

## بررسی چگونگی تأثیر بوته‌های گیاهی بر میزان فرسایش و رسوب بادی در مناطق خشک (مطالعه موردی: منطقه صبری شهرستان سبزوار)

هانیه پورجوادی<sup>۱</sup>، علیرضا راشکی<sup>۲\*</sup>، محسن حسینعلی‌زاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۵

### چکیده:

اثر پوشش گیاهی بر فرایند فرسایش بادی به‌ویژه در مناطق خشک، شناخته شده است؛ اما خلأ پژوهش‌هایی که به ارزیابی کمی این تأثیر اقدام کرده باشند، کاملاً مشهود است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی چگونگی تأثیر گیاهان با ابعاد مختلف بر فرسایش بادی است. بدین منظور دو سایت دارای تک‌پوشش گیاهی، شامل چرخه (*Launaea spinosa*) و کاهوی وحشی (*Lactuca serriola*) و سایت شاهد در منطقه صبری شهرستان سبزوار انتخاب شد. میزان فرسایش و رسوب بادی در بازه‌های زمانی ۲۱ روزه در تابستان سال ۱۳۹۴، توسط پین‌های مدرج اندازه‌گیری شد. سپس آزمون توکی بین سه سایت و بخش‌های مختلف اطراف گیاه صورت پذیرفت. همچنین نقشه تغییرات مکانی فرسایش بادی در حضور گیاه، با روش کریجینگ معمولی استخراج شد. وجود اختلاف معنی‌دار در فرسایش بادی دو سایت مطالعاتی حاکی از نقش مهم ویژگی‌هایی نظیر نوع، ارتفاع و عرض گیاه بر میزان تأثیرگذاری آن بر فرسایش بادی است. همچنین نتایج نشان داد فاصله مؤثر بر فرسایش بادی در گیاه چرخه و کاهوی وحشی، به ترتیب ۲/۸ و ۳/۴ برابر ارتفاع است. میزان فرسایش در طرفین دو گیاه به ترتیب در محدوده‌ای با ابعاد ۰/۷۴ و یک برابر عرض گیاه در جهت باد و ۰/۳۱ و ۰/۴۵ برابر عرض گیاه عمود بر جهت باد، بیش از حد نرمال است.

**واژه‌های کلیدی:** مناطق خشک، فرسایش بادی، پوشش گیاهی، میان‌یابی، سبزوار.

۱. کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسئول / Email: a.rashki@um.ac.ir

۳. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

فرسایش بادی یکی از فرایندهای مهم تخریب خاک در مناطق خشک و بیابانی است (چن و فرایریر<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶). با توجه به شرایط اقلیمی ایران، دشت‌های وسیعی از مرکز، شرق و جنوب شرقی کشور، بستری مناسب برای فرسایش بادی هستند (علایی طالقانی، ۲۰۰۳)؛ در اثر این پدیده، سالیانه خسارت‌های هنگفتی به صورت مستقیم و غیرمستقیم، بر منابع طبیعی کشور وارد می‌شود (مه‌دیان، ۲۰۰۵؛ اکبری‌ان و نوحه‌گر، ۲۰۱۴).

بررسی و ارزیابی فرسایش بادی به دلیل گستردگی و تنوع عوامل دخیل در آن، کار مشکلی است (فرایریر، ۱۹۹۵). این عوامل شامل پارامترهای مؤثر خاک، پارامترهای مؤثر آب و هوا، زبری سطح خاک، پستی و بلندی، سرعت باد و پوشش گیاهی‌اند (هی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در بین این عوامل، پوشش گیاهی اهمیت بسیار فراوانی است، به نحوی که یکی از شرایط تحقق فرایندهای بادی، پراکندگی پوشش گیاهی است و علت عمده اختلافات بین مناطق خشک و مرطوب از نظر فرسایش، پوشش گیاهی زیاد در نقاط مرطوب است که نقش عمده‌ای در حفظ خاک ایفا می‌کند (سوتربری<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). پوشش گیاهی باعث افزایش ارتفاع زبری و مانع برخورد مستقیم باد با سطح خاک می‌شود (یوسف<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۲) و با کاهش حرکت ذرات متقل شده به وسیله باد و کاهش تبخیر سطحی (حفظ رطوبت خاک) تأثیر بسزایی در کنترل فرسایش بادی دارد (احمدی، ۲۰۰۶).

نتایج برخی پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد رابطه بین پوشش گیاهی و میزان فرسایش بادی به‌ویژه در مناطق خشک، به صورت تابع‌نمایی است و با افزایش پوشش گیاهی میزان فرسایش بادی کاهش می‌یابد (شی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین تأثیر پوشش گیاهی در فرسایش بادی بر حسب نوع پوشش، ارتفاع و عرض متفاوت است (لیو<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۲؛ لوین<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ هی و همکاران، ۲۰۰۷؛ سوتربری و همکاران، ۲۰۱۳؛ جهان‌تیغ، ۲۰۱۴). تراکم و ارتفاع

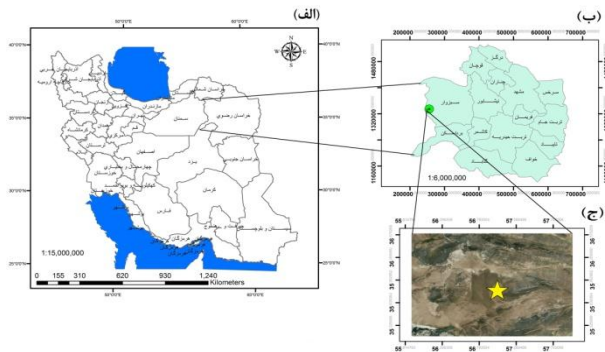
بهینه پوشش گیاهی، به‌عنوان استراتژی کنترل فرسایش بادی و کاهش انتقال ذرات خاک بیان شده است و در صورتی که تراکم با توزیع یکنواخت همراه باشد، بهترین حالت برای جلوگیری از فرسایش بادی است (یوسف و همکاران، ۲۰۱۲؛ لیندرز<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ مایاد<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

بسیاری از علوم محیطی از جمله انتقال ذرات خاک، دربرگیرنده متغیرها و خصوصیاتی هستند که مقادیر آن‌ها به صورت پیوسته در فضای چندبُعدی نمونه‌برداری توزیع یافته‌اند. بنابراین ارزیابی فرسایش و رسوب ذرات خاک براساس مجموعه‌ای از نقاط گسسته نمونه‌برداری امکان‌پذیر نیست و بایستی این داده‌ها به تابعی پیوسته از اطلاعات تبدیل شوند (شوجی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۶). همچنین بررسی تغییرات مکانی در بسیاری از علوم از جمله فرسایش بادی، بدون در نظر گرفتن موقعیت فضایی و ارتباط مکانی نقاط امکان‌پذیر نیست. بنابراین، تجزیه و تحلیل مکانی در بررسی فرسایش بادی، فقط با استفاده از روش‌های آمار معمولی که توجهی به مختصات نقاط ندارند، صحیح نخواهد بود (دیویدویچ<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). بدین منظور به‌کارگیری ابزارهای تجزیه و تحلیل و پردازش ریاضی و آماری که توانایی به‌کارگیری همزمان اطلاعات کمی و عددی مورد نظر و اطلاعات مربوط به موقعیت نسبی جغرافیایی داده‌ها را دارند، ضروری است (باسریر<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). براساس نکات ذکر شده و در نظر گرفتن این نکته که بررسی نقطه‌به‌نقطه تغییرات فرسایش بادی و ارزیابی رفتار و چگونگی تأثیر پوشش گیاهی بر آن امکان‌پذیر نیست، فرایند درون‌یابی<sup>۱۳</sup> یعنی برآورد مقادیر برای مکان‌های فاقد اطلاعات، براساس اطلاعات نمونه‌های برداشت‌شده، کارآمد است.

روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهای دارای تغییرات مکانی وجود دارد. تفاوت عمده این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه وزنی است که به نقاط مشاهده‌شده اطراف نقطه مجهول داده می‌شود. از میان روش‌های مختلف، زمین‌آمار

1. Chen & fryrear
2. He
3. Suter-Burri
4. Youssef
5. Shi
6. Liu
7. Levin

8. Leenders
9. Mayaud
10. Shoji
11. Davidovic
12. Basarir
13. Interpolation



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی (موقعیت سایت‌های مطالعاتی با علامت ستاره در تصویر ماهواره‌ای شکل (ج) نمایش داده شده است).

اقلیم منطقه براساس اقلیم‌نماهای آمبرژه، خشک و سرد و دوارتن، خشک برآورد شده است. در طول بیست سال گذشته، متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۵۲ میلی‌متر، دمای متوسط منطقه ۱۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه تبخیر در این منطقه، ۱۵۰۶/۱ میلی‌متر برآورد شده است. خاک منطقه عمدتاً شنی-لومی است و عمق خاک بین ۰-۳۰ سانتی‌متر و با نفوذپذیری متوسط می‌باشد. براساس بازدیدهای میدانی، فرم رویش گیاهان منطقه بیشتر از نوع بوته و درختچه تشخیص داده شد و عمده گیاهان مشاهده‌شده، تاغ، درمنه، سبد، قیچ، اسکنبیل و چرخه هستند.

با توجه به داده‌های ایستگاه هواشناسی سبزوار، جهت باد غالب منطقه شرقی و با سرعت بیشینه ۳/۶ تا ۵/۷ متر بر ثانیه است. در درجه دوم، بادهای شمال شرقی قرار دارند و کمترین فراوانی بادهای منطقه با درصد کم، بادهای جنوبی هستند. بیشترین سرعت متوسط باد در تیرماه به میزان ۵/۶ متر بر ثانیه و پس از آن در مرداد و شهریور رخ می‌دهد. همچنین متوسط باد آرام سالیانه منطقه ۳۵ درصد است. به‌طور کلی، رخساره‌های فرسایش بادی مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی محدوده مطالعاتی هستند.

### روش تحقیق

در این پژوهش، دو سایت مطالعاتی بین طول‌های جغرافیایی ۵۶° ۵۶' ۱۲" تا ۵۶° ۵۶' ۸" و عرض‌های جغرافیایی ۳۵° ۴۴' ۴۲" تا ۳۵° ۴۴' ۴۶" انتخاب شد. سایت ۱ دارای تک‌پوشش گیاهی کوچک چرخه و سایت ۲ دارای

بهترین تخمین را در میان‌یابی فرسایش و رسوب بادی ذرات نشان می‌دهد و یکی از مهم‌ترین روش‌های زمین‌آمار، کریجینگ است (دیویدویچ و همکاران، ۲۰۱۰). در اولین مطالعه، بورگس و وبستر<sup>۱</sup> (۱۹۸۰) کریجینگ و کاربردهای عملی آن را در زمینه ارزیابی خاک و انتقال ذرات استفاده کردند. پس از آن، کاربرد این روش در پژوهش‌های سایر خاک‌شناسان و محققان علوم طبیعی نیز به‌سرعت گسترش یافت و مطالعات نشان دادند خروجی روش‌های زمین‌آمار در این زمینه، تولید نقشه‌هایی است که برای تحلیل تغییرپذیری مکانی فرسایش و رسوب بادی استفاده می‌شود و کیفیت نقشه‌های تولیدشده، به روش کریجینگ، نوع مدل واریوگرام، توزیع داده‌ها و روش نمونه‌برداری بستگی دارد (دیوداتو و سکارلی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴؛ رابینسون و مترنیکت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶).

با توجه به خسارات حاصل از فرسایش بادی، گسترش این معضل و نقش بااهمیت پوشش گیاهی در کنترل آن، پژوهش حاضر برای نخستین بار در ایران، با هدف ارزیابی جزئی چگونگی تأثیر گیاهان با ابعاد گوناگون در انتقال ذرات خاک و تغییرات فرسایش و رسوب بادی در اطراف آن انجام شد. بدین منظور از روش‌های زمین‌آمار، به‌دلیل ماهیت و کاربرد آن‌ها در بررسی تغییرات پدیده‌های پیوسته نیز استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

به‌منظور انجام پژوهش حاضر، منطقه صبری شهرستان سبزوار که از کانون‌های بحرانی فرسایش بادی سبزوار و از مناطق حساس و مهم انتقال رسوبات بادی در شمال شرق کشور و غرب استان خراسان رضوی است، انتخاب شد. صبری در صدکیلومتری جنوب غربی سبزوار و بین طول‌های جغرافیایی ۵۸° ۵۸' ۳۰" تا ۵۶° ۵۴' ۳۰" و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۵۷' تا ۳۵° ۴۰' ۲۰" قرار دارد (شکل ۱).

1. Burgess & Webster  
2. Diiodato & Ceccarelli  
3. Robinson & Metternicht

همچنین برای عدم تأثیر پوشش‌های گیاهی اطراف بر فرسایش و رسوب برآوردی در سایت شاهد و دو سایت مطالعاتی، اقدام به حذف گیاهان اطراف شد. نمونه‌گیری خاک منطقه از عمق ۰-۵ سانتی‌متر، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی خاک (بافت و دانه‌بندی) انجام و ابعاد دو بوته مطابق جدول (۱) اندازه‌گیری شد.

تک‌پوشش گیاهی به نام کاهوی وحشی با ارتفاع و عرض بیشتر است. در انتخاب دو سایت مطالعاتی سعی شد که شرایط توپوگرافی و خصوصیات خاک یکنواخت برای هر دو سایت وجود داشته باشد تا اثر این عوامل در میزان فرسایش بادی ثابت فرض شود. به‌منظور ارزیابی و مقایسه، سایت شاهد (سایت فاقد پوشش گیاهی) نیز در نزدیکی دو سایت مطالعاتی انتخاب شد.

جدول (۱): خصوصیات بوته‌های گیاهی موجود در سایت‌های مطالعاتی

سایت	نام گونه	نام علمی	ارتفاع (h) cm	عرض در جهت باد cm (Wx)	عرض عمود بر جهت باد cm (Wy)
سایت ۱	چرخه	Launaea spinosa	۳۹/۱	۲۸	۶۱
سایت ۲	کاهوی وحشی	Lactuca serriola	۸۱	۷۳/۷	۷۷

و پس از آن بادهای شمال شرقی (۲۴٪) بود. همچنین میانگین سرعت باد در بازه‌های زمانی h1، h2، h3 و h4 به ترتیب ۵/۶، ۵/۱، ۴/۹ و ۴/۸ متر بر ثانیه برآورد شد.

پس از برآورد مقادیر فرسایش و رسوب بادی توسط پیکه‌های مدرج در هر سایت و در هر بازه زمانی، آزمون مقایسات میانگین بین سایت‌های ۱ و ۲ و شاهد انجام شد. همچنین به‌منظور بررسی دقیق‌تر چگونگی تأثیر پوشش گیاهی بر انتقال ذرات، سایت‌های ۱ و ۲ به چهار قسمت شامل داخل بوته، جلوی بوته، مجاور بوته و پشت بوته تقسیم شدند و آزمون مقایسات میانگین بین چهار بخش هر سایت به‌منظور تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار انجام شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه<sup>۱</sup> و در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد و از میان روش‌های متنوع مقایسات میانگین بین گروه‌ها، آزمون توکی<sup>۲</sup> انتخاب شد.

برای آنالیز جزئی‌تر چگونگی رفتار گیاه در برابر فرسایش، روند تغییرات فرسایش و رسوب بادی و در نتیجه، مطالعه نقطه‌به‌نقطه نحوه جابه‌جایی خاک بر اثر باد در حضور مانع پوشش گیاهی، تغییرات مکانی با کمک تکنیک زمین‌آمار در نرم‌افزار R بررسی شد. بدین منظور، در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو<sup>۳</sup> بررسی شد و از روش

با کمک شبکه‌بندی، پیکه‌های مدرج به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در هر سایت قرار گرفتند. بدین ترتیب ۱۰۴ پیکه در سایت ۱، ۱۷۰ پیکه در سایت ۲ و ۷۷ پیکه در سایت شاهد قرار گرفت. با در نظر گرفتن اینکه حداکثر وزش بادهای منطقه در طول فصل تابستان است، در تاریخ‌های ۳ تیر، ۲۴ تیر، ۱۳ مرداد، ۴ شهریور و ۲۵ شهریور، به منطقه مطالعاتی مراجعه و ارتفاع هر یک از پیکه از سطح خاک اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی رفتار کوتاه‌مدت و بلندمدت گیاه، میزان پرشدگی و یا خالی‌شدگی پای هر پیکه یا به‌عبارت دیگر میزان رسوب و فرسایش ذرات خاک از طریق تفریق ارتفاع پیکه‌ها در بین دو بازدید متوالی، در بازه‌های ۲۱ روزه شامل h1 (۳ تیر تا ۲۴ تیر)، h2 (۲۴ تیر تا ۱۳ مرداد)، h3 (۱۳ مرداد تا ۴ شهریور)، h4 (۴ شهریور تا ۲۵ شهریور) و کل دوره مطالعاتی، h5 (۳ تیر تا ۲۵ شهریور) مشخص شد. آمار و اطلاعات روزانه منطقه در طول دوره پژوهش، نظیر حداقل و حداکثر دمای مطلق، میانگین دما، رطوبت نسبی، رطوبت مطلق، بارندگی، ساعات آفتابی، تبخیر، حداکثر سرعت باد و جهت باد از ایستگاه سینوپتیک سبزوآر در فاصله ۸۰ کیلومتری از محل طرح گردآوری شد. براساس این اطلاعات، در طول دوره مطالعاتی بارندگی رخ نداده است و با توجه به اهمیت تعیین جهت باد غالب در تجزیه و تحلیل، گلباد منطقه طی سه ماه تابستان رسم شد. بر این اساس جهت باد غالب، شرقی (۴۰٪)

1. One-way ANOVA  
2. Tukey  
3. Shapiro test

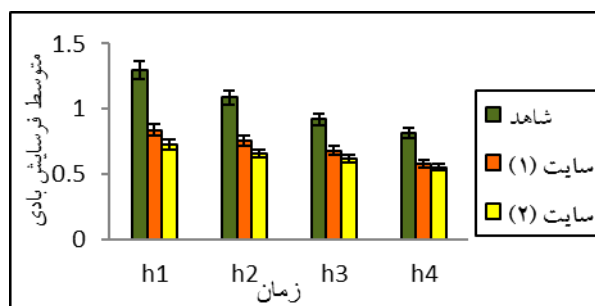
جدول (۲): آمار کلاسیک داده‌های فرسایش و رسوب در سایت ۱

مرحله	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	P value
h1	۰/۸۴	-۰/۷	۱/۵	۰/۴۱	$1/18 \times 10^{-11}$
h2	۰/۷۶	-۰/۶	۱/۳	۰/۳۵	$1/42 \times 10^{-12}$
h3	۰/۶۸	-۰/۵	۱/۲	۰/۳۱	$3/43 \times 10^{-12}$
h4	۰/۵۷	-۰/۵	۱/۲	۰/۲۹	$2/73 \times 10^{-10}$
h5	۲/۸۵	-۲/۳	۵/۲	۱/۳۴	$1/91 \times 10^{-12}$

جدول (۳): آمار کلاسیک داده‌های فرسایش و رسوب در سایت ۲

مرحله	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	P value
h1	۰/۷۳	-۱/۱	۱/۷	۰/۵۹	$9/76 \times 10^{-14}$
h2	۰/۶۶	-۱	۱/۶	۰/۵۱	$1/42 \times 10^{-14}$
h3	۰/۶۲	-۰/۹	۱/۵	۰/۴۴	$9/77 \times 10^{-15}$
h4	۰/۵۵	-۰/۸	۱/۴	۰/۳۹	$3/81 \times 10^{-15}$
h5	۲/۵۶	-۳/۸	۶/۱	۱/۹۱	$1/59 \times 10^{-15}$

با توجه به نرمال نبودن داده‌ها، برای آزمون مقایسات میانگین بین سایت‌های ۱ و ۲ و شاهد، ابتدا داده‌ها نرمال شدند. نتایج حاصل از مقایسه دو سایت مطالعاتی با شاهد در شکل (۲)، نشان از تفاوت میزان فرسایش در این سه سایت است؛ این تفاوت در بازه زمانی h1 بیشتر و در بازه h4 کمتر از بقیه بازه‌هاست. سایت شاهد در طول دوره مطالعاتی، بیشترین فرسایش را دارد و دو سایت دارای پوشش گیاهی فرسایش کمتری را نشان می‌دهند. همچنین کمتر بودن میزان فرسایش در سایت ۲ نسبت به سایت ۱، نشان‌دهنده کنترل بیشتر فرسایش بادی در سایت ۲ است.



شکل (۲): مقایسه دو سایت مطالعاتی و سایت شاهد

باکس کاکس<sup>۱</sup> برای نرمال کردن داده‌های غیرنرمال استفاده و واریوگرام مربوط تهیه شد.

در این پژوهش، از میان انواع مختلف کریجینگ، از روش کریجینگ معمولی استفاده شده است. سپس با آزمون مدل‌های مختلف واریوگرام، دقیق‌ترین و مناسب‌ترین مدل با توجه به واریوگرام تهیه‌شده، شاخص‌های ارزیابی مدل، پراکنش نقاط و همچنین کمترین خطا (واریانس) انتخاب شد. در نهایت با استفاده از نقشه‌های میان‌یابی و با کمک آنالیزهای آماری، تجزیه و تحلیل چگونگی تأثیر پوشش گیاهی در برابر انتقال ذرات و تعیین فاصله مؤثر تحت تأثیر گیاه در هر دو سایت صورت پذیرفت.

## نتایج و بحث

نتایج آزمایشات بافت و دانه‌بندی خاک نشان داد خاک منطقه صبری دارای بافت ماسه‌ای است و بیشترین درصد ذرات، قطر  $0/067$  میلی‌متر دارند. همچنین PH خاک به‌طور متوسط  $8/5$  و هدایت الکتریکی (EC) برابر  $2/2$  میلی‌زیمنس اندازه‌گیری شد. بنابراین نتایج حاصل از آزمایشات، نشان‌دهنده فرسایش پذیری زیاد خاک منطقه در برابر وزش باد است. براساس مقادیر فرسایش و رسوب برآوردی حاصل از عملیات میدانی، نتایج برداشت‌ها طی ۵ بازه در دو سایت مطالعاتی مطابق جداول (۲) و (۳) است. در بازه زمانی h1 تا h4، میانگین فرسایش و رسوب بادی در سایت ۱ از  $0/84$  به  $0/57$  سانتی‌متر و در سایت ۲ از  $0/73$  به  $0/55$  سانتی‌متر کاهش یافته است. مقادیر حداقل و حداکثر (بیشترین رسوب و بیشترین فرسایش) نیز روند نزولی داشته‌اند. با در نظر گرفتن کاهش سرعت باد از تیرماه تا شهریور، فرایند فرسایش بادی از اوایل تا اواخر تابستان، روند کاهشی داشته است. بازه زمانی h5 (۳ تیر تا ۲۵ شهریور)، نشان‌دهنده متوسط فرسایش بادی در طول دوره مطالعاتی است؛ به همین دلیل در بین بازه‌های زمانی، بزرگ‌ترین عدد را به خود اختصاص داده است. بر این اساس متوسط فرسایش بادی در دوره مورد مطالعه در سایت ۱،  $2/85$  سانتی‌متر و در سایت ۲،  $2/56$  سانتی‌متر است.

جدول (۵): مقایسه بخش‌های مختلف اطراف گیاه در سایت ۱

سایت الف	سایت ب	اختلاف میانگین	انحراف معیار	معنی داری
	مجاور بوته	*-۰/۱۶	۰/۰۷	۰
جلوی بوته	داخل بوته	*۰/۸۷	۰/۰۹	۰
	پشت بوته	*۰/۲۹	۰/۰۵	۰
	جلوی بوته	*۰/۱۶	۰/۰۷	۰
مجاور بوته	داخل بوته	*۱/۰۳	۰/۰۹	۰
	پشت بوته	*۰/۴۴	۰/۰۵	۰
	جلوی بوته	*-۰/۸۷	۰/۰۹	۰
داخل بوته	مجاور بوته	*-۱/۰۳	۰/۰۹	۰
	پشت بوته	*-۰/۵۸	۰/۰۸	۰
	جلوی بوته	*-۰/۲۹	۰/۰۵	۰
پشت بوته	مجاور بوته	*-۰/۴۴	۰/۰۵	۰
	داخل بوته	*۰/۵۸	۰/۰۸	۰

\* اختلاف در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

جدول (۶): مقایسه بخش‌های مختلف اطراف گیاه در سایت ۲

سایت (الف)	سایت (ب)	اختلاف میانگین	انحراف معیار	معنی داری
جلوی بوته	مجاور بوته	-۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۸
	داخل بوته	*۰/۸۷	۰/۱۲	۰
	پشت بوته	*۰/۱۹	۰/۰۴	۰
مجاور بوته	جلوی بوته	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۸
	داخل بوته	*۱	۰/۱۳	۰
	پشت بوته	*۰/۳۳	۰/۰۷	۰
داخل بوته	جلوی بوته	*-۰/۸۷	۰/۱۲	۰
	مجاور بوته	*-۱	۰/۱۳	۰
	پشت بوته	*-۰/۶۸	۰/۱۱	۰
پشت بوته	جلوی بوته	*-۰/۱۹	۰/۰۴	۰
	مجاور بوته	*-۰/۳۳	۰/۰۷	۰
	داخل بوته	*۰/۶۸	۰/۱۱	۰

\* اختلاف در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

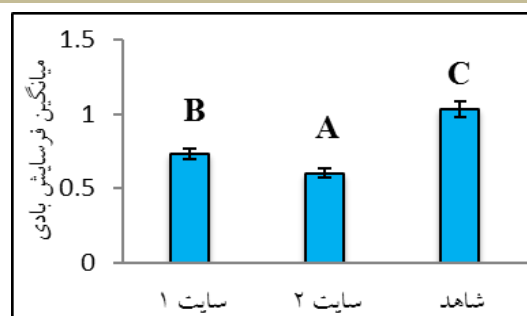
به منظور بررسی بیشتر و اطمینان از معنی داری اختلافات مشاهده شده، نتایج آنالیز واریانس یک طرفه در بررسی سایت‌های ۱ و ۲ و شاهد، مطابق جدول (۴) و شکل (۳) است.

جدول (۴): مقایسه سایت‌های ۱ و ۲ و شاهد

سایت الف	سایت ب	اختلاف میانگین	انحراف معیار	معنی داری
۱	۲	*۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱
	شاهد	*-۰/۳۳	۰/۰۳	۰
۲	۱	*-۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱
	شاهد	*-۰/۳۹	۰/۰۳	۰
شاهد	۱	*۰/۳۳	۰/۰۳	۰
	۲	*۰/۳۹	۰/۰۳	۰

\* اختلاف در سطح ۰/۰۵ معنی دار است.

شکل (۳): نمودار حاصل از بررسی اختلاف معنی دار بین سه سایت

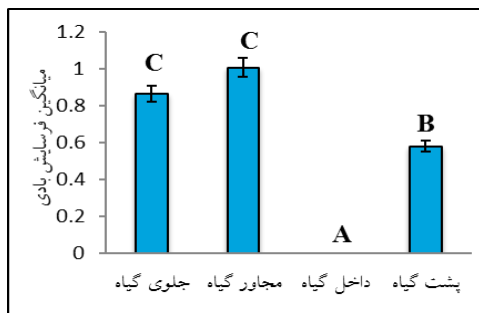


نتایج آزمون آماری نشان می‌دهد که اختلاف هر سه سایت با یکدیگر معنی دار است ( $Pvalue < 0/05$ ) و به همین دلیل هر سایت در زیر مجموعه‌های جداگانه با نام‌های A و B و C قرار گرفتند. پس وجود پوشش گیاهی در سایت‌های ۱ و ۲ باعث کاهش فرسایش بادی و کنترل آن به صورت معنی دار شده است. با توجه به یکسان بودن تمام عوامل مؤثر به جز ابعاد تک پوشش گیاهی، وجود تفاوت معنی دار بین سایت‌های ۱ و ۲ نشان‌دهنده تأثیر بسزای ارتفاع، تراکم و عرض بیشتر پوشش گیاهی بر کاهش بیشتر انتقال ذرات خاک می‌باشد که باعث کاهش فرسایش بادی در سایت ۲ نسبت به سایت ۱ شده است. برای بررسی جزئی‌تر نحوه تأثیر گیاه بر فرسایش بادی، آنالیز واریانس یک طرفه بین چهار بخش هریک از سایت‌های مطالعاتی انجام شد (جدول ۵ و ۶).

در این مناطق است. بیشترین فرسایش بادی در مجاور هر دو گیاه رخ داده و پس از آن بیشترین میانگین، مربوط به جلوی گیاه است. این امر به دلیل برخورد باد به گیاه و انحراف آن و در نتیجه، ایجاد تلاطم بیشتر در مجاورت گیاهان است. در سایت ۲، به دلیل ابعاد و تراکم بیشتر پوشش گیاهی، اختلاف میانگین فرسایش بین مجاور بوته و جلوی بوته معنی دار است و در زیرمجموعه‌های جداگانه قرار گرفتند (C و D). اما در سایت ۱، علی‌رغم وجود تفاوت مقادیر فرسایشی بین جلو و مجاور گیاه، به دلیل کوچک بودن ابعاد بوته، این اختلاف کمتر بوده و در حد معنی‌داری نیست؛ به همین دلیل هر دو در زیرمجموعه C قرار گرفتند. در پشت هر دو گیاه به دلیل برخورد باد با مانع گیاهی و در نتیجه کاهش سرعت آن، کمترین فرسایش بادی حادث شده است. این بدان معنی است که گیاه باعث کاهش فرسایش بادی و رسوب ذرات در ناحیه پشتی خود می‌شود. به منظور تهیه نقشه‌های میان‌یابی با روش کریجینگ معمولی، بهترین مدل در هر سایت، مطابق با مشخصات جدول (۷) تعیین شد.

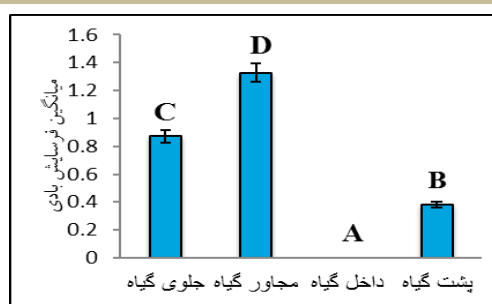
شکل (۴): نمودار حاصل از بررسی اختلاف معنی‌دار بین چهار بخش

اطراف گیاه در سایت ۱



شکل (۵): نمودار حاصل از بررسی اختلاف معنی‌دار بین چهار بخش

اطراف گیاه در سایت ۲



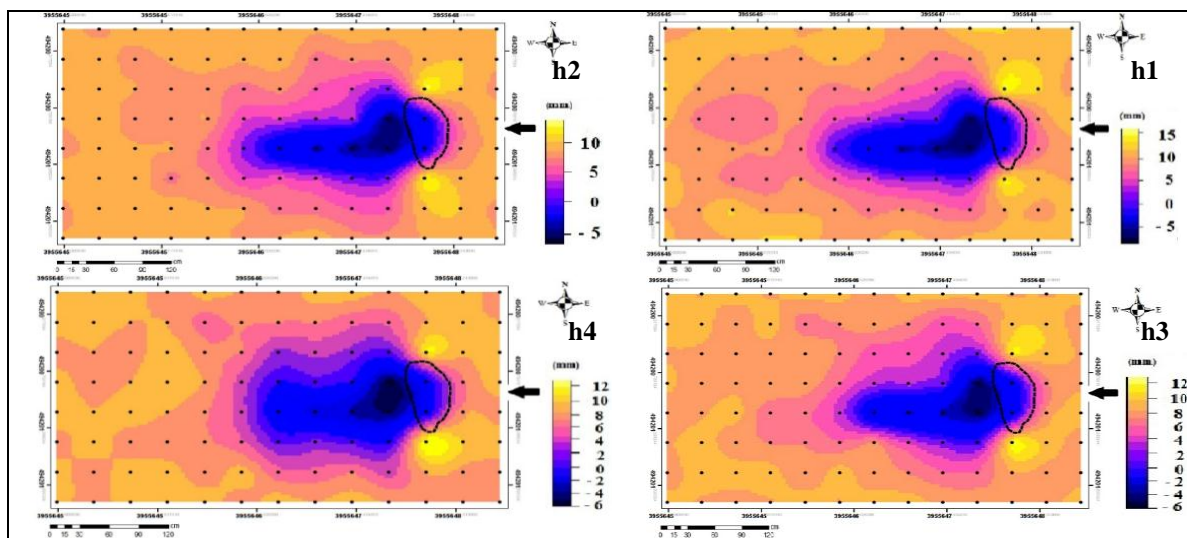
نتایج حاکی از آن است که در هر دو سایت، میانگین فرسایش بادی در چهار بخش جلوی گیاه، مجاور گیاه، داخل گیاه و پشت گیاه با هم متفاوت و نشان از تأثیر پوشش گیاهی

جدول (۷): مشخصات بهترین مدل برازش شده برای هر بازه زمانی در سایت ۱

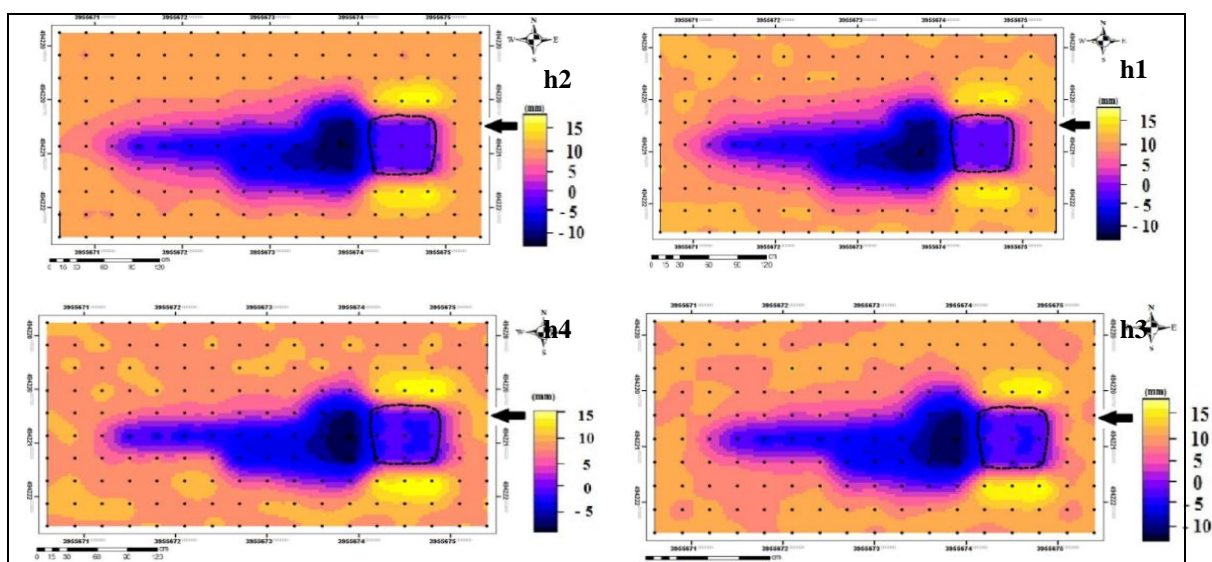
مرحله	دامنه تأثیر (R)	اثر قطعه‌ای (NE)	سقف (S)	خطا		
				ME	MAE	RMSE
سایت ۱	h1	۰/۵۵	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۲۲	۰/۳۱
	h2	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۵
	h3	۰/۴۸	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۲
	h4	۰/۵۵	۰/۰۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۶
	h5	۰/۵۳	۱/۱	۵/۳۴	۰/۰۲	۱/۱
سایت ۲	h1	۰/۷۲	۰/۰۳	۱/۰۵	۰/۳۱	۰/۴۲
	h2	۰/۷	۰/۰۲	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۲۴
	h3	۰/۶۳	۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۲۲
	h4	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۲	۰/۱۵	۰/۲۱
	h5	۰/۷	۰/۲	۶/۳۳	۰/۵۶	۰/۸۹

واریوگرام منطبق شد. شکل‌های (۶) و (۷) نشان‌دهنده نقشه‌های میان‌یابی از روش کریجینگ معمولی برای سایت ۱ و سایت ۲ هستند.

از میان مدل‌های مختلف، مدل‌نمایی بهترین مدل برای هر دو سایت و در تمامی بازه‌ها تشخیص داده شد؛ زیرا دارای کمترین خطا نسبت به سایرین بود و به بهترین شکل بر



شکل (۶): نقشه میان‌یابی فرسایش و رسوب بادی سایت ۱ با روش کربجینگ معمولی در چهار بازه زمانی (در شکل، جهت باد غالب با علامت فلش، محل قرارگیری بوته با پلی‌گون نقطه‌چین سیاه و محل قرارگیری بیکه‌ها با نقاط سیاه مشخص شده است).



شکل (۷): نقشه میان‌یابی فرسایش و رسوب بادی سایت ۲ با روش کربجینگ معمولی در چهار بازه زمانی (در شکل، جهت باد غالب با علامت فلش، محل قرارگیری بوته با پلی‌گون نقطه‌چین سیاه و محل قرارگیری بیکه‌ها با نقاط سیاه مشخص شده است).

بنابراین گیاه در هر دو سایت بر کنترل فرسایش بادی مؤثر بوده است؛ اما فاصله محل استقرار پوشش گیاهی تا محل بازگشت مجدد فرسایش بادی به حالت اولیه و در نتیجه اتمام تأثیر پوشش گیاهی بر انتقال ذرات، در دو سایت ۱ و ۲ متفاوت است. جدول (۸) نشان‌دهنده میزان مسافتی است که گیاه باعث کاهش فرسایش بادی در دو سایت مطالعاتی و در هر بازه زمانی شده است.

نقشه‌های تهیه‌شده از دو سایت مطالعاتی در هر چهار بازه زمانی، نشان‌دهنده فرسایش ذرات خاک (مقادیر مثبت) در جلو و طرفین گیاه است. میزان فرسایش در طرفین گیاه به دلیل افزایش تلاطم باد، بیشتر نمایش داده شده است. همچنین رسوب ذرات خاک (مقادیر منفی) در پشت گیاه به صورت کم‌مانی مشاهده و با فاصله گرفتن از گیاه، از میزان رسوب ذرات کاسته و بر میزان فرسایش افزوده می‌گردد.

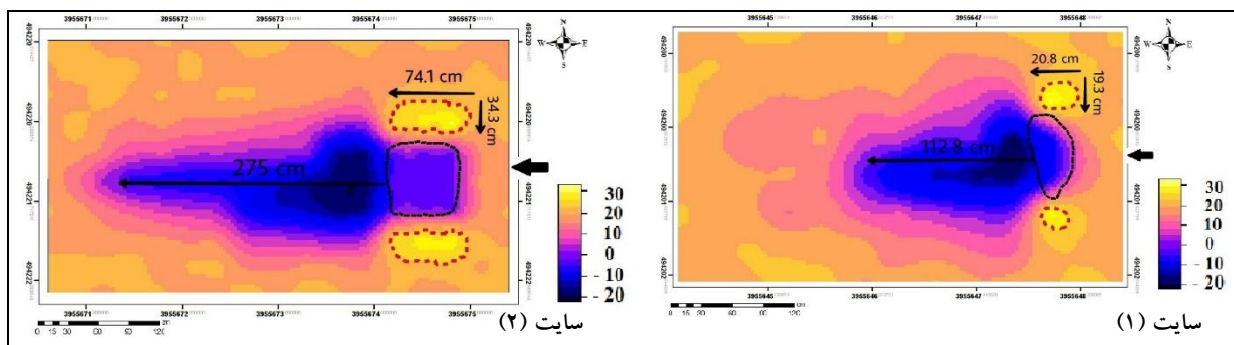


جدول (۸): مسافت تأثیرگذار گیاه در دو سایت مطالعاتی

سایت‌های مطالعاتی	نام گونه	نام علمی	بازه زمانی	مسافت تأثیرگذار گیاه در کاهش فرسایش بادی (cm)
سایت ۱	چرخه	Launaea spinosa	h1	۱۱۷/۳
			h2	۱۱۲/۱
			h3	۱۱۱/۲
			h4	۱۱۰/۶
سایت ۲	کاهوی وحشی	Lactuca serriola	h1	۲۸۰/۳
			h2	۲۷۵/۱
			h3	۲۷۲/۶
			h4	۲۷۲

فرسایش بادی در طرفین دو گیاه با هم متفاوت است. به‌طور میانگین، گیاه باعث افزایش فرسایش بادی در طرفین در مساحتی با ابعاد ۱۹/۳ و ۲۰/۸ سانتی‌متر در سایت ۱ و ۳۴/۳ و ۷۴/۱ سانتی‌متر در سایت ۲ شده است.

مطابق شکل (۸) به‌طور متوسط، پوشش گیاهی کوچک سایت ۱ تا فاصله ۱۱۲/۸ سانتی‌متر و پوشش گیاهی بزرگ سایت ۲ تا فاصله ۲۷۵ سانتی‌متر باعث کاهش فرسایش بادی شده‌اند. همچنین در طرفین گیاه، محدوده‌ای با فرسایش بیشتر از میزان متوسط، مشخص شده است. وسعت و میزان افزایش



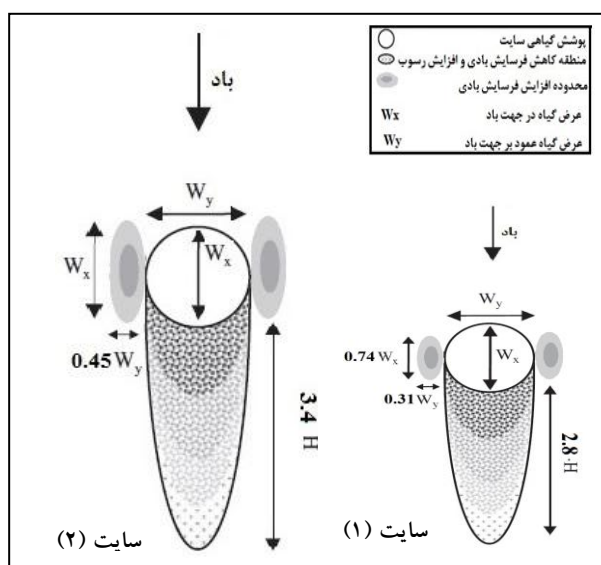
شکل (۸): فاصله و محیط تحت تأثیر پوشش گیاهی در فرسایش و رسوب ذرات در سایت ۱ و سایت ۲

اندازه  $W_x$  ۰/۷۴ و  $W_y$  ۰/۳۱ در طرفین خود، فرسایش را افزایش داده است (شکل ۹).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر در زمینه چگونگی رفتار پوشش گیاهی با پژوهش مایاد و همکاران (۲۰۱۶) که به توصیف آشفته‌گی باد در اطراف پوشش گیاهی مناطق خشک پرداختند، مطابقت دارد. آن‌ها نیز در بررسی رفتار گیاه و مقایسه تأثیر ابعاد متفاوت گیاه شامل گراس متراکم، درختچه و درخت، نتیجه گرفتند که در اثر برخورد باد با گیاه، سرعت باد در ناحیه پشتی (ناحیه بادپناهی) کاهش می‌یابد و در این محدوده، رسوب ذرات در پشت گیاه به‌صورت کمانی است.

بنابراین گیاه بزرگتر در سایت ۲، در طول دوره مطالعاتی به‌طور متوسط تا فاصله ۳/۴ برابر ارتفاع خود، منجر به کاهش فرسایش بادی و رسوب ذرات شده است. همچنین مساحتی از طرفین گیاه که انتقال ذرات تحت تأثیر پوشش قرار گرفته و باعث افزایش فرسایش بادی از حد متوسط شده است، تقریباً به‌صورت بیضی به اندازه  $W_x$  (عرض گیاه در جهت باد) و  $W_y$  ۰/۴۵ (عرض گیاه عمود بر جهت باد) بوده است. این در حالی است که گیاه کوچک‌تر در سایت ۱، به دلیل داشتن ابعاد کوچک‌تر، تأثیر کمتر داشته و به‌طور متوسط تا فاصله ۲/۸ برابر ارتفاع خود، سبب کاهش فرسایش و افزایش رسوب ذرات در ناحیه پشتی به‌صورت کمانی شده و در مساحتی به

و کاهش فرسایش بادی شده است، با کمک زمین‌آمار پرداخته شد. نتایج نشان داد که متوسط فرسایش در سایت شاهد (۳/۱۲ سانتی‌متر) بیشتر از متوسط فرسایش در سایت ۱ (۱/۴۳ سانتی‌متر) و سایت ۲ (۱/۲۸ سانتی‌متر) است؛ این نشان از اهمیت پوشش گیاهی و نقش بسزای نوع گیاه و ابعاد پوشش نظیر تراکم و ارتفاع بر میزان تأثیر گیاه بر برداشت و رسوب ذرات خاک دارد؛ به‌گونه‌ای که افزایش ارتفاع، تراکم و عرض پوشش گیاهی منجر به کاهش بیشتر فرسایش بادی می‌شود و تا فاصله بیشتری ذرات خاک را از فرسایش محفوظ می‌دارد. همچنین رفتار پوشش گیاهی در برابر فرسایش خاک به‌صورت کمانی در پشت گیاه است و با افزایش فاصله از گیاه، میزان رسوب کاهش می‌یابد. اما گیاه باعث افزایش تلاطم و انحراف باد به طرفین و در نتیجه، افزایش فرسایش خاک در منطقه‌ای بیضی‌شکل در اطراف خود می‌شود. بنابراین نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند در انتخاب گیاه و تراکم نهال‌کاری در برنامه‌های بیولوژیکی کنترل فرسایش بادی این مناطق مؤثر باشد.



شکل (۹): تعیین نسبت فاصله و مساحت تحت تأثیر پوشش گیاهی با ابعاد گیاه در دو سایت مطالعاتی

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش با انتخاب دو سایت دارای تک‌بوته‌هایی با ابعاد و تراکم متفاوت و نیز سایت شاهد، به بررسی رفتار پوشش گیاهی و تعیین میزان مسافتی که هر گیاه باعث کنترل

## منابع

- Ahmadi, H., 2006. Applied Geomorphology (volume 2) Desert – Wind Erosion, University of Tehran Press, Iran.
- Akbarian, M., Nohegar, A., 2014. Assessment the afforestation projects impact in controlling wind erosion (Pibeshk area, Jask county). Geographical Research Journal 29, 179-190.
- Alayi Taleghani, M., 2002. Iran Geomorphology, Ghoomes Publishing Company, Tehran, Iran.
- Basarir, H., Kumral, M., Karouz, C., Tutluoglu, L., 2010. Geostatistical modeling of spatial variability of SPT data for a borax stockpile site. Engineering Geology 114, 154-163.
- Burgess, T.M., Webster, R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. Journal of Soil Science 31, 315-331.
- Chen, W., Fryrear, D.W., 1996. Grain-size distribution of wind eroded material above a flat bare soil. physical Geography 17, 554-584.
- Davidović, N., Prolović, V., Stojić, D., 2010. Modeling of soil parameters spatial uncertainty by geostatistics. Facta universitatis 8, 111-118.
- Diodato, N., Ceccarelli, I., 2004. Multivariate indicator Kriging approach using a GIS classify soil degradation for Mediterranean agricultural lands. Ecological Indicators 4, 177-187.
- Fryrear, D.W., 1995. Soil losses by wind erosion. Soil Science 59, 668-672.
- He, Q., Yang, X., Mamtimin A., Tang, S.H., 2011. Impact factors of soil wind erosion in the center of Taklimakan Desert. Journal of Arid Land 1, 9-14.
- Jahantigh, M., 2014. The assessment of vegetation changes and their impact on wind erosion in arid areas (Case Study: north of Sistan). 2<sup>nd</sup> National Conference on desert Management and Approach on arid areas and desert. Semnan, Iran.
- Leender, J.K., Streck, G., Boxel, J.H., 2014. Wind erosion reduction by scattered woody vegetation in farmers' fields in northern Burkina Faso. Journal of Land Degradation & Development 27, 1863-1872.
- Levin, N., Kidron, G.H., Ben-Dor, E., 2006. The spatial and temporal variability of sand erosion across a stabilizing coastal dune field. Sedimentology 53, 697-715.

14. Liu, Y., Dong, G., Li, CH., 1992. Study on some factors influencing soil erosion by wind tunnel experiment. *Journal of Desert Research* 12, 41-49.
15. Mahdian, M.H., 2005. Assessment of land degradation in Iran. 3<sup>rd</sup> Erosion and Sediment National Conference. Tehran, Iran.
16. Mayad, J.R., Wiggs, G.F.S., Bailey, R.M., 2016. Characterizing turbulent wind flow around dryland vegetation. *Earth surface processes and landforms* 41, 1421-1436.
17. Robinson, T.P., Metternicht, G., 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture* 50, 97-108.
18. Shi, P., Yan, P., Yuan, Y., Nearing, M. A., 2004. Wind erosion research in China: past, present and future. *Progress in Physical Geography* 28, 366-386.
19. Shoji, T., 2006. Statistical and geostatistical analysis of wind : A case study of direction statistic. *Computers & Geosciences* 32, 1025-1039.
20. Suter-Burri, K., Gromke, CH., Leonard, K.C., Graf, F., 2013. Spatial patterns of aeolian sediment deposition in vegetation canopies: Observations from wind tunnel experiments using colored sand. *Aeolian Research* 8, 65-73.
21. Youssef, F., Visser, S., Karssenber, D., Erpul, G., Cornelis, W., Gabriels, D., Poortinga, A., 2012. The effect of vegetation patterns on wind-blown mass transport at the regional scale: A wind tunnel experiment. *Journal of Geomorphology* 159, 178-188.

## Assessing the influence of plant species on wind erosion in arid regions: (a case study of the Sebri region of Sabzevar, Iran)

Hanieh Pourjavad<sup>1</sup>, Alireza Rashki<sup>2\*</sup>, Mohsen Hosseinalizadeh<sup>3</sup>

Received: 12/3/2017

Accepted: 14/4/2017

### Abstract

The effects of vegetation on wind erosion, especially in arid areas, are known, but few studies have assessed the quantitative impact of plant species. The aim of this study was to investigate the effects of plant species on wind erosion and deposits. Three experimental sites were selected in Sebri, Iran. Two sites contained two plant species, *Launaea spinosa* and *Lactuca serriola* of different sizes and the third was a control site. During a field survey in the summer of 2015, erosion pins were installed around the species that were read at 21-day intervals. The Tukey test was applied to the data sets gathered at the three sites as well as at different areas around the species. To investigate the spatial variability of the wind erosion map and the role of vegetation, the data was interpolated by the ordinary kriging. The results showed that the size, shape and height of the plant affects wind erosion. The estimated effective distances were 2.8 and 3.4 times the plant heights for *L. spinosa* and *L. serriola*, respectively. The amount of erosion on two sides of the species were estimated to be 0.74 and 1 times the width and 0.31 and 0.45 times the length of these species, respectively.

**Keywords:** Arid region, Wind Erosion, Plant species, Interpolation, Sabzevar.

1. MSc, Department of Desert zone managements, Ferdowsi university of Mashhad

2. Department of Desert and arid zones managements, Ferdowsi university of Mashhad, email: a.rashki@um.ac.ir.

3. Department of Desert zone managements, Gorgan university of agricultural sciences and natural resources