

Comparison of Wind Erosion Potential and Intensity between Arable and Non-arable Lands in Mokhtaran Plain

Einollah Rouhi-Moghaddam^{1*} , Morteza Dehghani²

1. **Corresponding Author**, Associate Professor, Department of Range and Watershed, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

Email: erouhimm@uoz.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1827-5364>

2. M.Sc. Department of Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 22 December 2024 Revised: 07 March 2025 Accepted: 19 April 2025 Published: 22 December 2025 Keywords: Wind erosion potential, IRIFR, Drylands, Arable lands, Non-arable lands, Mokhtaran plain.	Soil erosion is considered one of the most important factors in the lack of development in arid and semi-arid regions. To carry out the management and executive operations to control and reduce the adverse effects of wind erosion, the erosion potential and the factors affecting it must be identified. In this study, the Mokhtaran watershed was selected as one of the most important watersheds in South Khorasan Province with an area of 242701 hectares and the wind erosion potential of agricultural and non-agricultural lands has been determined using the capabilities and features of ArcGIS 9.3 software. For this purpose, based on field observations, Landsat satellite images, and Google Earth, land use and morphology of areas affected by wind erosion were determined. Then, the parameters related to wind erosion in agricultural and non-agricultural lands, such as morphological, geological, land use, soil, and wind characteristics, were determined based on base maps, field visits, interviews with local communities, and sampling and analysis. Finally, the wind erosion potential of these lands was determined for each geomorphological unit using the IRIFR model. The results showed that the potential degree of wind sediments and their volume in agricultural lands are much lower than in non-agricultural lands. The assessment of the erosion potential of agricultural lands has shown that rainfed lands have a greater erosion potential than irrigated lands and orchards and in terms of erosion intensity, these lands are classified as medium and lower erosion levels. Also, among non-agricultural lands, the flat sandy land facies and floodplain areas have the highest and the stream bed deposits facies have the lowest degree of wind sedimentation potential. In terms of the total volume of wind-blown sediments, concerning area, the floodplain facies have the highest amount and the streambed deposits facies have the lowest amount.
How to Cite: Rouhi-Moghaddam, E. and Dehghani, M. (2025). Comparison of Wind Erosion Potential and Intensity between Arable and Non-arable Lands in Mokhtaran Plain. <i>Journal of Natural Environmental Hazards</i>, 14(46), 165-180.	
 © The Author/Authors DOI: 10.22111/jneh.2025.50568.2089 Publisher: University of Sistan and Baluchestan	

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

About 80 million hectares of Iran's surface is covered by desert areas, dunes, or areas with little vegetation, which are mainly affected by severe wind erosion and constantly threaten agricultural lands, villages, and cities surrounding desert areas. Wind erosion and subsequent sand or dust storms are among the major challenges facing the world today, and the affected areas and their influencing factors must be identified and managed to reduce risks to natural environments and agricultural ecosystems.

This study aims to investigate the potential for wind erosion of agricultural and non-agricultural lands in the Mokhtaran Plain for use in large-scale planning and sustainable development of this region to the sustainability of local communities, preventing migration and its tangible and intangible consequences, and related provincial and national security.

DATA AND METHODS

The present study was done in the Mokhtaran Plain watershed, covering a surface of approximately 242,701 hectares. To compare the potential for wind erosion and its intensity in agricultural and non-agricultural lands, the IRIFR1&2 model, maps, available statistics and information, and the capabilities of ArcGIS9.3 software have been used. First, the hydrological boundary of the Mokhtaran Plain was determined by digitizing the topographic maps of the region. In the next stage, using geological maps, Landsat TM satellite images, Google Earth, and field observations, geomorphological units were determined, and based on this, the area affected by water and wind erosion was distinguished. Geomorphological facies in the area affected by wind erosion were determined based on Ahmadi's (2006) classification and finally, a map of erosion potential and intensity has been prepared.

RESULTS AND DISCUSSION

The maps obtained in this study show that in agricultural lands, rainfed lands have a greater erosion potential than irrigated lands and orchards and in terms of erosion intensity, these land uses are in the medium and lower erosion class. The results of the assessment of the erosion potential of non-agricultural lands show that the geomorphological facies of flat sandy lands and floodplain areas have the highest degree of wind sedimentation potential, and the facies of stream bed deposits have the lowest degree of wind sedimentation potential. In terms of the total volume of wind-blown sediments, the floodplain facies have the highest volume and the stream bed facies have the lowest volume, according to the surface.

CONCLUSION

In non-agricultural lands, wind erosion is high in some facies due to the lack of rainfall, poor vegetation cover, the type of formation and the large extent of some facies, and the fine-grained nature of the wind deposit and overall, wind erosion in non-agricultural lands is much higher than in agricultural lands. In the agricultural lands, the wind speed decreases due to better vegetation cover, fruit trees, and the presence of windbreaks on the edges of some lands and as a result, wind erosion is reduced depending on the type of cover and farm management.

REFERENCES

References (in Persian)

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. [In Persian]

- Ahmadi, H., Ekhtesasi, M. R., Hemmati, N. (2007). Estimation and comparison of water and wind erosion sedimentation potential by MPSIAC and IRIFR.E.A models in semi-arid regions (Case study: Nematabad watershed in Bijar). *Journal of the Iranian Natural Res.*, Vol. 60, No. 1, pp.1-11. [In Persian]
- Bahreini, F., Pahlavanravi, A. (2012). Zonation of water and wind erosion sedimentation Potential by MPSIAC and IRIFR.E.A Models (Case study: Bordekhun watershed in Bousheher). *J. of Conservation and Utilization of Natural Resources*, Vol. 1 (3), pp. 41-58. [In Persian]
- Dargahian, F., Jalili, A., Balalan Fard, A., & Aghazadeh, T. (2024). Determining the potential of dust production in the inner centres of Khuzestan province using the WRF numerical model and the WRF-Chem coupled model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(42), 123-140, doi: 10.22111/jneh.2024.47865.2026. [In Persian]
- Jadidoleslami Ghaleno, M. (2024). Analysis of Aeolian Deposit Processes and their Hazards in Sistan Plain. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(42), 71-90, doi: 10.22111/jneh.2024.47555.2014. [In Persian]
- Refahi, H. (2009). *Wind erosion and Its control*. Tehran University Press, 320 p. [In Persian]
- Hashemi, Z., Havadi, M., Miri, A. (2010). Investigation of wind erosion intensity and its potential sedimentation with IRIFR model in Zahak region of Sistan and Baluchestan province. *Journal of sciences and techniques in natural resources*, 6(3), 32-41. [In Persian]
- Sadoddin, A., Akhzari, D., Noora, N. (2010). Prediction of vegetation management impacts on the risk of wind erosion (Case study: south of the Varamin Plain, Iran). *Journal of water and soil conservation*, Vol. 17(1), 63-80. [In Persian]
- Shayesteh, K., & Gharibi, S. (2022). Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel-5 and Modis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 1-16, doi: 10.22111/jneh.2022.38729.1813. [In Persian]
- Tahmasebi Birgani, A.M., Ahmadi, A.M., Refahi, H., Ekhtesasi, M. (2000). Comparison between the sedimentation potential of wind and water erosions by using MPSIAC and IRIFR E. A. models in deserts of Iran (Case study: Ab-bakhsha basin in the Kerman zone). *Iranian journal of natural resources*, 53(1), 53-65. [In Persian]

References (in English)

- Armof, K., Tsoar, H., Lumberg, D.G., (2019). Dynamics if nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics, *Journal of Arid environments*, 73(11):1014–1022. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.021
- Bajocco, S., Smiraglia, D., Scaglione, M., Raparelli, E., Salvati, L. (2018). Exploring the role of land degradation on agricultural land use change dynamics. *Science of The Total Environment*, Volume 636, pp 1373-1381.
- Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*, 7(5), 567-578. 10.1007/s40333-015-0127-8
- Eswaran, H., Lal, R., Reich, P.F. (2019). *Response to Land Degradation*, ImprintCRC Press, Pages 16.
- Vesterbe, H.k., Juonsef, M.L., and Birmafa, Y. (2023). The most destructive environmental hazards on a global scale. *Mountain Research and Development*. 14(25): 6-11.
- Yakshin, Z. SH., Harazono, Y. and Leprince, D. (2022). Wind-Sandy Environment and the Effects of Vegetation on Wind Breaking and Dune Fixation in Horqin Sandy Land, China, 41(5): 1-21.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۶، شماره پیاپی ۰۴، دی ۱۴۰۴

مقایسه پتانسیل و شدت فرسایش بادی اراضی زراعی و غیر زراعی دشت مختاران

عین‌اله روحی‌مقدم^{۱*}، مرتضی دهقانی^۲

۱. دانشیار، عضو هیأت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل (نویسنده مسئول)

ایمیل: erouhim@uoz.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1827-5364>

۲. کارشناس گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند و کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱ واژه‌های کلیدی: پتانسیل فرسایش بادی، IRIFR، مناطق خشک، اراضی زراعی، اراضی غیرزراعی، دشت مختاران.	فرسایش خاک از مهم‌ترین فاکتورهای عدم توسعه مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد. برای انجام اقدامات مدیریتی و اجرایی کنترل و کاهش آثار سوء فرسایش بادی، بایستی پتانسیل فرسایش و عوامل موثر بر آن شناخته شود. در این پژوهش حوضه آبخیز مختاران به‌عنوان یکی از مهمترین آبخیزهای استان خراسان جنوبی به مساحت ۲۴۲۷۰۱ هکتار انتخاب و پتانسیل فرسایش بادی اراضی زراعی و غیر زراعی با استفاده از قابلیت‌ها و امکانات نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ تعیین شده است. برای این هدف، ابتدا با توجه به بازدهی‌های میدانی، تصاویر ماهواره لندست و گوگل ارث، کاربری اراضی و مورفولوژی مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی مشخص گردید. سپس کلیه پارامترهای مرتبط با فرسایش بادی در اراضی زراعی و غیر زراعی از قبیل خصوصیت‌های مورفولوژی، زمینشناسی، کاربری اراضی، خاک و باد با توجه به نقشه‌های پایه، بازدهی‌های میدانی، مصاحبه با جوامع محلی و نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل آن تعیین شد. در نهایت پتانسیل فرسایش بادی این اراضی برای هر واحد ژئومورفولوژیکی با استفاده از مدل IRIFR محاسبه گردید. نتایج نشان داد که درجه پتانسیل رسوبات بادی و حجم آن در اراضی زراعی به مراتب کمتر از اراضی غیر زراعی است. نتایج ارزیابی پتانسیل فرسایش اراضی زراعی نشان داده است اراضی دیم‌زار نسبت به اراضی آبی و باغات پتانسیل فرسایش بیشتری دارد و از نظر شدت فرسایش، این اراضی در کلاس فرسایش‌پذیری متوسط و کمتر قرار می‌گیرد. همچنین، در بین اراضی غیر زراعی، رخساره اراضی شنی هموار و منطقه پخش سیلاب دارای بیشترین و رخساره نهشته‌های بستر مسیل کمترین درجه پتانسیل رسوبدهی بادی را دارد. از نظر حجم کل رسوبات بادی با توجه به مساحت، رخساره منطقه پخش سیلاب بیشترین و رخساره نهشته‌های بستر مسیل کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است.
استناد: روحی‌مقدم، عین‌اله و دهقانی، مرتضی. (۱۴۰۴). مقایسه پتانسیل و شدت فرسایش بادی اراضی زراعی و غیر زراعی دشت مختاران. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۶)، ۱۸۰-۱۶۵	
© نویسنده/ نویسندگان DOI: 10.22111/jneh.2025.50568.2089	
ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان	

مقدمه

فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که به‌طور جدی منابع طبیعی را تهدید می‌کند و یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و دگرگونی فعالیت‌های انسانی شدت یافته است (شایسته و غریبی، ۱۴۰۱)، به‌گونه‌ای که هر ساله ۷۵ میلیارد تن خاک از اراضی فرسایش می‌یابد (کاویان و همکاران، ۱۳۹۲). فرسایش‌پذیری یک خصوصیت خاک است که نشان‌دهنده مقاومت خاک در برابر جدا و کنده شدن و انتقال آن توسط نیروهای فرسایشی آب و باد است (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱). فرسایش خاک هر محل تحت تأثیر ویژگی‌های طبیعی و فعالیت‌های انسان قرار دارد (باجوکی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسواران^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). وقوع خشکسالی‌های شدید و متوالی، افزایش استفاده از آب و تقاضای روز افزون به آن به‌خصوص در دشت‌ها و حاشیه کویر، چرای مفرط و زودرس مراتع، قطع درختان و بوته‌کشی، گسترش اراضی زراعی با تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی، منابع آب و خاک را در حالت بحرانی قرار داده و ادامه این روند به‌صورت آرام و خزنده به‌شدت جوامع انسانی و حتی اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (رینولدز^۳ و همکاران، ۲۰۰۷؛ کائو^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). رشد فزاینده جمعیت و بهره‌برداری‌های بی‌رویه انسان، تعادل اکولوژیک حاکم بر محیط زیست را به‌دلیل محدود بودن منابع برهم زده و مشکلات عدیده‌ای در عرصه‌های طبیعی کشور ایجاد کرده است (محمدی ده‌چشمه و همکاران، ۱۴۰۳).

عرب‌خردی (۱۳۹۳) عوامل انسانی تشدیدکننده فرسایش در ایران را به چالش‌های اجتماعی اقتصادی عام مؤثر بر تشدید فرسایش خاک (رشد جمعیت، اشتغال و معیشت)، عوامل مؤثر بر تشدید فرسایش در اراضی زراعی (اراضی دیم و شخم در جهت شیب)، عوامل مؤثر بر تشدید فرسایش در اراضی منابع طبیعی (چرای مفرط و زودرس، بوته‌کشی، واگذاری اراضی به بخش‌های دولتی و خصوصی و غیره)، فقدان رویکرد حفاظتی در فعالیت‌های عمرانی (راه‌ها، شبکه‌های انتقال آب، گاز و غیره) و نقش مسائل فرهنگی، قوانین و سیاست‌گذاری‌ها (فقدان آینده‌نگری، سودجویی، تصرف غیرقانونی و غیره) طبقه‌بندی کرده است. از عمده‌ترین این مشکلات در بخش منابع طبیعی، می‌توان به تخریب پوشش گیاهی مراتع و جنگل‌ها، تغییر کاربری اراضی، بروز سیلاب‌های مخرب و ویرانگر علی‌الخصوص در اراضی شیب‌دار و وقوع طوفان‌های گردوغبار و بروز پدیده فرسایش بادی اشاره کرد (احمدی، ۱۳۸۵). از نظر حساسیت به فرسایش خاک و سنگ‌ها، حدود ۶۸ درصد سازندهای سطحی، مقاومت کم تا خیلی کم دارند (عرب‌خردی، ۱۳۹۳). حدود ۸۰ میلیون هکتار از مساحت ایران را مناطق کویری، تپه‌های ماسه‌ای و یا مناطق با پوشش گیاهی ناچیز در بر می‌گیرد که بیشتر تحت تأثیر فرسایش شدید بادی قرار دارد. از کل مساحت کشور، حدود ۱۲ میلیون هکتار را ماسه‌های روان اشغال کرده است که به‌طور دایم زمین‌های زراعی، روستاها و شهرهای اطراف مناطق بیابانی را تهدید می‌نماید. اراضی که تحت عنوان منشاء یا نقاط برداشت این مناطق عمل می‌کنند، بالغ بر ۲۰ میلیون هکتار می‌باشد که پراکنش آنها هنوز ناشناخته است. امروزه در حوضه‌های آبخیز کشور، دسترسی به منابع حیاتی نظیر خاک، آب و پوشش گیاهی به‌شدت کاهش یافته است. فرسایش بادی و هجوم ماسه‌های روان به تأسیسات اقتصادی و منابع زیستی، یکی از مصادیق فرسایش خاک و بیابان‌زایی در کشور محسوب می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۸؛

1- Bajocco et al

2- Eswaran et al

3- Reynolds et al

4- Cao et al

درگاهیان و همکاران، ۱۴۰۳). در گزارش‌های متعددی خسارت‌های محسوس و نامحسوس، مستقیم و غیر مستقیم ناشی از فرسایش آبی و بادی کشور بسیار بحرانی اعلام شده است (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ باغبانان^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ جدیدالاسلامی قلعه‌نو، ۱۴۰۳).

استان خراسان جنوبی با متوسط بارش سالانه ۹۰-۱۴۰ میلی‌متر (کمتر از نصف بارش کشور)، تبخیر بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر و نوسانات بسیار شدید بارندگی در مقیاس‌های روزانه، فصلی و سالانه از نظر اقلیمی در شرایط بحرانی قرار دارد و اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تغذیه جریان‌های سطحی و سفره آب‌های زیرزمینی و مصارف انسانی وجود ندارد. بی‌گمان این شرایط در مناطق حاشیه کویر استان بسیار بحرانی‌تر است. مقایسه جمعیت جوامع روستایی دشت مختاران در طی دوره آماری ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۰ و همچنین، مصاحبه با جوامع محلی نشان داد که خشکسالی و فرسایش خاک درآمد ناشی از کشاورزی و دامداری را به شدت کاهش داده به‌طوری‌که جوانان میل به ماندگاری کمی داشته و بیشتر به شهرهای بزرگ‌تر مهاجرت کرده‌اند (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۲).

در منابع متعددی اظهار شده که فرسایش بادی و به تبع آن رخداد‌های طوفان شن یا گردوغبار از چالش‌های بزرگ امروز دنیا است که بایستی مناطق تحت تأثیر و عوامل مؤثر آن شناسایی و مدیریت شود تا مخاطرات محیط‌های طبیعی و اکوسیستم‌های کشاورزی به حداقل برسد (یاکشین^۲ و همکاران، ۲۰۲۲؛ وسترب^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). برای مدیریت و کنترل فرسایش بادی باید عامل فرساینده (باد) و عامل فرسایش‌پذیر (خاک) مورد بررسی دقیق قرار گیرد (آمورف^۴ و همکاران، ۲۰۱۹).

هدف این پژوهش، بررسی پتانسیل فرسایش بادی اراضی زراعی و غیر زراعی دشت مختاران با استفاده از قابلیت‌ها و امکانات نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و مدل IRIFR^۵ به منظور استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان و توسعه پایدار این منطقه در جهت ماندگاری جوامع محلی، جلوگیری از مهاجرت و تبعات محسوس و نامحسوس، امنیت استانی و ملی مرتبط با آن می‌باشد. مدل IRIFR یک مدل تجربی برآورد پتانسیل فرسایش بادی است که در سال ۱۳۷۵ توسط احمدی و اختصاصی و با همکاری مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ارائه شده و بعضی گزارش‌های منتشرشده نشان می‌دهد که این مدل و یا ترکیب این مدل با قابلیت‌های GIS برای برآورد پتانسیل و شدت فرسایش بادی مناطق فاقد آمار نتایج قابل‌قبولی ارائه می‌دهد (طهماسبی بیرگانی و همکاران، ۱۳۷۹؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۶؛ اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۸؛ رضایی‌راد و همکاران، ۱۳۸۹؛ بحرینی و پهلوانروی، ۱۳۹۱). در مجموع نتایج پژوهش‌ها و پژوهش‌های مرتبط داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد استفاده از ابزارهای امروزی ازجمله GIS و تلفیق این مدل‌ها با روش‌های تجربی برآورد فرسایش بادی می‌تواند با توجه به فقر آمار اندازه‌گیری‌شده از فرسایش بادی، نیازهای ما را برآورده سازد.

1- Baghbanan et al

2- Yakshin et al

3- Vesterbe et al

4- Amorfe et al

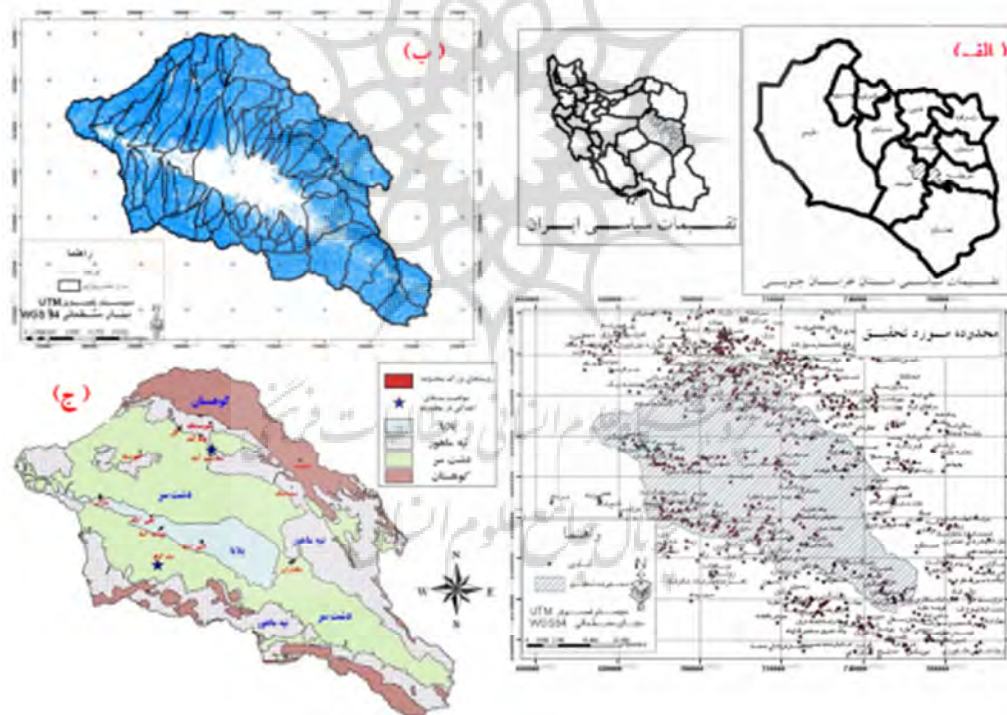
5- Iran Research Institute of Forest and Rangelands

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های با مقیاس ۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره لندست، گوگل‌ارث، اطلاعات اخذشده از سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی (موقعیت چاه‌ها و اراضی کشاورزی)، استانداری خراسان جنوبی (موقعیت آبادی‌های محدوده و منابع آبی)، اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی (اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد) و امکانات نرم‌افزار ArcGIS10.4 استفاده شده است.

ویژگی‌های عمومی منطقه پژوهش

این پژوهش در حوضه آبخیز دشت مختاران به مساحت حدود ۲۴۲۷۰۱ هکتار انجام شده است. دشت مختاران با داشتن ۱۳۰ حلقه چاه، ۳۱۴ قنات، ۵۱ چشمه و ۲۲۳ آبادی با جمعیت حدود ۱۴۰۰۰ نفر یکی از دشت‌های مهم استان خراسان جنوبی می‌باشد (سالنامه آماری، ۱۳۹۵). این دشت در شهرستان‌های سربیشه و خوسف قرار دارد (شکل ۱ الف).



شکل ۱: نقشه موقعیت دشت مختاران، مرز زیر حوضه‌های هیدرولوژیکی و واحدهای ژئومورفولوژیکی

روش پژوهش

به منظور مقایسه پتانسیل فرسایش بادی و شدت آن در اراضی زراعی و غیر زراعی دشت مختاران از مدل IRIFR1&2، نقشه‌ها، آمار و اطلاعات موجود و قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS10.4 استفاده شده است. در این پژوهش،

ابتدا با رقومی کردن نقشه‌های توپوگرافی منطقه مرز هیدرولوژی دشت مختاران تعیین و سپس این حوضه بر اساس وضعیت رودخانه‌ها و خطوط میزان به زیرحوضه‌های کوچک‌تر مشرف به دشت مرکزی این آبخیز تقسیم گردید. در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره لندست TM (۱۵۹,۳۷) با شماره مسیر^۱ ۱۵۹ و سطر^۲ ۳۷، گوگل‌ارث و بازدیدهای میدانی واحدهای ژئومورفولوژی (کوهستان، دشت‌سر و پلایا) تعیین و بر این اساس محدوده تحت تأثیر فرسایش آبی و بادی متمایز گردید. رخساره‌های ژئومورفولوژیکی در محدوده تحت تأثیر فرسایش بادی بر اساس تقسیم‌بندی احمدی در سال ۱۳۸۵ و قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS10.4 تعیین و نمره هر یک از عوامل مدل IRIFR1&2 برای هر رخساره با بازدیدهای میدانی و نقشه‌های پایه اساس مشخص گردید و در نهایت نقشه پتانسیل شدت فرسایش و شدت آن برآورد شده است.

تعیین محدوده هیدرولوژیکی دشت مختاران

با توجه به اینکه این پژوهش بر اساس مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز انجام شده است، ابتدا با توجه به نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و امکانات نرم‌افزار ArcGIS10.4 نقشه مرز هیدرولوژیکی دشت مختاران مشخص گردید. با توجه به اینکه فرسایش آبی در کوهستان و فرسایش بادی در مناطق دشتی که باد قدرت جولان بیشتری دارد اتفاق می‌افتد، در این پژوهش برای تعیین مناطق تحت تأثیر فرسایش آبی مرز زیرحوضه-های مشرف به دشت مشخص شده است (شکل ۱ ب).

رقومی‌سازی سازندهای زمین‌شناسی

مقاومت سنگ در برابر فرسایش، از عوامل مهم و موثر بر پتانسیل فرسایش آبی و بادی می‌باشد. بر این اساس، در این پژوهش، ابتدا سازندهای زمین‌شناسی محدوده با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی رقومی و در مرحله بعدی، امتیاز حساسیت زمین‌شناسی بر اساس منابع مرجع تعیین شده است (شکل ۲).

تعیین واحدهای همگن ژئومورفولوژی

محدوده کوهستان، دشت‌سر و پلایا بر اساس تقسیم‌بندی احمدی در سال ۱۳۸۵ و تصاویر ماهواره لندست (شکل ۳)، تصاویر گوگل‌ارث و مشاهدات صحرایی و محدوده زیرحوضه‌های آبخیز مشخص شده در بند قبلی استفاده شده است. بر این اساس، ۴۸/۴ درصد دشت مختاران در واحد دشت‌سر و پلایا قرار دارد که تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد (شکل ۱ ج).

تعیین کاربری اراضی

نقشه کاربری اراضی زراعی و غیر زراعی منطقه تحت تأثیر فرسایش بادی با استفاده از اطلاعات موجود در آرشیو سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی (محدوده زراعی و باغی)، استانداری خراسان جنوبی (محدوده آبادیها)، نقشه-های پایه (توپوگرافی و زمین‌شناسی)، تصاویر ماهواره لندست و تصاویر گوگل‌ارث و فن‌های نرم‌افزار ArcGIS 10.4

1- Path

2- Row

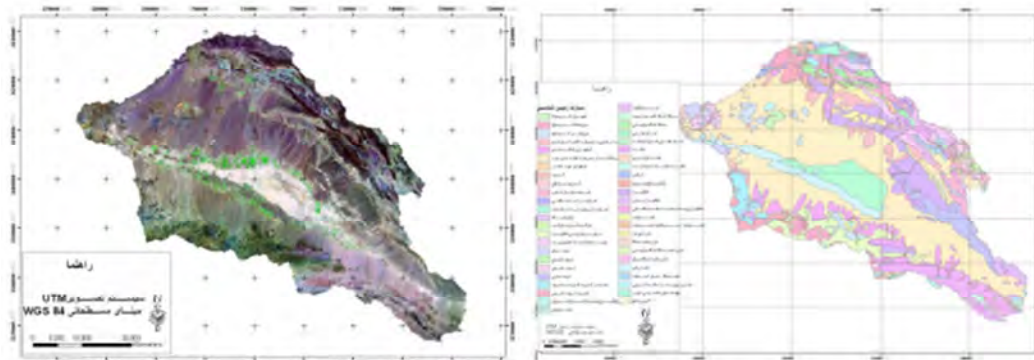
تهیه و در گام بعدی تغییرات ایجاد شده در عرصه (شرایط فعلی اراضی) با بازدید میدانی اصلاح گردید. بر این اساس، ۸۱/۴ درصد منطقه تحت تأثیر فرسایش بادی را اراضی غیر زراعی و ۱۸/۶ درصد را اراضی زراعی تشکیل می‌دهد.

خصوصیت‌های باد

آمار باد ایستگاه سینوپتیک بیرجند به‌عنوان معرف منطقه در دوره آماری ۱۹۹۵ - ۲۰۱۵ از اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ و خصوصیت‌های باد با نرم‌افزار Wind Rose Plot تحلیل گردید که در جدول (۱) نشان داده شده است. امتیاز عامل باد بر اساس خصوصیت‌های باد ایستگاه سینوپتیک بیرجند ۱۵ تعیین شده است.

جدول ۱: پارامترهای باد در ایستگاه سینوپتیک بیرجند

پارامتر	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	بازرسی	سالانه
جهت باد غالب	۹۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۲۷۰/۰	۹۰/۰
سرعت باد غالب	۷/۵	۸/۵	۹/۱	۹/۴	۷/۰	۹/۴	۱۰/۹	۹/۷	۶/۹	۵/۶	۵/۷	۷/۵	۷/۴
درصد باد غالب	۱۳/۱	۱۳/۴	۱۴/۶	۱۴/۰	۱۵/۳	۲۲/۹	۳۴/۳	۳۱/۴	۱۹/۶	۱۳/۱	۱۱/۹	۱۱/۲	۱۶/۳
درصد باد آرام	۵۲/۴	۴۵/۶	۴۰/۰	۳۸/۴	۳۳/۱	۲۶/۷	۲۰/۵	۲۵/۰	۳۷/۴	۴۵/۷	۵۱/۳	۵۵/۳	۴۲/۸۹
تعداد باد	۲۳۱/۱	۲۱۱/۶	۲۳۱/۳	۲۲۲/۰	۲۲۷/۷	۲۲۳/۱	۲۲۸/۸	۲۲۸/۰	۲۲۱/۶	۲۳۱/۴	۲۲۳/۹	۲۳۰/۴	۲۷۱۰/۹
سرعت متوسط	۳/۷	۴/۵	۵/۱	۵/۲	۵/۶	۶/۷	۸/۰	۶/۹	۵/۰	۳/۹	۳/۴	۳/۳	۵/۱
جهت حداکثر	۳۵۰/۰	۲۲۰/۰	۱۰۰/۰	۲۶۰/۰	۲۸۰/۰	۳۰/۰	۴۰/۰	۳۰/۰	۳۰/۰	۳۰/۰	۲۱۰/۰	۲۳۰/۰	۳۵۰/۰
سرعت حداکثر	۵۱/۰	۳۵/۰	۳۷/۰	۳۹/۰	۳۳/۰	۳۰/۰	۳۵/۰	۳۳/۰	۳۰/۰	۳۰/۰	۳۷/۰	۳۵/۰	۵۱/۰



شکل ۲: نقشه سازندهای زمین‌شناسی آبخوان مختاران.

شکل ۳: تصویر ماهواره لندست TM برای سال ۲۰۰۷.

شناسایی رخساره‌های ژئومورفولوژی

رخساره‌های ژئومورفولوژی بر اساس روش احمدی (۱۳۸۵) در محدوده اراضی تحت تأثیر فرسایش بادی با استفاده از بازدیدهای متعدد میدانی، نقشه شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی تصاویر لندست و گوگل ارث تعیین شده است.

نتایج و بحث

تعیین امتیاز عوامل مدل IRIFR2

با تعیین محدوده اراضی زراعی دشت مختاران، امتیاز عوامل مدل اریفر ۲ با استفاده از نقشه‌ها، آمارهای موجود، نتایج آزمایشگاهی خاک، بازدیدهای مختلف میدانی و پرسشنامه با استفاده از قابلیت‌ها و امکانات نرم‌افزار ArcGIS10.4 انجام شده است. شرایط مزرعه در زمان کاشت، داشت، برداشت و نوع محصولات، میزان کاه و کلش و مدت آیش از فاکتورهای بسیار مهم و اساسی در فرسایش بادی و نیز مدل اریفر است که در این پژوهش با توجه به مصاحبه با کشاورزان و همچنین اطلاعات موجود در آرشیو سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی تعیین شده است. در گام بعدی، امتیاز نهایی این عامل بر اساس روش متوسط‌گیری وزنی و در نظر گرفتن مساحت هر مزرعه تعیین شده است (جدول ۲).

تعیین امتیاز عوامل مدل IRIFR1

با تعیین محدوده اراضی غیر زراعی دشت مختاران، امتیاز عوامل نه‌گانه مدل اریفر ۱ در هر رخساره ژئومورفولوژیکی با استفاده از نقشه‌ها، آمارهای موجود، بازدیدهای مختلف میدانی و پرسشنامه با استفاده از قابلیت‌ها و امکانات نرم‌افزار ArcGIS10.4 انجام شده است (جدول ۳).

جدول ۲: مقادیر امتیازات اختصاص یافته به اراضی کشاورزی در روش اریفر ۲

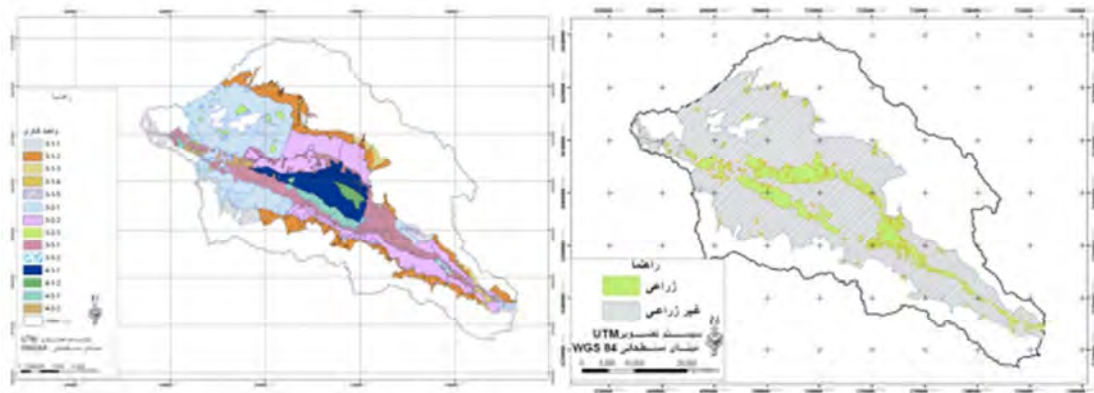
فاکتور \ کاربری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شدت فرسایش
دیمزارها	۵/۷۴	۴/۵۲	۵/۵۲	۴/۴۴	۷/۳۰	۳/۲۲	۶/۶۷	۱۱/۵۶	۶۳/۹۶	متوسط
اراضی زراعی آبی	۵/۰۰	۶/۵۸	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۴/۶۱	۶/۶۷	۵۱/۱۹	متوسط
باغات	۵/۰۰	۶/۵۶	-۴/۵۳	-۱/۸۶	۰/۲۳	۲/۷۴	-۴/۴۴	-۴/۳۰	۱۴/۴۰	خیلی کم

* رسوب شناسی (۱)، توپوگرافی (۲)، زبری و ناهمواری (۳)، مقاومت فشاری (۴)، رطوبت خاک (۵)، میزان املاح (۶)، تراکم پوشش (۷)، مدیریت مزرعه (۸) و مجموع امتیازات (۹)

جدول ۳: میانگین امتیازات اختصاص یافته به هر رخساره ژئومرفولوژی در روش اریفر ۱

فاکتور \ رخساره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شدت فرسایش
۳-۱-۱ فرسایش آبراهه‌ای	۴/۱	۴/۰	۱/۸	۵/۱	۴/۱	۴/۰	۱/۳	۲/۴	۴۱/۷	کم
۳-۱-۲ مخروط افکنه	۳/۸	۴/۰	۱/۱	۴/۵	۲/۸	۴/۰	۰/۸	۳/۰	۳۹/۰	کم
۳-۱-۳ دامنه منظم	۴/۳	۴/۰	۱/۷	۳/۳	۲/۳	۴/۰	۰/۳	۳/۳	۳۸/۳	کم
۳-۱-۴ نهشته‌های بستر مسیل	۳/۰	۴/۰	۰/۰	۰/۰	۲/۰	۴/۰	۰/۰	۵/۰	۳۳/۰	خیلی کم
۳-۱-۵ اینسلیبرگ فرسایشی	۳/۳	۴/۰	۰/۴	۴/۱	۳/۴	۴/۰	۱/۷	۲/۵	۳۸/۳	کم
۳-۲-۱ فرسایش آبراهه‌ای	۴/۶	۴/۰	۱/۹	۳/۷	۳/۷	۴/۰	۱/۱	۰/۸	۳۸/۸	کم
۳-۲-۲ منطقه پخش سیلاب	۶/۳	۶/۱	۸/۹	۳/۷	۱۲/۴	۶/۱	۵/۲	۷/۸	۷۱/۴	متوسط
۳-۲-۳ اینسلیبرگ دشت سر آپانداز	۳/۵	۴/۰	۱/۰	۴/۴	۲/۵	۴/۰	۰/۳	۵/۱	۳۹/۸	کم
۳-۳-۱ نهشته‌های ریزدانه	۷/۴	۷/۲	۷/۶	۲/۳	۹/۳	۵/۵	۴/۰	۶/۵	۶۴/۸	متوسط
۳-۳-۲ اینسلیبرگ دشت سر پوشیده	۵/۸	۵/۵	۵/۵	۵/۰	۶/۸	۴/۸	۳/۳	۷/۸	۵۹/۳	متوسط
۴-۱-۱ سبزا	۶/۷	۸/۰	۵/۰	۱۰/۰	۶/۷	۲/۷	۳/۷	۵/۷	۶۳/۳	متوسط
۴-۱-۲ کویرزرد	۵/۰	۷/۰	۰/۰	۱۵/۰	۵/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۴۸/۰	کم
۴-۲-۱ تپه‌های شنی ستاره	۶/۴	۹/۵	۷/۲	۳/۶	۸/۲	۵/۸	۷/۳	۱۰/۵	۷۳/۳	زیاد
۴-۲-۲ اراضی شنی هموار	۸/۳	۷/۵	۱۰/۴	۱/۷	۱۲/۹	۷/۱	۷/۸	۱۱/۱	۸۱/۷	زیاد

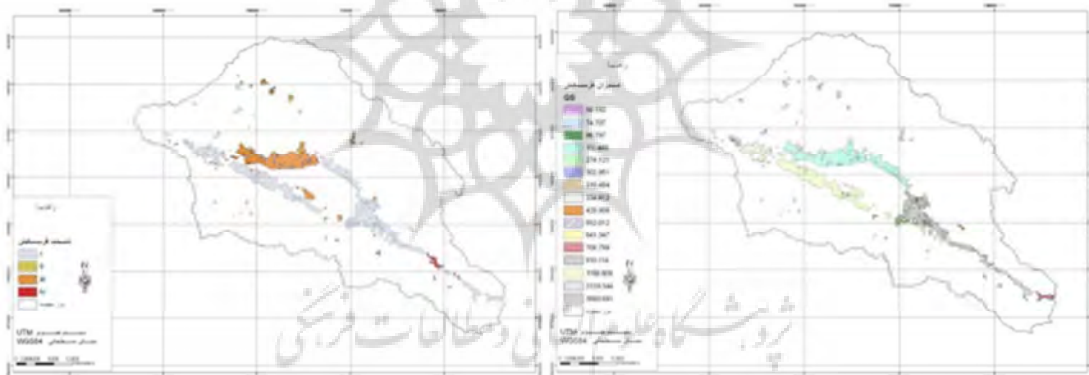
سنگ شناسی (۱)، شکل اراضی (۲)، خاک و پوشش (۳)، تراکم و نوع پوشش گیاهی (۴)، اشکال فرسایش (۵)، رطوبت خاک (۶)، نهشته بادی (۷)، مدیریت اراضی (۸) و مجموع امتیازات (۹)



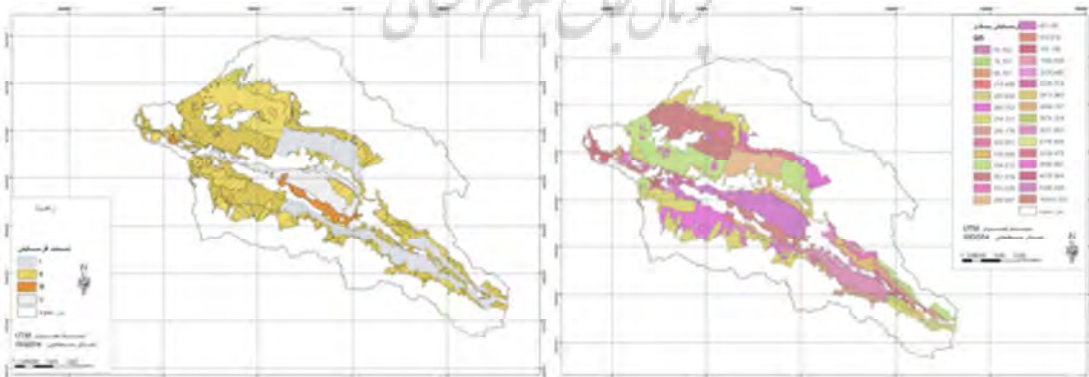
شکل ۴: نقشه محدوده اراضی زراعی و غیر زراعی. شکل ۵: نقشه رخساره‌های ژئومورفولوژیکی محدوده تحت تأثیر فرسایش بادی.

برآورد پتانسیل رسوب‌دهی و شدت فرسایش بادی مدل IRIFR

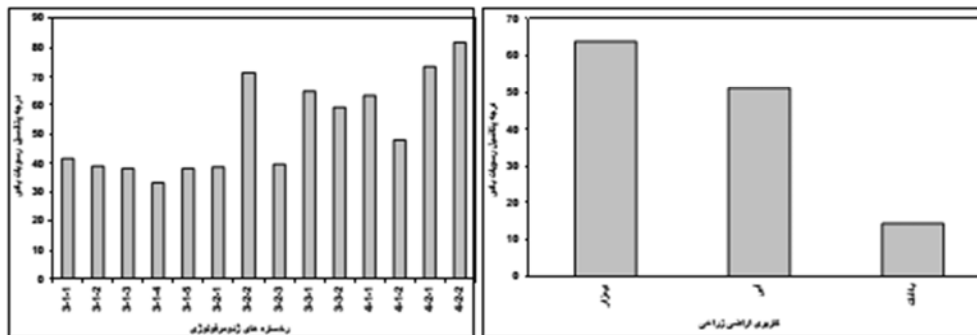
بعد از امتیازدهی عوامل مدل اریفر در اراضی زراعی و غیر زراعی، پتانسیل فرسایش و شدت فرسایش با استفاده از قابلیت‌ها و امکانات نرم‌افزار ArcGIS10.4 و رابطه و جدول ارائه‌شده توسط احمدی و اختصاصی مشخص گردید.



شکل ۶: نقشه پتانسیل فرسایش بادی اراضی زراعی. شکل ۷: نقشه شدت فرسایش بادی اراضی زراعی.



شکل ۸: نقشه پتانسیل فرسایش بادی اراضی غیر زراعی. شکل ۹: نقشه شدت فرسایش بادی اراضی غیر زراعی.



شکل ۱۰: نقشه پتانسیل فرسایش بادی کاربری‌های مختلف شکل ۱۱: نقشه شدت فرسایش بادی رخساره‌های مختلف اراضی غیر زراعی.

نتایج این پژوهش همانند دیگر مطالعات انجام‌شده در این زمینه، نشان داد که کاربرد مدل IRIFR و یا ترکیب این مدل با قابلیت‌های GIS نتایج قابل‌قبولی از فرسایش در مناطق بدون آمار ارائه می‌کند (ابراهیمی درجه و همکاران، ۱۳۸۹؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۶؛ اختری و همکاران، ۱۳۸۸؛ سعدالدین و همکاران، ۱۳۸۹؛ مسعودی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ هاشمی و همکاران، ۱۳۹۰).

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی پتانسیل فرسایش اراضی زراعی نشان می‌دهد که پتانسیل فرسایش در اراضی دیم، آبی و باغات متفاوت است و اراضی دیم‌زار نسبت به اراضی آبی و باغات پتانسیل فرسایش بیشتری دارد. حداقل و حداکثر عددی پتانسیل فرسایش به‌ترتیب در باغات و دیمزارها می‌باشد و در مجموع شدت فرسایش این اراضی در کلاس فرسایش‌پذیری متوسط و کم قرار دارد (جدول ۲ و شکل‌های ۶، ۷ و ۱۰). نتایج ارزیابی پتانسیل فرسایش اراضی غیر زراعی مطابق جدول (۳) و اشکال (۸، ۹ و ۱۱) می‌باشد. بر این اساس، رخساره ژئومورفولوژی ۲-۲-۴ (رخساره اراضی شنی هموار) و ۲-۲-۳ (منطقه پخش سیلاب) دارای بیشترین درجه پتانسیل رسوب‌دهی بادی و رخساره ژئومورفولوژی ۴-۱-۳ (رخساره نهشته‌های بستر مسیل) کمترین درجه پتانسیل رسوب‌دهی بادی را دارند. از نظر حجم کل رسوبات بادی با توجه به مساحت، رخساره ژئومورفولوژی ۲-۲-۳ (رخساره منطقه پخش سیلاب) بیشترین و رخساره ژئومورفولوژی ۴-۱-۳ (رخساره نهشته‌های بستر مسیل) کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

از مهم‌ترین دلایل بالا بودن حجم رسوبات در رخساره ۲-۲-۳ می‌توان به وسعت زیاد، خشکی، فقر پوشش گیاهی و ریزدانه بودن خاک این محدوده اشاره کرد. وسعت زیاد و وجود تپه‌های شنی در ارگ^۲ نیز دلیل بالا بودن حجم رسوبات بادی این محدوده است. ازجمله دلایل کم بودن پتانسیل فرسایش رخساره ۴-۱-۳ وسعت کم، درشت‌دانه بودن ذرات خاک، سنگ‌فرش بیابان و وجود پوشش گیاهی درختچه‌ای در محدوده این رخساره می‌باشد.

مقایسه پتانسیل فرسایش بادی در اراضی زراعی و غیر زراعی با استفاده از مدل اریفر در دشت مختاران نشان می‌دهد که درجه پتانسیل رسوبات بادی و حجم آن در اراضی زراعی به‌صورت معنی‌داری کمتر از اراضی غیر زراعی

1- Masoudi et al

2- Erg

است. در میان کاربری‌های مختلف اراضی زراعی، باغات کمترین و اراضی دیم‌زار بیشترین میزان پتانسیل فرسایش را دارد.

به‌طور کلی، با توجه به اینکه اراضی زراعی تحت تیمارهای مختلف کشاورزان از جمله آبیاری، کوددهی، آیش، بادشکن-های حاشیه مزارع (بیشتر درختان سنجد و تاغ) و غیره قرار می‌گیرد، میزان فرسایش تحت تأثیر مدیریت مزرعه قرار دارد. ولی پتانسیل فرسایش اراضی غیر زراعی (مراعات) تحت تأثیر چرای دام (چرای مفرط و زودرس)، خشکسالی‌های شدید و متوالی، فقر پوشش گیاهی، نوع سازند زمین‌شناسی و شرایط رخساره‌های ژئومورفولوژی قرار دارد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل بر اساس گرنت پژوهشی به شماره 4918 - GR - UOZ انجام شده است. در اینجا لازم می‌دانیم مراتب سپاس و قدردانی خود را از کارشناسان محترم اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی به خاطر همکاری طی بازدیدهای متعدد میدانی اعلام نماییم.

منابع

- ابراهیمی درچه، خدیجه؛ جنت رستمی، مجتبی؛ جلالی، محبوبه؛ جعفریان، آذین. (۱۳۸۹). برآورد فرسایش بادی به کمک مدل IRIFER ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس.
- احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ همتی، نعمت اله. (۱۳۸۶). برآورد و مقایسه پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی و آبی با استفاده از مدل‌های IRIFER.E.A و MPSIAC در مناطق نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نعمت آباد بیجار). فصلنامه منابع طبیعی ایران، ۶۰، ۱۱-۱.
- احمدی، حسن. (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم (فرسایش بادی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۶ ص.
- اختصاصی، محمد رضا. (۱۳۷۲). تهیه نقشه حساسیت به فرسایش بادی اراضی حوضه دشت یزد اردکان با کاربرد دستگاه سنجش بادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران.
- اخضری، داود؛ مصفاپی، جمال؛ لطفی اناری، پیمان. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی شدت خطر فرسایش بادی با استفاده از مدل اریفر در دشت شهریار. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه گرگان.
- بحرینی، فاطمه؛ پهلوانروی، احمد. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش آبی و بادی با استفاده از مدل‌های MPSIAC و IRIFER.E.A (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بردخون). نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی، ۳ (۱)، ۴۱-۵۸.
- جدیدالاسلامی قلعه‌نو، مهدی. (۱۴۰۳). تحلیل فرایندهای رسوبات بادی و مخاطرات آن در دشت سیستان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳ (۴۲)، ۷۱-۹۰.
- درگاهیان، فاطمه؛ جلیلی، عادل؛ بالالان‌فرد، علیرضا؛ آقازاده، طاهره. (۱۴۰۳). تعیین پتانسیل تولید گردوغبار در کانون‌های داخلی استان خوزستان با استفاده از مدل عددی و مدل جفت‌شده. مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، صص: ۱۴۰-۱۲۳.
- دهقانی، مرتضی؛ قاسمی تنگل علیا، حسین؛ ملکیان، آرش. (۱۳۹۲). اولویت‌بندی مکانی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز فورگ). نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۶، شماره ۱، صص: ۷۳-۸۸.
- رضایی‌راد، نظری؛ هانفی، امیرحسین؛ صابری، موسی؛ برغمندی، منصور. (۱۳۸۹). برآورد پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی در منطقه بیابانی شهرستان اسفراین با استفاده از مدل اریفر. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار. یزد، دانشگاه یزد.
- رفاهی، حسینقلی. (۱۳۸۸). فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۰ ص.
- سعدالدین، امیر؛ اخضری، داود؛ نورا، نادر. (۱۳۸۹). پیش‌بینی اثرات سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر خطر فرسایش بادی (مطالعه موردی: جنوب دشت ورامین). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۱۷، صص: ۶۳-۸۰.

- شایسته، کامران؛ غریبی، شیوا. (۱۴۰۱). کاربرد سامانه گوگل ارث انجین در شناسایی کنونه‌های بالفعل گردوغبار با استفاده از تصویر مادیس و سنتینل-۵. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴)، ۱-۱۶.
- طهماسبی بیرگانی، علی محمد؛ احمدی، حسن؛ رفاهی، حسینقلی؛ اختصاصی، محمدرضا. (۱۳۷۹). مقایسه پتانسیل رسوبدهی فرسایش-های آبی و بادی با استفاده از مدل‌های IRIFR.E.R و MPSIAC در مناطق بیابانی ایران (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آب بخش‌آ کرمان). مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۵۳، صص: ۵۳-۶۵.
- عباسی، حمیدرضا؛ گوهر دوست، آزاده؛ خاکساریان، فرهاد؛ بارانی‌زاده، محمدرضا. (۱۴۰۱). تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی با استفاده از داده‌های میدانی در هامون برینگ سیستان. مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۳، صص: ۱۳۴-۱۲۱.
- عرب خدری، محمود. (۱۳۹۳). مروری بر عوامل موثر بر فرسایش آبی خاک در ایران. نشریه مدیریت اراضی، جلد ۲، شماره ۲، صص: ۱۱۵-۱۲۴.
- کاویان، عطاءاله؛ حیوی، فریال؛ بروغنی، مهدی. (۱۳۹۲). اثر پلی اکریل آمید بر نرخ فرسایش پاشماني در خاک‌های مختلف با استفاده از شبیه‌ساز باران. نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۷، شماره ۲، صص: ۲۰۲-۲۱۶.
- محمدي ده‌چشمه، مصطفی؛ فدائی جزى، فهيمه؛ پناهی، طوبی. (۱۴۰۳). سنجش ابر چالش‌های حکمروایی زیست‌محیطی در کلانشهر اهواز. مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، صص: ۱-۱۴.
- هاشمی، زهره؛ جوادى، محمدرضا؛ میری، عباس. (۱۳۹۰). بررسی شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوبدهی حاصل از آن با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک استان سیستان و بلوچستان. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، شماره ۳، صص: ۴۱-۳۲.
- Armof, K., Tsoar, H., Lumberg, D.G., (2019). Dynamics of Nebkhas superimposed on a parabolic dune and their effect on the dune dynamics, *Journal of Arid environments*, 73(11):1014–1022. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.021
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorol Atmos Phys*, 132, 885–898. 10.1007/s00703-020-00728-3
- Bajocco, S., Smiraglia, D., Scaglione, M., Raparelli, E., Salvati, L. (2018). Exploring the role of land degradation on agricultural land use change dynamics. *Science of The Total Environment*, Volume 636, pp 1373-1381.
- Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*, 7(5), 567-578. 10.1007/s40333-015-0127-8
- Eswaran, H., Lal, R., Reich, P.F. (2019). *Response to Land Degradation*, ImprintCRC Press, Pages 16.
- Masoudi, M., Abtahi, S.A., Badiie Namaghi, S.H. (2010). Evaluation of wind erosion potential using the empirical method of IRIFR and GIS: A case study of Nishabur, Iran. *Nature Environment & Pollution Technology*, 9(1), pp 553-558.
- Reynolds, J.F., Stafford Smith, D.M., Lambin, E.F., Turner I, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P.J., Downing, T.E., Dowlatabadi, H., Fernandez, R.J., Herrick, J.E., Huber-Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F.T., Ayarza, M., Walker, B. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science*, 316, pp 847–851.
- Vesterbe, H.k., Juonsef, M.L., and Birmafa, Y. (2023). The most destructive environmental hazards on a global scale. *Mountain Research and Development*. 14(25): 6-11.
- Yakshin, Z. SH., Harazono, Y. and Leprince, D. (2022). Wind-Sandy Environment and the Effects of Vegetation on Wind Breaking and Dune Fixation in Horqin Sandy Land, China, 41(5): 1-21.