

Analytical comparison of soil particle size distribution in different land uses/covers of the Vaz watershed using laser granulometry

Saeid Derakhti ¹, Leila Gholami ^{2*}, Ataollah Kavian ³, Abdulvahed Khaledi Darvishan ⁴

¹ Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

² Associate Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

³ Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

⁴ Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

Extended Abstract

Introduction

The distribution of soil particle sizes is a key physical characteristic that affects soil structure and is closely related to soil texture and behavior. This feature enhances the exchange of matter and energy in the soil environment. The distribution of soil particle sizes not only influences soil permeability and organic matter content but also affects soil fertility, erosion susceptibility, soil conservation, moisture and nutrient movement, vegetation productivity, environmental remediation, and land degradation. On the other hand, human interventions and the improper use of soil based on its inherent potential have led to changes in various land uses, resulting in floods, erosion, sediment yield, and soil transformation. Therefore, understanding the distribution of soil particle sizes and determining the sensitivity of a region's soil to erosion can help illustrate the pattern of erosion distribution and ultimately assist managers in making decisions regarding watershed management actions. Thus, in this study, we analyze soil particle size distribution in various land uses/land covers in the Vaz watershed in Mazandaran Province using laser particle size analysis and statistical indices.

Materials and Methods

In the present study, the land use map of the watershed was prepared using Landsat satellite images in remote sensing software (ENVI). Then, using this map, the area of land uses and access routes to the region were determined, resulting in 47 sampling points, including 25 points for forest, 13 points for rangeland, 4 points for agriculture, and 5 points for residential areas. Samples were then collected in the field. The samples were exposed to open air to dry their moisture content subsequently, approximately 50 grams of each sample were placed in an oven for final drying after removing straw, chaff, and other waste materials for 24 hours. Finally, 30 grams of each were placed in Falcon tubes and sent to the laboratory for laser analysis. After receiving the laser particle size distribution results, these results were examined in terms of clay, silt, sand, pebble, mean particle size, sorting, skewness, kurtosis, 10d, 50d (median), and 90d. To extract particle size statistics and percentages of particle fractions, the GRADISTAT macro written in Excel was used.

Results and Discussion

The results showed that the average particle size of clay, silt, sand, and pebble in forest land use was 1.03, 51.52, 45.39, and 2.06, respectively; in rangeland use, it was 0.62, 52.41, 45.21, and 1.76; in agricultural land use, it was 1.33, 75.2, 23.39, and 0.08; and in residential land use, it was 0.57, 36.96, 54.5, and 7.97. The particle size distribution in forest and rangeland uses indicates that silt and sand fractions have the highest percentages, reflecting a balanced soil structure. This may be due to the influence of vegetation and the accumulation of organic matter. Agricultural land use has a significant percentage of silt (75.2%), indicating a finer texture, likely resulting from agricultural practices such as tillage. Residential land use shows a higher proportion of sand (54.5%) and pebbles (7.97%), which is associated with construction activities in this land use. The evaluation of grain size statistics reveals that the mean particle size in residential land use is 2.70 Φ , in forest land use 3.99 Φ , in rangeland use 4.04 Φ , and in agricultural land use 5.37 Φ , corresponding to fine sand, very fine sand, silt, and silt textures, respectively. The presence of sand and pebble mines in the area and construction activities are the main reasons for the coarser mean particle size in residential land use. The sorting (standard deviation) of soil particles in agricultural land use is 1.78 Φ , in residential land use 2.21 Φ , in forest land use 2.21 Φ , and in rangeland use 2.24 Φ . According to Folk's classification, residential, forest, and rangeland uses have very poor sorting, while agricultural land use has poor sorting. The skewness of particles in agricultural land use is -0.41, in rangeland use -0.07, in forest land use -0.03, and in residential land use 0.23. Based on Folk's classification, skewness is nearly symmetrical in forest and rangeland uses, skewed toward very coarse particles in agricultural land use, and skewed toward fine particles in residential land use.

Conclusion

In general, analyzing soil particle size is crucial for identifying erosion-sensitive areas. In this study, we conducted soil particle size analysis in the Vaz watershed using sampling from various land uses/land covers and laser technology. The predominance of silt and sand in the watershed indicates its sensitivity to erosion. Given that the Vaz watershed has a steep slope and considering the construction activities throughout the watershed, as well as the low presence of stable particles (coarse particle size), it is recommended that some watershed management actions be implemented in the upper part of the watershed. The results obtained and the distribution map of soil particles can assist in prioritizing soil conservation measures and controlling erosion in the Vaz watershed.

Keywords: Kurtosis, Mean, Skewness, Soil erosion, Sorting, Watershed management practices.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project. This work is based upon research funded by Iran National Science Foundation (INSF) under project No. 4026910.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

All information and results are included within the article text.

Authors' contribution

Saeid Derakhti: Data collection, analysis, field investigation, methodology development, software application, validation, data visualization and mapping, drafting the initial manuscript; **Leila Gholami:** Conceptual design, data collection, analysis, methodology development, software application, project management, scientific supervision, validation, data visualization and mapping, manuscript editing and revision; **Ataollah Kavian:** Conceptual design, analysis, field investigation, methodology development, software application, scientific supervision, manuscript editing and revision; **Abdolvahed Khaledi Darvishan:** Conceptual design, analysis, field investigation, methodology development, software application, scientific supervision, validation, manuscript editing and revision.

*Corresponding Author, E-mail: Leila Gholami, l.gholami@sanru.ac.ir

Citation: Derakhti, S., Gholami, L., Kavian, A., & Khaledi Darvishan, A. (2026). Analytical comparison of soil particle size distribution in different land uses/covers of the Vaz watershed using laser granulometry. *Water and Soil Management and Modelling*, 6(1), 77-93.

doi: 10.22098/mmws.2025.17786.1622

Received: 07 July 2025, Received in revised form: 20 July 2025, Accepted: 23 July 2025., Published online: 21 March 2026

Water and Soil Management and Modeling, Year 2026, Vol. 6, No. 1, pp. 77-93.

Publisher: University of Mohagheh Ardabil

© Author(s)





مقایسه تحلیلی توزیع اندازه ذرات خاک در کاربری‌های/پوشش‌های مختلف اراضی حوزه آبخیز واز با استفاده از دانه‌بندی لیزری

سعید درختی^۱، لیلا غلامی^{۲*}، عطااله کاویان^۳، عبدالواحد خالدی درویشان^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۲ نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۳ استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۴ دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیده

توزیع اندازه ذرات خاک، ویژگی فیزیکی مهمی است که بر ساختار خاک تأثیر می‌گذارد و ارتباط نزدیکی با بافت و رفتار خاک دارد. بنابراین، در این پژوهش با استفاده از دانه‌بندی لیزری و شاخص‌های آماری به تحلیل دانه‌بندی خاک در کاربری‌های/پوشش‌های مختلف اراضی در حوزه آبخیز واز در استان مازندران پرداخته شد. در پژوهش حاضر ۴۷ نقطه نمونه‌گیری شامل ۲۵ نقطه برای جنگل، ۱۳ نقطه برای مرتع، چهار نقطه برای کشاورزی و پنج نقطه برای مسکونی مشخص و نمونه‌ها از عمق ۵ سانتی‌متری و به مقدار تقریبی ۵۰۰ تا ۷۰۰ گرم برداشت شد. سپس نمونه‌ها در معرض هوای آزاد خشک شده و بعد از آن با خارج کردن مواد زائد حدود ۵۰ گرم از هر نمونه در آون قرار داده شدند. در نهایت، مقدار ۳۰ گرم از آن‌ها در لوله فالکون ریخته شد و برای آنالیز لیزری به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پس از دریافت نتایج دانه‌بندی لیزری، این نتایج از نظر مقدار رس، سیلت، ماسه، سنگ‌ریزه، میانگین اندازه ذرات، جورشدگی، چولگی، کشیدگی، d_{10} ، d_{50} (میان) و d_{90} مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میانگین اندازه ذرات رس، سیلت، ماسه و سنگ‌ریزه به ترتیب در کاربری جنگل برابر ۱/۰۳، ۵۱/۵۲، ۴۵/۳۹ و ۲/۰۶، در کاربری مرتع برابر ۰/۶۲، ۵۲/۴۱، ۴۵/۲۱ و ۱/۷۶، در کاربری کشاورزی برابر ۱/۳۳، ۷۵/۲، ۲۳/۳۹ و ۰/۰۸، و در کاربری مسکونی برابر ۰/۵۷، ۳۶/۹۶، ۵۴/۵ و ۷/۹۷ درصد است. توزیع اندازه ذرات در کاربری‌های جنگل و مرتع نشان می‌دهد که بخش‌های سیلت و ماسه دارای بیش‌ترین درصد هستند، که نشان‌دهنده ساختار متعادل خاک است. با توجه به اینکه حوزه آبخیز واز دارای شیب زیاد است و از طرفی با توجه به ساخت و ساز در آن پیشنهاد می‌شود اقدامات آبخیزداری متناسب در بالادست حوضه انجام شود. نتایج به‌دست آمده و نقشه توزیعی ذرات خاک می‌تواند به اولویت‌بندی اقدامات حفاظت خاک و همچنین کنترل فرسایش در حوزه آبخیز واز کمک کند.

واژه‌های کلیدی: اقدامات آبخیزداری، حوزه آبخیز واز، جورشدگی، چولگی، فرسایش خاک، میانگین ذرات.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: لیلا غلامی، l.gholami@sanru.ac.ir

استناد: درختی، سعید، غلامی، لیلا، کاویان، عطااله، و خالدی درویشان، عبدالواحد (۱۴۰۵). مقایسه تحلیلی توزیع اندازه ذرات خاک در کاربری‌ها/پوشش‌های مختلف اراضی حوزه آبخیز واز با استفاده از دانه‌بندی لیزری. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، (۱)، ۷۷-۹۳.

doi: 10.22098/mmws.2025.17786.1622

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۵، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۷۷ تا ۹۳

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

خاک بخش غیرهمگن و پیچیده‌ای از بوم‌سازگان زمینی است که به‌عنوان قطبی عمل می‌کند که هم وظیفه اتصال عناصر محیطی را به هم دارد و هم پیوند مرکزی بین ترکیبات غیرآلی و زیستی است (Amundson et al., 2015). یکی از ابزارهای بررسی الگوهای رفتاری حوزه آبخیز، تغییرپذیری ویژگی‌های اندازه ذرات رسوب است. عوامل زیادی مانند زمین‌شناسی، آب و هوا، میزان هودیدگی و برخی از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه آبخیز نظیر شیب در ایجاد تفاوت در توزیع اندازه ذرات مؤثر هستند. بنابراین درک دقیق این روابط حائز اهمیت است. در برخی کاربری‌ها رسوبات درشت دانه و در برخی دیگر رسوبات ریزدانه غالب هستند (Arabkhedri et al., 2018). دانه‌بندی خاک به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب و تهویه خاک تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، خاک‌های ریزدانه (مانند خاک‌های سیلتی و رسی) معمولاً ظرفیت نگهداری آب بالاتری دارند، درحالی که خاک‌های درشت‌دانه (مانند خاک‌های ماسه‌ای) نفوذپذیری بیشتری دارند. این ویژگی‌ها در انتخاب نوع کاربری اراضی از جمله کشاورزی، جنگل‌کاری و مرتع‌داری، بسیار مهم هستند (Hillel, 2012). تغییرات در دانه‌بندی خاک به‌دلیل کاربری‌های مختلف می‌تواند تأثیرات محیط‌زیستی قابل توجهی داشته باشد. به‌عنوان مثال، تغییر در دانه‌بندی خاک می‌تواند منجر به افزایش فرسایش خاک، کاهش تنوع زیستی و تغییر در چرخه‌های آب و مواد مغذی شود. این تغییرات می‌تواند به نوبه خود روی تولیدات کشاورزی و پایداری اکوسیستم‌ها تأثیر بگذارند (Fischer et al., 2002). از طرفی، توزیع اندازه دانه‌های خاک یک ویژگی فیزیکی حیاتی خاک بوده که نه تنها می‌تواند بر ترکیب و ساختار خاک تأثیر بگذارد، بلکه تأثیر زیادی بر حاصلخیزی خاک، فرسایش و نگهداری و حرکت آب در خاک دارد (Filgueira et al., 2006; Deng et al., 2017; Gao et al., 2022). علاوه بر این، توزیع اندازه دانه‌های خاک به‌عنوان یک شاخص مناسب برای ارزیابی ساختارها و عملکردهای خاک در نظر گرفته می‌شود (Zhao et al., 2016; Zeraatpisheh et al., 2021). روش‌های متعددی برای توصیف توزیع اندازه دانه‌های خاک توسعه یافته است (Besalatpour et al., 2013; Callesen et al., 2018; He and Lv, 2022). تحلیل بافت خاک رایج‌ترین رویکرد توزیع اندازه ذرات خاک است؛ با این حال، تعاریف اندازه سه ترکیب اصلی ذرات خاک (رس، سیلت و ماسه) تا حدی بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xu et al., 2013). برای توضیح بهتر رابطه

بین توزیع اندازه ذرات خاک و سایر عوامل، نظریه فرائکتال و پارامترهای مرتبط (اندازه ذرات متوسط، ضریب جورشدگی، چولگی و کشیدگی) در خاک‌های مختلف بررسی شده است. پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند که اندازه دانه متوسط و چولگی می‌توانند دامنه توزیع اندازه دانه‌های خاک را منعکس کنند، درحالی که ضریب جورشدگی و کشیدگی عمدتاً درجه پراکندگی توزیع اندازه دانه‌های خاک را توصیف می‌کنند (Hillel, 2012; Rabot et al., 2018). روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری پراکنش اندازه ذرات (PSD) در پژوهش‌های مختلف ارائه شده است و در کاربردهای عملی استفاده می‌شوند (Allen, 1983; Gee and Or., 2002; Goossens, 2008; Rasmussen, 2020). استانداردهای اندازه‌گیری PSD بسته به زمینه کاری تعریف می‌شوند. انجمن علوم خاک آمریکا^۱ شرح مفصلی از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری PSD ارائه می‌دهد (Gee and Or., 2002). از جمله این روش‌ها می‌توان به الک خشک و مرطوب، پیت استاندارد و روش‌های هیدرومتری اشاره کرد. انجمن آمریکایی آزمایش و مواد^۲ بر اساس تئوری غربالگری و رسوب‌گذاری، استانداردهایی را برای اندازه‌گیری PSD ارائه می‌دهد (Bittelli et al., 2022). برای ارزیابی دانه‌بندی خاک، روش‌های مختلفی وجود دارد که شامل روش‌های فیزیکی و شیمیایی می‌شود. یکی از روش‌های رایج، استفاده از الک‌های مختلف برای جداسازی ذرات خاک بر اساس اندازه آن‌ها است (Gee, 1986). هم‌چنین، روش‌های پیشرفته‌تری مانند تصویربرداری دیجیتال و آنالیز لیزری نیز به‌کار گرفته می‌شوند که می‌توانند دقت بیشتری در ارزیابی دانه‌بندی خاک ارائه دهند (Zhao et al., 2018). استفاده از دانه‌بندی لیزری به‌منظور توزیع اندازه ذرات خاک دارای مزایایی است (Galacgac and Ooi, 2018). از جمله این مزایا می‌توان به سرعت زیاد در دست یافتن به نتایج آزمایش، برخلاف سایر روش‌ها مثل هیدرومتری توزیع اندازه ذرات مستقل از چگالی ذرات منفرد بوده و فراهم بودن طیف گسترده‌ای از اندازه ذرات، اشاره نمود. به‌طور کلی، دانه‌بندی خاک به‌عنوان یک عامل کلیدی در تعیین ویژگی‌های خاک و تأثیر آن بر کاربری‌های مختلف اراضی ارائه می‌شود. استفاده از دانه‌بندی لیزری که دارای دقت، سرعت و قابلیت تکرار بالاتری در تعیین توزیع اندازه ذرات خاک است به جای روش‌های قدیمی مثل هیدرومتری یا الک منجر به داده‌های پیوسته و دقیق‌تری از دانه‌بندی می‌شود؛ هم‌چنین این پژوهش به‌صورت مقایسه‌ای و تحلیلی تأثیر کاربری‌های مختلف بر توزیع اندازه ذرات خاک را بررسی می‌کند. از طرفی، درک بهتر از دانه‌بندی خاک و

² American Society for Testing and Materials (ASTM)

¹ Soil Science Society of America

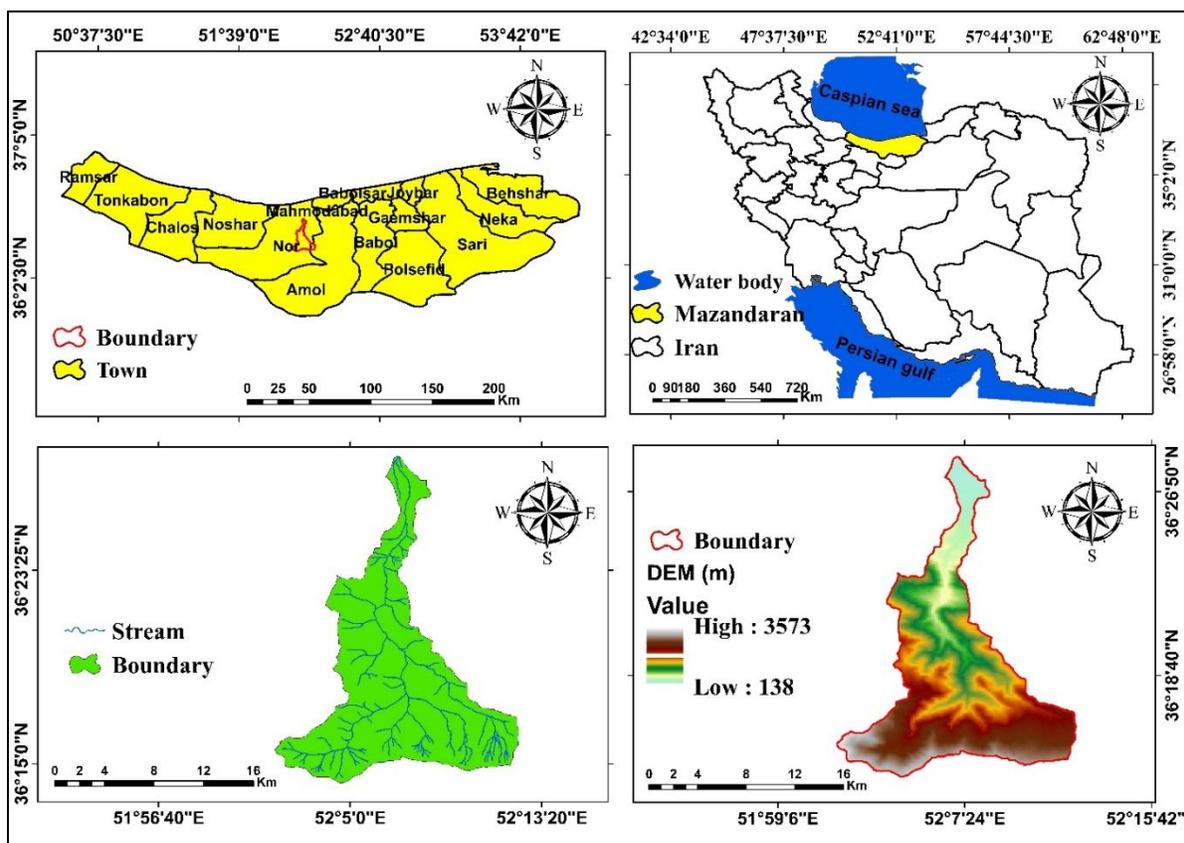
خزر متصل می‌شود (Karimi et al., 2024). مساحت حوضه ۱۴۷۹۲ هکتار است که کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی، مسکونی را در خود جای داده است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز واز را در استان مازندران و ایران نشان می‌دهد. از نظر زمین‌شناسی حوزه آبخیز واز به زمان مزوزوئیک به بعد تعلق دارد و دارای دو سازند الیکا و شمشک است. این حوضه دارای طبقات حساسیت به فرسایش خیلی شدید، شدید، متوسط تا شدید و متوسط است که به ترتیب ۲۰٪، ۳۹/۵٪، ۱۴/۳٪ و ۴۴/۲٪ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. جدول ۱ مقاومت واحدهای سنگ‌شناسی به فرسایش با مدل MPSIAC را بیان می‌کند (Khatibi Roudbarsara et al., 2023). حوزه آبخیز واز با شیب زیاد و کوهستانی دارای یک رودخانه دائمی است. حوزه آبخیز واز دارای یک شیب تند در جنوب و شیب تقریباً مسطح در شمال است. همچنین شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی و شیب حوضه و جدول ۲ نیز مساحت طبقات شیب را نشان می‌دهد.

تأثیرات آن بر کاربری‌های اراضی می‌تواند به بهبود مدیریت منابع خاک و پایداری بوم‌سازگان کمک کند؛ بنابراین هدف این پژوهش، تحلیل دانه‌بندی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی (جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی) با استفاده از دانه‌بندی لیزری در حوزه آبخیز واز، استان مازندران است.

۲- مواد و روش‌ها

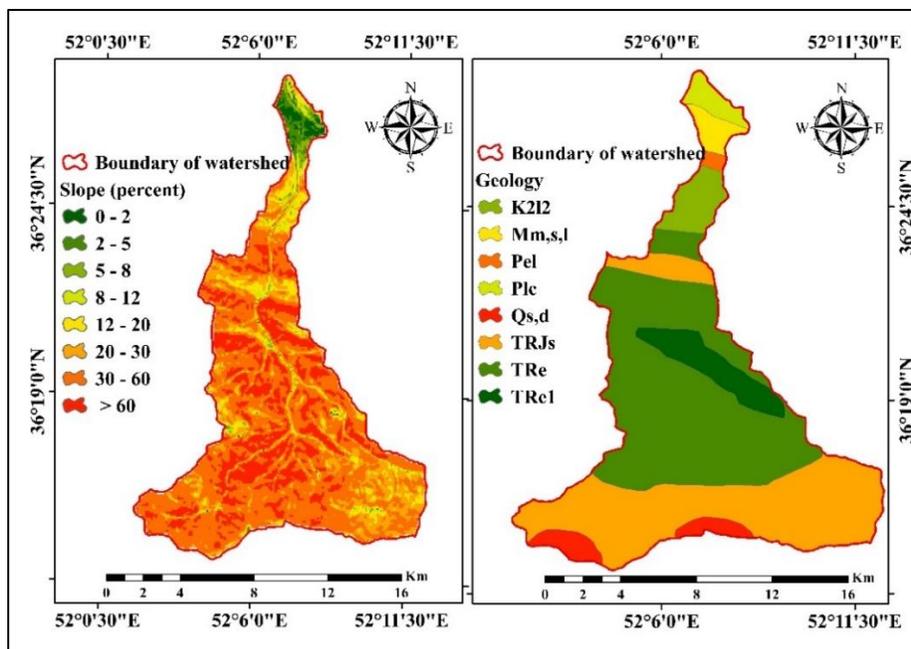
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز واز در شهرستان نور استان مازندران قرار دارد. از نظر موقعیت نسبی این حوضه از شمال به روستای جوربند، از جنوب به حوزه آبخیز رود هراز، از غرب به حوزه آبخیز لایوچ و از شرق به حوزه آبخیز ناپلار رود و حوزه آبخیز آتش رود محدود می‌شود. و از نظر جغرافیایی دارای موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 14' 26''$ تا $36^{\circ} 54' 25''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 01' 46''$ تا $52^{\circ} 12' 30''$ طول شرقی است. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۳۸ و ۳۵۷۳ متر است که با کاهش ارتفاع در قسمت‌های شمالی به منطقه جلگه‌ای دریای



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز واز در ایران و استان مازندران

Figure 1. Location of the study area in Iran and Mazandaran Province



شکل ۲- (الف) نقشه شیب و (ب) نقشه زمین‌شناسی در حوزه آبخیز واز

Figure 2. (a) Slope map & (b) Geology map of the Vaz watershed

جدول ۱- مشخصات سنگ‌شناسی در حوزه آبخیز واز (Khatibi Roudbarsara et al., 2023)

Table 1. Characteristics of geology in the Vaz watershed (Khatibi Roudbarsara et al., 2023)

Symbol	Geology unit	Age	Resistance to erosion	Value of sedimentation
K2I2	Limestone with high thickness	Late Cretaceous	Low	Very high
Mm, s, l	Marl, limestone, sandstone	Miocene	Non- resistance	High
Pel	Lime with medium to high thickness	Paleocene-Eocene	Non- resistance	Very high
Plc	Sandstone	Pliocene	Medium	Medium
Qs,d	Silty sandy clay	Quaternary	High	High
TRJs	Dolomitic limestone	Triassic	Resistance	Low
TRe	Dolomite, limestone, sandstone	Triassic	Low	Medium
TRe1	Dolomite, limestone	Triassic	Resistance	Low

جدول ۲- مساحت طبقات شیب در حوزه آبخیز واز

Table 2. Area of slope classes in the Vaz watershed

Slope (percentage)	Area (ha)	Area (%)	Slope (percentage)	Area (ha)	Area (%)
0 - 2	132.8	0.91	12 - 20	1126.7	7.62
2 - 5	440.0	2.97	20 - 30	2335.2	15.79
5 - 8	307.8	2.08	30 - 60	7201.7	48.69
8 - 12	375.3	2.54	> 60	2870.5	19.41

ب- نمونه‌برداری از خاک کاربری‌های/پوشش‌های مختلف

اراضی

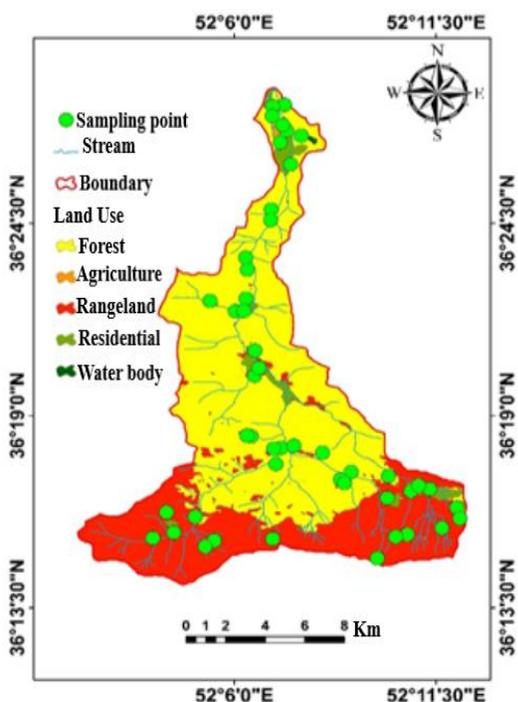
پوشش زمین، از عوامل مؤثر در حساسیت یک منطقه به فرسایش خاک و تولید رسوب است. تغییرات طبیعی و هم‌چنین انسانی در کاربری اراضی ممکن است موجب کاهش یا افزایش فرسایش خاک شود. برای نمونه‌برداری خاک، شرایط رطوبتی مناسب و عدم رخداد بارندگی تا پنج روز قبل از نمونه‌برداری مد نظر قرار گرفت. نمونه‌برداری خاک برای مطالعات با توجه به هدف در منابع مختلف در عمق خاک بین صفر تا سه سانتی‌متر (Duodu et al., 2016)

۲-۲- نمونه‌برداری

الف- تعیین موقعیت اولیه نقاط نمونه‌برداری

با توجه به هدف پژوهش، کاربری‌های مختلف اراضی به‌عنوان منابع تولید رسوب در حوزه آبخیز واز انتخاب شدند. برای تعیین محل نقاط نمونه‌برداری خاک با در نظر گرفتن مساحت هر یک از کاربری‌ها و امکان دسترسی به نقاط با حداکثر تلاش برای پراکنش مناسب سطح حوزه آبخیز روی نقشه مشخص و با مراجعه به منطقه، نمونه‌برداری خاک در هر یک از کاربری‌های/پوشش‌های اراضی انجام شد.

دانه‌بندی ذرات خاک در یک سطح محدود تغییر چندانی نمی‌کند. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی و نقاط نمونه‌برداری و جدول ۳ تعداد نمونه‌های برداشت شده از هر کاربری را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه پوشش/کاربری اراضی و نقاط نمونه‌گیری حوزه آبخیز واز
Figure 3. Land cover/land use & sample points in the Vaz watershed

جدول ۳- مساحت پوشش/کاربری اراضی و تعداد نمونه‌ها در حوزه آبخیز وازرود

Table 3. Area of land cover / land use & number of samples in Vaz watershed

Land use	Area (ha)	Soil sample	Land use	Area (ha)	Soil samples
Forest	9312.2	25	Residential	545.7	5
Rangeland	4857.6	13	Water body	10.2	-
Agriculture	66.1	4			

به‌منظور دانه‌بندی به‌وسیله لیزر (LA-950 Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer- Horiba) به پژوهشگاه اقیانوس‌شناسی و علوم جوی انتقال داده و داده‌ها و نمودارهای دانه‌بندی لیزری دریافت شد.

د- شاخص‌های آماری مرتبط با دانه‌بندی

شاخص‌هایی که در این پژوهش به‌منظور تحلیل دانه‌بندی خاک در کاربری‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت، عبارتند از میانگین اندازه ذرات، جورشدگی، چولگی و کشیدگی. همچنین درصد‌های مختلف دانه‌بندی شامل درصد رس، سیلت و ماسه و همچنین درصد

۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر (Joghatayi et al., 2021) و صفر تا ۵۰ سانتی‌متر (Taleshpour et al., 2021) متفاوت اعلام شده است. در پژوهش حاضر برداشت ۴۷ نمونه خاک در تاریخ ۲۳ و ۲۴ خرداد ماه ۱۴۰۳، انجام شد؛ تاریخ برای ما مهم بود چون علاوه بر اینکه دانه‌بندی باید انجام می‌شد، آلودگی حوضه به فلزات سنگین نیز باید سنجیده می‌شد و منشأیابی رسوب هم باید انجام می‌گرفت؛ بنابراین لازم بود زمانی انتخاب شود که حداقل ۵ روز قبل از نمونه‌گیری بارندگی رخ نداده باشد و رطوبت خاک حوضه در حداقل ممکن قرار داشته باشد. عمق نمونه‌برداری صفر تا ۵ سانتی‌متر (Karimi et al., 2024) در نظر گرفته شد؛ به‌دلیل اینکه لایه سطحی خاک یا رسوب (معمولاً ۰ تا ۵ سانتی‌متر) شامل لایه فعال است که بیش‌ترین تماس را با جریان آب دارد. این لایه تحت تأثیر مستقیم فرسایش، ته‌نشینی و تغییرات محیطی قرار دارد؛ بنابراین، دانه‌بندی این لایه تصویر بهتری از شرایط فعلی محیط را نشان می‌دهد. در لایه‌های عمیق‌تر (بیش از ۵ سانتی‌متر)، دانه‌بندی ممکن است نمایانگر شرایط قدیمی‌تر یا پایداری باشد که تحت تأثیر فرآیندهای حال حاضر قرار ندارد. پرشیب بودن حوضه در برخی کاربری‌ها و فاصله از آبراهه ممکن بود دانه‌بندی ذرات خاک را تحت تأثیر قرار دهد، به‌منظور کاهش اثرات این دو عامل بر دانه‌بندی ذرات خاک سعی شد تا بهترین پراکنش برای نقاط نمونه‌گیری با ایجاد تناسب بین مساحت کاربری اراضی، تعداد نقاط نمونه‌برداری، شیب و نزدیکی به آبراهه در سطح حوزه آبخیز انجام شود. هر چند لازم به ذکر است که اساساً

ج- آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام دانه‌بندی لیزری

نمونه‌های خاک و رسوب پس از نمونه‌برداری به آزمایشگاه مهندسی آب و خاک دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شدند. ابتدا این نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و حدود ۵۰ گرم از هر نمونه در داخل ظروف پتری دیش ریخته شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و در بخش پایانی مقدار ۳۰ گرم از نمونه‌ها از الک ۲۰۰۰ میکرون برای دانه‌بندی لیزری عبور داده شد و در لوله فالكون با برچسب مشخص ریخته شد. در نهایت نمونه‌های خاک

نمونه حول قطر میانه است. جدول ۴ انواع جورشدگی ذرات بر حسب میزان انحراف معیار به‌وسیله (Folk and Ward, 1957) ارائه شده است.

– **آماره چولگی^۳**: چولگی بیان‌کننده، توزیع ذرات است که توسط دنباله منحنی توزیع مشخص می‌شود. به همین دلیل، در صورت متقارن بودن منحنی، مقدار چولگی صفر است. اگر منحنی دارای دنباله به سمت راست باشد، به طرف رسوبات ریزدانه و چولگی مثبت متمایل است و اگر منحنی دارای دنباله به طرف چپ باشد، به سمت رسوبات دانه درشت و چولگی منفی متمایل است. بنابراین جورشدگی برای تحلیل و تفسیر محیط‌های رسوبی و فرایندهایی که باعث انتقال می‌شوند، قابل استفاده است. انواع طبقه‌بندی چولگی در جدول ۵ ارائه شده است.

– **آماره کشیدگی^۴**: توزیع فراوانی جمعیت‌های مختلف ذرات رسوب نسبت به میانگین را شاخص کشیدگی می‌گویند. جدول ۶ انواع طبقات کشیدگی ذرات رسوب را نشان می‌دهد.

تعیین مناطق حساس به فرسایش

برای تعیین مناطق حساس به فرسایش، از روش دورن‌یابی استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای دورن‌یابی وجود دارد مثل IDW, Kriging و غیره، در این پژوهش با استفاده از دانه‌بندی حاصل از لیزر و در محیط ArcMap، در بخش Spatial analyst روشی که دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی و کم‌ترین خطا باشد انتخاب می‌شود.

سنگ‌ریزه، اندازه‌های d_{10} ، d_{50} ، d_{90} نیز محاسبه و در تحلیل دانه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. برای استخراج آماره‌های دانه‌بندی و درصد‌های تفکیکی ذرات از ماکروی GRADISTAT نوشته شده در نرم‌افزار Excel (Blott and Pye, 2001) استفاده شد. این نرم‌افزار داده‌های خروجی دستگاه لیزری را که معمولاً شامل درصد‌های حجمی ذرات در بازه‌های مختلف قطری (میکرون) هستند، وارد کرده و آن‌ها را تحلیل آماری کرده و معیارهای رسوب‌شناسی مهمی مانند درصد فراوانی ذرات سیلت، شن، ماسه و پارامترهای آماری (مانند میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی) و هم‌چنین کلاس‌بندی خاک بر اساس استانداردهای بین‌المللی (مثل USDA یا Folk and Ward) محاسبه می‌کند. در ادامه روش محاسبه آماره‌های دانه‌بندی توضیح داده شده است.

– **آماره میانگین^۱ اندازه ذرات**: تعاریف متعددی برای میانگین وجود دارد؛ زیرا مقدار میانگین با مبنای محاسبه توزیع (تعداد، سطح، حجم) مرتبط است. نتایج دانه‌بندی لیزر بر اساس حجم گزارش می‌شود؛ بنابراین، می‌توان از میانگین حجم برای تعریف نقطه مرکزی استفاده کرد (ISO, 2001).

این شاخص به‌صورت زیر است:

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

که در آن، m میانگین قطر ذرات، x_i قطر ذرات و n تعداد ذرات است.

– **آماره جورشدگی^۲ (انحراف معیار)**: این شاخص بیانگر یکنواختی ذرات تشکیل‌دهنده رسوب و دور و نزدیک بودن قطر

جدول ۴- انواع جورشدگی ذرات خاک (Folk and Ward, 1957).

Table 4. Types of soil particles sorted (Folk and Ward, 1957).

Types of soil particles sorted	Numerical range of standard deviation (Φ)	Types of soil particles sorted	Numerical range of standard deviation (Φ)
Very well sorted	< 0.35	Poorly sorted	1 - 2
Well sorted	0.35 - 0.5	Very poorly sorted	2 - 4
Well to moderately sorted	0.5 - 0.71	Extremely poorly sorted	> 4
Moderately sorted	0.71 - 1	-	-

جدول ۵- انواع طبقات چولگی ذرات خاک (Folk and Ward, 1957).

Table 5. Types of skewness classes of soil particles (Folk and Ward, 1957).

Types of soil particle skewness	Numerical range	Types of soil particle skewness	Numerical range
Very fine skewed	1.0 - 0.3	Coarse skewed	-0.1 - -0.3
Fine skewed	0.3 - 0.1	Very coarse-skewed	-0.3 - -1
Symmetrical	0.1 - -0.1	-	-

³ Skewness

⁴ Kurtosis

¹ Mean

² Sorting

جدول ۶- انواع طبقات کشیدگی ذرات رسوب (Folk and Ward, 1957).

Table 6. Types of soil particle kurtosis (Folk and Ward, 1957).

Types of soil particle kurtosis	Numerical range	Types of soil particle kurtosis	Numerical range
Very platykurtic	< 0.67	Leptokurtic	1.11 - 1.5
Platykurtic	0.67 - 0.9	Very leptokurtic	1.5 - 3
Mesokurtic	0.9 - 1.11	Extremely leptokurtic	> 3

۳- نتایج و بحث

ذرات در کاربری‌های جنگل و مرتع نشان می‌دهد که بخش‌های سیلت و شن دارای بیش‌ترین درصد هستند، که نشان‌دهنده ساختار متعادل خاک است. این ممکن است به دلیل تأثیر پوشش گیاهی و تجمع مواد آلی باشد. کاربری کشاورزی دارای درصد قابل‌توجهی سیلت است (۷۵/۲ درصد) این نشان‌دهنده بافت ریزتر این کاربری است که ممکن است در اثر روش خاک‌ورزی باشد؛ چون شخم باعث تخریب ذرات خاک و ساختمان آن می‌شود و خاک را به ذرات ریز در حد سیلت تبدیل می‌کند. کاربری مسکونی نسبت بیش‌تری از ماسه (۵۴/۵ درصد) و سنگ‌ریزه (۷/۹ درصد) را نشان می‌دهد که با فعالیت‌های ساختمانی در این کاربری مرتبط است (شکل ۴). نتایج این بخش با نتایج Kumar et al. (2016) در حوزه آبخیز Mandakini و Arabkhedri et al. (2018) که سیلت و شن را بافت غالب برخی از مناطق ایران معرفی کردند همخوانی دارد.

در جدول‌های ۷ تا ۱۰ نتایج حاصل از دانه‌بندی لیزری نمونه‌ها در کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی ارائه شده است. امروزه برای اندازه‌گیری ذرات خاک از ابزارهایی استفاده می‌شود که داری دقت بالا، سرعت زیاد و هزینه کم‌تر باشند (Amini et al., 2021). دانه‌بندی لیزری نسبت به سایر روش‌های اندازه‌گیری دو ویژگی دقت بالا و سرعت زیاد را دارد اما روشی پرهزینه است.

نتایج نشان می‌دهد که میانگین اندازه ذرات رس، سیلت، ماسه و سنگ‌ریزه به ترتیب در کاربری جنگل برابر ۱/۰۳، ۵۱/۵۲، ۴۵/۳۹ و ۲/۰۶، در کاربری مرتع برابر ۰/۶۲، ۵۲/۴۱، ۴۵/۲۱ و ۱/۷۶، در کاربری کشاورزی برابر ۱/۳۳، ۷۵/۲ و ۲۳/۳۹ و ۰/۰۸، و در کاربری مسکونی برابر ۰/۵۷، ۳۶/۹۶ و ۵۴/۵ و ۷/۹۷ درصد است. توزیع اندازه

جدول ۷- نتایج حاصل از دانه‌بندی ذرات خاک در کاربری جنگل

Table 7. Results of soil particles' size distribution in forest land use

Sample	X (UTM)	Y (UTM)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Pebble (%)
1	603541.4	4016702	0.38	46.39	53.23	0.00
2	602360.7	4017707	0.31	27.12	71.15	1.42
3	600468.9	4017087	2.23	57.06	40.71	0.00
4	599545.9	4023079	7.15	86.73	6.11	0.01
5	599187.8	4027353	0.71	52.27	47.02	0.00
6	600681.4	4017939	1.60	46.84	51.55	0.01
7	601190.3	401805	1.85	55.92	42.22	0.01
8	605068.5	401650	0.94	75.39	23.66	0.01
9	600375.8	401790	0.98	45.48	53.53	0.01
10	599549.3	402174	0.29	62.54	37.17	0.00
11	599117.1	402799	0.57	30.90	52.18	16.35
12	599443.9	401853	0.61	41.76	57.62	0.01
13	603112.7	401630	0.16	55.47	44.37	0.00
14	603281.4	401611	0.00	31.36	67.58	1.06
15	599271.1	401858	1.46	52.93	45.60	0.01
16	599148.7	402582	1.09	49.60	49.31	0.00
17	600109.3	402998	0.90	46.42	52.67	0.01
18	598724.6	402515	0.11	18.34	61.55	20.00
19	597686.1	402568	1.08	49.07	49.83	0.02
20	600124.4	403054	1.72	61.2	37.08	0.00
21	600600.6	403608	0.00	44.25	55.74	0.01
22	600119.4	403600	0.59	84.60	14.81	0.00
23	600886.7	403294	0.03	57.95	42.02	0.00
24	600111.4	403549	0.65	60.18	39.15	0.02
25	601299.4	403445	0.12	48.24	39.00	12.64
Mean			1.03	51.52	45.39	2.06

جدول ۸- نتایج حاصل از دانه‌بندی ذرات خاک در کاربری مرتع

Table 8. Results of soil particles' size in rangeland land use

Sample	X (UTM)	Y (UTM)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Pebble (%)
1	595492.4	401310	1.47	63.30	35.23	0.00
2	598001.2	401300	0.37	38.68	58.22	2.73
3	597636.1	401268	0.42	46.72	52.84	0.02
4	600381.9	401312	0.33	33.90	65.77	0.00
5	597212.1	401426	1.29	65.22	33.49	0.00
6	596035.3	401448	0.38	18.02	62.53	19.07
7	605989.9	401572	1.29	57.93	40.77	0.01
8	604664.3	401214	0.33	60.06	39.61	0.00
9	607283.7	401378	0.14	56.04	43.82	0.00
10	605876.3	401342	0.13	43.52	55.91	0.44
11	605400.1	401329	0.74	72.42	26.82	0.02
12	607876.5	401486	0.42	56.44	43.14	0.00
13	608009.9	401430	0.73	69.17	29.60	0.50
Mean			0.62	52.41	45.21	1.76

جدول ۹- نتایج حاصل از دانه‌بندی ذرات خاک در کاربری کشاورزی

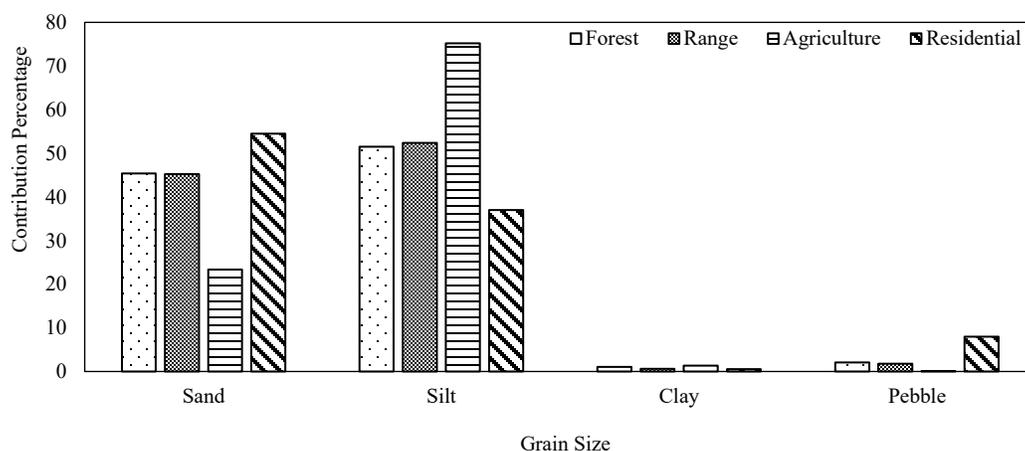
Table 9- Results of soil particles' size in agricultural land use

Sample	X (UTM)	Y (UTM)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Pebble (%)
1	600452.5	403410	0.90	64.64	34.13	0.33
2	600702.5	403473	1.52	88.32	10.16	0.00
3	600531.9	403502	1.16	71.74	27.10	0.00
4	600649.1	403530	1.73	76.08	22.19	0.00
Mean	-	-	1.33	75.20	23.39	0.08

جدول ۱۰- نتایج حاصل از دانه‌بندی ذرات خاک در کاربری مسکونی

Table 10. Results of soil particles' size in residential land use

Sample	X (UTM)	Y (UTM)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Pebble (%)
1	605032.6	401534	0.66	48.67	50.30	0.37
2	596349.3	401341	0.33	70.51	29.16	0.00
3	606301.6	401601	0.16	13.15	54.20	32.49
4	599721.1	402216	0.00	11.04	82.26	6.70
5	599071.9	402517	1.70	41.41	56.58	0.31
Mean			0.57	36.96	54.50	7.97



شکل ۴- الگوی تغییرات کیفی دانه‌بندی در طبقات مختلف کاربری در حوزه آبخیز واز

Figure 4. Pattern of qualitative changes in grain size of different land uses in the Vaz watershed

۳-۱- ارزیابی آماره‌های دانه‌بندی

در این مرحله چهار آماره میانگین اندازه متوسط ذرات، جورشدهگی (انحراف معیار)، چولگی و کشیدگی؛ و هم‌چنین d_{10} ، d_{50} (میان) و d_{90} مورد بررسی قرار می‌گیرد (جدول ۱۱ تا ۱۴).

کاربری جنگل

در کاربری جنگل تمام نمونه‌ها دارای جورشدهگی ضعیف و خیلی ضعیف هستند. در این کاربری نمونه‌های یک، سه، چهار، هشت، 10 ، 16 و 22 دارای جورشدهگی ضعیف و نمونه‌های دو، پنج، شش، هفت، نه، 11 ، 12 ، 13 ، 14 ، 15 ، 17 ، 18 ، 19 ، 20 ، 21 ، 23 ، 24 و 25 دارای جورشدهگی خیلی ضعیف هستند. از نظر چولگی کاربری جنگل، در نمونه‌های 11 و 18 با چولگی به سمت ذرات خیلی ریز، چهار نمونه (نمونه‌های یک، 12 ، 14 و 16) با چولگی به سمت ذرات ریز، نه نمونه (دو، سه، شش، هفت، نه، 13 ، 15 ، 17 و 21) با چولگی متقارن، هفت نمونه (نمونه‌های چهار، پنج، 10 ، 19 ، 22 ، 23 و 25) با چولگی به سمت ذرات درشت و سه نمونه (نمونه‌های هشت، 20 و 24) با چولگی به سمت ذرات خیلی درشت بود. در کاربری جنگل، نمونه‌ها دارای کشیدگی خیلی پهن، پهن، متوسط و کشیده هستند. که نمونه‌های سه، پنج، شش و 11 خیلی پهن، نمونه‌های یک، دو، هفت، هشت، نه، 12 ، 13 ، 14 ، 15 ، 16 ، 17 ، 18 ، 19 ، 20 ، 21 ، 24 و 25 پهن، نمونه‌های 10 ، 22 و 23 متوسط و نمونه چهار کشیده هستند. به‌طور کلی کاربری جنگل دارای ذراتی با میانگین اندازه $2/99\Phi$ (ماسه خیلی ریز)، جورشدهگی (انحراف معیار) $2/21\Phi$ (جورشدهگی بسیار بد)، چولگی برابر $0/03-$ (متقارن) و کشیدگی برابر $0/78$ (کشیدگی پهن) است. میانگین اندازه ذرات در حد ماسه خیلی ریز نشان از یک محیط با انرژی کم است (Dedkov and Moszherin, 1992) و Arabkhedri et al. (2018) بیان کردند که کاربری جنگل دارای ذراتی با میانگین 4Φ است. جورشدهگی بسیار بد در این کاربری بیانگر دامنه وسیعی از اندازه ذرات است که ممکن است ناشی از اختلاط رسوبات با منشأ متفاوت (مثلاً حمل توسط جریان‌های متغیر، رانش زمین یا فعالیت‌های انسانی) باشد. چولگی کاربری جنگل دارای توزیعی تقریباً متقارن از ذرات است، که نشان‌دهنده عدم غلبه ذرات ریز یا درشت در رسوب است. معمولاً کشیدگی پهن به دلیل اختلاط اندازه‌های متفاوت ذرات رسوبی یا فرآیندهای انتقال متفاوت رخ می‌دهد. در این زمینه نیز Singh (2010) رسوبات با جورشدهگی بسیار بد و چولگی نزدیک به صفر را در کاربری جنگل گزارش کرده است. هم‌چنین برخی پژوهش‌گران مثل Ramos-Scharron and MacDonald (2005) بیان کردند

که قطع درختان یا سایر فعالیت‌های انسانی در جنگل می‌تواند منجر به فرسایش شدید و رسوب‌گذاری نامنظم در این نوع کاربری شود.

کاربری مرتع

در کاربری مرتع نیز همانند کاربری جنگل نمونه‌ها دارای جورشدهگی ضعیف و بسیار ضعیف هستند. که در این بین نمونه‌های هشت، نه و 13 جورشدهگی ضعیف و نمونه‌های یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، هفت، 10 ، 11 و 12 دارای جورشدهگی بسیار ضعیف می‌باشند. چولگی نمونه‌ها در کاربری مرتع طیفی از چولگی به سمت ذرات خیلی درشت تا ذرات خیلی ریز است. که نمونه‌های یک، پنج و 11 دارای چولگی به سمت ذرات خیلی درشت، نمونه‌های 12 و 13 دارای چولگی به سمت ذرات درشت، نمونه‌های دو، سه، نه و 10 دارای چولگی متقارن، نمونه هشت دارای چولگی به سمت ذرات ریز و نمونه‌های چهار و شش دارای چولگی به سمت ذرات خیلی ریز هستند. نمونه‌ها در کاربری مرتع دارای کشیدگی خیلی پهن، پهن و متوسط هستند. که نمونه دو دارای کشیدگی خیلی پهن، نمونه‌های یک، سه، چهار، پنج، هفت، هشت، نه، 10 ، 12 و 13 دارای کشیدگی پهن و نمونه‌های 11 و 6 دارای کشیدگی متوسط می‌باشند. به‌طور کلی کاربری مرتع دارای ذراتی با میانگین 4Φ (ماسه خیلی ریز)، جورشدهگی برابر $2/24\Phi$ (جورشدهگی بسیار بد)، چولگی برابر $0/07-$ (متقارن) و کشیدگی برابر $0/80$ (پهن) است. در حوزه آبخیز واز کاربری مرتع در ارتفاعات بالای حوضه قرار دارد و این کاربری تحت تاثیر فرسایش بادی است. که باعث شده است ذرات ریز توسط باد حمل شوند و ذرات درشت‌تر باقی بمانند. جورشدهگی بسیار ضعیف نیز بیانگر عدم یکنواختی شدید در اندازه ذرات است، که ممکن است در اثر فرسایش آبی و بادی و چرای دام در منطقه باشد جورشدهگی بسیار ضعیف در این کاربری با یافته‌های Li et al. (2020) همسو است، ایشان بیان کردند که فرسایش بادی در مراتع عامل اصلی انتقال سیلت است. چولگی متقارن هم بیانگر توزیع ذرات تقریباً متعادل است. اختلاط منابع رسوب مختلف (فرسایش آبی یا بادی) باعث کشیدگی پهن ذرات شده است (Ventra and Nichols, 2013). معمولاً رانش زمین یا جریان‌های گلی جورشدهگی بسیار بد و کشیدگی پهن را دارند.

کاربری کشاورزی

در کاربری کشاورزی نمونه یک جورشدهگی بسیار ضعیف و نمونه‌های دو، سه و چهار جورشدهگی بسیار ضعیف دارند. چولگی نمونه‌های یک، سه و چهار به سمت ذرات خیلی درشت و نمونه دو به سمت ذرات ریز است. نمونه‌های یک، سه و چهار دارای کشیدگی پهن و نمونه دو خیلی کشیده است. به‌طور کلی در کاربری کشاورزی

نمونه‌های یک و دو پهن، نمونه پنج خیلی پهن و نمونه‌های سه و چهار کشیده است. به‌طور کلی در کاربری مسکونی میانگین ذرات $\Phi 2/70$ (ماسه ریز)، جورشدگی $\Phi 2/21$ (جورشدگی بسیار ضعیف)، چولگی ذرات برابر $0/23$ (ذرات ریز) و کشیدگی برابر $0/92$ (کشیدگی متوسط) است. وجود معادن شن و ماسه در منطقه و ساخت و ساز از دلایل اصلی درشت بودن میانگین اندازه ذرات در کاربری مسکونی است؛ که با نتایج برخی از پژوهش‌گران Lou et al. (2022) و Wang et al. (2023) که بیان داشتند مناطق روستایی دارای میانگین ذرات بزرگ‌تر هستند، همخوانی دارد. از طرفی Wang et al. (2023) بیان داشتند کاربری‌های مسکونی شهری و روستایی در شیب‌های مختلف دارای جورشدگی بسیار بد هستند و همچنین Wolman (1963) نشان داد که فعالیت‌های ساختمانی منجر به افزایش ذرات درشت و جورشدگی ضعیف به‌دلیل اختلاط مصالح طبیعی می‌شود. به‌طور کلی بین آماره‌های دانه‌بندی روابطی وجود دارد که می‌تواند در تفسیر محیط رسوبی و فرآیندهای رسوب‌گذاری مورد استفاده قرار گیرند (Abbasi et al., 2011; Zamanzadeh and Anoosheh, 2013).

میانگین ذرات $\Phi 5/37$ (سیلت)، جورشدگی $\Phi 1/78$ (جورشدگی ضعیف)، چولگی ذرات برابر $0/41$ - (ذرات خیلی درشت) و کشیدگی برابر $0/99$ (کشیدگی متوسط) است. بنابراین غالب بودن سیلت و چولگی درشت در این نوع کاربری با پژوهش Garcia-Ruiz (2015) مطابقت دارد. فعالیت‌های خاک‌ورزی مکرر باعث اختلاط لایه‌های سطحی (سیلتی) و زیرسطحی (شن یا سیلت درشت‌تر) می‌شود؛ این فرآیند چولگی منفی و جورشدگی ضعیف را توضیح می‌دهد که با نتایج Lal (1998) همخوانی دارد؛ از طرفی Shahverdi et al. (2022) بیان داشتند که شاخص الگوی کشت تحت تاثیر شرایط استفاده از اراضی کشاورزی می‌تواند در روند تخریب زمین تاثیرگذار باشد. کانال‌های آبیاری ممکن است حاوی ذرات درشت‌تر باشند که طی آبیاری به زمین کشاورزی وارد می‌شوند و ترکیب رسوبی را تغییر می‌دهند.

کاربری مسکونی

در کاربری مسکونی نمونه‌های یک، سه، چهار و پنج دارای جورشدگی بسیار ضعیف و نمونه دو دارای جورشدگی ضعیف است. چولگی ذرات در نمونه یک به سمت ذرات درشت، نمونه دو متقارن، نمونه‌های سه و چهار خیلی ریز و نمونه پنج ریز است. کشیدگی در

جدول ۱۱- آماره‌های دانه‌بندی خاک در کاربری جنگل در حوزه آبخیز واز.

Table 11. Soil grain size statistics in forest land use in Vaz watershed.

Sample	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	D10	D50	D90
1	4.16	1.89	0.21	0.71	1.90	3.82	6.76
2	2.76	2.41	0.07	0.90	-0.17	2.71	6.20
3	4.73	1.91	0.03	0.07	2.82	4.68	7.18
4	6.45	1.22	-0.19	1.42	4.68	6.53	7.78
5	3.84	2.61	-0.21	0.60	0.27	4.31	6.92
6	3.81	2.60	-0.03	0.64	0.43	3.86	7.07
7	4.56	2.21	-0.07	0.88	1.48	4.52	7.14
8	5.42	1.63	-0.39	0.81	2.93	5.89	7.16
9	3.97	2.27	0.06	0.79	0.99	3.79	6.86
10	4.53	1.82	-0.14	1.05	1.87	4.58	6.59
11	1.94	3.032	0.49	0.60	-1.16	0.80	6.56
12	3.93	2.01	0.21	0.75	1.53	3.58	6.72
13	4.35	2.017	-0.06	0.78	1.57	4.36	6.78
14	2.75	2.58	0.16	0.73	-0.31	2.46	6.35
15	4.34	2.21	-0.02	0.81	1.35	4.27	7.04
16	4.30	1.95	0.13	0.80	1.85	4.03	6.88
17	3.75	2.48	-0.05	0.71	0.47	3.84	6.85
18	1.17	2.56	0.54	0.79	-1.26	0.27	5.61
19	3.79	2.58	-0.11	0.71	0.29	4.01	6.93
20	4.69	2.27	-0.33	0.80	1.28	5.22	7.16
21	3.60	2.23	-0.06	0.80	0.56	3.66	6.36
22	5.53	1.32	-0.28	0.96	3.61	5.76	6.98
23	4.16	2.09	-0.21	0.93	0.93	4.41	6.53
24	4.15	2.54	-0.34	0.84	0.40	4.81	6.96
25	3.15	3.02	-0.28	0.68	-1.13	3.86	6.62
Mean	3.99	2.21	-0.03	0.78	1.08	4.00	6.79

جدول ۱۲- آماره‌های دانه‌بندی خاک در کاربری مرتع در حوزه آبخیز واز.

Table 12. Soil grain size statistics in rangeland land use in the Vaz watershed.

Sample	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	D10	D50	D90
1	4.79	2.13	-0.32	0.84	1.56	5.24	7.11
2	3.03	2.89	0.08	0.57	-0.52	2.84	6.81
3	3.69	2.47	-0.08	0.72	0.40	3.84	6.76
4	3.47	2.12	0.39	0.73	1.17	2.82	6.61
5	4.71	2.52	-0.59	0.71	0.72	5.90	7.22
6	1.18	2.78	0.76	1.08	-1.21	-0.36	6.41
7	4.50	2.26	-0.22	0.74	1.22	4.84	7.10
8	4.68	1.60	0.13	0.74	2.70	4.49	6.81
9	4.33	1.97	-0.07	0.88	1.55	4.32	6.68
10	3.65	2.36	-0.03	0.80	0.43	3.62	6.58
11	5.08	2.23	-0.57	1.05	1.12	5.91	7.13
12	4.36	2.15	-0.12	0.77	1.30	4.49	6.91
13	5.09	1.68	-0.26	0.78	2.64	5.41	6.99
Mean	4.00	2.24	-0.07	0.80	1.00	4.10	6.85

جدول ۱۳- آماره‌های دانه‌بندی خاک در کاربری کشاورزی در حوزه آبخیز واز.

Table 13. Soil grain size statistics in agricultural land use in the Vaz watershed.

Sample	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	D10	D50	D90
1	4.54	2.54	-0.50	0.88	0.34	5.47	7.09
2	6.11	1.26	0.38	1.52	3.97	6.33	7.32
3	5.33	1.69	-0.37	0.76	2.80	5.81	7.17
4	5.52	1.65	-0.41	0.82	3.05	6.05	7.29
Mean	5.37	1.78	-0.41	0.99	2.53	5.91	7.21

جدول ۱۴- آماره‌های دانه‌بندی خاک در کاربری مسکونی در حوزه آبخیز واز.

Table 13. Soil grain size statistics in residential land use in the Vaz watershed.

Sample	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	D10	D50	D90
1	3.69	2.58	-0.13	0.71	0.13	3.94	6.81
2	4.99	1.48	-0.02	0.79	3.04	4.99	6.85
3	0.46	2.31	0.64	1.24	-1.38	-0.34	5.81
4	0.94	2.02	0.49	1.27	-0.88	0.44	2.29
5	3.45	2.68	0.17	0.59	0.26	3.11	7.06
Mean	2.70	2.21	0.23	0.92	0.23	2.42	5.76

جدول ۱۵- پارامترهای آماری دانه‌بندی خاک در کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز واز

Table 15. Statistical parameters of soil grain size in different land uses in Vaz watershed

Land cover/Land use	Mean	Sorted	Skewness	Kurtosis
Forest	Very fine sand	Very poorly sorted	Symmetrical	Platykurtic
Rangeland	Very fine sand	Very poorly sorted	Symmetrical	Platykurtic
Agriculture	Silt	Poorly sorted	Very coarse skewed	Mesokurtic
Residential	Fine sand	Very poorly sorted	Fine skewed	Mesokurtic

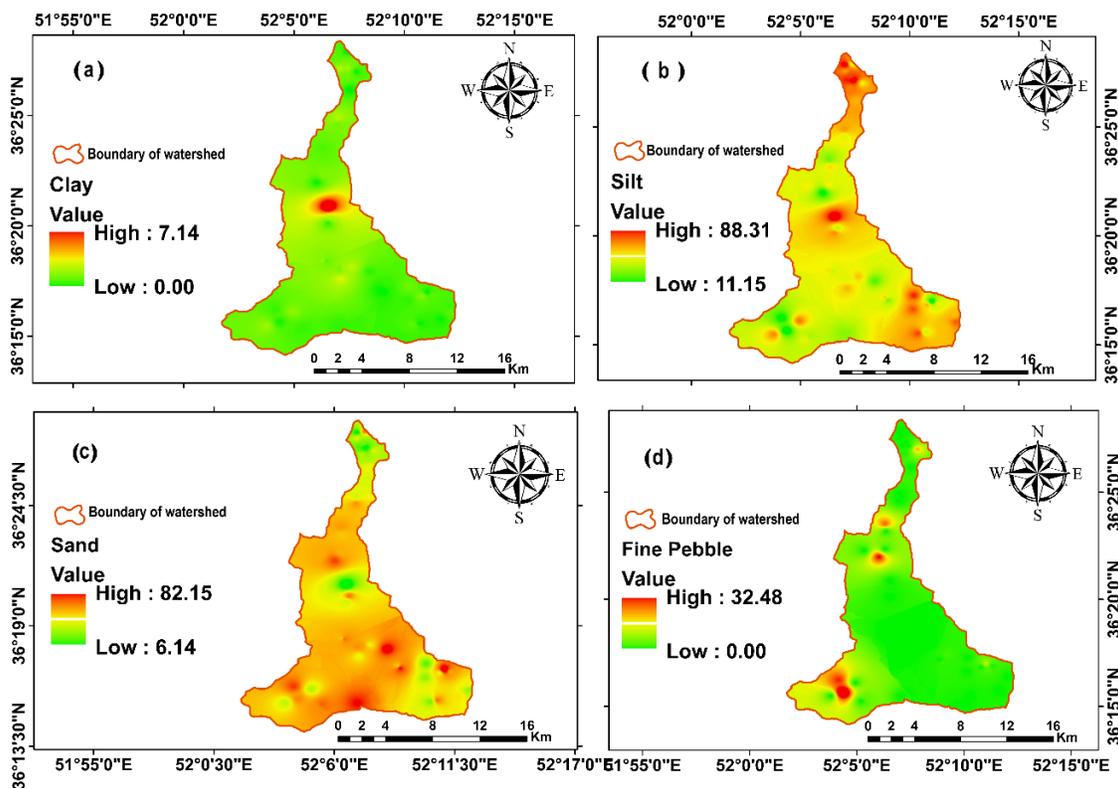
در قسمت میانی حوضه و در کاربری کشاورزی و جنگل و بیش‌ترین مقدار سنگ‌ریزه در جنوب غربی حوضه و در کاربری مسکونی است. اما بیش‌تر مساحت حوضه دارای دانه‌بندی سیلتی و ماسه‌ای بوده که تقریباً در تمامی سطح حوضه پراکنش دارند. بر اساس شکل ۶ حساس‌ترین ذرات در برابر فرسایش دانه‌بندی در حد و اندازه ماسه ریز هستند (Savat, 1982). از طرفی، دیاگرام هیلیشترم (شکل ۷) هم روی ماسه ریز و سیلت تأکید دارد که حساس‌ترین ذره به فرسایش است (Hjulström, 1935). در مجموع سیلت و ماسه ریز بسیار حساس هستند؛ که در مدل‌های خانواده USLE و حتی G2 برای محاسبه فرسایش پذیرگی خاک (k) یکی از عوامل ورودی مهم

۳-۲- تعیین مناطق حساس به فرسایش بر مبنای دانه‌بندی ذرات

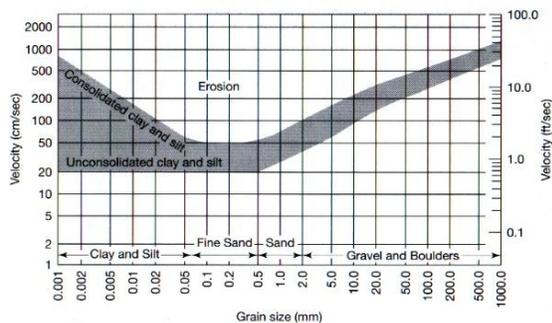
بررسی‌های دینامیکی و فیزیکی حرکت ذرات خاک نشان می‌دهد که این ذرات می‌توانند توسط عواملی مثل باد و آب به اشکال مختلف جابه‌جا شوند. با توجه به تغییرات اندازه ذرات حاصل از دانه‌بندی لیزری و روش دورن‌یابی IDW، خطوط هم‌ارزش برای رس، سیلت، ماسه و سنگ‌ریزه در ArcGIS رسم شد (شکل ۵). این روش دورن‌یابی دارای دقت قابل قبول، سرعت و انعطاف‌پذیری بالا و پیچیدگی پایین است. از مقایسه نقشه‌ها با یکدیگر مشخص می‌شود که مقدار رس و سنگ‌ریزه حوضه کم بوده که بیش‌ترین مقدار رس

فرسایش کم می‌شود؛ نتایج این بخش با نقشه حساسیت به فرسایش تهیه شده توسط Khaledi Darvishan et al. (2011) از این حوضه مطابقت دارد.

مجموع درصد سیلت و ماسه ریز است که دقیقاً با مطالب گفته شده فوق در تطابق است. در جنوب شرقی و جنوب غربی حوضه به دلیل فراوانی سیلت و ماسه حساسیت به فرسایش زیاد است؛ اما در قسمت‌های میانی حوضه با اضافه شدن ذرات درشت‌تر حساسیت به

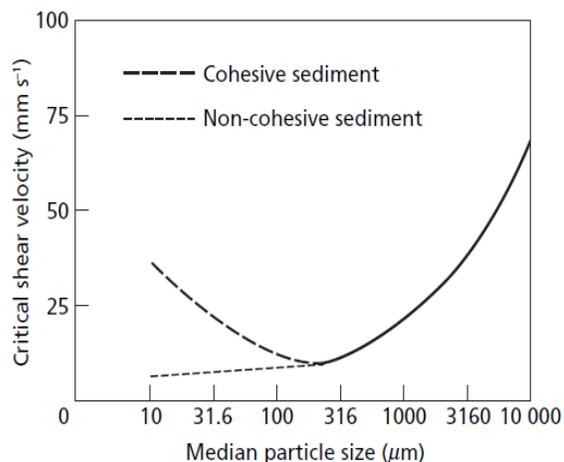


شکل ۵- نقشه درصد توزیع ذرات (الف): رس، (ب): سیلت، (ج): ماسه، (د): سنگریزه
Figure 5. Particle distribution percentage map (a): clay, (b): silt, (c): sand, and (d): pebble



شکل ۷- نمودار هولشتروم برای تعیین حساسیت ذرات (Hjulström, 1935)

Figure 7. Hjulstrom diagram for determining soil particle sensitivity (Hjulström, 1935)



شکل ۶- سرعت تنش بحرانی در ذرات با اندازه‌های مختلف (Savat, 1982)

Figure 6. Critical stress velocity in particles of different sizes (Savat, 1982)

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، برای تعیین مناطق حساس به فرسایش تحلیل دانه‌بندی خاک یک منطقه بسیار مهم است. در این پژوهش، با استفاده از نمونه‌برداری از کاربری‌های/پوشش‌های اراضی و با استفاده از لیزر به دانه‌بندی خاک در حوزه آبخیز واز پرداخته شد. با توجه به اندازه ذرات و شاخص‌های به‌دست آمده مشخص شد که خاک‌های کاربری‌های/پوشش‌های اراضی مختلف در کل حوزه آبخیز واز در جنگل، مرتع، مسکونی و کشاورزی، به‌ترتیب دارای دانه‌بندی ماسه خیلی ریز، ماسه خیلی ریز و سیلت هستند. بنابراین، غالب بودن سیلت و ماسه در حوضه نشان‌دهنده حساسیت این حوضه به فرسایش است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاربری اراضی تأثیر مستقیمی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک دارد:

- ۱- جنگل و مرتع با وجود جورشدگی ضعیف، به‌دلیل تقارن توزیع ذرات، محیط‌های پایدارتری هستند.
- ۲- کشاورزی به‌عنوان یک کاربری فرسایش‌زا، با تولید سیلت و چولگی درشت، خاک را مستعد تخریب بیش‌تر می‌کند.
- ۳- مناطق مسکونی به‌دلیل فعالیت‌های انسانی، ذرات درشت‌تر و توزیع ناهمگن را ایجاد می‌کنند.

بنابراین پیشنهاد می‌شود در کاربری کشاورزی از روش‌های کشت حفاظتی، در کاربری مسکونی مدیریت پسماندهای ساختمانی برای جلوگیری از آلودگی خاک، در کاربری مرتع احیای پوشش گیاهی برای کنترل فرسایش و در کاربری جنگل جلوگیری از قطع درختان و کنترل حرکت‌های توده‌ای استفاده شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی تأثیر عوامل اقلیمی بر دانه‌بندی خاک در کاربری/پوشش زمین، مدل‌سازی فرسایش با استفاده دقیق از داده‌های دانه‌بندی و هم‌چنین تحلیل پویایی زمانی دانه‌بندی خاک انجام شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای گزینش رساله نویسنده اول و هم‌چنین بنیاد علم ایران به‌دلیل حمایت‌های مالی و معنوی که در طول این پژوهش داشتند، قدردانی می‌شود. این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INFS) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۲۶۹۱۰» انجام شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

سعید درختی: گردآوری داده‌ها، تحلیل، بررسی میدانی، تدوین روش‌شناسی، کار با نرم‌افزار، اعتبارسنجی، ترسیم و تجسم داده‌ها، نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله؛ لیلا غلامی: طراحی مفهومی، گردآوری داده‌ها، تحلیل، تدوین روش‌شناسی، مدیریت پروژه، کار با نرم‌افزار، نظارت علمی، اعتبارسنجی، ترسیم و تجسم داده‌ها، ویرایش و بازنگری مقاله؛ عطاله کاویان: طراحی مفهومی، تحلیل، بررسی میدانی، تدوین روش‌شناسی، کار با نرم‌افزار، نظارت علمی، ویرایش و بازنگری مقاله؛ عبدالواحد خالدی‌درویشان: طراحی مفهومی، تحلیل، بررسی میدانی، تدوین روش‌شناسی، کار با نرم‌افزار، نظارت علمی، اعتبارسنجی، ویرایش و بازنگری مقاله.

منابع

- امینی، آرش، قندهاری، سمیه، و رضایی، حامد (۱۳۹۹). رهیافت‌های جدید در بررسی تطبیقی نتایج دانه‌بندی لیزری و هیدرومتری رسوبات ریزدانه (مطالعه موردی: لس‌های استان گلستان). *رسوب‌شناسی کاربردی*، ۱۶(۸)، پی‌پی ۱۶-۱، ۷-۱. doi: 10.22084/psj.2020.3615
- جغتایی، حجت‌اله، دبیری، رحیم، و مسلم‌پور، محمد الیاس (۱۴۰۰). ارزیابی میزان آلودگی و توزیع عناصر کروم، نیکل و کبالت در خاک منطقه اقیولیتی جغتای (شمال‌غرب سبزوار)، براساس تحلیل‌های آماری و استخراج ترتیبی. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۳(۸) (پی‌پی ۱۱۱)، ۳۵-۱۹.
- خالدی‌درویشان، عبدالواحد، صادقی، سید حمیدرضا، و غلامی، لیلا (۱۳۹۰). اثر حساسیت به فرسایش و کاربری اراضی بر خصوصیات مورفومتری رسوب بستر (مطالعه موردی: رودخانه وازرود). *دانش آب و خاک*، ۲۱(۴)، ۴۷۰-۴۸۳.
- خطیبی رودبارسرا، دنیا، خالدی‌درویشان، عبدالواحد، و علوی، سیدجلیل (۱۴۰۲). ارزیابی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ‌شناسی حوزه آبخیز واز استان مازندران با استفاده از انگشت‌نگاری. *علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۷(۲)، ۲۹۹-۳۱۱. doi: 10.47176/jwss.27.2.15181
- شاهوردی قهفرخی، شعله، نیکو، شیما، مشهدی، ناصر، جنیدی جعفری، حامد، و کیانیان، محمدکیا (۱۳۹۵). بررسی توان رسوب‌زایی لندفرم‌ها براساس تغییر در کاربری اراضی (مطالعه موردی: دامغان). *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۵(۱۲)، ۳۷-۵۰.

عرب‌خدری، محمود، فیض‌نیا، سادات، و کمالی، کوروش (۱۳۹۷). نگاهی به دانه‌بندی رسوبات معلق رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و تأثیر آن در سامانه‌های استحصال سیلاب. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۲(۴۱)، ۷۳-۸۴. doi: 20.1001.1.20089554.1397.12.41.10.9

References

- Abbasi, M., Feiznia, S., Abbasi, H.R., Kazemi, Y., & Qarnjik, A. (2011). Studies on the grain size and mineralogy of sediments in determining the provenance of the Balochestan sand dunes. *Iranian Rangeland and Desert Research*, 18(3), 441-451. doi: 10.22092/ijrdr.2011.102176 [In Persian].
- Allen, T. (1983). Critical review of particle size analysis. *Powder Metallurgy*, 26(2), 95-100.
- Amini, A., Ghandhari, S., & Rezaei, H. (2021). New approach in comparative study of laser granulometry and hydrometry results, in fine-grained sediments (Case study: Loess of Golestan province). *Applied Sedimentology*, 16(8), 1-7. doi: 10.22084/psj.2020.3615 [In Persian]
- Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E., & Sparks, D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348(6235), 126071.
- Arabkhedri, M., Feiznia, S., & Kamali, K. (2018). Attitude on River Suspended Sediment Grain-size in Arid and Semi-arid Regions of Iran and Its Impact on Floodwater Harvesting Systems TT -. *Ijwmse*, 12(41), 73-84. doi: 20.1001.1.20089554.1397.12.41.10.9 [In Persian].
- Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Mosaddeghi, M. R., & Schulin, R. (2013). Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111, 72-79. doi: 10.1016/j.catena.2013.07.001
- Bittelli, M., Pellegrini, S., Olmi, R., Andrenelli, M. C., Simonetti, G., Borrelli, E., & Morari, F. (2022). Experimental evidence of laser diffraction accuracy for particle size analysis. *Geoderma*, 409, 115627. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115627
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248. doi: 10.1002/esp.261
- Callesen, I., Keck, H., & Andersen, T. J. (2018). Particle size distribution in soils and marine sediments by laser diffraction using Malvern Mastersizer 2000—method uncertainty including the effect of hydrogen peroxide pretreatment. *Journal of Soils and Sediments*, 18, 2500-2510. doi: 10.1007/s11368-018-1965-8
- Dedkov, A. P., & Moszherin, V. I. (1992). Erosion and sediment yield in mountain regions of the world. *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions*, 209, 29-36.
- Deng, J., Li, J., Deng, G., Zhu, H., & Zhang, R. (2017). Fractal scaling of particle-size distribution and associations with soil properties of Mongolian pine plantations in the Mu Us Desert, China. *Scientific Reports*, 7(1), 6742. doi: 10.1038/s41598-017-06709-8
- Duodu, G. O., Goonetilleke, A., & Ayoko, G. A. (2016). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*, 219, 1077-1091. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.008
- Filgueira, R. R., Fournier, L. L., Cerisola, C. I., Gelati, P., & Garcia, M. G. (2006). Particle-size distribution in soils: A critical study of the fractal model validation. *Geoderma*, 134(3-4), 327-334. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.03.008
- Fischer, G, Shah, M. M., & Van Velthuizen, H. T. (2002). Climate change and agricultural vulnerability. *Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3-26. doi: 10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D
- Galacgac, J. A., & Ooi, P. S. K. (2018). Use of a laser diffractometer to obtain the particle size distribution of fine-grained soils. *Transportation Research Record*, 2672(52), 1-11. doi: 10.1177/0361198118755712
- Gao, Y., Tariq, A., Zeng, F., Sardans, J., Penuelas, J., Zhang, Z., Islam, W., & Xu, M. (2022). "Fertile islands" beneath three desert vegetation on soil phosphorus fractions, enzymatic activities, and microbial biomass in the desert-oasis transition zone. *Catena*, 212, 106090. doi: 10.1016/j.catena.2022.106090
- Garcia-Ruiz, J.m. (2015). Why geomorphology is a global science. doi: 10.18172/cig.2652
- Gee, G. W. (1986). Particle size analysis. *Methods of Soil Analysis/ASA and SSSA*.
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*, 5, 255-293. doi:

- 10.2136/sssabookser5.4.c12
- Goossens, D. (2008). Techniques to measure grain-size distributions of loamy sediments: a comparative study of ten instruments for wet analysis. *Sedimentology*, 55(1), 65–96. doi: 10.1111/j.1365-3091.2007.00893.x
- He, Y., & Lv, D. (2022). Fractal expression of soil particle-size distribution at the basin scale. *Open Geosciences*, 14(1), 70–78. doi: 10.1515/geo-2022-0338
- Hillel, D. (2012). Soil and water: physical principles and processes. *Elsevier*.
- Hjulstrom, F. (1935). Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. *The Geological institution of the University of Upsala*.
- ISO, I. S. O. (2001). 9276-2 Representation of results of particle size analysis—Part 2: Calculation of average particle sizes/diameters and moments from particle size distributions. *ISO, Geneva*.
- Joghatayi, H., Dabiri, R., & Moslempour, M.E. (2021). Spatial distribution and pollution assessment of Cr, Ni and Co in Joghatay ophiolitic region soils (NW Sabzevar), by statistical analysis and sequential extraction. *J. Env. Sci. Tech.*, 23(8), 19-35. doi: 10.30495/jest.2021.9133 [In Persian].
- Karimi, N., Gholami, L., Kaviani, A., & Khaledi Darvishan, A. (2024). Tracing suspended and bed sediments during high and low water periods using geochemical characteristics-Case study: Vazrood watershed, northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 21(2), 470–483. doi: 10.1007/s11629-023-8117-3
- Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S. H. R., & Gholami, L. (2011). Effects of erosion sensitivity and different land uses on morphometric characteristics of bed sediments (Case Study: Vazrood River). *Water and Soil Science*, 21(4), 139–151.[In Persian].
- Khatibi Roudbarsara, D., Khaledi Darvishan, a., & Alavi, J. (2023). Evaluation of erosion sensitivity of lithological units in Vaz watershed, Mazandaran province using fingerprinting TT -. *JSTNAR*, 27(2), 299–311. doi: 10.47176/jwss.27.2.15181 [In Persian].
- Kumar, A., Gokhale, A. A., Shukla, T., & Dobhal, D. P. (2016). Hydroclimatic influence on particle size distribution of suspended sediments evacuated from debris-covered Chorabari Glacier, upper Mandakini catchment, central Himalaya. *Geomorphology*, 265, 45–67. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.04.019
- Lal, R. (1998). Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17(4), 319–464.
- Li, J., Wang, Z., Wu, X., Chen, J., Guo, S., & Zhang, Z. (2020). A new framework for tracking flash drought events in space and time. *Catena*, 194, 104763. doi: 10.1016/j.catena.2020.104763
- Lou, B. Y., Wang, Y. D., Zhou, N., Yan, J. S., & Akida, A. (2022). Soil particle size composition characteristics of Pinus sylvestris plantations in Nur-Sultan City. *Arid Land Geogr*, 45, 219–225.
- Rabot, E., Wiesmeier, M., Schluter, S., & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, 122–137. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.11.009
- Ramos-Scharron, C. E., & MacDonald, L. H. (2005). Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands. *Earth Surface Processes and Landforms. The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30(10), 1283–1304. doi: 10.1002/esp.1201
- Rasmussen, C. (2020). Particle sizing in geosciences: explanation of various techniques and pre-treatments.
- Savat, J. (1982). Common and uncommon selectivity in the process of fluid transportation: field observations and laboratory experiments on bare surface.
- Shahverdi, S., Niko, Sh., Mashadi, N., Joneidi, H., & Kianian, M. K. (2022). Study of landforms sedimentation based on changes in land use (Case Study: Damghan). *Desert Ecosystem Engineering*, 5(12), 37–50. [In Persian]
- Singh, P. (2010). Geochemistry and provenance of stream sediments of the Ganga River and its major tributaries in the Himalayan region, India. *Chemical Geology*, 269(3–4), 220–236. doi: 10.1016/j.chemgeo.2009.09.020
- Taleshpour, S., Taghavi, L., & Nasrollahzadeh Sarvari, H. (2021). Determination of heavy metals contamination in based on land accumulation and ecological risk potential (Case study: Sediments of Caspian Sea coastal rivers) TT . *JOC*, 12(46), 100–108. doi: 10.52547/joc.12.46.100
- Ventra, D., & Nichols, G. (2013). Autogenic dynamics of alluvial fans in endorheic basins: outcrop examples and stratigraphic significance. *Sedimentology*, 61(3), 767-791. doi: 10.1111/sed.12077
- Wang, N., Eziz, M., Mao, D., & Sidekjan, N. (2023). Fractal Characteristics of the Particle Size Distribution of Soil along an Urban–Suburban–Rural–Desert Gradient. *Land*, 12(12), 2120. doi: 10.3390/land12122120
- Wolman, MG. (1963). Erosion and Sedimentation. Thirteenth General Assembly International Union of Geodesy and Geophysics, 559.
- Xu, G., Li, Z., & Li, P. (2013). Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen

- distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China. *Catena*, 101, 17–23. doi: 10.1016/j.catena.2012.09.013
- Zamanzadeh, S. M., & Anosheh, M. (2013). An investigation of granulometric parameters in wind environment Case study: Band-e rig Kashan. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(87), 93–98. doi: 10.1001.1.25883860.1392.22.87.16.7
- Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Mirbagheri, Z., Mosaddeghi, M.R., & Xu, M. (2021). Spatial prediction of soil aggregate stability and soil organic carbon in aggregate fractions using machine learning algorithms and environmental variables. *Geoderma Regional*, 27, e00440. doi: 10.1016/j.geodrs.2021.e00440
- Zhao, C., Jia, X., & Zhang, C. (2016). Particle size distribution of soils (0–500 cm) in the Loess Plateau, China. *Geoderma Regional*, 7(3), 251–258. doi: 10.1016/j.geodrs.2016.05.003
- Zhao, J., Liu, L., Zhang, Y., Wang, X., & Wu, F. (2018). A novel way to rapidly monitor microplastics in soil by hyperspectral imaging technology and chemometrics. *Environmental Pollution*, 238, 121–129. doi: 10.1016/j.envpol.2018.03.026