

Identification of land sensitivity to wind erosion using field data in Hamoun-e Baringak, Sistan

Hamidreza Abbasi^{1*}, Azadeh Gohardoust², Farhad khaksarian³, Mohammadreza Baranizadeh⁴

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Desert research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. - Researcher, Desert research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3. Researcher, Desert research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4. Researcher, Forest, Range and Watershed Management Organization, Sistan and Baluchestan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 11 January 2021

Revised: 26 April 2022

Accepted: 29 May 2022

Keywords:

Transport rate,
Shear strength,
Erosion pin,
Sistan.

ABSTRACT

This study provides an applied method to estimate the land sensitivity of wind erosion in the Hamoun-e Baringak Sistan, as an ephemeral lake. Due to the wide extent of the sources of dust and sand production in Sistan, finding areas that are prone to wind erosion is of paramount importance in prioritizing stabilization. For this purpose, indices of transport rate (erodibility), soil shear strength, and SAVI were conducted. To investigate the land erodibility to aeolian transport, 74 graduated pins were embedded randomly in the ephemeral Baringak Lake bed and the aeolian transport rates were measured for the total study period. The shear strength of the soil surface was measured using Torvane. The vegetation canopy density was extracted from digital images using the SAVI index. The results showed that there is a very significant relationship (1%) between soil shear strength and SAVI indices with transport rates. It means that this proposed method may be also applied to estimate land sensitivity in environments instead of threshold friction velocity of wind erosion in the field. Comparison of the results of regression model estimation with transport rates in the field were significant.

Cite this article: Abbasi, H., Gohardoust, A., khaksarian, F., & Baranizadeh, M. (2022). Identification of land sensitivity to wind erosion using field data in Hamoun-e Baringak, Sistan. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(33), 121-134. DOI: 10.22111/jneh.2022.37186.1750



© Hamidreza Abbasi

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.37186.1750

* Corresponding Author Email: Habbasi@rifr-ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۳، پاییز ۱۴۰۱

تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغباری با استفاده از داده‌های میدانی در هامون برینگ سیستان

حمیدرضا عباسی^{۱*}، آزاده گوهر دوست^۲، فرهاد خاکساریان^۳، محمدرضا بارانی زاده^۴

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران (نویسنده مسئول)

۲. کارشناس ارشد پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۳. کارشناس ارشد پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۴. کارشناس ارشد پژوهشی، اداره کل منابع طبیعی آبخیزداری، سیستان و بلوچستان

| چکیده | اطلاعات مقاله |
|--|--|
| <p>هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش بادی در هامون برینگ سیستان با یک روش مناسب و کم هزینه است. تعیین حساسیت اراضی، به اولویت‌بندی برنامه‌ریزی تثبیت کانون‌های تولید گردوغبار و ماسه کمک شایانی می‌نماید. برای این منظور از شاخص‌های میزان بادبردگی (فرسایش‌پذیری)، مقاومت برشی خاک و درصد تاج پوشش گیاهی استفاده شد. بدین‌منظور در منطقه برداشت حداقل دو هامون پوزک و صابوری که یکی از مهم‌ترین کانون‌های تولید ریزگرد و ماسه در منطقه سیستان است، تعداد ۷۴ عدد پیکه مدرج در دو ردیف نصب شدند و میزان بادبردگی پس از کاهش شدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه اندازه‌گیری شد. مقاومت برشی خاک سطحی نیز با استفاده از پره برشی تعیین گردید. میزان تراکم تاج پوشش گیاهی با استفاده از شاخص SAVI از تصاویر رقومی استخراج شد و روابط رگرسیونی و همبستگی بین شاخص‌ها تعیین گردید. نتایج نشان داد که ارتباط بسیار معنی‌داری (در سطح ۱٪) بین مقاومت برشی خاک و میزان بادبردگی و درصد پوشش گیاهی وجود دارد. از این‌رو، برای پهنه‌بندی حساسیت خاک در منطقه برداشت می‌توان به‌جای اندازه‌گیری میزان برداشت خاک و یا تعیین آستانه فرسایش در تونل باد از مقاومت برشی در منطقه برداشت استفاده کرد. مقایسه نتایج حاصل از برآورد مدل رگرسیونی با ارقام واقعی بادبردگی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار بودند. در واقع همبستگی‌ها نشان دادند که با اطمینان زیادی نسبت به استفاده از پره برشی برای تعیین فرسایش‌پذیری خاک‌های خشک اتکا کرد؛ به‌شرطی که میزان سله و سنگ‌ریزه سطحی ناچیز باشد.</p> | <p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸</p> <p>واژه‌های کلیدی: بادبردگی، مقاومت برشی خاک، بین فرسایشی، فرسایش‌پذیری خاک.</p> |

استناد: عباسی، حمیدرضا، گوهر دوست، آزاده، خاکساریان، فرهاد، & بارانی زاده، محمدرضا. (۱۴۰۱). تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی با

استفاده از داده‌های میدانی در هامون برینگ سیستان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۳)، ۱۲۱-۱۳۴.

DOI: 10.22111/jneh.2022.37186.1750



© حمیدرضا عباسی^{*}، آزاده گوهر دوست، فرهاد خاکساریان، محمدرضا بارانی زاده.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

فرسایش بادی دارای سه مرحله متمایز برداشت، حمل و رسوب است و روش‌های مقابله در هر منطقه متفاوت است. از دیرباز برای پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش بادی (میزان برداشت) از شاخص آستانه فرسایش بادی استفاده می‌شود که به‌وسیله آزمایش‌های تونل باد و داده‌های میدانی اندازه‌گیری می‌گردد. از پیشگامان این عرصه می‌توان به کارهای بگنولد^۱ (۱۹۴۱) و اوون^۲ (۱۹۶۴) اشاره کرد؛ گرچه در سال‌های اخیر نیز مورد استفاده قرار گرفته است (سی ون هنگ و همکاران ۲۰۱۴، اختصاصی و همکاران ۱۳۸۲، محمود آبادی و زمانی ۱۳۹۲). آستانه فرسایش بادی حداقل نیروی لازم برای به‌حرکت درآوردن ذرات خاک توسط باد می‌باشد که بستگی به مقدار مقاومت سطح خاک در مقابل باد دارد (بات و پی بادی^۳، ۱۹۹۹؛ شائو و لو^۴، ۲۰۰۰). تقریباً تمامی مدل‌های فرسایش بادی نیاز به مشخص کردن آستانه فرسایش بادی دارند (شائو و همکاران، ۱۹۹۳؛ مارتیکورنا و و برگامتی^۵، ۱۹۹۵؛ اوکین^۶، ۲۰۰۸). تعیین آستانه فرسایش و فرسایش‌پذیری با استفاده از تونل باد بسیار پرهزینه است و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از تونل‌های ثابت به‌دلیل برهم‌خوردگی نمونه خاک در هنگام نمونه‌گیری و عدم قابل‌انکابودن نتایج حاصل از تونل‌های قابل‌حمل در خاک‌های با خصوصیت‌های مشابه از مشکلات این روش‌هاست (لی^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). از سوی دیگر، آستانه فرسایش خاک تحت تأثیر فاکتورهای متعددی همچون بافت خاک، رطوبت، میزان سنگریزه سطحی، رخنمون سنگی، شوری، سله سطحی، درصد پوشش گیاهی و زبری سطح خاک است (شائو و لو، ۲۰۰۰؛ بلنپ^۸ و همکاران، ۲۰۰۷) که ثابت نگه‌داشتن آنها در طول آزمایشات در داخل تونل باد بسیار سخت است. نتایج بسیاری از کارهای میدانی نشان داده است که آستانه فرسایش بادی، حساسیت بسیار بالایی به‌وجود یا نبود سله سطحی فیزیکی یا بیولوژیکی دارد (بلنپ و ژیلت^۹، ۱۹۹۷؛ مارتیکورنا و همکاران، ۱۹۹۷؛ بلنپ و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، مدل‌های تهیه‌شده براساس بافت خاک و اندازه توزیع ذرات نمی‌توانند قابل‌اتکا برای پیش‌بینی فرسایش‌پذیری خاک به‌خصوص برای خاک‌های دست‌خورده باشند. گفتنی است که دو معیار "حساسیت اراضی"^{۱۰} به فرسایش با "فرسایش‌پذیری خاک‌ها"^{۱۱} متفاوت است. فرسایش‌پذیری یک خصوصیت خاک است که نشان‌دهنده مقاومت خاک در برابر جدا و کنده‌شدن و انتقال آن توسط نیروهای فرسایشی آب و باد است. درحالی‌که حساسیت اراضی به فرسایش یک ویژگی اراضی است که بستگی به عوامل فرسایش آب‌وهوا، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی و زبری خاک سطحی دارد.

لانکستر و باس^{۱۲} (۱۹۹۸) پیشنهاد دادند که از روش استقرار شاخص مدرج (پیکه) در منطقه برداشت می‌توان نرخ فرسایش بادی را همانند پژوهشی که در اطراف دریاچه Owen ایالات متحده آمریکا انجام گرفته است، ارزیابی نمود.

1. Bagnold
2. Owen
3. Batt and Peabody
4. Shao and Lu
5. Marticorena and Bergametti
6. Okin
7. Li
8. Belnap
9. Gillette
10. Land Susceptibility
11. Soil erodibility
12. Lancaster and Baas

برهمن اساس چنانچه از شاخص‌های خاک و پوشش گیاهی در این زمینه استفاده شود شاید نتایج قابل قبولی برای تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی ارائه گردد. برخی از پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با اندازه‌گیری مقاومت برشی لایه رویین خاک، نتایج مناسبی برای میزان نیروی لازم جهت جداسازی ذرات خاک در دو مبحث فرسایش آبی و بادی نشان داده‌اند (توری^۱ و همکاران، ۱۹۸۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۰؛ فرانتی^۲ و همکاران، ۱۹۹۹؛ مرز و براین^۳، ۱۹۹۳؛ کریشنامورتی^۴، ۱۹۸۳؛ ووس^۵، ۲۰۲۰؛ سلوکی و نوری نهاد، ۱۳۹۸ و ظهراپی و همکاران، ۱۳۹۸).

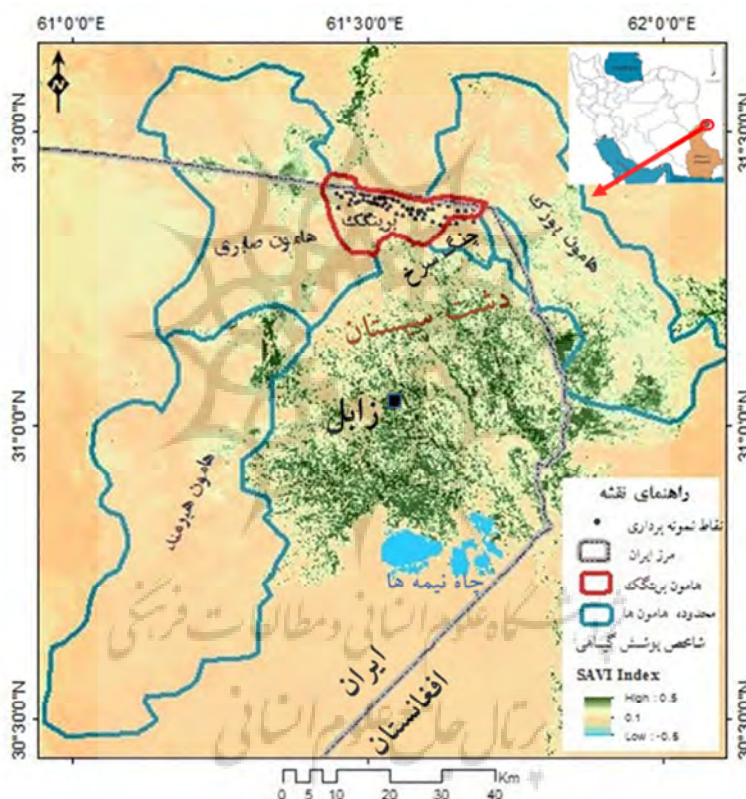
این شاخص که براحتی با استفاده از پره برشی^۶ در عملیات میدانی اندازه‌گیری می‌شود بسیار ارزان و ساده تهیه می‌شود (زیمبونی^۷ و همکاران، ۱۹۹۶؛ عباسی و همکاران، ۲۰۱۴). در واقع، هرچقدر مقاومت برشی خاکی بیشتر باشد ثبات و پایداری آن خاک در مقابل نیروهای فرسایشی آب و باد بیشتر است و نیروی بیشتری برای به حرکت درآوردن آن لازم است. (چپل و وودرف^۸، ۱۹۶۳). همچنین تراکم پوشش گیاهی به دلیل کاهش سرعت باد در سطح خاک یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر در بحث حساسیت اراضی به بادبردگی است. از آنجایی که وزش بادهای ۱۲۰ روزه در فصل تابستان شدت می‌گیرد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۹۲) خاک خشک بوده و رطوبت خاک نقش مهمی در این فرآیند ندارد. از سوی دیگر، به دلیل آبرفت ریزدانه بودن خاک در این منطقه سنگریزه سطحی بسیار ناچیز می‌باشد. برهمن اساس سعی شد تا با استفاده از فرسایش‌پذیری خاک‌ها (اندازه‌گیری بادبردگی با استفاده از پیکه)، مقاومت برشی خاک سطحی و تراکم پوشش گیاهی میزان حساسیت خاک‌ها به فرسایش بادی را در هامون برینگک سیستان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کانون‌های گردوغبار و ماسه‌های روان در سیستان پهنه‌بندی شود تا در صورت انطباق با واقعیت به‌عنوان یک روش در کانون‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد. این امر به اولویت‌بندی اجرای عملیات پر هزینه در کانون‌های وسیع گردوغبار کمک شایانی می‌نماید.

هدف از انجام این پژوهش، تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی و تولید گردوغبار به‌عنوان یکی از چالش‌های دشت سیستان است. دشت سیستان از دیرباز به واسطه وجود بادهای فرساینده دارای مشکل فرسایش بادی است که زندگی حدود ۴۰۰ هزار نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که مناطق برداشت رسوب دارای سطح گسترده (۳۹۰ هزار هکتار) است (عباسی و همکاران، ۱۴۰۰) از این رو تعیین مناطق با حساسیت بالا و تعیین اولویت مهار از اهمیت بسزایی برخوردار است. برهمن اساس مقاله پیش‌رو می‌کوشد تا با استفاده از فن روی هم‌گذاری لایه‌های تراکم پوشش گیاهی (SAVI)، مقاومت برشی خاک و میزان بادبردگی میدانی به روش مناسبی برای شناسایی مناطق حساس دست یابد و در نهایت در بخش نتیجه‌گیری مزایا و معایب این روش را مشخص کند.

1. Torri
2. Franti
3. Merz and Bryan
4. Krishnamurthy
5. Vos
6. Torvane
7. Zimbone
8. Chepil and Woodruff

داده و روش

دشت سیستان از دیرباز یکی از مناطق تحت تأثیر فرآیند بیابان‌زایی به‌خصوص فرسایش بادی بوده است (عباسی و همکاران ۱۳۸۹). نتایج تحلیل چشمی تصاویر گردوغبار (۲۰۱۳ Worldviewer) و همچنین بازدیدهای میدانی نشان داده است که هامون برینگک در حدفاصل بین دو هامون پوزک و صابوری در شمال دشت سیستان، واقع در محدوده مرزی ایران و افغانستان، یکی از مهم‌ترین کانون‌های فرسایش بادی است که در شکل ۱ با رنگ قرمز نمایش داده شده است. هامون چنگ‌سرخ نیز یک گودال کوچک در سمت راست هامون برینگک قرار دارد.

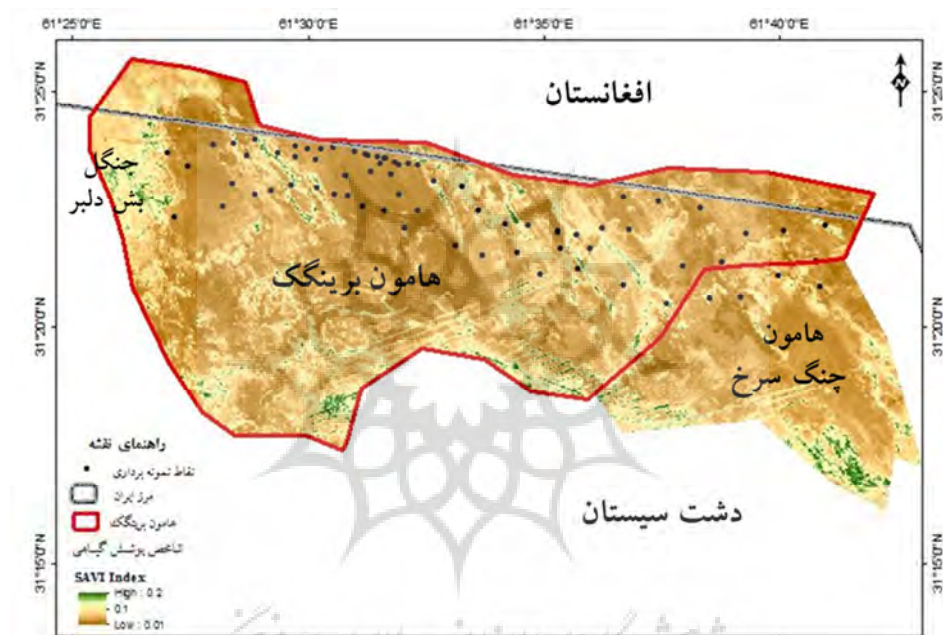


شکل ۱: موقعیت دشت سیستان و هامون‌های پوزک، برینگک، صابری و هیرمند. تصویر زمینه نقشه پوشش گیاهی بر اساس شاخص SAVI، از تصویر لندست ۸ شهریور ۲۰۱۳.

برینگک یک گودال (هامون) کوچک‌تر از مابقی هامون‌های منطقه سیستان با مساحت ۲۲۰۰۰ هکتار است که عمق متوسط آن حدود ۱ متر می‌باشد و دو متر از متوسط عمق دو هامون پوزک و صابری بالاتر می‌باشد (وکردی^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). بخش شمالی هامون برینگک که محل برداشت بخشی از رسوبات بادی است، در افغانستان قرار گرفته است. به دلیل تفاوت‌های خاکی، واحدهای اراضی موجود در این کانون سهم متفاوتی در تأمین ماسه و ریزگرد

1. Vekerdy

دارند. حد غربی - شرقی این کانون برداشت فرسایش بادی، مجاور روستاهای قرقری و گمشاد تا جنگل بش‌دلبر، حد شمالی آن در خاک افغانستان و حد جنوبی آن به دایک بتونی هامون‌ها در دشت سیستان محدود می‌شود. حد جنوبی این کانون به تونل نیاتک متصل است. تنها قسمت‌های گودتر هامون برینگک در برخی از سال‌ها آبگیری شده، گرچه حدود ۱۴ سال (۱۳۷۹-۱۳۹۳) است که خشکسالی بیشتر هامون‌های سیستان را بی‌آب کرده و تنها در بهار و مواقع سیلابی آب بسیار محدودی دریافت می‌کنند (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت نقاط نمونه‌برداری در هامون برینگک، تصویر زمینه نقشه پوشش گیاهی بر اساس شاخص SAVI، تصویر لندست ۸ شهریور ۲۰۱۳.

گردش آب در هامون‌های شش‌گانه سیستان و رود هیرمند به گونه‌ای است که ابتدا وارد هامون پوزک شده و لبریز آن توسط آبراهه‌هایی در داخل برینگک به داخل هامون صابوری وارد می‌شود. لبریز هامون صابوری به داخل هامون - های هیرمند یک و دو وارد شده و در نهایت اضافه آنها توسط رودخانه شيله به چاله گودزره در داخل خاک افغانستان تخلیه می‌شود. جنگل بش‌دلبر در حد فاصل بین برینگک و هامون صابوری مستقر است که بیشتر توسط رودخانه فراه مشروب می‌شود (شکل ۳)؛ در واقع بقای جنگل یادشده در سال‌های خشک وابسته به آبی است که از فراه می‌آید. گودترین قسمت هامون صابوری در غرب جنگل پربیش قرار دارد و کانون برداشت یادشده در شرق جنگل نامبرده‌شده واقع شده است. فیاض (۱۳۸۴) معتقد است آورد رسوب رودخانه فراه نقش بیشتری در تأمین منابع رسوبات طوفان‌های گردوغباری و ماسه دارد. شروع و جهت حرکت ماسه‌های روان در داخل دالان فرسایشی قرقری -

پوزک نیز نشان‌دهنده تأثیر آبرفت رسوبات رودخانه فراه در تغذیه ماسه‌های روان است که از داخل هامون برینگک به سوی افغانستان با جهت جنوب‌شرقی حمل می‌شوند.

پس از بررسی‌های میدانی و مشخص کردن حدود کانون تولیدکننده ماسه و گردوغبار (منطقه برداشت)، تعداد ۷۴ پیکه مدرج چوبی در تاریخ ۱۴ مرداد ماه و با مساعدشدن شرایط خاک در دو ردیف و براساس روش مدون (عباسی و همکاران ۲۰۱۸ و ۲۰۱۶) نصب شدند. مجموع بادبردگی خاک بر حسب میلی‌متر از هر پیکه به‌عنوان میزان فرسایش‌پذیری خاک مشخص شد. اندازه‌گیری با کاهش شدت بادهای ۱۲۰ روزه در ۲۶ آبان‌ماه ۱۳۹۲ به اتمام رسید. میزان بادبردگی با استفاده از مدل مناسب زمین‌آمار (مدل کروی) و در سطح معنی‌دار پهنه‌بندی و به‌صورت نقشه تهیه شد.

میزان مقاومت برشی لایه رویین خاک با کمک پره برشی^۱ در شرایط طبیعی (خشک) اندازه‌گیری شد. بسته به میزان نرمی یا سختی از سه پره مختلف موجود شامل S-16001، S-16002 و S-16003 با ضرایب تصحیح به‌ترتیب ۰/۲، ۱ و ۲/۵ Kg/cm^2 استفاده شد (دورهام جو توروین^۲ ۲۰۲۱). به‌همین منظور، ابتدا صفحه مدرج روی دستگاه در جهت عقربه‌های ساعت گردانده می‌شود تا عدد صفر مقابل خط نشان کنار دسته قرار گیرد؛ سپس پره برشی را کاملاً داخل لایه سطحی خاک کرده و در جهت عقربه‌های ساعت چرخانده می‌شود تا زمانی که خاک مقاومت خود را از دست داده و از هم‌گسیخته شود. بدین ترتیب مقدار نیروی اعمال‌شده بر روی صفحه مدرج دسته بالای دستگاه ثبت می‌شود. شکل شماره ۳ نمایی از شاخص مدرج (پیکه) و دستگاه پره برشی را نمایش می‌دهد.



شکل ۳: نمایی از شاخص مدرج (پیکه) و دستگاه پره برشی

برای تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی از شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی^۳ با استفاده از تصویر لندست ۸ در اوایل شهریور سال ۱۳۹۲ استفاده شد. دلیل انتخاب این زمان از تصاویر، باتوجه به زمان اندازه‌گیری بادبردگی و مقاومت برشی پیکه‌ها در منطقه می‌باشد.

1. Torvane model S-160 ELE
2. Durham Geo Torvane
3. Soil Adjusted Vegetation Index

شاخص SAVI اولین بار توسط Huete در سال ۱۹۸۴ ارائه گردید. از اهداف این شاخص به حداقل رساندن اثرات خاک پی‌زمینه بر روی سیگنال‌های پوشش گیاهی به‌وسیله ترکیب کردن فاکتور تنظیم‌کننده خاک (L) با مخرج معادله NDVI می‌باشد. شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک SAVI، یک شاخص گیاهی عالی برای محیط‌هایی با پوشش کم می‌باشد. L: فاکتور تعدیل‌کننده اثر خاک که معمولاً با سعی و خطا محاسبه می‌شود. اگر L صفر باشد SAVI همانند NDVI می‌باشد. برای مقادیر متوسط پوشش گیاهی L در حدود ۰/۵ می‌باشد. در مناطقی که پوشش گیاهی تنک و کم می‌باشد L را یک در نظر می‌گیرند. در این پژوهش به دلیل پوشش اندک منطقه، L یک در نظر گرفته شد. فاکتور (L+۱) تضمین می‌کند که حدود SAVI همانند NDVI بین ۱- تا ۱ باشد (Huete, ۱۹۸۴).

برای محاسبه شاخص از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$SAVI = \frac{PNIR - PRED(1+L)}{PNIR + PRED + L} \quad (1)$$

NIR = باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵) RED = باند قرمز (باند ۴) L: فاکتور تعدیل‌کننده اثر خاک

جهت بررسی پوشش گیاهی از شاخص SAVI با توجه به زمان برداشت نمونه در سال ۲۰۱۳ در محیط موتور گوگل ارث کدنویسی شد. تصویر ماهواره‌ای از سنجنده لندست ۸ در ماه اگوست با قدرت تفکیک ۳۰ متر استخراج شد. جهت محاسبه شاخص SAVI و در سنجنده OLI از باندهای ۴ (۰/۶۷-۰/۶۴) و باند ۵ (۰/۸۸-۰/۸۵)، استفاده شد. پس از آن شاخص پوشش گیاهی محاسبه و نقشه مربوطه تهیه گردید.

در نهایت همبستگی و رگرسیون خطی بین میزان لگاریتم بادبردگی، مقاومت برشی و پوشش گیاهی بررسی شد و معنی‌دار بودن ضریب همبستگی تعیین گردید. در نهایت برای تهیه نقشه حساسیت اراضی در هر پیکسل از رابطه ۲ استفاده شد.

$$حساسیت = \frac{\text{بادبردگی}}{\text{پوشش گیاهی} + \text{مقاومت برشی}} \quad (2)$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از شاخص‌های مدرج نصب‌شده نشان داد که میزان بادبردگی بین ۰/۶ تا ۷ سانتی‌متر در نقاط مختلف محدوده متغیر است. تفاوت‌های خاکی واحدهای اراضی یکی از علل تغییرات زیاد میزان بادبردگی خاک‌ها است. هر چقدر فرسایش‌پذیری خاک بیشتر باشد میزان بادبردگی بیشتر بود. به‌طور متوسط ۲ سانتی‌متر خاک از سطح هامون برینگک در طول دوره اندازه‌گیری فرسایش یافته است. با توجه به متوسط وزن مخصوص ظاهری خاک‌های محدوده (۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، متوسط مقدار فرسایش به‌طور متوسط برابر ۳۲ کیلوگرم در هر مترمربع می‌باشد (عباسی و همکاران، ۲۰۱۸). میزان مقاومت برشی خاک‌ها بین ۰/۸۵ تا ۷/۷ (کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب) تغییر می‌کند. دلیل بالا بودن برخی ارقام وجود نهشته‌های حاصل از تراس‌های دریایی در ضلع شمالی هامون برینگک است

که مواد سست آنها قبلاً توسط باد انتقال داده شده است و مواد باقیمانده دارای سختی زیادی هستند. میزان متوسط و دامنه تغییرات سه شاخص مورد استفاده برای تعیین حساسیت در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار شاخص‌های بادبردگی، مقاومت برشی و پوشش گیاهی SAVI

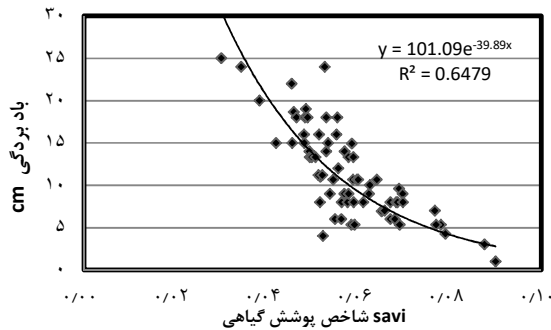
| شاخص | میانگین | دامنه تغییرات |
|-----------------------------------|---------|---------------|
| SAVI | ۰/۱ | ۰ - ۰/۱۷ |
| میزان بادبردگی (cm) | ۲ | ۰/۶_۷ |
| مقاومت برشی (kg/cm ²) | ۴/۲۷ | ۰/۸۵_۷/۷ |

میزان همبستگی و ضریب رگرسیون بین میزان بادبردگی با مقاومت برشی و شاخص پوشش گیاهی در جدول ۲ نمایش داده شده است. با در نظر گرفتن ضریب همبستگی و با استفاده از جدول فیشر مشاهده می‌شود که میزان همبستگی بادبردگی و مقاومت برشی برابر ۰/۷۲- و ۰/۶۱ با روش رگرسیون معادله خطی است که در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و میزان بادبردگی نیز با درجه آزادی ۲۵ برابر ۰/۷۸ است که آن هم در سطح یک درصد بسیار معنی‌دار می‌باشد.

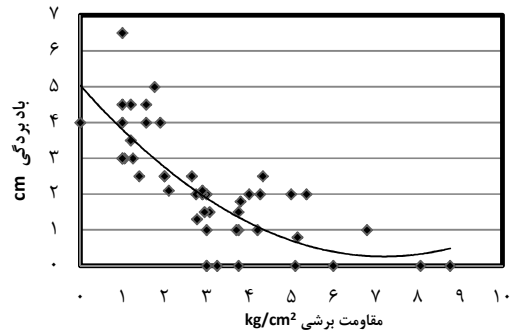
جدول ۲: ضریب همبستگی و رگرسیونی میزان بادبردگی با شاخص پوشش گیاهی و مقاومت برشی

| مقدار معنی‌دار ضریب همبستگی | R | df | P | رابطه محاسبه شده | انحراف | R ² | |
|-----------------------------|----|-------|--------------------------------|------------------|--------|--------------------------------------|--|
| | | | | | معیار | | |
| -۰/۷۸ | ۲۵ | ۰/۵۲۱ | $Y=101.09e^{-39.89x}$ | ۶/۸ | ۰/۶۴ | رابطه شاخص SAVI با میزان بادبردگی | |
| -۰/۷۲ | ۲۵ | ۰/۴۷۵ | $Y=0.922x^2 - 1.327x + 5.0362$ | ۱/۷ | ۰/۶۱ | رابطه مقاومت برشی با میزان باد بردگی | |

بادبردگی و مقاومت برشی دارای یک رابطه معکوس با یکدیگر هستند. هرچقدر مقاومت برشی خاک سطحی بیشتر باشد در مقابل نیروی باد و ازجا کنده شدن مقاومت نشان داده و میزان بادبردگی آن کمتر است و برعکس (شکل ۴). ضریب همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و میزان بادبردگی حدود ۰/۷۸- محاسبه شد. پوشش گیاهی از دو طریق میزان مقاومت خاک نسبت به بادبردگی را افزایش می‌دهد هرچقدر میزان تاج پوشش گیاهی در سطح اراضی بیشتر باشد از یک سو مانعی در مقابل باد به شمار می‌آید و سرعت باد را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر ریشه‌های گیاه و میکروارگانیزم‌های مرتبط موجب به هم چسبیدن ذرات خاک و نگهداری آن در مقابل نیروی باد عمل می‌کند. رابطه بین شاخص پوشش گیاهی و بادبردگی در شکل ۵ نمایش داده شده است.

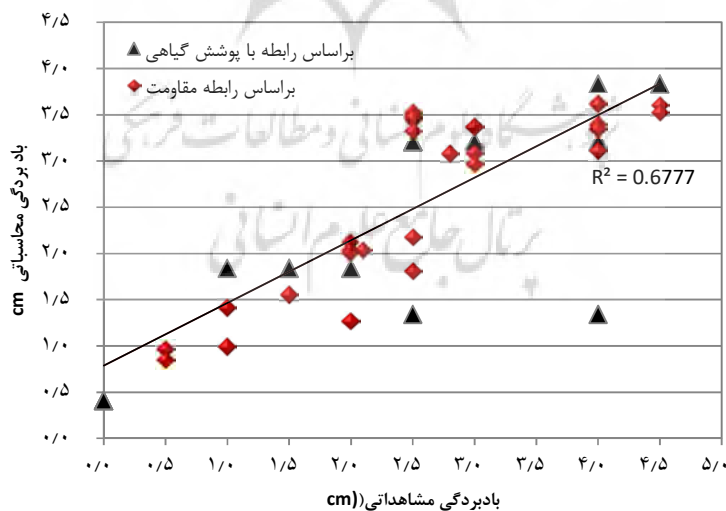


شکل ۵: رابطه بابردگی و شاخص پوشش گیاهی SAVI



شکل ۴: رابطه بابردگی و مقاومت برشی

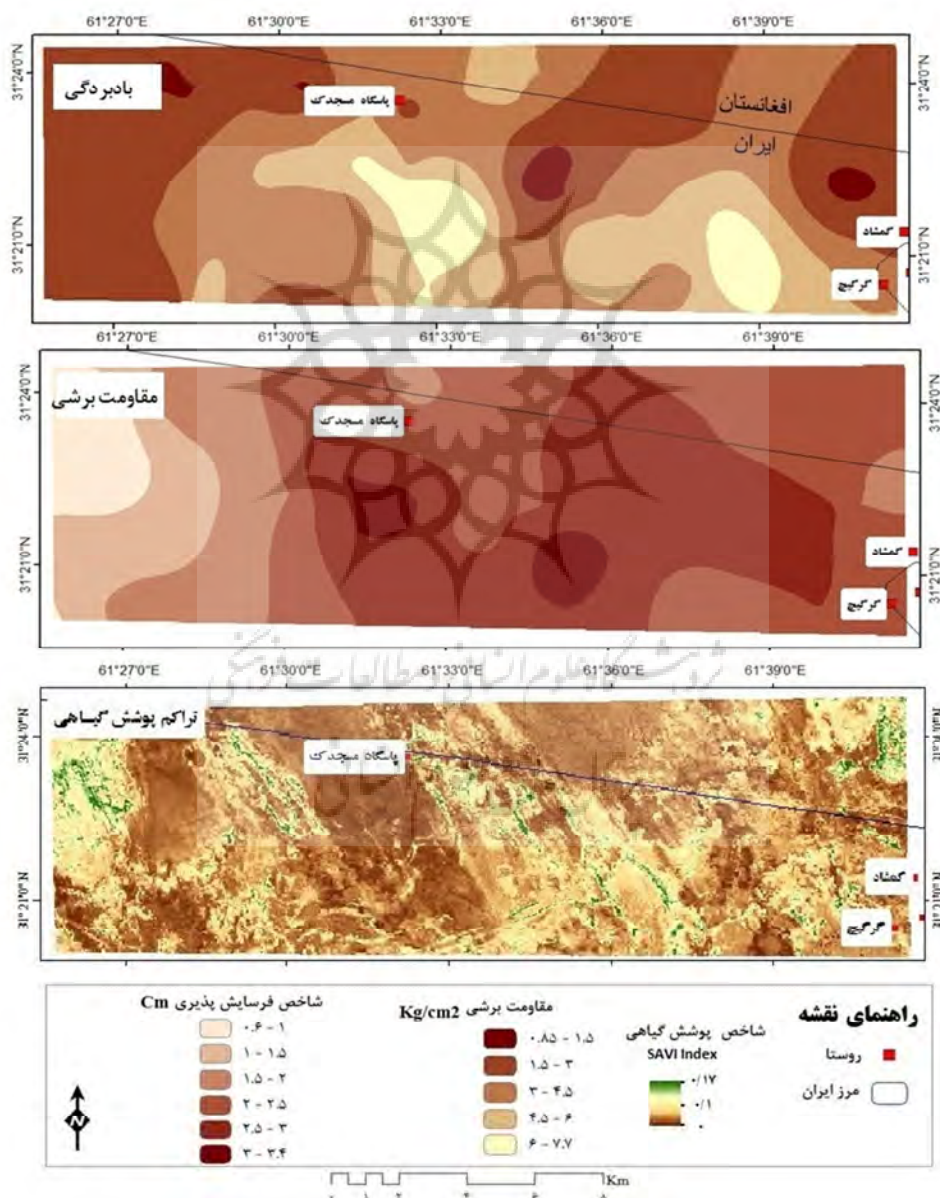
مقایسه بین میزان بادبردگی اندازه‌گیری شده در عملیات میدانی (مشاهداتی) و محاسباتی حاصل از برآورد مدل دارای رابطه مستقیم بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$ و $R^2 = 0.67$) در سطح یک درصد می‌باشد (شکل ۶). نتایج این پژوهش با تحقیق انجام شده توسط لی و همکاران (۲۰۱۰) در بیابان موجوو^۱ ایالات متحده آمریکا مشابه و نزدیک بهم است با این تفاوت که آن پژوهش بر اساس اندازه‌گیری آستانه فرسایش بادی در تونل باد پرتابل انجام شده است. ولی در پژوهش پیش‌رو میزان بادبردگی با استفاده از شاخص‌های مدرج در عملیات میدانی به دست آمد. گفتنی است لی و همکارانش بر روی اراضی دست‌خورده کار کردند و اراضی طبیعی دست‌خورده را در پژوهش نیاوردند.



شکل ۶: مقایسه بین بادبردگی اندازه‌گیری شده در عملیات میدانی و محاسباتی

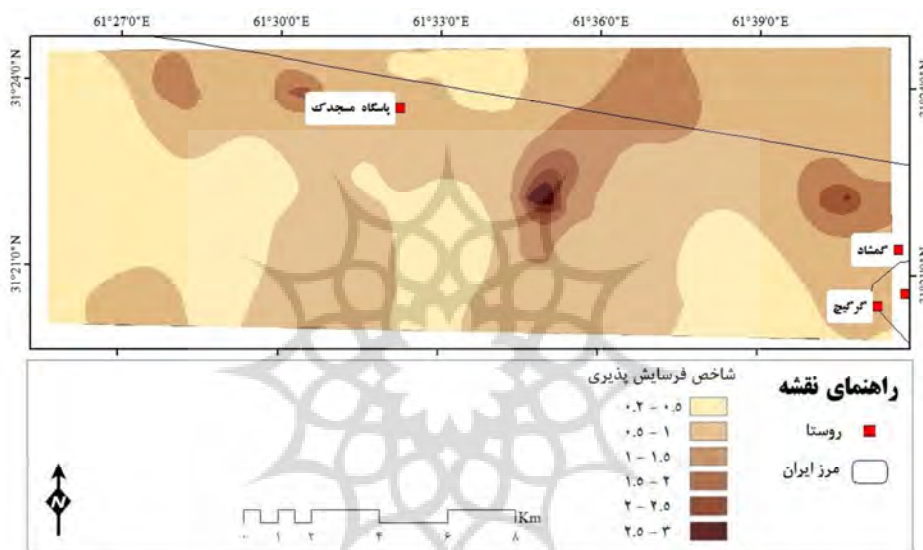
^۱. Mojave

نتایج پهنه‌بندی بادبردگی و مقاومت برشی به روش کریجینگ در شکل ۷ نشان داده شده است. بیشترین میزان بادبردگی خاک سطحی در رأس دالان‌های فرسایشی قرقری - پوزک و نیاتک و کمترین در جنگل بش‌دلبر به دلیل کاهش سرعت باد در اثر پوشش گیاهی مناسب مشاهده شدند. دلیل این امر نیز فرسایش ثانویه در اثر ماسه‌سایبی رسوبات رود فراه است که توسط بادهای ۱۲۰ روزه از سطح هامون برینگ عبور کرده و وارد دالان‌های فرسایشی یادشده می‌شوند. به همین ترتیب کمترین مقاومت برشی نیز در مناطقی که رسوبات بادی در حال حرکت هستند و بیشترین آنها در نهشته‌ها و تراس‌های دریایی حاصل از ته‌نشینی رسوبات ریزدانه دریایی مشاهده شدند.



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی میزان بادبردگی و مقاومت برشی نقاط اندازه‌گیری شده و شاخص پوشش گیاهی SAVI در شهریور سال ۱۳۹۲

نتایج حاصل از ادغام‌گذاری (روی‌هم‌گذاری) نقشه‌های یادشده و پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش بادی سه محدوده دارای حساسیت زیاد را نشان داد. همان‌طورکه در شکل ۸ مشاهده می‌شود، منطقه اول در سمت راست هامون برینگک در شمال غربی روستای گمشاد، محدوده دوم در حدفاصل بین روستای گمشاد و پاسگاه مسجدک و سومین محدوده خاک‌های حساس در غرب پاسگاه مسجدک مشاهده شدند که تا حدود نسبتاً زیادی با واقعیت زمینی انطباق دارند. کمترین مقدار شاخص حساسیت اراضی به فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه ۰/۲ و بیشترین مقدار آن ۳ محاسبه گردید. هر چه این شاخص بزرگ‌تر شود نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری بیشتر منطقه می‌باشد.



شکل ۸: پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش بادی در هامون برینگک سیستان

نتیجه‌گیری

گسترده‌گی مناطق برداشت فرسایش بادی و تولید ریزگرد در کشور، شناسایی خاک‌های حساس به فرسایش بادی را الزام می‌کند. اولویت تثبیت اراضی با حساسیت زیاد، کلید راه‌گشای موفقیت در عملیات اجرایی مهار کانون‌های ریزگرد و ماسه‌های روان است. با توجه به هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری خاک‌ها در عرصه و یا در آزمایشگاه تونل باد ثابت، یافتن راه‌های ساده و کم‌هزینه ضرورت دارد. در این پژوهش سعی شد تا امکان استفاده از پارامترهای مقاومت برشی در عرصه و تعیین شاخص پوشش گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه آن با بادبردگی حاصل از پیکه‌های فرسایشی، به یک روش ارزان و ساده برای پهنه‌بندی حساسیت اراضی دست یابد. نتایج همبستگی‌ها نشان دادند که با اطمینان زیادی نسبت به استفاده از پره برشی برای تعیین فرسایش‌پذیری خاک‌های خشک اتکا کرد. برخی پژوهش‌های دیگر نیز بر استفاده از خصوصیت‌های مهندسی برای پهنه‌بندی فرسایش تاکید کرده‌اند (سلوکی و همکاران ۱۳۹۰).

مهم‌ترین نقص این روش، تغییرات زمانی سله در سطح خاک است؛ به‌طوری‌که شکسته‌شدن سله موجب افزایش ناگهانی فرسایش‌پذیری خاک خواهد شد. از آنجایی‌که سله سطحی در میزان مقاومت خاک نقش بسیار اساسی بازی

می‌کند، از این رو باید به وجود سله در لایه سطحی خاک در هنگام اندازه‌گیری توجه کافی نمود. علاوه بر این، بایستی به اثر برخورد ذرات ماسه حاصل از مناطق دیگر نیز توجه کرد؛ زیرا در برخی مناطق با مقاومت برشی بالا، بازهم میزان بادبرگی زیاد است؛ زیرا ضربات برخورد ماسه سطح خاک را تخریب می‌نمایند. شاید به این دو علت است که میزان کارکرد مدل در حد ۰/۷۳ است. لی و همکاران (۲۰۱۰) نیز اظهار داشتند که سازوکار خاک‌های دست‌خورده با خاک‌های طبیعی و دارای سله با یکدیگر متفاوت هستند و آنها را از یکدیگر جدا کرده‌اند.

نقش سنگریزه سطحی (زبری) در میزان برداشت در کانون‌های بحرانی دشت‌سرها و دشت‌های ریگی نیز از اهمیت زیادی برخوردار است (بات و پی بادی، ۱۹۹۹)؛ ولی چون در منطقه برداشت یادشده خاک فاقد سنگریزه بود به نقش آن توجه نشد؛ ولی بایستی در تکمیل روش برای مناطق برداشت دیگر دیده شود. در مجموع به نظر می‌رسد که روش استفاده از مقاومت برشی همراه با تراکم پوششی در خاک‌های بدون سنگریزه و سله می‌تواند نتایج قابل‌قبولی برای تعیین حساسیت اراضی نسبت به فرسایش بادی داشته باشد.

منابع

- اختصاصی، محمدرضا؛ اخوان قالیباف، محمد؛ عظیم زاده، حمیدرضا و امتحانی، محمدحسن (۱۳۸۲). مطالعه تغییرات پتانسیل فرسایش-پذیری بادی خاک در مقابل املاح مختلف به کمک دستگاه سنجش فرسایش بادی، منابع طبیعی ایران، ۲۸-۱۷: (۵۶۲).
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=768>
- اختصاصی، محمد رضا، (۱۳۷۵). منشایابی تپه‌های ماسه‌ای، در حوزه دشت یزد - اردکان، ناشر موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۲۷۰ صفحه. <https://lib1.ut.ac.ir:8443/site/catalogue/1109746>
- حمیدیان پور، محسن؛ عباس، مفیدی و محمد، سلیقه (۱۳۹۵). تحلیل ماهیت و ساختار باد سیستان، مجله ژئوفیزیک، جلد ۲۱، شماره ۱، تابستان، صص ۱۳-۲۱۹. http://www.ijgeophysics.ir/article_33350.html.
- سلوکی، حمید رضا و نوری نهاد، فرزانه. (۱۳۹۸). تأثیر خصوصیات خاک و فرسایش بادی بر روی سازه‌های هیدرولیکی رودخانه سیستان، مخاطرات محیط طبیعی، ۲۴۲-۲۲۹: (۱۸). [doi: 10.22111/jneh.2018.22499.1333](https://doi.org/10.22111/jneh.2018.22499.1333).
- سلوکی، حمیدرضا؛ خامه‌چیان، ماشالله؛ حافظی مقدس، ناصر و علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۹۰). پهنه‌بندی فرسایش بادی با استفاده از خصوصیات مهندسی در دشت سیستان، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، تهران، ۷ص <https://civilica.com/doc/182130>
- ظهراپی، صادق؛ خسروی، حسن؛ مصباح‌زاده، طیبه؛ جعفری، محمد و دستورانی، مصطفی (۱۳۹۸). بررسی سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی و تأثیرپذیری آن از خصوصیات خاک در کانون‌های تولید گردوغبار استان البرز. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ۱۰-۱۳: (۳۸). <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=549845>
- عباسی، حمیدرضا (۱۳۸۹). تعیین اشکال ناهمواری‌های و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شنزارهای کشور، گزارش نهایی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، صص ۴۱۹.
- عباسی، حمیدرضا (۱۴۰۰). سنتز مطالعات جامع مهار ریزگرد، گزارش برنامه جامع مهار ریزگرد در هامون‌های سیستان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، در دست انتشار.
- فیاض، محمد (۱۳۸۴). بررسی منشاء طوفان‌های ماسه‌ای دشت سیستان با استفاده از اطلاعات دورسنجی. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان، دوره ۱۲، شماره ۱، صفحه: ۴۱ تا ۶۲. [DOI: 10.22092/IJRDR.2019.119660](https://doi.org/10.22092/IJRDR.2019.119660)
- محمودآبادی، مجید و زمانی، سمیرا (۱۳۹۲). بررسی تأثیر سرعت باد و توزیع اندازه ذرات خاک بر فرآیندهای حمل رسوب ناشی از فرسایش بادی، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۵۱-۱۳۱: (۴). [DOI: 10.22092/IJWMSE.2012.101751](https://doi.org/10.22092/IJWMSE.2012.101751)
- مفیدی، عباس؛ حمیدیان‌پور، محسن؛ سلیقه، محمد و علیجانی، بهلول (۱۳۹۲). تعیین زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطه تغییر: نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱۲-۸۷: (۶). [DOI: 10.22067/GEO.V0I0.25026](https://doi.org/10.22067/GEO.V0I0.25026)

- Abbasi, H.R., Opp, C., Khosroshahi, M., Gohardoust, A. (2016). Spatial and temporal variability aeolian transport rate in Sistan Baringak Hamoun using geostatistical models, The 34th National and the 2nd International Geosciences Congress, 22,24 February. www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=34535
- Abbasi, H. R., Opp, C., Groll, M. Rohipour, H., Khosroshahi, M., Khaksarian, F. Gohardoust, A. (2018). Spatial and temporal variation of the aeolian sediment transport in the ephemeral Baringak Lake (Sistan Plain, Iran) using field measurements and geostatistical analyses. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 61(4), pp 315-326. DOI: [10.1127/zfg/2018/0451](https://doi.org/10.1127/zfg/2018/0451)
- Bagnold, R. A. (1941). *The Physics of Blown Sands and Desert Dunes*. Methuen, New York. p 256.
- Batt, R. G., Peabody, S. A. (1999). Threshold friction velocities for large pebble gravel beds. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. DOI: [10.1029/1999JD900484](https://doi.org/10.1029/1999JD900484).
- Belnap, J., Gillette, D. A. (1997). Disturbance of biological soil crusts: impacts on potential wind erodibility of sandy desert soils in southeastern Utah. *Land Degradation and Development*, 8(4), pp 355-362. DOI: [10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199712\)8:4<355::AID-LDR266>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199712)8:4<355::AID-LDR266>3.0.CO;2-H)
- Belnap, J., Phillips, S. L., Herrick, J. E., Johansen, J. R. (2007). Wind erodibility of soils at Fort Irwin, California (Mojave Desert), USA, before and after trampling disturbance: implications for land management. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(1), pp 75-84. DOI: [10.1002/esp.1372](https://doi.org/10.1002/esp.1372).
- Cornelis, W. M., Gabriels, D., Hartmann, R. (2004). A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. *Geomorphology*, 59(1-4), pp 43-51, DOI: [10.1016/j.geomorph.2003.09.004](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.09.004).
- Dong, Z., Liu, X., Wang, X. (2002). Wind initiation thresholds of the moistened sands. *Geophysical Research Letters*, 29(12), pp 25-1. DOI: [10.1029/2001GL013128](https://doi.org/10.1029/2001GL013128).
- Durham Geo Torvane (2021). https://www.forestry-suppliers.com/product_pages/products.php?mi=30430&itemnum=77399
- Franti, T. G., Laflen, J. M., Watson, D. A. (1999). Predicting soil detachment from the high-discharge concentrated flow. *Transactions of the ASAE*, 42(2), pp 329-335.
- Imam, E. (2011). Mapping of landscape cover using remote sensing and GIS in Chandoli National Park, India. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 3(2). Pp 78-92, DOI: [10.4314/mejs.v3i2.67714](https://doi.org/10.4314/mejs.v3i2.67714)
- Lagacherie, P., and McBratney, A. B. (2006). Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. *Developments in soil science*, Volume 31, pp 3-22, DOI: [10.1016/S0166-2481\(06\)31001-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31001-X).
- Li, F. R., Kang, L. F., Zhang, H., Zhao, L. Y., Shirato, Y., Taniyama, I. (2005). Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 62(4), pp 567-585, DOI: [10.1016/j.jaridenv.2005.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.014).
- Li, F. R., Kang, L. F., Zhang, H., Zhao, L. Y., Shirato, Y., and Taniyama, I., (2005). Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 62. pp 567-585. DOI: [org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.014)
- Li, J., Okin, G. S., Herrick, J. E., Belnap, J., Munson, S. M., and Miller, M. E. (2010). A simple method to estimate the threshold friction velocity of wind erosion in the field. *Geophysical Research Letters*, 37(10), DOI: [10.1029/2010GL043245](https://doi.org/10.1029/2010GL043245).
- Marticorena, B., and Bergametti, G. (1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D8), pp 16415-16430, DOI: [10.1029/95JD00690](https://doi.org/10.1029/95JD00690).
- Marticorena, B., Bergametti, G., Gillette, D., and Belnap, J. (1997). Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid areas of the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, [102\(D19\)](https://doi.org/10.1029/97JD01303), 23277-23287, DOI: [10.1029/97JD01303](https://doi.org/10.1029/97JD01303).
- Merz, W., and Bryan, R. B. (1993). Critical conditions for rill initiation on sandy loam Brunisols: laboratory and field experiments in southern Ontario, Canada. *Geoderma*, 57(4), pp 357-385. DOI: [10.1016/0016-7061\(93\)90050-U](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90050-U)
- Okin, G. S. (2008). A new model of wind erosion in the presence of vegetation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 113(F2). DOI: [10.1029/2007JF000758](https://doi.org/10.1029/2007JF000758)

- Owens, P. R. (1964). The saltation of uniform sand in the air. *Journal of Fluid Mechanics*, 20, 225-242. DOI:10.1017/S0022112064001173.
- Raupach, M. R., Gillette, D. A., and Leys, J. F. (1993). The effect of roughness elements on wind erosion threshold. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D2), 3023-3029. DOI:10.1029/92JD01922.
- Ravi, S., and D'Odorico, P. (2005). A field-scale analysis of the dependence of wind erosion threshold velocity on air humidity. *Geophysical Research Letters*, 32(21), DOI: [10.1029/2005GL023675](https://doi.org/10.1029/2005GL023675)
- Hong, S. W., Lee, I. B., Seo, I. H., Kwon, K. S., Kim, T. W., Son, Y. H., and Kim, M. (2014). Measurement and prediction of soil erosion in the dry field using a portable wind erosion tunnel. *Biosystems Engineering*, 118, pp 68-82. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.11.003>
- Shao, Y., and Lu, H. (2000). A simple expression for wind erosion threshold friction velocity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D17), pp 22437-22443. DOI:10.1029/2000JD900304.
- Torri, D., Sfalanga, M., and Chisci, G. (1987). Threshold conditions for incipient rilling. *Catena. Supplement (Giessen)*, 8(0722-0723), pp 97-105. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19881917197>.
- Vos, H. C., Fister, W., Eckardt, F. D., Palmer, A. R., and Kuhn, N. J. (2020). Physical Crust Formation on Sandy Soils and Their Potential to Reduce Dust Emissions from Croplands. *Land*, 9(12), p 503. <https://doi.org/10.3390/land9120503>.
- Worldview (2013). <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

References

References (in Persian)

- Abbasi, H.R. (2010). Final report of research plan Classification Of Iran s Sand Dune Systems, Using Morphology, Physico-chemical Characteristics. Final Report of the Research Institute of Forests and Rangelands, p.419. [In Persian]
- Abbasi, H.R. (1400). Synthesis of comprehensive studies on dust control, the report of the comprehensive program on dust control in Sistan, the Institute of Forests and Rangelands Research, in progress. [In Persian]
- Ekhtesasi, M.R.(1996). Source Identification Sand Dunes in Yazd –Ardakan Plain. Publisher of Research Institute of Forests and Rangelands. P 270. <https://lib1.ut.ac.ir:8443/site/catalogue/1109746>. [In Persian]
- Ekhtesasi, M.R., Akhavan Ghalibaf, M., Azimzadeh, H.R., Emtehani, M.H. (2003). Effects of Salts on Erodibility of Soil by Wind. Iranian Journal of Natural Resources, Volume 56, Number 1-2; 17 - 28. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=768>. [In Persian]
- Fayaz, M. (2005). Investigation of the Source of Dust Storme in Sistan Plain With Remote Sensing Imagery. Iranian Journal of Range and Desert Research. 12(18), pp 41-62. DOI: 10.22092/IJRDR.2019.119660. [In Persian]
- Hamidian Pour, M., Mofidi, A., Salighe, M. (2016). Analysis of the nature and structure of Sistan wind. Iranian Journal of Geophysics, 10(2), pp 83-109. http://www.ijgeophysics.ir/article_33350.html?lang=fa. [In Persian]
- Mahmoudabadi, M., Zamani, S. (2012). Effect of wind speed and soil particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. 4(3), pp 141-151. DOI: 10.22092/IJWMSE.2012.101751. [In Persian]
- Mofidi, A., Hamidianpour, M., Saligheh, M., Alijani, B. (2014). Determination Of The Onset, Withdrawal, And Duration Of Sistan Wind Using A Change Point Approach. Journal of Geography and Environmental Hazards. 2(4) pp 87-112. . DOI: 10.22067/GEO.V0I0.25026. [In Persian]
- Soloki, HR., Noori nahad, F. (2019). Effect of soil characteristics and wind erosion on hydraulic structures of Sistan River. Journal of Natural Environmental Hazards, 8(19), pp 229-242. DOI: 10.22111/jneh.2018.22499.1333. [In Persian]
- Soloki, HR., Khamechian, M., Hafezi Moghaddas, N., Alavi Panah, S.K. (2012). Wind erosion zoning using engineering characteristics in Sistan plain. 30th Symposium of Geosciences, Tehran, 7 P. <https://civilica.com/doc/182130>. [In Persian]
- Zahrabi, S., Khosravi H., Mesbahzadeh T., Jafari M., Dastorani M. (2020). Investigating Wind Erosion Threshold Velocity And The Effect Of Soil Characteristics In Dust Production Centers In Alborz Province. 10(38), pp 1-13. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=549845>. [In Persian]

References (in English)

- Abbasi, H.R., Opp, C., Khosroshahi, M., Gohardoust, A. (2016). Spatial and temporal variability aeolian transport rate in Sistan Baringak Hamoun using geostatistical models, The 34th National and the 2nd International Geosciences Congress, 22,24 February. www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=34535
- Abbasi, H. R., Opp, C., Groll, M. Rohipour, H., Khosroshahi, M., Khaksarian, F. Gohardoust, A. (2018). Spatial and temporal variation of the aeolian sediment transport in the ephemeral Baringak Lake (Sistan Plain, Iran) using field measurements and geostatistical analyses. Zeitschrift für Geomorphologie, 61(4), pp 315-326. DOI: [10.1127/zfg/2018/0451](https://doi.org/10.1127/zfg/2018/0451)
- Bagnold, R. A. (1941). The Physics of Blown Sands and Desert Dunes .Methuen, New York. p 256.
- Batt, R. G., Peabody, S. A. (1999). Threshold friction velocities for large pebble gravel beds. Journal of Geophysical Research: Atmospheres .DOI: [10.1029/1999JD900484](https://doi.org/10.1029/1999JD900484).
- Belnap, J., Gillette, D. A. (1997). Disturbance of biological soil crusts: impacts on potential wind erodibility of sandy desert soils in southeastern Utah. Land Degradation and Development, 8(4), pp 355-362, .DOI:[10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199712\)8:4<355::AID-LDR266>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199712)8:4<355::AID-LDR266>3.0.CO;2-H)
- Belnap, J., Phillips, S. L., Herrick, J. E., Johansen, J. R. (2007). Wind erodibility of soils at Fort Irwin, California (Mojave Desert), USA, before and after trampling disturbance: implications for land management. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 32(1), pp 75-84. DOI:[10.1002/esp.1372](https://doi.org/10.1002/esp.1372).
- Cornelis, W. M., Gabriels, D., Hartmann, R. (2004). A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. Geomorphology, 59(1–4),pp 43-51. DOI:10.1016/j.geomorph.2003.09.004.
- Dong, Z., Liu, X., Wang, X. (2002). Wind initiation thresholds of the moistened sands. Geophysical Research Letters, 29(12), pp 25-1. DOI:[10.1029/2001GL013128](https://doi.org/10.1029/2001GL013128).
- Durham Geo Torvane (2021). https://www.forestry-suppliers.com/product_pages/products.php?mi=30430&itemnum=77399

- Franti, T. G., Laflen, J. M., Watson, D. A. (1999). Predicting soil detachment from the high-discharge concentrated flow. *Transactions of the ASAE*, 42(2), pp 329-335.
- Imam, E. (2011). Mapping of landscape cover using remote sensing and GIS in Chandoli National Park, India. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 3(2). Pp 78-92, DOI: [10.4314/mejs.v3i2.67714](https://doi.org/10.4314/mejs.v3i2.67714)
- Lagacherie, P., and McBratney, A. B. (2006). Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. *Developments in soil science*, Volume 31, pp 3-22, DOI: [10.1016/S0166-2481\(06\)31001-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31001-X).
- Li, F. R., Kang, L. F., Zhang, H., Zhao, L. Y., Shirato, Y., Taniyama, I. (2005). Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 62(4), pp 567-585, DOI: [10.1016/j.jaridenv.2005.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.014).
- Li, F. R., Kang, L. F., Zhang, H., Zhao, L. Y., Shirato, Y., and Taniyama, I. (2005). Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 62. pp 567-585. , DOI: [org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.014)
- Li, J., Okin, G. S., Herrick, J. E., Belnap, J., Munson, S. M., and Miller, M. E. (2010). A simple method to estimate the threshold friction velocity of wind erosion in the field. *Geophysical Research Letters*, 37(10), DOI: [10.1029/2010GL043245](https://doi.org/10.1029/2010GL043245).
- Marticorena, B., and Bergametti, G. (1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D8), pp 16415-16430, DOI: [10.1029/95JD00690](https://doi.org/10.1029/95JD00690).
- Marticorena, B., Bergametti, G., Gillette, D., and Belnap, J. (1997). Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid areas of the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, [102\(D19\)](https://doi.org/10.1029/97JD01303), 23277-23287, DOI: [10.1029/97JD01303](https://doi.org/10.1029/97JD01303).
- Merz, W., and Bryan, R. B. (1993). Critical conditions for rill initiation on sandy loam Brunisols: laboratory and field experiments in southern Ontario, Canada. *Geoderma*, [57\(4\)](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90050-U), pp 357-385. DOI: [10.1016/0016-7061\(93\)90050-U](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90050-U)
- Okin, G. S. (2008). A new model of wind erosion in the presence of vegetation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 113(F2). DOI: [10.1029/2007JF000758](https://doi.org/10.1029/2007JF000758)
- Owens, P. R. (1964). The saltation of uniform sand in the air. *Journal of Fluid Mechanics*, 20, 225-242. DOI: [10.1017/S0022112064001173](https://doi.org/10.1017/S0022112064001173).
- Raupach, M. R., Gillette, D. A., and Leys, J. F. (1993). The effect of roughness elements on wind erosion threshold. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D2), 3023-3029. DOI: [10.1029/92JD01922](https://doi.org/10.1029/92JD01922).
- Ravi, S., and D'Odorico, P. (2005). A field-scale analysis of the dependence of wind erosion threshold velocity on air humidity. *Geophysical Research Letters*, 32(21), DOI: [10.1029/2005GL023675](https://doi.org/10.1029/2005GL023675)
- Hong, S. W., Lee, I. B., Seo, I. H., Kwon, K. S., Kim, T. W., Son, Y. H., and Kim, M. (2014). Measurement and prediction of soil erosion in the dry field using a portable wind erosion tunnel. *Biosystems Engineering*, 118, pp 68-82. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.11.003>
- Shao, Y., and Lu, H. (2000). A simple expression for wind erosion threshold friction velocity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D17), pp 22437-22443. DOI: [10.1029/2000JD900304](https://doi.org/10.1029/2000JD900304).
- Torri, D., Sfalanga, M., and Chisci, G. (1987). Threshold conditions for incipient rilling. *Catena. Supplement (Giessen)*, 8([0722-0723](https://doi.org/10.1016/0167-6369(87)90023-9)). pp 97-105. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19881917197>.
- Vos, H. C., Fister, W., Eckardt, F. D., Palmer, A. R., and Kuhn, N. J. (2020). Physical Crust Formation on Sandy Soils and Their Potential to Reduce Dust Emissions from Croplands. *Land*, 9(12), p 503. <https://doi.org/10.3390/land9120503>.
- Worldview (2013). <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.