



The Role of Biological Windbreak in the Creation of Microclimate in Arid Areas of Dehloran, Ilam

Marzieh Mirhasani¹, Noredin Rostami^{2*}, Masoud Bazgir³, Mohsen Tavakoli²

¹ M.Sc. of Combat Desertification, Forest, Range and Watershed Management Organization, Ilam, Iran

² Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

³ Department of Water and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 4 February 2021

Accepted 27 March 2020

Available online 27 March 2020

Keywords:

ENVI-met, Biological Windbreak, Dehloran, Wind Erosion Threshold, Macroclimate.

Citation: Mirhasani, M., Rostami, N., Bazgir, M. Tavakoli, M. (2021). The Role of Biological Windbreak in the Creation of Microclimate in Arid Areas of Dehloran, Ilam. *Geography and Sustainability of Environment*, 10 (4), 73-90.

doi: [10.22126/GES.2021.6142.2351](https://doi.org/10.22126/GES.2021.6142.2351)

ABSTRACT

In this study, the ENVI-met Headquarter model was used to design a biological windbreak to control wind erosion, and wind tunnel was used to determine the wind erosion threshold. In order to determine the wind erosion threshold, soil samples were transferred to laboratory and exposed to dry air and transferred to wind tunnel. Then, the wind erosion threshold velocity was measured by adjusting the wind flow velocity and using an anemometer. The data required for simulation with Envi-met model include geographical location of the region, soil texture, average minimum and maximum temperature, average minimum and maximum relative humidity, average maximum wind speed and wind direction. Based on the simulation results, both designed windbreak for the *Prosopis juliflora* and *Haloxylon aphyllum* species can create microclimate in region. The wind speed decreased to the wind erosion threshold in the *Haloxylon aphyllum* species windbreak and less than that in the *Prosopis juliflora* species windbreak. In general, in the *Prosopis juliflora* species windbreak temperature in the first and last row of the windbreak was 36.12 and 34.78°C, respectively. Besides, the lowest relative humidity in the first row was 28.52% and reached to 33.11% in the distance of 8h to 10h behind the first row. On the contrary, inside the *Haloxylon aphyllum* species windbreak, the temperature in the first row was 34.67°C and in the last row was up to about 35.21°C. Moreover, the highest relative humidity in the first and last row was 33.28% and 31%, respectively. Therefore, the designed windbreak for the *Prosopis juliflora* species can protect the more distance behind the initial windbreak, reduce the wind speed to a longer extent from the initial windbreak, more effectively affect the microclimate of the area, and modify it. Thus, it is recommended as a suitable windbreak for the study area.



نقش بادشکن بیولوژیک در ایجاد میکرواقلیم در مناطق بیابانی دهلران، ایلام

مرضیه میرحسینی^۱، نورالدین رستمی^{۲*}، مسعود بازگیر^۳، محسن توکلی^۴

^۱ کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری، ایلام، ایران

^۲ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

^۳ گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۶ بهمن ۱۳۹۹

پذیرش ۷ فروردین ۱۴۰۰

دسترسی آنلاین ۷ فروردین ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

انوی مت، بادشکن بیولوژیک، دهلران، سرعت آستانه فرسایش بادی، میکرواقلیم.

استناد: میرحسینی، مرضیه، رستمی، نورالدین؛ بازگیر، مسعود؛ توکلی، محسن (۱۳۹۹). نقش بادشکن بیولوژیک در ایجاد میکرواقلیم در مناطق بیابانی دهلران، ایلام. جغرافیا و پایداری محیط، ۳۷ (۴)، ۷۳-۹۰.
doi: 10.22126/GES.2021.6142.2351

در نوشتار پیش رو برای طراحی بادشکن بیولوژیک به منظور کنترل فرسایش بادی، از مدل انوی مت هذکوارتر و برای تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی از تونل باد استفاده شد. به منظور تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی، نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوا خشک و در تونل باد قرار داده شد؛ سپس با تنظیم سرعت جریان باد و با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج، سرعت آستانه فرسایش بادی اندازه‌گیری شد. داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی با مدل انوی مت شامل موقعیت جغرافیایی منطقه، بافت خاک، متوسط حداقل و حداکثر دما، متوسط حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، متوسط حداکثر سرعت باد و جهت باد است. براساس نتایج شبیه‌سازی، بادشکن‌های احداث‌شده با گونه‌های کهور پاکستانی و سیاه‌تاغ می‌توانند باعث ایجاد خرداقلیم در منطقه شوند. بدین صورت که بادشکن طراحی‌شده می‌تواند سرعت باد را تا حدود سرعت آستانه فرسایش در بادشکن سیاه‌تاغ و کمتر از آن در بادشکن کهور پاکستانی کاهش دهد. به‌طور کلی در داخل بادشکن کهور پاکستانی دمای هوا در ردیف اول بادشکن ۳۶/۱۲ درجه سانتی‌گراد و در ردیف آخر بادشکن به ۳۴/۷۸ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است؛ همچنین کمترین مقدار رطوبت نسبی در ردیف اول بادشکن، ۲۸/۵۲٪ بوده و در فاصله ۸h تا ۱۰h پشت ردیف اول بادشکن تا ۳۳/۱۱٪ افزایش یافته است. برعکس در داخل بادشکن سیاه‌تاغ دمای منطقه در ردیف اول بادشکن ۳۴/۶۷ درجه سانتی‌گراد بوده و در ردیف آخر بادشکن تا حدود ۳۵/۲۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. بیشترین میزان رطوبت نسبی نیز در ردیف اول بادشکن ۳۳/۲۸٪ و در آخرین ردیف بادشکن به ۳۱٪ کاهش یافته است؛ بنابراین بادشکن طراحی‌شده برای گونه کهور پاکستانی، مسافت بیشتری از اراضی پشت بادشکن را محافظت کرده، سرعت باد را تا مسافت بیشتری از بادشکن اولیه کاهش داده، به‌طور مؤثری بر میکرواقلیم منطقه تأثیر گذاشته و به‌عنوان بادشکن مناسب برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

مقدمه

فرسایش بادی که حاصل گرادیان فشار هوا و تشکیل بادهای قوی و دائمی در مناطق بیابانی به‌عنوان تغییر سریع درجه حرارت هوا است، یکی از عمده‌ترین معضلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید و در مناطقی با بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر اتفاق می‌افتد (صداقت، ۱۳۵۸). از طرفی مناطق خشک به‌سبب کمبود پوشش گیاهی که می‌تواند موجب کاهش جابه‌جایی هوا شود، بادخیز هستند و شرایط سخت آب‌وهوایی و کمبود آب در اثر بادهای قوی تشدید می‌شود (تخت آبنوسی^۱، ۱۹۹۴)؛ بنابراین فرسایش بادی تهدیدی برای مناظر بی‌شماری در سراسر جهان است که می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم تشدید یا مهار شود (جراح^۲ و همکاران، ۲۰۲۰)؛ بنابراین با وقوع فرسایش بادی، زمین‌های منطقه بیابانی شده و خسارت‌های زیادی به‌جای می‌گذارد؛ به همین دلیل مسئله فرسایش در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا جبران خاک فرسایش‌یافته به‌دلیل نامساعد بودن شرایط و شکنندگی اکوسیستم، دشوار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

مناسب‌ترین روش در کاهش سرعت باد و تثبیت ماسه‌های روان، ایجاد پوشش گیاهی روی تپه‌های ماسه‌ای است (هی^۳ و همکاران، ۱۹۹۷). پوشش گیاهی به‌طور مؤثری حرکت ماسه‌های روان را کاهش داده، بنابراین تحرکات ماسه‌ها در سطح زمین کم شده و ماسه‌زار تثبیت می‌شود. مهم‌ترین نقش پوشش گیاهی در کاهش فرسایش بادی، ایجاد ناهمواری است که سرعت و تلاطم باد در نزدیکی سطح خاک را کاهش می‌دهد (رفاهی، ۱۳۹۱: ۳۰). در این میان، گیاهی فرسایش بادی را بیشتر کنترل می‌کند که سطح پوشش زیادتری را در زمانی از سال که زمین به فرسایش حساس است، تولید کند (فرای ریر^۴، ۱۹۹۵). از میان روش‌های مبارزه با فرسایش بادی، احداث بادشکن‌های زنده و غیر زنده به‌عنوان گزینه‌های مناسب برای جلوگیری از خسارت‌های ناشی از فرسایش بادی به منابع زیستی و اقتصادی جایگاه ویژه‌ای دارند. احداث بادشکن دارای تأثیرات مثبت فراوانی بر فاکتورهای محیطی است که از جمله این مزایا می‌توان به تأثیر بادشکن بر درجه حرارت خاک، رطوبت هوا و خاک، میزان انباشتگی برف، میزان تبخیر، انباشتگی گاز کربنیک و غیره اشاره کرد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۳: ۳۴؛ کوچرا^۵، ۲۰۲۰).

از مهم‌ترین ویژگی‌های مشترک بادشکن‌ها می‌توان به ارتفاع بادشکن‌ها، فاصله بین ردیف‌های بادشکن‌ها، عرض (ضخامت) بادشکن‌ها و در نهایت تراکم بادشکن‌ها اشاره کرد. ویژگی‌های یادشده در طراحی و احداث بادشکن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند. درواقع بادشکن باید سرعت باد را تا کمتر از سرعت آستانه فرسایش کاهش دهد. یک بادشکن وقتی نقش خود را به‌خوبی ایفا می‌کند که به‌طور صحیحی طراحی شده، به‌صورت بهینه نگهداری شود و کمترین هزینه را به‌همراه داشته باشد (رفاهی، ۱۳۹۱: ۱۵۳). بادشکن به دو صورت مستقیم (کاهش سرعت باد) و غیر مستقیم (اصلاح میکروکلیمای منطقه) بر اکرواکوسیستم تأثیر گذاشته و از این راه شرایط رشد را برای گیاه فراهم می‌سازد؛ در نتیجه محصولات کشاورزی در نوار تحت پناه بادشکن از تراکم مطلوب‌تری برخوردار هستند (فوراید^۶ و همکاران، ۲۰۰۲). بادشکن با کاهش سرعت باد، باعث ایجاد چرخه آرامی از هوا در منطقه پادپناه شده و از جریان آشفته و فزاینده باد جلوگیری می‌کند. درحقیقت این منطقه (پادپناه) منطقه‌ای مثلی است که سرعت و تلاطم باد

1- Takht Abnoci

2- Jarrah

3- He

4- Fryrear

5- Kučera

6- Foereid

در این منطقه به مقدار زیادی کاهش می‌یابد (کمپی^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). پری و بلومبر^۲ (۲۰۰۲) نیز عوامل اصلی کارایی بادشکن‌ها را ارتفاع، تخلخل، جهت، طول و چشم‌انداز منطقه معرفی می‌کنند (نقل از لامپارتووا^۳ و همکاران، ۲۰۱۵)؛ همچنین احیای بیولوژیک مناطق خشک و بیابانی با گونه‌های درختی و درختچه‌ای دارای فواید چندی از جمله تثبیت خاک، جلوگیری از فرسایش، تولید هیزم، تیر و الوار است (صفایی قهنویه و همکاران، ۱۳۸۹).

تاکنون در سایر کشورها مطالعات مختلفی درخصوص تأثیر بادشکن بر خرداقلیم منطقه انجام شده است. از جمله مدل‌سازی اثرات نوارهای بادشکن در تغییرات مربوط به خرداقلیم در یازده نقطه کشور دانمارک (فوراید و همکاران، ۲۰۰۲) نشان داد که در فاصله بیش از ۴ تا ۷ برابر ارتفاع بادشکن، خرداقلیم تعدیل و سرعت باد کاهش یافته است؛ همچنین درجه حرارت و رطوبت نسبی افزایش یافته ولی تابش خورشید کمتر شده است. افزون بر این در حاشیه بادشکن نیز خرداقلیم تعدیل شده است. در پژوهشی دیگر اثرات بادشکن درختی در میکرواقلیم و تولید گندم در یک محیط مدیترانه‌ای بررسی و واکاوی مشاهدات خرداقلیمی نشان داد که وقتی باد از جهت شمال می‌وزد، بادشکن سرعت باد را تا فاصله ۱۲/۷ برابر ارتفاع بادشکن تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و درجه حرارت از فاصله ۴/۷ برابر ارتفاع بادشکن شروع به افزایش می‌کند (کمپی و همکاران، ۲۰۰۹). بررسی خصوصیات آئرودینامیکی بادشکن‌ها در اوکراین در طرح‌های مختلف نیز نشان داد که بادشکن‌های طراحی شده با تخلخل ۴۰٪ تا ۵۰٪ بین تنه‌ها و ۱۰٪ تا ۱۰٪ در تاج‌ها بهترین عملکرد را در منطقه دارند (یونخوفسکی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰).

در کشور ایران نیز اگرچه بیشتر پژوهشگران مطالعه‌کننده فرسایش بادی، بر تأثیر آن در کاهش میزان فرسایش بادی اراضی تأکید دارند، خلأ پژوهش‌هایی که نسبت به ارزیابی کمی این تأثیر اقدام کرده باشد، بسیار مشهود است (اکبریان و نوحه‌گر، ۱۳۹۳)؛ از جمله مطالعات موجود در این زمینه می‌توان به بررسی تغییرات سرعت باد، دما و رطوبت به‌وسیله بادشکن درختی اکالیپتوس (جان‌محمدی و ملایی‌نیا، ۱۳۹۶ الف) و بادشکن درختی گز (جان‌محمدی و ملایی‌نیا، ۱۳۹۶ ب) و تأثیر تغییر اقلیم محلی ناشی از تاغ‌کاری بر وضعیت اکولوژیکی زمین‌های شهرستان اردستان (عامری و همکاران، ۱۳۸۹) اشاره کرد که همگی بر تأثیر مثبت این بادشکن‌ها بر شرایط منطقه تأکید داشته‌اند. با این وجود، هرچند در ایران پژوهش‌های مختلفی درخصوص بادشکن صورت گرفته، ولی کمتر به بررسی تأثیر بادشکن بر میکرواقلیم منطقه پرداخته شده و بیشتر موضوع تأثیر بادشکن بر تغییرات سرعت باد (کمالی مسکونی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ شوری خاک (ارازی و همکاران، ۱۳۹۲)؛ عملکرد محصولات زراعی (ارازی و همکاران، ۱۳۸۹) و غیره بررسی شده است؛ بنابراین با توجه به اینکه شهرستان دهلران دارای کانون بحرانی فرسایش بادی است و همچنین به‌دلیل همسایگی با کشور عراق، در معرض هجوم گردوغبار قرار دارد، پژوهش حاضر به طراحی بادشکن بیولوژیک و بررسی نقش آن بر خرداقلیم منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل انوی مت هدکوارتر^۵ که یکی از مدل‌های شبیه‌سازی خرداقلیم شهری است (بروس^۶، ۲۰۰۹) می‌پردازد و امتیاز اصلی این مدل، شبیه‌سازی فعل و انفعالات اصلی جو براساس قوانین فیزیکی مانند قوانین دینامیک سیالات و ترمودینامیک است که بر خرداقلیم تأثیر می‌گذارند. ضمن اینکه براساس بررسی‌های به‌عمل آمده تاکنون از این مدل در مطالعات مربوط به عرصه‌های طبیعی و مناطق بیابانی استفاده نشده است.

1- Campi

2- Peri & Bloomber

3- Lampartová

4- Yukhnovskyi

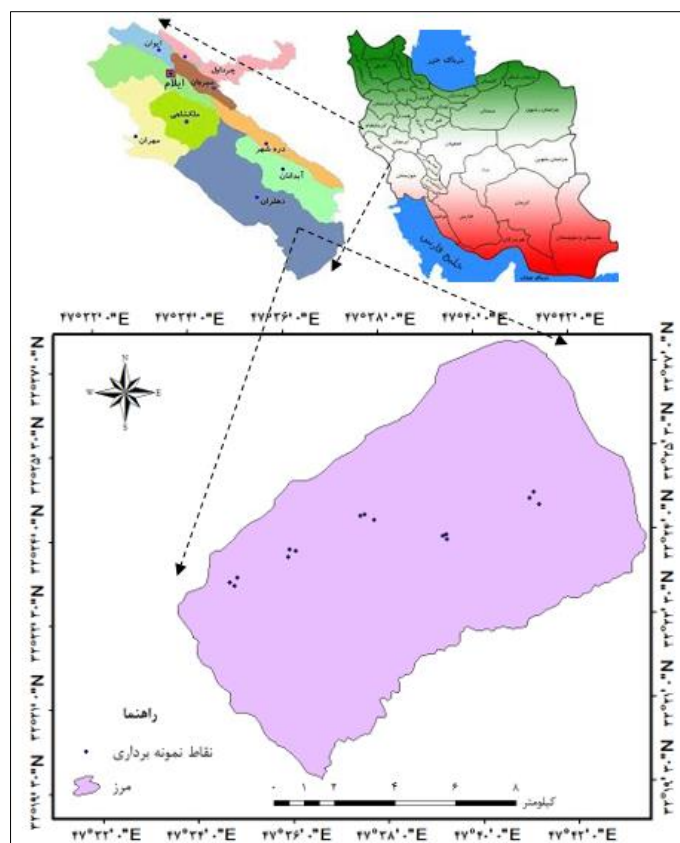
5- ENVI-met Headquarter

6- Bruse

معرفی منطقه مورد بررسی

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در حد فاصل طول جغرافیایی $32^{\circ} 33' 39''$ تا $47^{\circ} 43' 33''$ شرقی و عرض جغرافیایی $25^{\circ} 27' 32''$ تا $32^{\circ} 40' 19''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). بارندگی متوسط سالانه منطقه ۲۹۷/۸ میلی متر، مقدار متوسط دمای سالانه منطقه برابر ۲۶/۲ درجه سانتی گراد و براساس داده‌های موجود، میانگین تبخیر پتانسیل سالانه ۳۸۵۷/۵ میلی متر است (سازمان هواشناسی ایلام، ۱۳۹۸).

با توجه به طبقه‌بندی دومارتن وضعیت اقلیمی منطقه، خشک و گرم تعیین شده است. از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل تشکیلات آگاجاری و بخش لهری هستند که در نواحی جنوبی پراکنش دارند. این تشکیلات همگی در محدوده سنی میوسن قرار داشته و به همین علت (جوان بودن منطقه) نسبت به فرسایش آبی حساسیت بالایی دارند؛ افزون بر این در بخش‌های شمالی منطقه نیز سازند کنگلومرای بختیاری به صورت محدود به چشم می‌خورد که مربوط به محدوده سنی پلیوسن بالایی هستند. رسوبات جوان دوره کواترنری از دیگر نهشته‌های این منطقه هستند که به طور عمده شامل پادگانه‌های آبرفتی جوان و پست، جلگه‌های رسی (به طور عمده متشکل از رس و سیلت)، نهشته‌های آبرفتی پست و ته‌نشست‌های رودخانه‌ای عهد حاضر هستند. این نهشته‌ها که در اثر تخریب اراضی بالادست و حمل رسوبات توسط مسیل‌های متعدد منطقه در بخش‌های کم‌شیب و مرکزی، شرقی و غربی منطقه ترسیب شده‌اند، مربوط به عهد حاضر یا دوره کواترنری هستند که آن‌ها نیز حساسیت زیادی نسبت به فرسایش بادی دارند. با توجه به مطالعات صحرایی و نتایج آزمایشگاهی، خاک‌های منطقه جوان بوده و تکامل پروفیلی چندانی ندارند. جهت غالب بادهای منطقه غربی است و شواهد منطقه و بررسی‌های صحرایی کمابیش جهت جنوبی غربی تا غرب را نشان می‌دهد (میرحسینی، ۱۳۹۶: ۳۸).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان

مواد و روش‌ها

در نوشتار پیش رو پس از بازدید و شناسایی دقیق منطقه، از اراضی تپه‌ماسه‌ای منطقه در عمق صفر تا سه سانتی‌متر در سه تکرار نمونه‌برداری شد. در ادامه سایر مراحل پژوهش بیان می‌شود.

آزمایش‌های تونل باد

در پژوهش حاضر، سرعت آستانه فرسایش بادی با استفاده از دستگاه تونل باد موجود در دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام تعیین شد. به‌منظور تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی، نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوا خشک و در تونل باد قرار داده شد؛ سپس با تنظیم سرعت جریان باد و با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج، سرعت آستانه فرسایش بادی با دقت قابل قبولی اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

انتخاب گونه درختی مناسب برای طراحی بادشکن

در نوشتار پیش رو، از بین گونه‌های متداول و مورد استفاده نهال کاری در تثبیت ماسه‌های روان، دو گونه کهور پاکستانی و سیاه‌تاغ که بیشترین استفاده را در پروژه‌های تثبیت ماسه‌های روان و جنگل‌کاری در منطقه مورد مطالعه دارند، برای شبیه‌سازی انتخاب شدند. بنابر گزارش دپارتمان کالیفرنیا^۱ (۲۰۰۰) کهور پاکستانی می‌تواند از راه جذب مواد معدنی از ژرفای خاک و افزایش مواد آلی در اثر تجزیه برگ‌ها، حاصل‌خیزی خاک را افزایش دهد. نقش محیطی درختان مناطق بیابانی از جمله سیاه‌تاغ، منجر به تغییرات قابل توجهی در رژیم تابش، رطوبت خاک، رطوبت و دمای هوا، محتوای هوموس و نمک خاک در حوزه فیتونژنیک آن‌ها می‌شود. اصطلاح فیتونژنیک ابتدا به‌وسیله اورانوف^۲ (۱۹۶۵) ارائه شد. مفهوم آن عبارت است از اینکه فعالیت‌های حیاتی هر گیاه باعث اصلاح شرایط محیطی در اطراف آن می‌شود و این محیط اصلاح‌شده روی گیاهانی که در این مناطق رشد می‌کنند، تأثیر متفاوتی دارند (شمس‌الدین اف^۳ و همکاران، ۲۰۱۶).

معرفی نرم‌افزار انوی مت هداکوارتر

این نرم‌افزار مدلی سه‌بعدی و غیر هیدرواستاتیک است و برای اجرا در حوزه‌هایی با ابعاد ۶۰×۶۰ تا ۲۵۰×۲۵۰ واحد شامل شبکه‌ای از مربع‌هایی با ابعاد ۰/۵ تا ۱۰ متر طراحی شده است. انوی مت هداکوارتر مجموعه‌ای وسیع از متغیرهای مدل شده را در اختیار قرار می‌دهد که جریان‌های انرژی (طول موج بلند و کوتاه، دمای محسوس و نهان) را محاسبه می‌کند. این مدل شرایط آب‌وهوایی (دما، باد و رطوبت) را در سطوح متفاوت از حوزه و دامنه متنوعی از عوارض (ساختمان‌ها، انواع پوشش گیاهی، انواع سطوح قابل نفوذ و غیر قابل نفوذ) را در محاسبه وارد می‌کند (رضازاده و آقاجان بیگلر، ۱۳۹۰).



شکل ۲. تصاویری از (۱) سرعت‌سنج؛ (۲) تونل باد؛ (۳) سینی حاوی خاک ماسه‌ای

1- California Department of Food & Agricultural

2- Uranov

3- Shamsutdinov

تنظیم شرایط مدل انوی مت هدکوارتر

داده‌های مقدماتی که برای اجرای مدل به آن‌ها نیاز است، در این مرحله وارد می‌شوند. این داده‌ها براساس موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه شامل طول و عرض جغرافیایی، بافت خاک، شرایط دمایی هوا، سرعت و راستای وزش باد و رطوبت نسبی است. برای اینکه باد به‌طور مستقیم از روبه‌رو به بادشکن برخورد کند و اثر بادشکن در کاهش سرعت باد بهتر نشان داده شود، جهت وزش باد صفر درجه یعنی شمال در نظر گرفته شد (جدول ۱ و ۲).

شبیه‌سازی در محیط انوی مت

در نوشتار پیش رو برای شبیه‌سازی، گونه کهور پاکستانی با ارتفاع حداکثر ۱۰ متر و عرض تاج‌پوشش حدود ۵ متر و گونه سیاه‌تاغ با ۲ متر ارتفاع و تاج‌پوششی به عرض حدود ۳/۵ تا ۴ متر انتخاب شدند. برای گونه کهور پاکستانی، الگویی با مشخصات ۶ ردیف بادشکن، فاصله هر ردیف بادشکن ۲۰ متر، فاصله هر درخت براساس عرض تاج‌پوشش ۵ متر و در کل حدود ۱۲۶ اصله درخت در یک هکتار در نظر گرفته شد. برای گونه سیاه‌تاغ نیز الگویی با ۶ ردیف بادشکن، فاصله هر ردیف بادشکن ۲۰ متر، فاصله هر درخت ۴ متر و در مجموع حدود ۱۵۶ اصله درخت در یک هکتار طراحی شد.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش، سرعت آستانه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد تعیین شد و طراحی بادشکن بیولوژیک با نرم‌افزار انوی مت هدکوارتر انجام گرفت. پس از اجرای مدل، خروجی‌های مدل به کمک نرم‌افزار لئوناردو^۱ تهیه و تحلیل شدند. لئوناردو یکی از نرم‌افزارهای مدل انوی مت هست که به کمک آن می‌توان برای تمام خروجی‌های مدل، نقشه‌های دوبعدی و سه‌بعدی تهیه کرد.

نتایج

میانگین سرعت آستانه فرسایش بادی

براساس آزمایش‌های انجام‌شده در تونل باد مشخص شد که میانگین سرعت آستانه فرسایش منطقه ۴/۸۴ متر بر ثانیه است (جدول ۳).

جدول ۱. داده‌های ورودی مدل برای منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی منطقه	بافت خاک	زمان شبیه‌سازی
۴۷°۳۳' طول شرقی - ۳۲°۲۷' عرض شمالی	Sandy	۸:۰۰

جدول ۲. داده‌های جوی مورد استفاده برای ورودی مدل

متوسط حداقل دما (°C)	متوسط حداکثر دما (°C)	متوسط حداقل رطوبت نسبی (%)	متوسط حداکثر رطوبت نسبی (%)	متوسط حداکثر سرعت باد (m/s)	جهت باد (درجه)
۳۳	۵۰	۱۳	۳۲	۱۶	(۰°)

جدول ۳. میانگین سرعت آستانه فرسایش بادی

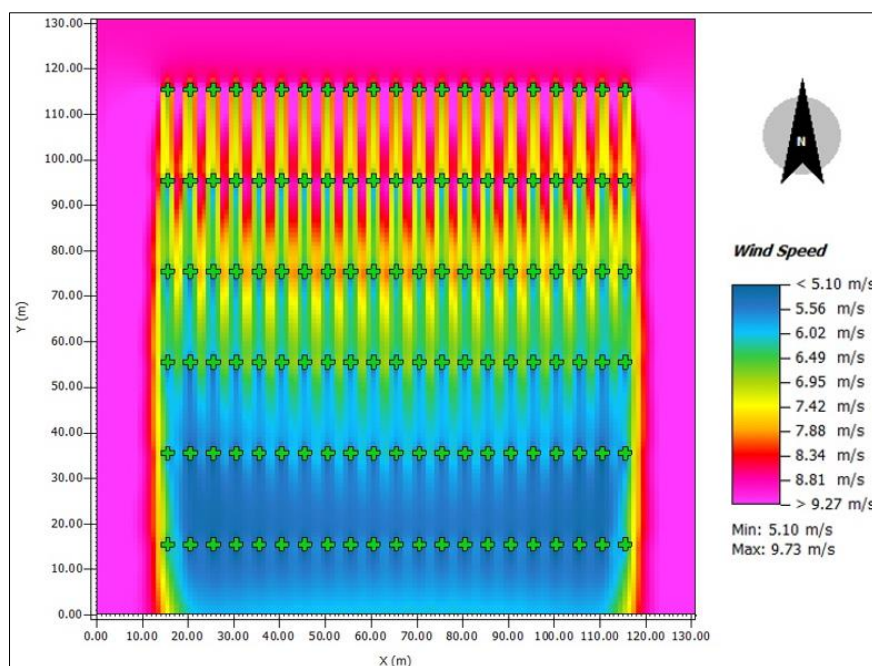
نام کاربری	سرعت آستانه فرسایش بادی
تپه‌ماسه‌ای نقطه ۱	۴/۷۸
تپه‌ماسه‌ای نقطه ۲	۴/۸۸
تپه‌ماسه‌ای نقطه ۳	۴/۸۶
میانگین	۴/۸۴

نتایج شبیه‌سازی بادشکن‌های کهور پاکستانی و سیاه‌تاغ در محیط انوی مت

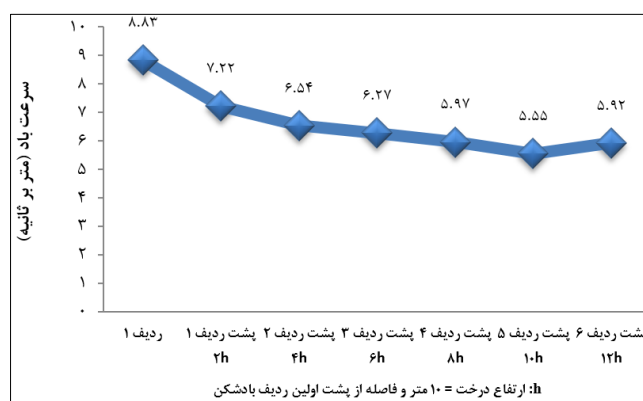
سرعت باد در بادشکن کهور پاکستانی

به‌منظور شبیه‌سازی سرعت باد در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین، بادشکن‌ها عمود بر جهت باد در نظر گرفته شده (جهت باد صفر درجه) و اولین ردیف بادشکن در مقابل باد، بالاترین ردیف است. در این بادشکن، در ردیف‌های با رنگ آبی تیره، سرعت باد به‌میزان زیادی کاهش یافته است (شکل ۳). لازم به ذکر است که این نمودار مربوط به سرعت باد در ارتفاع ۳ متری بوده و سرعت باد در سطح زمین که برای ایجاد فرسایش بادی مد نظر است، به‌مراتب کمتر از این مقدار خواهد بود. نمودار سرعت باد (شکل ۴) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش سرعت باد در فاصله h_{10} پشت ردیف اول بادشکن اتفاق افتاده است؛ و پس از آن، سرعت باد به‌تدریج زیاد می‌شود.

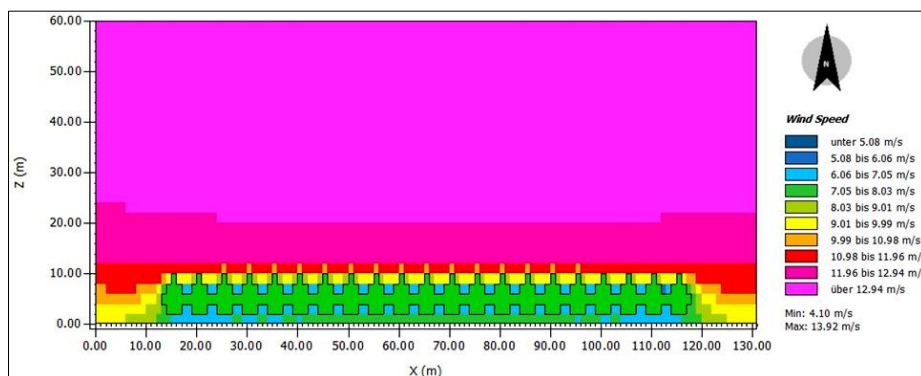
الگوهای شبیه‌سازی‌شده در محورهای عمودی (شکل ۵: سرعت باد در طول بادشکن و شکل ۶: سرعت باد در عرض بادشکن) بیانگر آن است که حداکثر سرعت باد حدود $13/93$ متر بر ثانیه است. سرعت باد پس از برخورد با ردیف‌های بادشکن، به‌تدریج کم می‌شود و در ردیف آخر، سرعت باد به حدود ۴ متر بر ثانیه می‌رسد؛ یعنی سرعت باد به کمتر از سرعت آستانه کاهش یافته است و پس از آخرین ردیف بادشکن، سرعت باد به‌تدریج زیاد می‌شود.



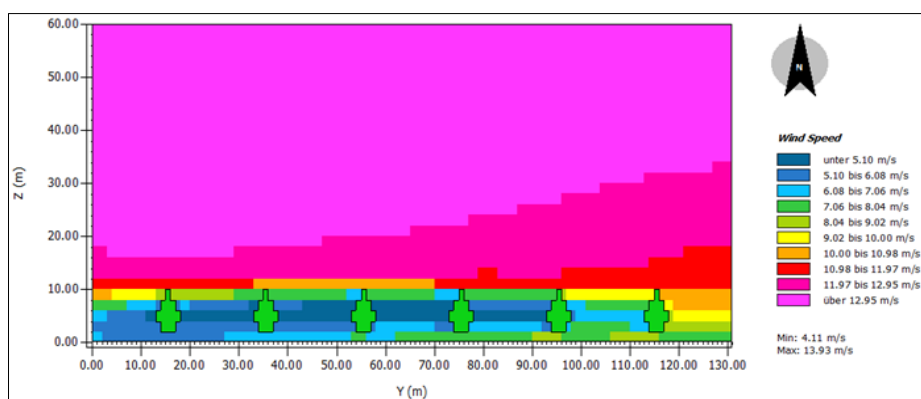
شکل ۳. پلان شبیه‌سازی‌شده برای گونه کهور پاکستانی (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدکوارتر)



شکل ۴. نمودار سرعت باد برای بادشکن کهور پاکستانی در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدکوارتر)



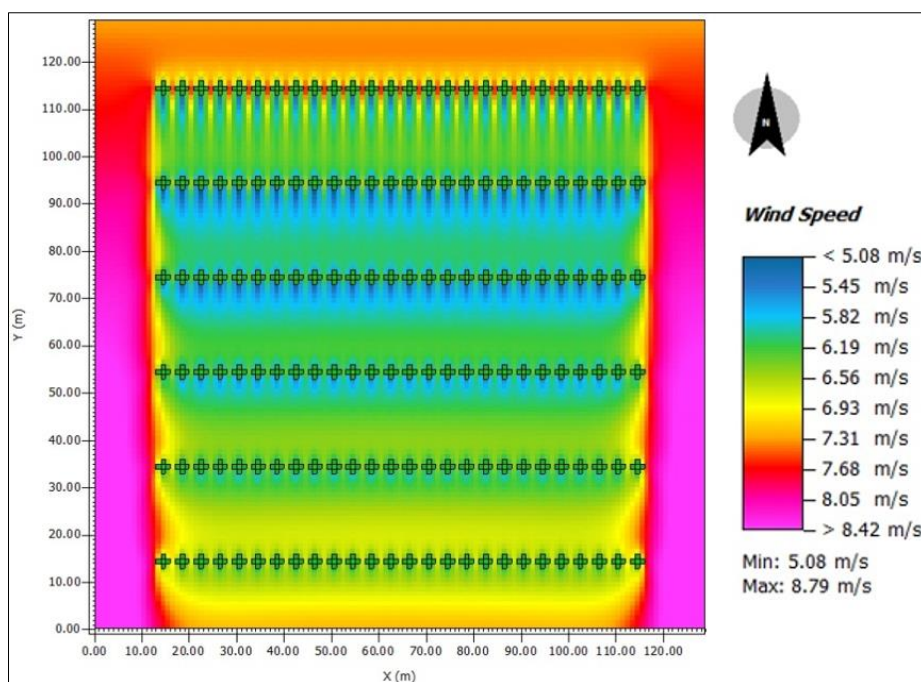
شکل ۵. الگوی شبیه‌سازی‌شده برای گونه کهور پاکستانی - محور عمودی (x/z)، (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدرکوارتر)



شکل ۶. الگوی شبیه‌سازی‌شده برای گونه کهور پاکستانی - محور عمودی (y/z)، (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدرکوارتر)

سرعت باد در بادشکن سیاه‌تاغ

پلان شبیه‌سازی‌شده در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (شکل ۷) نشان می‌دهد در مناطق آبی‌رنگ (ردیف‌های ۲، ۳ و ۴ بادشکن)، سرعت باد به‌میزان زیادی کاهش یافته است.

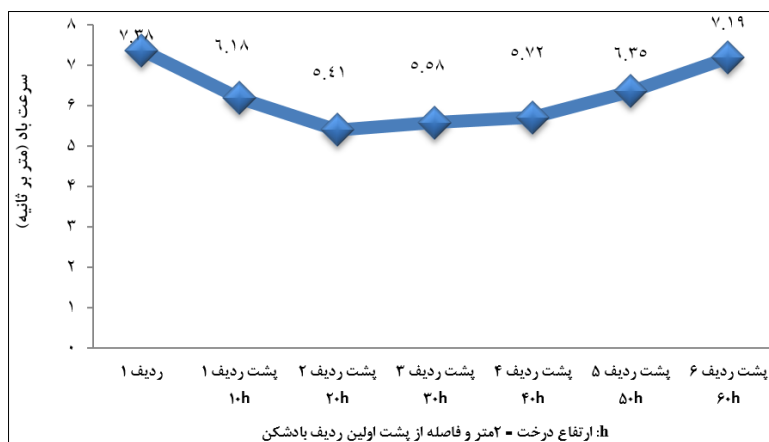


شکل ۷. پلان شبیه‌سازی‌شده برای گونه سیاه‌تاغ (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدرکوارتر)

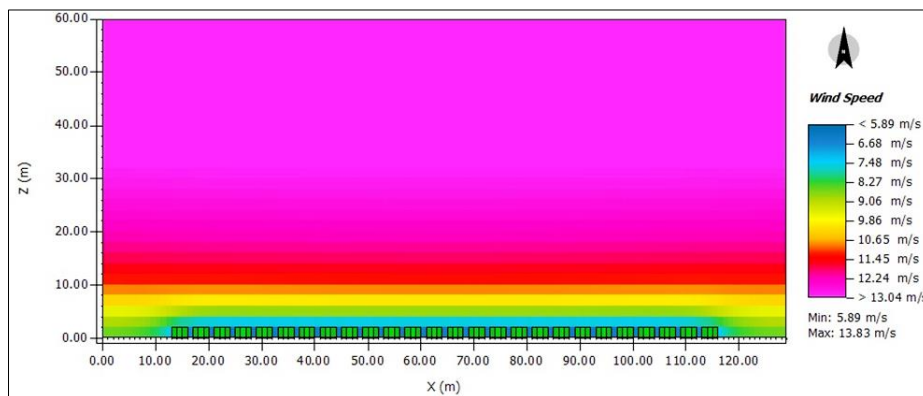
براساس نمودار سرعت باد (شکل ۸) در اولین ردیف بادشکن، سرعت باد کاهش یافته و در پشت ردیف ۲ بادشکن نیز بیشترین میزان کاهش (۵/۴۱ متر بر ثانیه) رخ داده؛ اما پس از آن سرعت باد به تدریج افزایش می‌یابد. براساس الگوهای شبیه‌سازی شده در محورهای عمودی (شکل ۹: سرعت باد در طول بادشکن و شکل ۱۰: سرعت باد در عرض بادشکن)، حداکثر و حداقل سرعت باد به ترتیب حدود ۱۳/۸۳ و ۵ متر بر ثانیه است.

دمای هوا در بادشکن کهور پاکستانی

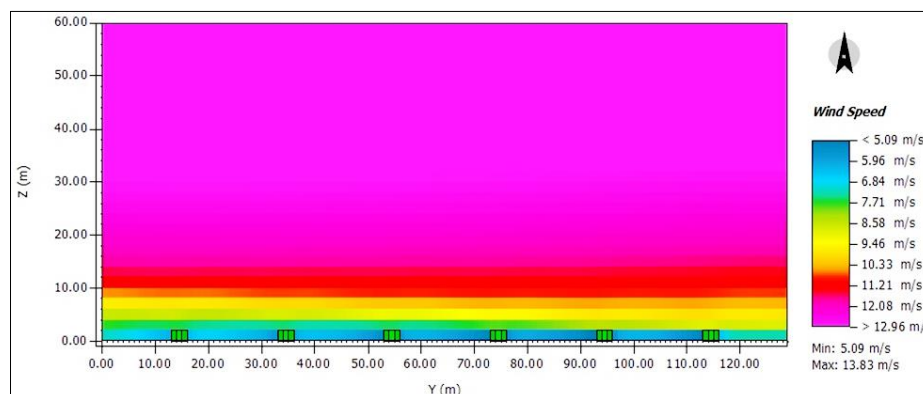
دمای هوا در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین (شکل ۱۱) نشان می‌دهد در چند ردیف آخر بادشکن که به رنگ آبی تیره مشاهده می‌شوند، دما به میزان بیشتری کاهش یافته است.



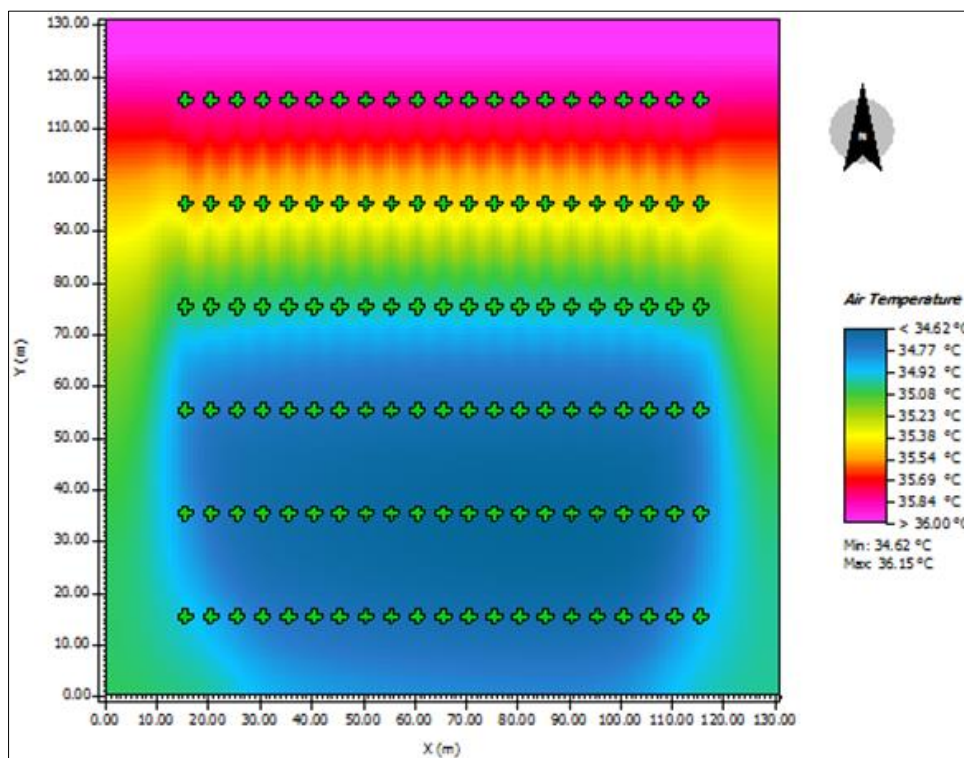
شکل ۸. نمودار سرعت باد برای بادشکن سیاه‌تاغ در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هداکوار تر)



شکل ۹. الگوی شبیه‌سازی شده برای گونه سیاه‌تاغ - محور عمودی (x/z)، (خروجی نرم‌افزار انوی مت هداکوار تر)



شکل ۱۰. الگوی شبیه‌سازی شده برای گونه سیاه‌تاغ - محور عمودی (y/z)، (خروجی نرم‌افزار انوی مت هداکوار تر)



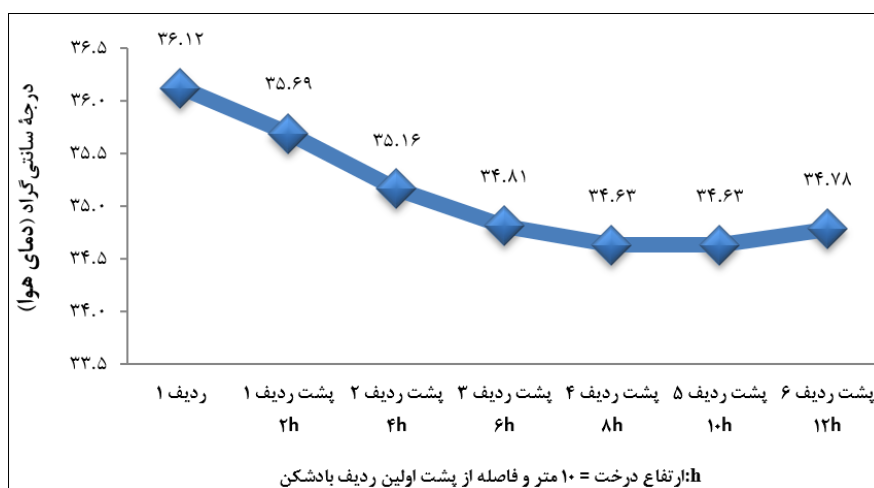
شکل ۱۱. دمای هوا در بادشکن کهور پاکستانی (خروجی نرم افزار انوی مت هداکوارتر)

همچنین دما در ردیف اول بادشکن حدود $36/12$ درجه سانتی گراد است ولی تا پس از ردیف های ۴ و ۵، دما به میزان بیشتری کاهش یافته (تا حدود $34/63$ درجه سانتی گراد) و سپس به تدریج افزایش یافته است (شکل ۱۲).

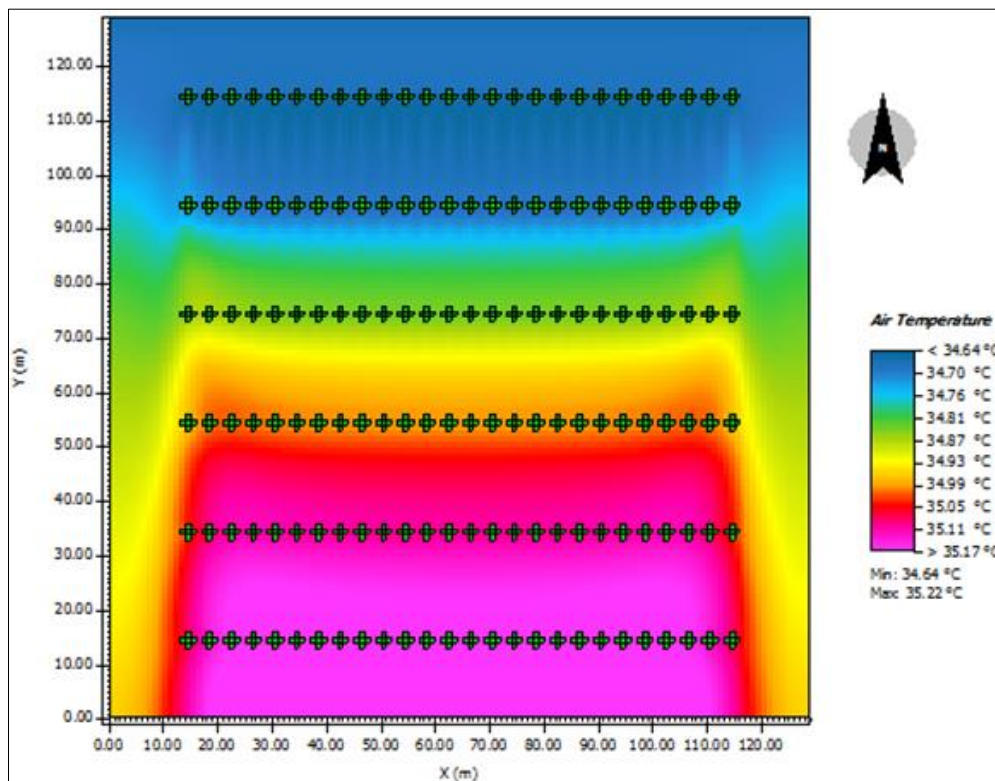
دمای هوا در بادشکن سیاه تاغ

دمای هوا در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (شکل ۱۳) نشان می دهد در دو ردیف اول بادشکن که به رنگ آبی تیره مشاهده می شوند، دما به میزان زیادی کاهش یافته؛ اما در ردیف های آخر، دما دوباره افزایش یافته است که علت آن برقراری جریان هوای آزاد و نبود پوشش درختی مناسب در این مناطق است.

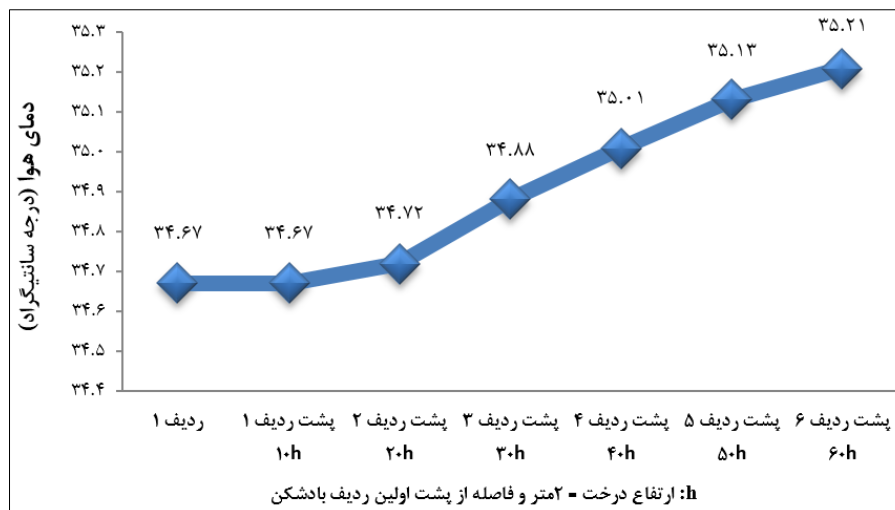
براساس نتایج (شکل های ۱۳ و ۱۴)، تفاوت دمای هوا در ردیف اول بادشکن و پشت آخرین ردیف بیش از $0/54$ درجه سانتی گراد است.



شکل ۱۲. نمودار دمای هوا برای بادشکن کهور پاکستانی در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین (خروجی نرم افزار انوی مت هداکوارتر)



شکل ۱۳. دمای هوا در بادشکن سیاه‌تاغ در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدرکوارتر)

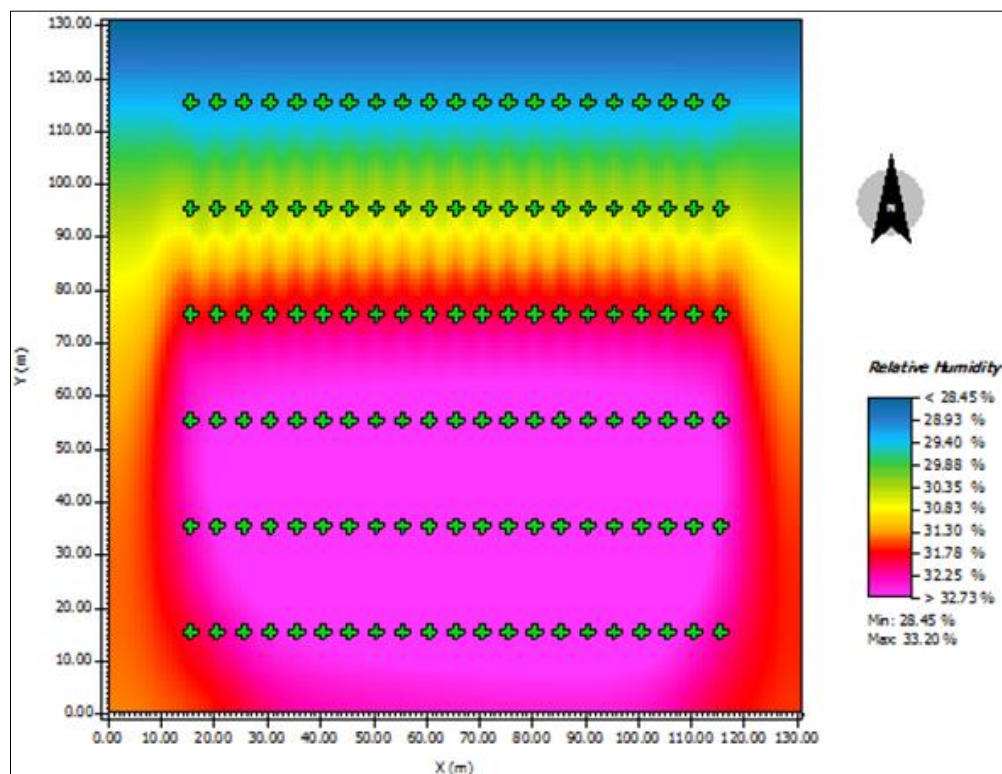


شکل ۱۴. نمودار دمای هوا برای بادشکن سیاه‌تاغ در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدرکوارتر)

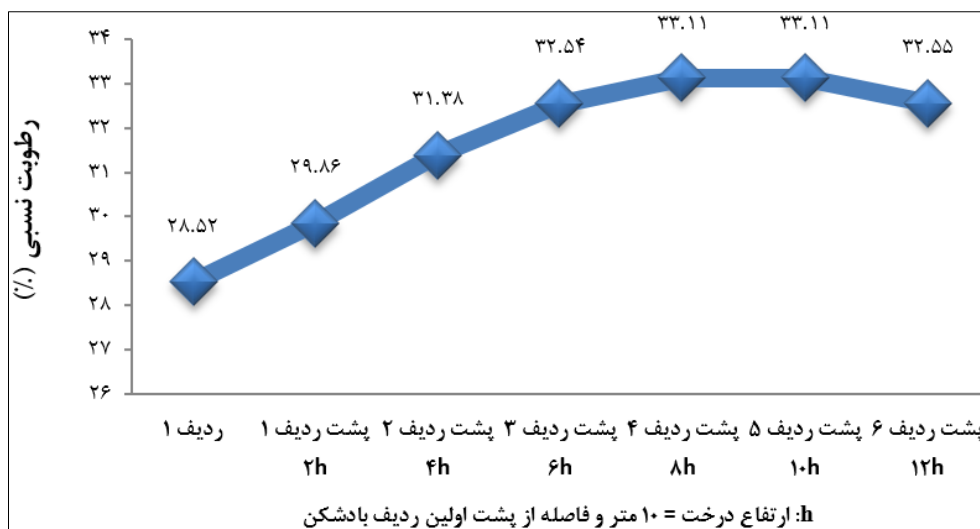
رطوبت نسبی در بادشکن کهور پاکستانی

در محیط شبیه‌سازی حداکثر رطوبت نسبی ۳۲٪ در نظر گرفته شد. در ردیف اول بادشکن (ردیف با رنگ آبی) رطوبت نسبی به میزان بیشتری کاهش یافته است؛ اما ردیف‌هایی از بادشکن که در مناطق صورتی‌رنگ قرار دارند، نشان‌دهنده افزایش رطوبت نسبی هستند (شکل ۱۵).

رطوبت نسبی در ردیف اول بادشکن کمترین مقدار بوده، سپس رطوبت نسبی به تدریج زیاد شده اما در پشت ردیف آخر بادشکن به علت نبود پوشش درختی و برقراری جریان هوای آزاد، دوباره رطوبت نسبی کاهش یافته است (شکل ۱۶).



شکل ۱۵. رطوبت نسبی در بادشکن کهور پاکستانی در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هداوارتر)

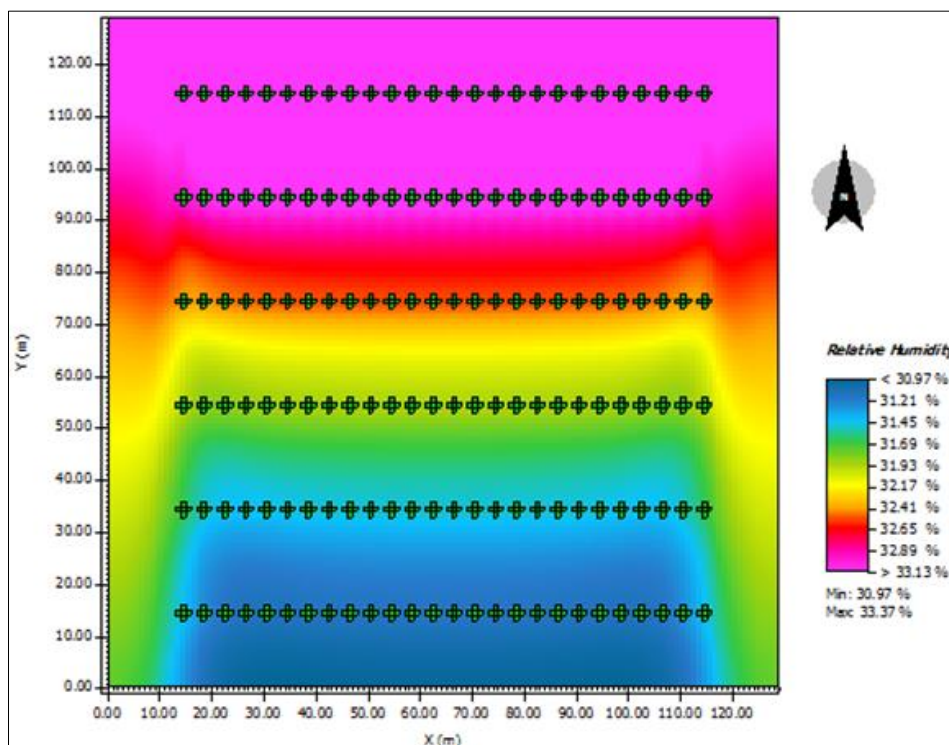


شکل ۱۶. نمودار رطوبت نسبی برای بادشکن کهور پاکستانی در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هداوارتر)

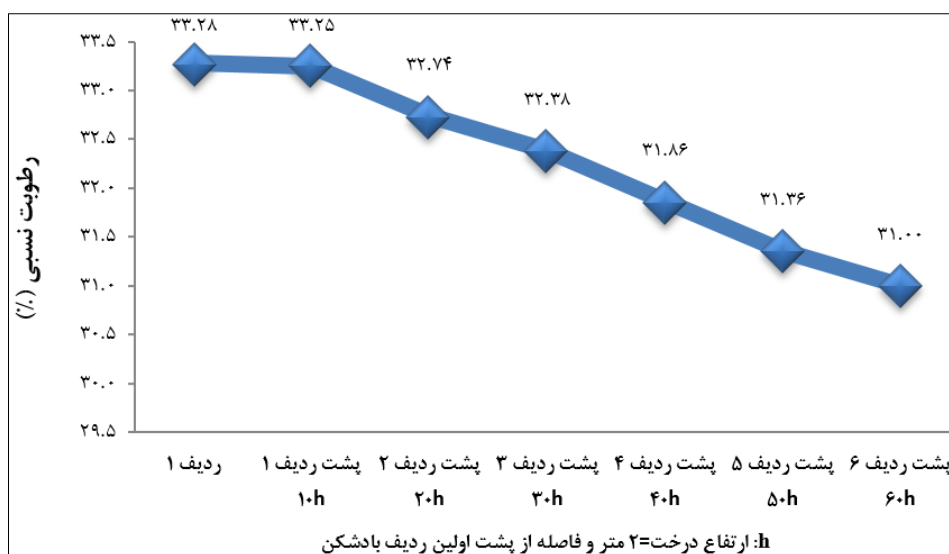
رطوبت نسبی در بادشکن سیاه‌تاغ

در دو ردیف اول بادشکن که به رنگ صورتی هستند، رطوبت نسبی به میزان بیشتری افزایش یافته است؛ اما دو ردیف آخر بادشکن که در مناطق آبی‌رنگ قرار دارند، نشان‌دهنده کاهش رطوبت نسبی هستند (شکل ۱۷) که ازجمله دلایل آن می‌توان به عدم حفاظت منطقه در انتهای بادشکن به وسیله پوشش درختی اشاره کرد که همین امر باعث برقراری جریان هوای آزاد شده و رطوبت نسبی کاهش یافته است.

نمودار زیر (شکل ۱۸) نشان می‌دهد که در ردیف اول بادشکن و ۲۰ متر پشت آن، رطوبت نسبی زیاد شده، اما پس از آن به تدریج رطوبت نسبی کاهش یافته است.



شکل ۱۷. رطوبت نسبی در بادشکن سیاه‌تاغ در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدکوارتر)



شکل ۱۸. نمودار رطوبت نسبی برای بادشکن سیاه‌تاغ در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین (خروجی نرم‌افزار انوی مت هدکوارتر)

بحث

بادشکن بیولوژیک که متشکل از چندین ردیف درخت یا درختچه است، به‌عنوان گزینه مناسبی برای مبارزه با فرسایش بادی در مناطق خشک و بیابانی مطرح است. هر بادشکن با ارتفاع و تراکم مشخص تا مسافتی سرعت باد را کاهش داده و سپس سرعت باد به وضعیت اولیه خود برمی‌گردد. به همین دلیل فاصله بین ردیف‌های بادشکن باید به‌گونه‌ای باشد که سرعت بادهای ماکزیمم را تا سرعت آستانه فرسایش کاهش دهد و بتواند مانع فرسایش بادی شود و از سوی دیگر اقتصادی و کم‌هزینه باشد (مددی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در یک شبکه بادشکن متراکم که به‌صورت ردیفی احداث شده، سرعت باد پس از برخورد به بادشکن ردیف اول کاهش یافته و در زمان رسیدن به

بادشکن ردیف دوم دارای سرعت کمتری از سرعت اولیه خواهد بود؛ بنابراین ردیف دوم عملاً کاهش سرعت بیشتری را انجام خواهد داد (کوک و گوینز^۱، ۲۰۰۸).

با توجه به اینکه ارزیابی تأثیر احداث بادشکن‌ها در فرسایش بادی دارای محدودیت‌های فراوان و کار میدانی گسترده است و از طرفی در سال‌های اخیر از شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری کارآمد در مطالعات مختلف استفاده می‌شود، در نوشتار پیش رو از مدل انوی مت هداکوارتر که در طراحی‌های فضای سبز شهری کاربرد دارد، استفاده شده و قابلیت و توانایی این مدل در مطالعات مربوط به منابع طبیعی مشخص شد. در محیط شبیه‌سازی مورد نظر، حداکثر سرعت باد براساس آمار منطقه ۱۶ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. براساس نتایج شبیه‌سازی، در الگوی طراحی شده برای گونه کهور پاکستانی با ۱۰ متر ارتفاع (شکل ۳ و ۴)، سرعت باد به‌گونه‌ای است که در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین، در ردیف اول بادشکن سرعت باد تا حدود ۸/۸۳ متر بر ثانیه کاهش یافته است.

در فاصله ۲ h تا ۶ h (۲۰ تا ۶۰ متری) پشت ردیف اول بادشکن (۱۰ m = ارتفاع کهور پاکستانی = h)، سرعت باد به میزان کمی کاهش یافته اما در ۸ h تا ۱۲ h (۸۰ تا ۱۲۰-۱۰۰ متری) پشت ردیف اول بادشکن، سرعت باد به میزان بیشتری شروع به کم شدن می‌کند و باد در ۱۰ h (۱۰۰ متری) پشت ردیف اول بادشکن، بیشترین کاهش سرعت را داشته است و نتایج این نوع بادشکن با نتایج مطالعه تأثیر بادشکن درختی اکالیپتوس بر کاهش سرعت باد، دما و تغییر رطوبت نیز مطابقت دارد (جان‌محمدی و ملایی‌نیا، ۱۳۹۶ الف)؛ اما در الگوی طراحی شده برای گونه سیاه‌تاغ با ۲ متر ارتفاع (شکل ۷ و ۸)، در ردیف اول بادشکن و در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین، سرعت باد تا حدود ۷/۳۸ متر بر ثانیه کاهش یافته است. در فاصله ۲۰ h تا ۳۰ h (۴۰ تا ۶۰ متری) پشت ردیف اول بادشکن (۲ m = ارتفاع سیاه‌تاغ = h)، سرعت باد به میزان بیشتری کاهش یافته است؛ اما بیشترین کاهش سرعت باد در پشت ردیف دوم بادشکن اتفاق افتاده است (حدود ۵/۴۱ متر بر ثانیه). از ۴۰ h (۸۰ متر) در پشت ردیف اول بادشکن سرعت باد کم‌کم زیاد شده و به سرعت اولیه نزدیک می‌شود. بررسی مطالعات سایر پژوهشگران نیز گویای تأثیر فواصل بادشکن بیولوژیک احداث شده بر سایر پارامترها است (کوک و گوینز، ۲۰۰۸؛ مددی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ رفاهی، ۱۳۹۱).

براساس نتایج، چگونگی تغییرات دما و رطوبت نسبی در گونه کهور پاکستانی عکس گونه سیاه‌تاغ است. این تفاوت، ناشی از نحوه تغییرات سرعت باد در این دو بادشکن است که این تغییرات سرعت، خود نیز به ارتفاع هردو بادشکن برمی‌گردد، زیرا هرچه ارتفاع بادشکن بیشتر باشد، سرعت باد بیشتر کاهش می‌یابد. به همین خاطر در بادشکن کهور پاکستانی با کاهش بیشتر سرعت باد و تلاطم هوا در مجاورت سطح خاک و ایجاد سایه، منطقه‌ای به‌وجود می‌آید که دارای هوای کمابیش ساکن و آرام و با درجه حرارت کمتر است. در نتیجه با کاهش درجه حرارت هوا، میزان تبخیر کاهش و به تبع آن میزان رطوبت افزایش می‌یابد؛ بنابراین علت تفاوت در شرایط دما، رطوبت و سرعت باد در هردو بادشکن کهور پاکستانی و سیاه‌تاغ به ویژگی‌های بیولوژیک این گونه‌ها همچون ارتفاع گونه‌ها، تراکم، شکل تاج‌پوشش و غیره بستگی دارد.

با توجه به نتایج می‌توان گفت در الگوی طراحی شده برای گونه کهور پاکستانی در فواصل ۸۰ تا ۱۲۰ متری بادشکن اولیه، سرعت باد به میزان بیشتری شروع به کم شدن می‌کند در حالی که در گونه سیاه‌تاغ، در فاصله‌های ذکر شده سرعت باد کم‌کم زیاد می‌شود و به سرعت اولیه نزدیک می‌شود؛ همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در الگوی طراحی شده برای گونه کهور پاکستانی، برعکس گونه سیاه‌تاغ، هرچند پیش از بادشکن به میزان کمتری

سرعت باد کاهش می‌یابد، ولی پس از بادشکن دیرتر به سرعت اولیه بازمی‌گردد. این مطلب بیانگر این است که بادشکن طراحی شده برای گونهٔ کهور پاکستانی می‌تواند باد را تا فاصلهٔ بیشتری از بادشکن اولیه کاهش دهد در صورتی که در بادشکن طراحی شده برای سیاه‌تاغ، در فاصله کمتری از اولین بادشکن، باد به سرعت اولیه بازمی‌گردد و مسافت کمتری را از پشت بادشکن اولیه محافظت می‌کند.

در الگوهای طراحی شده در محورهای عمودی برای گونه‌های کهور پاکستانی و سیاه‌تاغ (شکل ۵، ۶، ۹ و ۱۰)، حداقل سرعت باد به ترتیب حدود ۴/۱۱ و ۵/۸ متر بر ثانیه است؛ بنابراین براساس نتایج تونل باد و شکل‌های یادشده، می‌توان نتیجه گرفت الگوی شبیه‌سازی شده برای گونهٔ کهور پاکستانی توانسته است سرعت باد را از ۱۶ متر بر ثانیه به کمتر از سرعت آستانهٔ فرسایش، یعنی حدود ۴/۱۱ متر بر ثانیه کاهش دهد (میرحسینی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹)؛ البته لازم به ذکر است که سرعت آستانهٔ فرسایش در سطح خاک اندازه‌گیری شده ولی سرعت باد اندازه‌گیری شده در بادشکن‌ها در ارتفاع ۱ و ۳ متری است که به‌طبع سرعت باد با افزایش ارتفاع از سطح زمین به‌علت کاهش اصطکاک، بیشتر می‌شود و بنابراین احداث بادشکن باعث خواهد شد که سرعت باد در سطح زمین به‌مراتب کمتر از سرعت آستانهٔ فرسایش باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه ضمن اثبات قابلیت مدل انوی مت هداکوارتر در مطالعات مربوط به بیابان‌زدایی و احداث بادشکن بیولوژیک؛ نشان داد که هردو بادشکن کهور پاکستانی و سیاه‌تاغ می‌توانند باعث ایجاد خرداقلیم در منطقه شوند. از طرفی هر سه عامل کاهش سرعت باد، کاهش دما و افزایش رطوبت می‌توانند باعث کاهش تبخیر از سطح آب و خاک در مناطق بیابانی شوند و زمینهٔ رشد و گسترش پوشش گیاهی را فراهم نمایند؛ بنابراین افزون بر کاهش فرسایش بادی در اراضی تپه‌ماسه‌ای و کنار جاده‌ها، به‌منظور تثبیت مناطق حساس به فرسایش که در منطقهٔ بادخیز قرار گرفته‌اند، می‌توان از گونهٔ کهور پاکستانی به‌عنوان گونه‌ای مناسب برای احداث بادشکن استفاده کرد. درضمن نوشتار پیش رو نشان داد که بادشکن‌های ایجادشده از گونه‌های مختلف درختان دارای اثرات متفاوتی بر روی خرداقلیم منطقه هستند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثر سایر گونه‌های درختی سازگار با شرایط منطقه بررسی شود.

منابع

- احمدی، حسن؛ نظری سامانی، علی‌اکبر؛ اختصاصی، محمدرضا؛ مقیمی نژاد، فیروزه؛ حسین‌آبادی، مصطفی (۱۳۹۱). بررسی تأثیر توسعهٔ شهری و صنعتی (بیابان‌زایی تکنوژنیک) در بیابان‌زایی (مطالعهٔ موردی: شرق اصفهان). *فصلنامهٔ علمی - پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۲ (۱)، ۶۳-۷۷.
- ارازی، عبدالقادر؛ امتحانی، محمدحسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ سودائی‌زاده، حمید (۱۳۸۹). تأثیر بادشکن‌های درختی بر عملکرد محصولات زراعی در مناطق خشک. *دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار*، یزد.
- ارازی، عبدالقادر؛ امتحانی، محمدحسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ سودائی‌زاده، حمید (۱۳۹۲). تأثیر بادشکن درختی گز بر روی شوری خاک اراضی کشاورزی در مناطق خشک (مطالعهٔ موردی: اردکان). *پژوهش‌های آب‌خیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۲۶ (۲)، ۵۳-۵۹.
- اکبریان، محمد؛ نوحه‌گر، احمد (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر جنگل‌کاری در کاهش فرسایش بادی محدودهٔ پی‌بشک در شهرستان جاسک. *فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی*، ۲۹ (۳)، ۱۹۰-۱۷۹.

جان محمدی، راضیه، ملایی‌نیا، محمودرضا (۱۳۹۶ الف). تأثیر بادشکن درختی اکالیپتوس بر تغییرات سرعت باد، دما و رطوبت. *اولین کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های نوین در مهندسی عمران، آمل: دانشگاه شمال*.

جان محمدی، راضیه؛ ملایی‌نیا، محمودرضا (۱۳۹۶ ب). تأثیر بادشکن درختی گز بر تغییرات سرعت باد، دما و رطوبت. *اولین کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های نوین در مهندسی عمران، آمل: دانشگاه شمال*.

رضازاده، راضیه؛ آقاجان بیگلر، عماد (۱۳۹۰). الگوی پیشنهادی برای توده‌گذاری در قطعات مسکونی ردیفی، بررسی تطبیقی دو الگو توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی. *دوفصلنامه دانشگاه هنر*، ۴ (۷)، ۱۶۵-۱۸۴.

رفاهی، حسینقلی (۱۳۹۱). *فرسایش بادی و کنترل آن*. چاپ ششم. تهران: دانشگاه تهران.

سازمان هواشناسی ایلام (۱۳۹۸). *اطلاعات و آمار هواشناسی*.

صداقت، محمود (۱۳۵۸). *فرایندهای بیرونی تغییردهنده زمین: درس زمین‌شناسی*. جلد دوم. تهران: دانشگاه آزاد ایران.

صفایی قهنویه، احمدرضا؛ باباخانی، سجاد، کریم‌زاده، حمیدرضا (۱۳۸۹). معرفی گونه‌های گیاهی مؤثر در کنترل فرسایش بادی. *دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار*، یزد.

عامری، فاضل؛ خنامانی، علی؛ کریم‌زاده، حمیدرضا (۱۳۸۹). تأثیر تغییر اقلیم محلی ناشی از تاغ‌کاری بر وضعیت اکولوژیکی اراضی کشاورزی و مرتعی (مطالعه موردی: شهرستان اردستان استان اصفهان). *مجموعه مقالات چهارمین مقالات کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم*، (صص. ۵۱۵-۵۲۰). اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان.

کمالی مسکونی، احسان؛ امیری، ایرج؛ اختصاصی، محمدرضا (۱۳۸۹). بررسی مقایسه‌ای اثرات بادشکن‌های دیوار گلی و نخل خرما روی تغییرات سرعت باد مطالعه موردی منطقه جیرفت. *دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار*، یزد.

مددی‌زاده، نعمت‌اله؛ امیری، ایرج؛ فاریابی، نجمه؛ تکلوزاده، علی‌محمد (۱۳۹۲). مقایسه فواصل احداث بادشکن بیولوژیک در روش‌های مختلف اجرایی (مطالعه موردی: جنوب استان کرمان). *کنفرانس علوم کشاورزی و محیط‌زیست*، شیراز.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور (۱۳۹۳). *ضوابط و معیارهای فنی احداث بادشکن بیولوژیک*، (۶۵۸).

میرحسینی، مرضیه (۱۳۹۶). بررسی سرعت آستانه فرسایش بادی در کاربری‌های مختلف با استفاده از تونل باد (مطالعه موردی: عین خوش - دهلران، ایلام). *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد*، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ایلام.

References

- Ahmadi, H., Nazari Samani, A. A., Ekhtesasi, M. R., Moghimi-Nejad, F. & Hossein Abadi, M. (2012). The Effects of Urban and Industrial Development (Technogenic Desertification) in the desertification (Case Study: Eastern Region of Esfahan Province). *Journal of Environmental Erosion Research*, 2 (1), 63-77 (in Persian).
- Akbarian, M. & Nohegar, A. (2014). Evaluation of the effect of afforestation on decreasing wind erosion in the Jask Range. *Geographic Quarterly*, 29 (3), 179-190 (in Persian).
- Ameri, F., Khanamani, A. & Karimzadeh, H. R. (2010). The Effect of Local Climate Change Depending on the Ecological Situation of Agriculture and Range Lands (Case Study: Ardestan City, Isfahan Province). *Proceedings of the 4th Conference Paper on Climate Change*, 515-520 (in Persian).
- Arazi, A., Emtahani, M. H., Ekhtesasi, M. R. & Sodaeezadeh, H. (2014). Effect of Tamarix aphylla as tree windbreak on salinity soil agriculture lands in dry region (case study: Ardakan). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 26 (2), 53-59 (in Persian).
- Arazi, A., Emtahani, M. H., Ekhtesasi, M. R. & Sodaeezadeh, H. (2011). Effect of tree windbreak on agriculture products in dry region. *The second national conference of wind erosion and dust storms*, Iran, Yazd (in Persian).
- Bruse, M. (2009). ENVI-met Website Retrieved from <http://www. Envi-met. Com>.
- California Department of Food & Agricultural (2000). A brief paper for the Government of the India, State governments and concerned ministries, Prosopis juliflora, the tree of the poor. *Department for International Development (DFID)*, 1-2.

- Campi, P., Palumbo, A. D. & Mastrorilli, M. (2009). Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 30 (3), 220-227.
- Cook, G. D. & Goyens, C. M. (2008). The impact of wind on trees in Australian tropical savannas: lessons from Cyclone Monica. *Austral Ecology*, 33 (4), 462-470.
- Foereid, B., Bro, R., Mogensen, V. O. & Porter, J. R. (2002). Effects of windbreak strips of willow coppice—modelling and field experiment on barley in Denmark. *Agriculture, ecosystems & environment*, 93 (1-3), 25-32.
- Fryrear, D. W. (1995). Soil losses by wind erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 59 (3), 668-672.
- He, Z., Li, S. & Harazono, Y. (1997). Wind-sandy environment and the effects of vegetation on wind breaking and dune fixation in Horqin sandy land, China. In Proceedings of Wind Erosion: An International Symposium/Workshop. *USDA Agricultural Research Service*, Wind Erosion Laboratory, Manhattan, KS.
- Ilam Meteorological Organization (2020). *Weather and climatology reports* (in Persian).
- Jan Mohammadi, R. & Molayynia, M. R. (2017a). The Effect of Eucalyptus Windbreak on changes in Wind Speed, Temperature and humidity. *The First International Conference on Modern Advances in Civil Engineering*, Amol, North University (in Persian).
- Jan Mohammadi, R. & Molayynia, M. R. (2017b). The effect of *tamarix* Windbreak on changes in wind speed, temperature and humidity, *The First International Conference on Modern Advances in Civil Engineering*, Amol, North University (in Persian).
- Jarrah, M., Mayel, S., Tatarko, J., Funk, R. & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: data requirements, processes, and validity. *Catena*, 187, 104388.
- Kamali Maskoni, E., Amiri & Ekhtesasi, M. R. (2011). A comparative study of the effects of mud wall windbreaks and date palms on wind speed changes case study Jiroft region, *The Second National Conference of Wind Erosion and Dust Storms*, Iran, Yazd (in Persian).
- Kučera, J., Podhrázská, J., Karásek, P. & 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.
- Lampartová, I., Schneider, J., Vyskot, I., Rajnoch, M. & Litschmann, T. (2015). Impact of protective shelterbelt microclimate characteristics. *Ekológia (Bratislava)*, 34 (2), 101-110.
- Madadi zadeh, N., Amiri, I., Faryabi, N. & Tekluzadeh, A. M. (2014). Comparison of Biological Windbreak Distance in Different Methods of Implementation (Case Study: South of Kerman Province). *Conference on Agricultural and Environmental Sciences*, Shiraz (in Persian).
- Mirhasani, M., Rostami, N., Bazgir, M. & Tavakoli, M. (2019). Living windbreak design for wind erosion control in arid regions: A case study in Dehloran, Iran. *Desert*, 24 (1), 33-42.
- Mirhasani, M. (2017). *Study of Threshold Velocity for Wind Erosion in Different Land Uses Using Wind Tunnel (Case Study: Eyn- Khowsh, Dehloran, Ilam)*. Master of Science Thesis, Ilam University (in Persian).
- Peri, P. L. & Bloomberg, M. (2002). Windbreaks in southern Patagonia, Argentina: A review of research on growth models, windspeed reduction, and effects on crops. *Agroforestry Systems*, 56 (2), 129-144.
- Refahi, H. Gh. (2012). *Wind Erosion and conservation*. 6th Edition Tehran: Tehran University (in Persian).
- Rezazadeh, R. & Aghajan Biglou, E. (2012). Proposed Model for Massage in Rawty Residential Components, *Biannual Journal of the University of Art*, 4 (7), (in Persian).
- Saffai ghahnouyeh, A. R., Babakhani, S. & Karimzadeh, H. R. (2010). Introduction of Effective Plant Species on Wind Erosion Control, *2nd National Conference on Wind Erosion and Dust Hurricanes*, Yazd (in Persian).
- Sedaghat, M. (1979). *Exterior Processes of Land Formation; Geology Lesson*. Volume 2. Tehran: Iran Azad University (in Persian).
- Shamsutdinov, Z. S., Ubaydullaev, S. R., Shamsutdinov, N. Z. & Zanzheev, V. V. (2016). Environment-forming role of black saxaul, *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin in the

- Karnabchul Desert. *Russian journal of ecology*, 47 (1), 39-45.
- Takht Abnoci, Gh. (1994). Forestry in Arid Regions (Translation). *Examine the Research Center for Rural Issues Ministry of Jihad*.
- Uranov, A. A. (1965). Fitogennoe Pole (in Russian) (The phytogenic field). In: *Lavrenko EM (Ed.) problem sovremennoj botaniki*, vol 1. Naoka, Moscow, 251-254.
- Vice President of Strategic Planning and Control (2015). *Criteria and Principals for the construction of a biological windbreak*. (658) (in Persian).
- Yukhnovskiy, V., Polishchuk, O., Lobchenko, G., Khryk, V. & Levandovska, S. (2020). Aerodynamic properties of windbreaks of various designs formed by thinning in central Ukraine. *Agroforestry Systems*, 1-11.