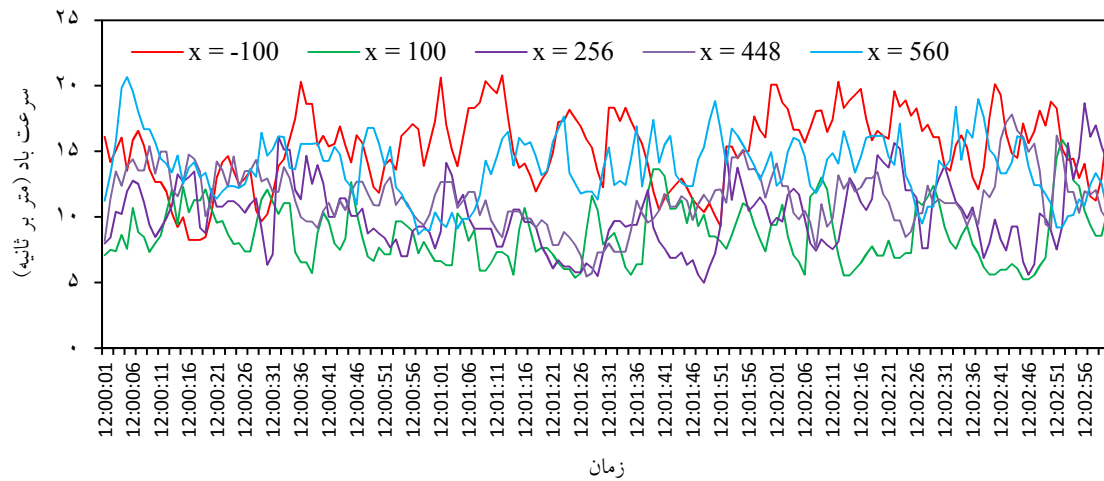
Table (3): The maximum and minimum wind speeds at upwind of the windbreak ($x = -100$) in wind speed of 19 m/s

ارتفاعات اندازه‌گیری سرعت باد	حداکثر سرعت لحظه‌ای باد (متر بر ثانیه)	حداقل سرعت لحظه‌ای باد (متر بر ثانیه)	اختلاف بین حداکثر و حداقل سرعت باد (متر بر ثانیه)
۲۰ سانتی متری	۱۶/۲	۵/۵	۱۰/۷
۳۵ سانتی متری	۲۰/۳	۶/۸	۱۳/۵
۸۰ سانتی متری	۲۰/۶	۸/۲	۱۲/۴
۲۰۰ سانتی متری	۲۳/۴	۸/۹	۱۴/۵
۳۵۰ سانتی متری	۲۳/۷	۱۰/۱	۱۳/۶
۴۷۰ سانتی متری	۲۳/۹	۹/۸	۱۳/۸
۷۰۰ سانتی متری	۲۴/۶	۸/۷	۱۵/۹

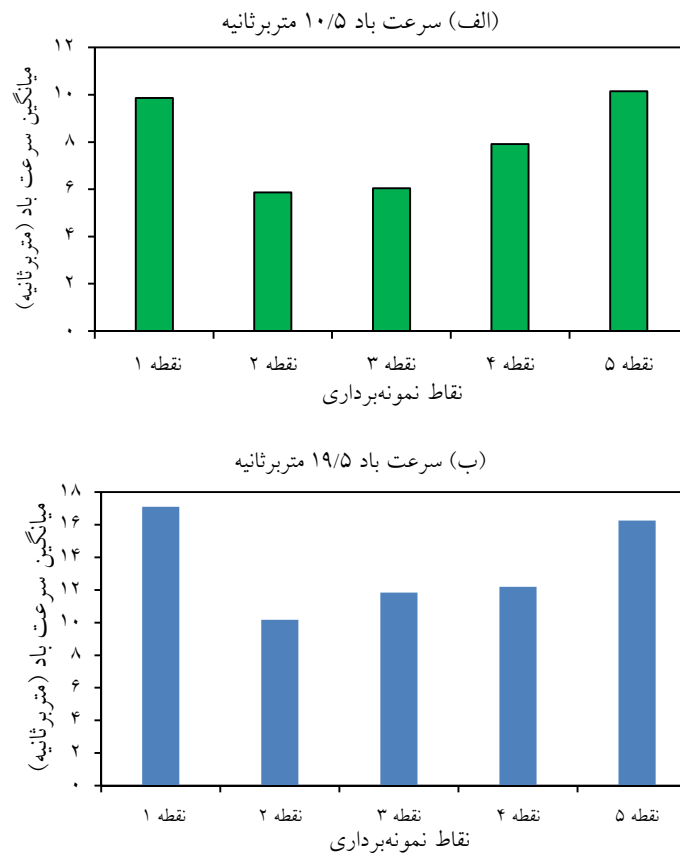
جدول (۴): حداکثر و حداقل سرعت باد ثبت‌شده داخل بادشکن ($X = 256$ متری) در سرعت باد ۱۹/۵ متر بر ثانیه

Table (3): The maximum and minimum wind speeds within the windbreak ($x = 256$) in wind speed of 19 m/s

ارتفاعات اندازه‌گیری سرعت باد	حداکثر سرعت لحظه‌ای باد (متر بر ثانیه)	حداقل سرعت لحظه‌ای باد (متر بر ثانیه)	اختلاف بین حداکثر و حداقل سرعت باد (متر بر ثانیه)
۲۰ سانتی متری	۱۴/۸	۴/۸	۱۰
۳۵ سانتی متری	۱۵/۴	۳/۳	۱۲/۱
۸۰ سانتی متری	۱۸/۶	۴/۹	۱۳/۷
۲۰۰ سانتی متری	۱۹/۵	۵/۳	۱۴/۲
۳۵۰ سانتی متری	۲۰/۹	۶/۴	۱۴/۵
۴۷۰ سانتی متری	۲۱/۷	۷/۳	۱۴/۴
۷۰۰ سانتی متری	۲۱/۹	۶/۴	۱۵/۱



شکل (۵): تغییرات لحظه‌ای سرعت باد در بالادست ($x = -100$ متری)، داخل ($x = 100$ و 256 متری) و پایین‌دست ($x = 448$ و 560 متری) بادشکن در ارتفاع 200 متری در سرعت باد 19.5 متر بر ثانیه
 Figure (5): Variation of wind speed upwind ($x = -100$), within ($x = 100$ and 256) and downwind ($x = 448$ and 560) of the windbreak at the height of 200 m in wind speed of 19.5 m/s.



شکل (۶): نتایج آزمون مقایسه میانگین ($p < 0.05$) در پنج موقعیت مورد مطالعه در الف: سرعت 10.5 متر بر ثانیه و ب: سرعت 19.5 متر بر ثانیه
 Figure (4): Results of ANOVA test ($p < 0.05$) at five studied locations, (a) 10.5 m/s and (b) 19.5 m/s

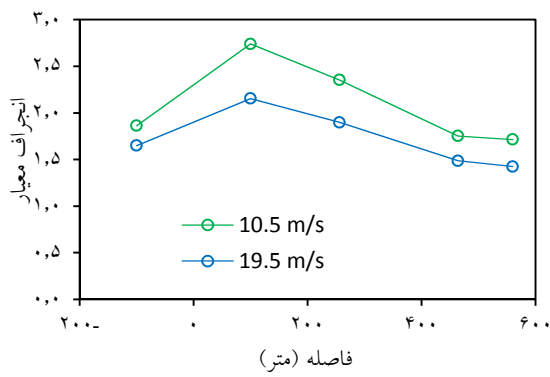
در شکل (۵) الگوی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد در بالادست ($x = -100$ متری)، داخل ($x = 100$ و 256 متری) و پایین‌دست ($x = 448$ و 560 متری) بادشکن در ارتفاع 200 متری مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات سرعت باد در داخل بادشکن ($x = 100$ و 256 متری) نسبت به بالادست ($x = -100$ متری) و پایین‌دست ($x = 448$ و 560 متری) بادشکن در دامنه پایین‌تری نوسان می‌کند که دلالت بر کمتر بودن سرعت باد در داخل بادشکن نسبت به بالادست

بررسی‌شان جایی که سرعت باد حداقل می‌باشد، رخ داده است. این نتایج نشان می‌دهد که درختان باعث تشدید تلاطم جریان هوا شده و شدت آشفستگی را افزایش می‌دهند. در حقیقت انعطاف‌پذیری و نوسانات شاخ و برگ درختان در نتیجه وزش باد باعث این تلاطم شده است. اگرچه در بالادست بادشکن که عاری از هر گونه پوشش می‌باشد باد از نوساناتی برخوردار است، شدت این نوسانات کمتر از داخل بادشکن می‌باشد. فینینگان (۲۰۰۰) نیز معتقد است که به دلیل تأثیر شاخ و برگ گیاهان بر جریان هوا بیشترین مقدار آشفستگی هوا داخل پوشش‌های گیاهان اتفاق می‌افتد. راویک و شاو^۱ (۱۹۸۲) بیان کردند که آشفستگی هوا در تقابل با میزان تأثیرگذاری شاخ و برگ گیاهان بر جریان هوا می‌باشد؛ به عبارتی اگرچه شاخ و برگ گیاهان باعث کاهش سرعت باد می‌گردند اما به دلیل نوسانات زیاد، آشفستگی هوا را تشدید می‌کنند. سسکاتی و مارکولا^۲ (۲۰۰۴) با بررسی شدت آشفستگی در پوشش‌های جنگلی سوزنی‌برگ دریافتند که در داخل این پوشش‌ها شدت آشفستگی بیشتر شده و دلیل آن را کاهش سرعت باد عنوان کردند. میری و همکاران (۲۰۱۷) و (۲۰۱۹) نیز بالاتر بودن میزان رسوبات بادی در ابتدای پوشش‌های گیاهی مورد بررسی‌شان را به تلاطم جریان ایجادشده توسط گیاهان مرتبط دانستند. همچنین دریافتند که میزان این آشفستگی تحت تأثیر خصوصیات گیاهان هم می‌باشد. فینینگان (۲۰۰۰) بیان کرد که مورفولوژی گیاهان بر میزان آشفستگی هوا مؤثر است. لیندرز و همکاران (۲۰۰۷) نیز ضمن مشاهده افزایش آشفستگی در بادپناه گیاهان مورد بررسی‌شان نسبت به بالادست آن‌ها، دلیل پایین‌تر بودن آشفستگی هوا در بادپناه *Faidherbia albida* را نسبت به سایر گیاهان مورد بررسی (*Adansonia digitata*، *Commiphora africana*، *Hyphaene thebaica* و *Ziziphus mauritiana*) بیشتر بودن تخلخل *F. albida* عنوان کردند.

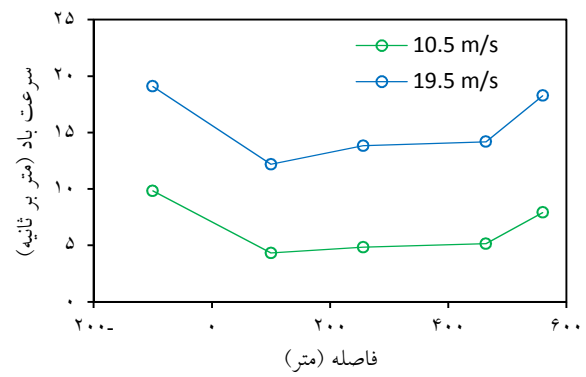
(۱۰۰ - X متری) و پایین‌دست (۵۶۰ و X = ۴۴۸ متری) بادشکن است. همچنین مقادیر سرعت باد در تمامی لحظات در پایین‌دست بادشکن (۵۶۰ و X = ۴۴۸ متری) کمتر از بالادست (۱۰۰ - X متری) می‌باشد. این نتایج تأثیر بادشکن بر سرعت باد را نشان می‌دهد. به طوری که علاوه بر کاهش سرعت باد در داخل بادشکن در پایین‌دست آن نیز سرعت باد تحت تأثیر بادشکن قرار دارد. کلو (۱۹۹۸) معتقد است که فاصله اثرگذاری یک بادشکن تا ۳۰ برابر ارتفاع آن در پایین‌دست می‌باشد. نقطه X = ۵۶۰ متری در فاصله ۵۰ برابر ارتفاع بادشکن در پایین‌دست آن قرار دارد و بنابراین در محدوده اثرگذاری بادشکن قرار گرفته است.

نتایج آزمون مقایسه میانگین ($p < 0.05$) در پنج موقعیت مورد مطالعه و در دو سرعت مورد بررسی (شکل ۶) نشان داد که در سرعت ۱۰/۵ متر بر ثانیه بین موقعیت‌های نمونه‌برداری به جز در دو نقطه‌ای که داخل بادشکن قرار دارند، به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار در میانگین سرعت باد وجود دارد. اما در سرعت ۱۹/۵ متر بر ثانیه بین میانگین سرعت باد در همه موقعیت‌های نمونه‌برداری به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

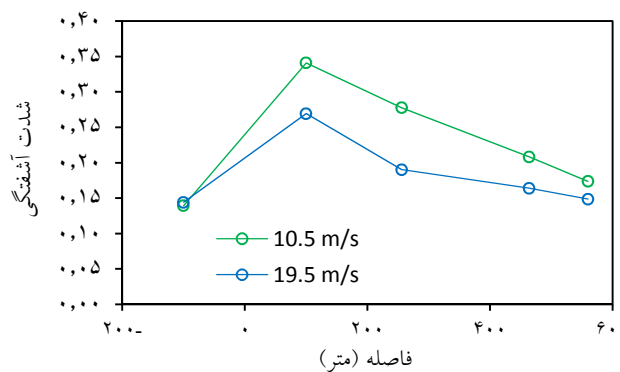
تغییرات سرعت باد، انحراف‌معیار و شدت آشفستگی (تلاطم هوا) از بالادست تا پایین‌دست بادشکن در شکل (۷) نشان داده شده است. نتایج گویای تأثیر قابل ملاحظه بادشکن بر این پارمترهاست، به طوری که داخل بادشکن سرعت به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و برعکس انحراف‌معیار و شدت آشفستگی افزایش یافته است. بیشترین مقادیر انحراف‌معیار و شدت آشفستگی در ابتدای بادشکن، جایی که سرعت باد کمترین مقدار است، مشاهده شد. در انتهای بادشکن به دلیل بالا رفتن سرعت باد از شدت آشفستگی و انحراف‌معیار کاسته شده است. در پایین‌دست بادشکن نیز به دلیل پایین بودن سرعت باد همچنان شدت آشفستگی و انحراف‌معیار بالاتر از بالادست می‌باشد؛ اگرچه مقادیر آن‌ها کمتر از داخل بادشکن است. این نتایج با مشاهدات لیندرز و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. آن‌ها دریافتند که بیشترین مقدار انحراف‌معیار و آشفستگی هوا در بادپناه گیاهان مورد



(ب)



(الف)



(ج)

شکل (۷): تغییرات سرعت باد (الف)، انحراف معیار (ب) و شدت آشفتگی (تلاطم هوا) (ج) در بالادست ($x = -100$ متری)، داخل (100 و 256 متری) و پایین دست (448 و 560 متری) بادشکن در دو سرعت باد 10.5 و 19.5 متر بر ثانیه

Figure (7): Variation of wind speed, standard deviation and turbulence intensity upwind ($x = -100$), within ($x = 100$ and 256) and downwind ($x = 448$ and 560) of the windbreak in wind speeds of 10.5 and 19.5 m/s

بر ثانیه کمتر از مقدار آن در سرعت 10.5 متر بر ثانیه است. سسکاتی و مارکولا (۲۰۰۴) نیز با بررسی شدت آشفتگی در چهار کلاس سرعت باد (کلاس‌های کمتر از 1.39 ، 1.39 – 2.10 ، 2.10 – 2.68 ، 2.68 – 6.19 متر بر ثانیه برای پوشش جنگلی منطقه Lavorone و کلاس‌های کمتر از 1.40 ، 1.40 – 1.93 ، 1.93 – 2.65 ، 2.65 – 5.9 متر بر ثانیه برای پوشش جنگلی منطقه Renon) مشاهده کردند که شدت آشفتگی از کلاس‌های با سرعت بالای باد به کلاس‌های با سرعت پایین باد افزایش یافته است، به طوری که از کلاس یک به کلاس دو میزان آشفتگی حدود 40% کاهش یافته و مقدار کاهش در کلاس‌های بالاتر کمتر می‌باشد.

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، تغییرات لحظه‌ای سرعت باد و شدت آشفتگی جریان هوا در خارج و داخل یک بادشکن

همچنین با مقایسه انحراف معیار و شدت آشفتگی در نقاط مختلف (خارج و داخل بادشکن) در دو سرعت باد 10.5 و 19.5 متر بر ثانیه می‌توان گفت که انحراف معیار و شدت آشفتگی در بالادست بادشکن ($x = -100$ متری) در هر دو سرعت تقریباً یکسان است. اما در داخل بادشکن (100 و 256 متری) از هم فاصله گرفته و در پایین دست بادشکن (448 و 560 متری) به هم نزدیک می‌شوند که این مشاهدات تأکید بر تأثیر بادشکن بر نوسانات و تلاطم جریان هوا دارد.

مقایسه نمودارهای انحراف معیار و شدت آشفتگی در دو سرعت باد 10.5 و 19.5 متر بر ثانیه از بالادست تا پایین دست بادشکن نشان می‌دهد که انحراف معیار و شدت آشفتگی در سرعت 10.5 متر بر ثانیه بیشتر از سرعت 19.5 متر بر ثانیه است. مقایسه شدت آشفتگی در داخل بادشکن در دو سرعت 10.5 و 19.5 متر بر ثانیه نشان می‌دهد که شدت آشفتگی حدود 20 – 30% درصد در سرعت باد 19.5 متر

تأثیر می‌گذارد به طوری که در داخل بادشکن سرعت باد کمتر و انحراف معیار و شدت آشفته‌گی بیشتر از بالادست و پایین دست بادشکن است. شدت آشفته‌گی و انحراف معیار در نقاطی که سرعت باد حداقل است، حداکثر می‌باشد. همچنین انحراف معیار و شدت آشفته‌گی در سرعت باد ۱۰/۵ متر بر ثانیه بیشتر از سرعت باد ۱۹/۵ متر بر ثانیه است.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه زابل با شماره پژوهانه UOZ-GR-1540 انجام گرفت.

چند ردیفه با اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاعات مختلف در بالادست، داخل و پایین دست بادشکن در دو سرعت باد ۱۰/۵ و ۱۹/۵ متر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بادشکن بر الگوی تغییرات همزمان سرعت باد در ارتفاعات مختلف تأثیرگذار نیست، به طوری که الگوی تغییرات لحظه‌ای سرعت باد در تمامی ارتفاعات در خارج و داخل بادشکن یکسان است. سرعت باد در داخل بادشکن در دامنه پایین تری نسبت به بالادست و پایین دست بادشکن نوسان می‌کند. بررسی تغییرات سرعت باد، انحراف معیار و شدت آشفته‌گی از بالادست، داخل و پایین دست بادشکن نشان داد که بادشکن به طور قابل ملاحظه‌ای بر این پارامترها

منابع

- Alizadeh, A. 2006. Weather and continent (9th Ed.) Mashhad: Ferdousi Mashhad Universty Pub.
- Bergametti, G., Gillette, D.A. 2010. Aeolian sediment fluxes measured over various plant/soil complexes in the Chihuahuan desert. *J. Geophys. Res.* 115 (3). F03044. doi:10.1029/2009jg001543
- Böhm, M., Finnigan, J.J., Raupach, M.R., Hughes, D. 2013. Turbulence structure within and above a canopy of bluff elements. *Bound-Lay. Meteorol.* 146: 393-419.
- 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: 28-38.
- Burri, K., Gromke, C., Lehning, M. and Graf, F. 2011. Aeolian sediment transport over vegetation canopies: A wind tunnel study with live plants. *Aeolian Res.* 3: 205-213.
- Cescatti, A. and Marcolla, B. 2004. Drag coefficient and turbulence intensity in conifer canopies. *Agric. Forest meteorol.* 121: 197-206.
- Cheng, H., Liu, C. and Kang, L., 2020. Experimental study on the effect of plant spacing, number of rows and arrangement on the airflow field of forest belt in a wind tunnel. *J. Arid Environ.*, 178, p.104169.
- Cleugh, H. 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agrofores. Sys.* 41: 55-84.
- Cornelis, W. and Gabriels, D. 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. *J. Arid Env.* 61: 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. *J. Arid Env.* 49: 485-505.
- Finnigan, J. 2000. Turbulence in plant canopies. *Annual Rev. Fluid Mech.*, 32: 519-571.
- Gillies, J.A., Nickling, W., King, J., 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*). *J. Geophys. Res.* 107 (D24).
- Judd, M., Raupach, M. and Finnigan, J. 1996. A wind tunnel study of turbulent flow around single and multiple windbreaks, part I: velocity fields. *Bound-Lay. Meteorol.* 80: 127-165.
- Kučera, J., Podhrázká, J., Karásek, P. and Papaj, V., 2020. The effect of windbreak parameters on the wind erosion risk assessment in agricultural landscape. *J Eco. Eng.*, 21(2).
- Leenders, J.K., Boxel, J.H.v., Sterk, G. 2007. The effect of single vegetation elements on wind speed and sediment transport in the Sahelian zone of Burkina Faso. *Earth Surf. Proc. Landf.* 32: 1454-1474.
- Leenders, J.K., Sterk, G. and Boxel, J.H. 2014. Wind erosion reduction by scattered woody vegetation in farmers' fields in northern Burkina Faso. *Land Degrad. Dev.* DOI: 10.1002/ldr.2322.
- Merhy, D.K., Mohareb, N. and Khalifa, M.R., 2020. Optimum windbreak to reduce wind tunnel effect on occupant comfort at pedestrian leve (a case study of Bau building in Tripoli), *Arch. Plan. J. (APJ)*, 26(1), p.9.
- Miri, A. 2020. Dust storms analysis in the Sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM10 parameters. Accepted for publication in *J Soil Water Conserves (In Persian)*.

19. Miri, A., Dragovich, D. and Dong, Z. 2017. Vegetation morphologic and aerodynamic characteristics reduce aeolian erosion. *Sci. Rep.* 7(1), 12831 <https://doi.org/10.1038/s41598-12017-13084-x>.
20. Miri, A., Dragovich, D. and Dong, Z. 2018. The response of live plants to airflow—Implication for reducing erosion. *Aeolian Res.* 33: 93-105.
21. 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.
22. 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, p.104836.
23. Musick, H. and Gillette, D. 1990. Field evaluation of relationships between a vegetation structural parameter and sheltering against wind erosion. *Land Deg. Dev.* 2: 87-94.
24. Neuman, C.M., Nickling, W. 1995. Aeolian sediment flux decay: Non-linear behaviour on developing deflation lag surfaces. *Earth Surf. Proc. Landf.* 20: 423-435.
25. Quam, V., Johnson, L., Wight, B. and Brandle, J.R., 1994. Windbreaks for livestock operations. *Papers in Natural Resources*, p.123.
26. Rashki N, Noorikia Z, Zare Chahuki M., 2014. The assessment of the ability of three species *Tamarix aphylla*, *Haloxylon persicum* and *Atriplex muculata* in stabilizing transported sediment in the Sistan region. *Conversation of Plant's Biomas* 2: 71-80 (in Persian).
27. Rayment, M., He, Y. and Jones, P.J., 2019. A simple parameterisation of windbreak effects on wind speed reduction and thermal benefits of sheep. *Agri. Forest Meteorol.* 239, 96-107. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.03>.
28. Raupach MR, Shaw RH. 1982, Averaging procedures for flow within vegetation canopies. *Bound-Lay Meteorol.* 22: 79–90.
29. Rezaei, A., Mirmohammadi M., A. M. (2005) *Statistics and Probability (application in agriculture) (first ed.)*. Isfahan: Jihad-e-Daneshgahi of Isfahan University of Technology. (In Farsi)
30. Omidvar, K., Dehqan T. M. (2012) A potential survey and evaluating wind power characteristics at isometropia stations of Yazd province. *Geographic. Res. J.*, 27, 149-168. (In Farsi)
31. Wolfe, S.A., Nickling, W.G. 1993. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Prog. Phys. Geog.* 17: 50-68.

A field study of the variations of wind speed and airflow's turbulence intensity outside and inside a live windbreak

Abbas Miri^{1*}, Ali Shahriari²

Received: 16/07/2020

Accepted: 14/12/2020

Expanded abstracts

Introduction: Vegetation plays a significant role in reducing wind speed and controlling aeolian erosion. Therefore, understanding the interaction between wind and vegetation is of great importance. Vegetation, which grows typically in crops, wind strips, shelterbelts, and windbreaks, helps shelter the ground surface, reduce wind speed, and trap blown sediment particles. It also alters airflow and affects the properties of the turbulent flow. Thus, analyzing the interaction between wind and vegetation is essential for assessing the wind forces exerted upon plants. Although several studies have examined the effect of vegetation on reducing wind velocity and its interaction with airflow, the relationship between the vegetation effect and wind velocity and airflow needs to be investigated. Moreover, while some studies have evaluated the reductionist effect of windbreaks (artificial or live windbreaks) on wind velocity, the airflow's turbulence intensity in windbreaks has not been well researched. Therefore, this study sought to investigate the variations of wind velocity, turbulence intensity, and standard deviation of wind speed to offer valuable information regarding the effect of vegetation on airflow.

Materials and methods: Located in southeastern Iran, the Sistan region is characterized by an arid and hyper-arid climate, low air humidity, low precipitation, high annual temperature and evaporation, and strong winds and dust storms. The most important meteorological-atmospheric phenomenon in this region is the Levar northerly wind (known as 120-day wind) that blows from the end of June to early September, which is considered the main factor in causing dust storms and controlling dust emission and air quality over the region. Placed in high dusty corridors, the windbreak is located in the Niatak area in the northwestern part of Sistan, which is recognized as a critical wind erosion area. Containing fourteen rows of Tamarix trees planted perpendicular to the prevailing wind direction, the windbreak has a mean height of four meters. The distance between the rows varies from 21 to 32m, and the distance between the trees in each row is about 1.5 m. To assess wind speed variations and turbulence intensity, the wind speed was measured upwind, within, and downwind of the windbreak at the heights of 20, 80, 200, 360, 450, 570, and 700 cm in wind speeds of 10.5 and 19.5 m/s. The mean and standard deviation of each wind speed was calculated. Also, the turbulence intensity was obtained by dividing standard deviations by wind speeds.

Results and Discussion: Wind speeds were found to be normal in the examined wind velocities (10.5 and 19.5 m/s) in all locations. The pattern of wind velocity variations was similar in all heights outside and inside of the windbreak. Moreover, the wind velocity changed simultaneously in all elevations and fluctuated in a smaller range inside the windbreak, implying lower wind velocity within the windbreak than its upwind and downwind. The wind speed downwind of the windbreak was lower than its upwind at a distance of 50 h (h is the height of the windbreak). These observations indicated that wind speed was affected within and downwind (in a long-distance) of the windbreak.

1. Assistant professor, Department of Watershed and Range Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran; miri.abbas@uoz.ac.ir

2. Assistant professor, Department of Soil Science, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
DOI: 10.22052/deej.2021.10.31.1

Furthermore, while the wind speed was reduced, the turbulence intensity and standard deviation were increased within the windbreak. The highest turbulence intensity and standard deviation were found at the beginning of the windbreak, where wind velocity was at its lowest rate. A comparison of turbulence intensity in wind speeds of 10.5 and 19.5 m/s in all locations showed that it was similar upwind of the windbreak but different in two wind speeds within the windbreak. However, this different turbulence intensity was reduced at the downwind of the windbreak. It was also found that the turbulence intensity and standard deviation were greater in wind speeds of 10.5 than 19.5 m/s. Moreover, the turbulence intensity in the 19.5m/s wind speed within the windbreak was roughly 20-30% less than what was found in the 10.5 m/s wind speed.

Conclusion: wind speed and turbulence intensity were significantly affected by the windbreak. Investigation of the wind speed, turbulence intensity, and standard deviation upwind, within, and downwind of the windbreak showed low wind velocity. However, turbulence intensity and standard deviation were greater within the windbreak than the upwind and downwind of the windbreak. Furthermore, turbulence intensity was influenced by the windbreak because, in 10.5m/s and 19.5m/s wind speeds, it was similar upwind and outside the windbreak's impacted area but different within the windbreak.

Keywords: Vegetation, Wind erosion, Standard deviation, Niatak, Sistan.