

Analysis of selected soil physical and chemical properties in peak ground acceleration zones within the Talar Watershed, Mazandaran Province

Nafiseh Ashtari¹ , Kazem Nosrati²  

1. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: n_ashtari@sbu.ac.ir

2. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

30 March 2024

Received in revised form:

29 May 2024

Accepted:

9 July 2024

Available online:

23 August 2024

Keywords:

Soil Particles,
Acceleration,
Talar Watershed,
Soil Transport.

ABSTRACT

Soil erosion is one of the basic problems of watersheds. Soil erodibility is related to factors such as physical and chemical properties of soil. Talar watershed is one of the tectonically active basins in Mazandaran province. The study aims to conduct a detailed analysis of the relationship between ground acceleration and soil properties. In order to compare the effect of acceleration on the soil, the ranges of high acceleration (0.5-0.6) g and low (0.3-0.4) g were determined in sub-basins 1 and 2 of Talar basin. Then, 40 soil samples were collected from different sub-basins, soil texture, organic carbon, and liquid limit tests were conducted, and the relationship between ground acceleration and soil physical properties was investigated using linear regression analysis. The results showed that the highest correlation coefficients in the high acceleration of sub-basin 1 and 2 for the sand variables were -0.97 and -0.95, and the silt variables were -0.97, 0.81, and 0.77, respectively. At low acceleration, sub-basin 1 sand is -0.93, silt 0.84, clay 0.78, organic carbon 0.72, liquid limit 0.74, and sub-basin 2 sand is -0.94. The relationship between the acceleration factor and the physical and chemical properties of the soil is not always linear and is highly dependent on the natural characteristics of the watershed. The analysis of the variables in the acceleration ranges showed that in the high acceleration areas (0.5-0.6) g, the peak acceleration factor has a direct effect on the transfer and displacement of soil particles (sand and silt). These results will benefit environmental managers and decision-makers by creating a scientific basis for planning to reduce erosion.

Cite this article: Ashtari, N., & Nosrati, K. (2024). Spatiotemporal Analysis of Wildfire Distribution in Iran Using Satellite Data: Identifying High-Risk Regions and Critical Periods. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (2), 111-124.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.383746.1007844>



© The Author(s)

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Soil erosion is widely regarded as a primary cause of soil degradation, primarily due to its removal of topsoil and essential organic matter, which are vital for plant growth. One significant factor influencing erosion is peak ground acceleration (PGA), a measure of the potential ground acceleration resulting from an earthquake. Here, the peak ground acceleration accurately measures an area's seismicity status since it depends strongly on the frequency of large and small earthquakes. PGA serves as a direct indicator of tectonic activity. Various physical and chemical properties, including soil texture, organic matter content, pH, and permeability, influence soil erodibility. Given that the Talar drainage basin is a seismically active area with notable erosion and sedimentation, this study aims to examine changes in the selected soil physical and chemical properties at varying levels of PGA to understand its impact on sediment transport and erosion within the Talar drainage basin.

Methodology

The probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) method was used to determine the level of ground motion at a given place. To analyze and assess seismic hazards and determine the response of each basin area, it is necessary to study the seismicity trend in the basin in question. This study used the zoning map of peak ground acceleration (PGA), obtained through seismic hazard analysis, as an erosion control factor. To assess physical soil properties, such as soil texture, soil organic carbon, and liquid limit, 40 soil samples were collected from the Talar drainage basin as 20 from sub-basin 1 and 20 from sub-basin 2. Sampling was conducted in areas with high (0.5–0.6 g) and low (0.3–0.4 g) PGA, with 10 samples collected at each acceleration range from 0–20 cm depth in each sub-basin. Soil texture was analyzed using the hydrometer method to determine sand, silt, and clay content. Soil organic carbon was measured via the loss-on-ignition (LOI) method, as described by Nelson and Sommer (1982). The liquid limit, which is relevant for fine-grained soils, was tested using the

Casagrande cup. In this analysis, PGA served as the independent variable. At the same time, soil properties such as sand, silt, clay, organic carbon, and liquid limit were treated as dependent variables in sub-basins 1 and 2 across high and low acceleration zones.

The Talar drainage basin is situated along the Qaimshahr-Tehran axis, spanning geographic coordinates from 52° 35' 22" to 53° 23' 34" east longitude and 35° 44' 23" to 36° 19' 01" north latitude. The main channel is 100 km long. The main and active faults in the Talar watershed, are IRQ112 and IRQ 357. The main formations in the study area are Shemshak, Elika, Karaj, Lar with sandstone, conglomerate, dolomitic limestone, marl and shale lithologies. The main land use types comprise cultivated lands and orchards (80.8 km², 3.9%), rangelands (730.9 km², 34.7%), forests (1280.5 km², 60.8%), and residential areas (12.8 km², 0.6%). Important cities and villages in the basin can be mentioned as Pol Sefid, Alasht, Doab, Zirab.

Results and discussion

In sub-basin 1, soil textures include sandy loam, loam, and occasionally clay-sandy loam, while in sub-basin 2, the texture is predominantly sandy loam. In high-acceleration zones, the correlation coefficients of sand, silt, clay, organic carbon, and liquid limit with peak ground acceleration (PGA) in sub-basin 1 are -0.97, 0.77, 0.55, 0.33, and 0.46, respectively. Sub-basin 2 coefficients are -0.95, 0.81, 0.64, 0.31, and 0.68, respectively. For low-acceleration zones in sub-basin 1, the correlations of PGA with sand, silt, clay, organic carbon, and liquid limit are -0.93, 0.84, 0.78, 0.72, and 0.74, respectively, while in sub-basin 2, the values are -0.94, 0.30, 0.46, 0.43, and 0.46, respectively. In sub-basin 1, when sand and silt were entered as dependent variables, the PGA showed significant correlations ($p=0.01$), with correlation coefficients of $r=0.97$ and $r=0.77$, respectively. The resulting regression models are:

$$\begin{aligned}\text{Sand} &= 134.5 - 144.8 * \text{PGA} & \text{Silt} \\ &= -21.8 + 88 * \text{PGA}\end{aligned}$$

In low-acceleration areas of sub-basin 1, PGA was significantly correlated ($p < 0.05$) with sand ($p = 0.01$), silt ($p = 0.002$), clay ($p = 0.008$), organic carbon ($p = 0.019$), and liquid limit ($p = 0.015$), with correlation coefficients of 0.93, 0.84, 0.78, 0.72, and 0.74, respectively. The regression equations for these variables are:

$$\text{Sand} = 140.3 - 222.6 * \text{PGA} \quad \text{Silt} = -13.9 + 110.5 * \text{PGA}$$

$$\text{Clay} = -26.4 + 112.1 * \text{PGA} \quad \text{Organic carbon} = -28.6 + 124.4 * \text{PGA} \quad \text{Liquid limit} = -6.2 + 20.7 * \text{PGA}$$

In high-acceleration areas of sub-basin 2, the correlation coefficients for sand, silt, and liquid limit with PGA are 0.95, 0.81, and 0.68, respectively, with regression equations as follows:

$$\text{Sand} = 175.6 - 209.1 * \text{PGA} \quad \text{Silt} = -45.2 + 127.3 * \text{PGA} \quad \text{Liquid limit} = -41 + 105.6 * \text{PGA}$$

For low-acceleration areas in sub-basin 2, the PGA's correlation with sand was 0.94 ($p = 0.01$), with the regression model: $\text{Sand} = 95.31 - 92.1 * \text{PGA}$.

Overall, a non-linear correlation exists between PGA and soil erosion, influenced by the basin's unique characteristics. Key factors include the minimum PGA threshold required to initiate soil particle displacement, increased erosion with higher PGA, and the effects of earthquake frequency, magnitude, and duration. Extended shaking destabilizes particles, particularly in soils with low cohesion and high moisture content. PGA influences soil cohesion, pore pressure, and displacement, particularly on steep slopes where gravitational forces amplify erosion. The findings indicate that high-acceleration areas significantly impact soil particle transport (e.g., sand and silt) in both sub-basins, underscoring the role of PGA in erosion processes.

Conclusion

The values of PGA vary in the Talar drainage basin. Due to several active faults in the region, the highest value of PGA (0.6 g) exists in sub-basins 1 and 2. The placement of erosion-prone formations in peak ground acceleration zones accelerates sediment yield and erosion. High-acceleration areas strongly influence PGA

on soil erosion, particle movement, and sediment yield. Analysis of soil properties of sand, silt, clay, organic carbon, and liquid limit in high- and low-acceleration sub-basins 1 and 2 highlights PGA's direct impact on soil particle displacement and movement.

Funding

We acknowledge the support of Grant number 600.871 funded by the research council of Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgment

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

تحلیل برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در حوضه آبخیز تالار استان مازندران

نفیسه اشتري^۱، کاظم نصرتي^۲

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: n_ashtari@sbu.ac.ir

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: k_nosrati@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۱۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۴/۱۹

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۶/۰۲

واژگان کلیدی:

ذرات خاک،

شتاب،

حوضه تالار،

انتقال خاک.

فرسایش خاک یکی از مشکلات اساسی حوضه‌های آبخیز است. فرسایش‌پذیری خاک با عواملی چون، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مرتبط است. حوضه آبخیز تالار از جمله حوضه‌های فعال تکتونیکی در استان مازندران است. هدف از مطالعه، تحلیل دقیق رابطه بین شتاب زمین و خصوصیات خاک است. جهت مقایسه اثر شتاب بر خاک محدوده‌های شتاب بالا $g(0.6-0.5)$ و پایین $g(0.4-0.3)$ در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ حوضه تالار تعیین شدند. سپس ۴۰ نمونه خاک از زیرحوضه‌های مختلف جمع‌آوری شده و آزمایش‌های بافت خاک، کربن آلی و حد روانی انجام و با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی به بررسی رابطه بین شتاب زمین و خصوصیات فیزیکی خاک پرداخته شد. نتایج نشان داد که بیشترین ضرایب همبستگی در شتاب بالا زیرحوضه ۱ و ۲ برای متغیرهای ماسه $0.97-0.95$ و سیلت $0.77-0.81$ بود. در شتاب پایین، زیرحوضه ۱ ماسه $0.93-0.84$ سیلت $0.78-0.72$ کربن آلی 0.72 ، حد روانی 0.74 و زیرحوضه ۲ ماسه $0.94-0.88$ است. رابطه عامل شتاب با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک همیشه به صورت خطی نبوده و بسیار وابسته به ویژگی‌های طبیعی حوضه آبخیز است. تحلیل متغیرها در محدوده‌های شتاب نشان داد که در مناطق شتاب بالا $g(0.6-0.5)$ ، عامل بیشینه شتاب تاثیر مستقیمی بر انتقال و جابه‌جایی ذرات خاک (ماسه و سیلت) دارد. این نتایج با ایجاد یک مبنای علمی در جهت برنامه‌ریزی برای کاهش فرسایش برای مدیران و تصمیم‌گیران محیط‌زیست سودمند خواهد بود.

استناد: اشتري، نفیسه و نصرتي، کاظم. (۱۴۰۳). تحلیل برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در حوضه آبخیز تالار استان مازندران. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۲)، ۱۱۱-۱۲۴.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2024.383746.1007844>

مقدمه

فرسایش خاک به عنوان عامل اصلی تخریب خاک در نظر گرفته شده است، زیرا فرسایش خاک منجر به از بین رفتن خاک سطحی و مواد آلی خاک می‌شود که برای رشد گیاهان ضروری است (Phuong et al, 2017: 87). درک مکانیسم‌ها و عوامل کنترل‌کننده نرخ فرسایش از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا آن‌ها با فرآیندهای بزرگ‌تری مانند حرکت صفحات تکتونیکی و تغییرات آب و هوایی مرتبط هستند (Hecht & Oguchi, 2017: 1). یکی از عواملی که باعث افزایش فرسایش و رسوب می‌شود فعالیت‌های لرزه‌خیزی و بیشینه شتاب زمین است (Vanmaercke et al, 2014: 1). بیشینه شتاب زمین برابر با حداکثر شتاب زمینی است که در هنگام لرزش زمین‌لرزه در یک مکان رخ داده است و برابر است با دامنه بزرگترین شتاب مطلق ثبت شده در یک شتاب‌نگار در یک مکان در طول یک زلزله خاص (Douglas, 2003: 2). بنابراین، نشانگر مستقیم فعالیت تکتونیکی است (Hecht and Oguchi, 2017: 1). شاخص بیشینه شتاب زمین به شدت به فراوانی زمین‌لرزه‌های بزرگ و کوچک بستگی دارد و اندازه‌گیری درستی از وضعیت لرزه‌خیزی یک منطقه را ارائه می‌دهد (Vanmaercke et al, 2014: 4). از جمله نتایج فعالیت‌های لرزه‌خیزی در سنگ‌ها افزایش میزان هوازدگی و حساسیت به فرسایش است (Portenga & Bierman, 2011: 5; Koons et al, 2012: 168). شناسایی مناطق بحرانی حوضه آبخیز در شاخص بیشینه شتاب زمین و نقش این مناطق در تولید رسوب و فرسایش خاک یکی از مباحثی است که کمتر مورد توجه محققان بوده است (اشتری و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۲۱). فرسایش‌پذیری خاک با عوامل دیگری چون، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت، محتوای آلی، pH و نفوذپذیری مرتبط است (Veon & Miller, 1977: 68). بافت خاک اساسی‌ترین ویژگی فیزیکی خاک است که آب، مواد مغذی، مبادله اکسیژن را کنترل می‌کند و بیشتر فرایندهای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Schoenholtz et al, 2000: 336). عامل دیگر کربن آلی خاک است که از مهم‌ترین عوامل موثر بر کیفیت خاک بوده و پتانسیل زیادی برای تغییر در اثر مدیریت‌های مختلف دارد (فلاح‌زاده و حاج عباسی، ۱۳۹۰). از جمله پژوهش‌های انجام شده در ایران و جهان در ارتباط با بیشینه شتاب زمین و خصوصیات خاک به اختصار به چند مورد اشاره می‌گردد. نصرتی ۱۳۹۰ ذخیره کربن آلی و نیتروژن خاک را در دو حوزه هیو و زیدشت بررسی کرد و مشخص گردید ذخیره کربن آلی و نیتروژن خاک در اراضی باغ تحت تأثیر فرسایش سطحی بیش از سایر کاربری‌ها بود. واعظی و عبادی ۱۳۹۶ توزیع اندازه ذرات در اثر فرسایش سطحی را بررسی کردند. نتایج نشان داد ذرات سیلت بیشترین سهم مواد فرسایش یافته را شامل شدند. فرومدی و همکاران ۱۳۹۹ به بررسی حساسیت خاک‌های با بافت مختلف به فرسایش بین شیاری در استان زنجان پرداختند. نتایج نشان داد خاک لوم، حساس‌ترین بافت خاک به فرسایش بین شیاری بود. عبدالمحمدی و همکاران ۱۴۰۰ به تحلیل اثر تغییر کاربری اراضی بر روی خصوصیات خاک در حوزه آبخیز هلشی کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد متوسط وزن مخصوص ظاهری، پایداری خاک‌دانه و کربن آلی در کاربری جنگل بیشتر بوده است. اشتری و همکاران ۱۴۰۲ به تخمین سهم نسبی رسوبات سطحی و زیرسطحی درحوضه تالار پرداختند. نتایج نشان داد محدوده‌های بیشینه شتاب زمین سهم قابل توجهی در انتقال رسوبات در زیرحوضه ۱ داشتند. صیدی و همکاران، ۲۰۱۶ به بررسی اثرات ویژگی‌های خاک بر فرسایش پاشمانی در منطقه لردگان پرداختند. نرخ فرسایش پاشمانی کل خاک (TSE)، پایین شیب (DSE) و شیب بالا (USE) اندازه‌گیری شدند. یافته‌ها نشان داد اثرات اندازه ذرات بر فرسایش پاشمانی خاک به طور

1. PGA
2. Total Soil Splash erosion
3. Downslope erosion
4. Upslope erosion

کلی در شیب‌های بالاتر و شدت بارندگی مشاهده نشد. یانگ^۵ و همکاران ۲۰۲۱ اثرات لرزه‌ای بر ۱۱ مدل خاک بررسی کردند. بیشینه شتاب زمین، بیشینه سرعت زمین^۶، بیشینه جابجایی زمین^۷ و شتاب طیفی^۸ انجام شد. نتایج نشان داد وقتی خاک سیلنتی رسی در زمین و لایه‌های پایین خاک باشد، اثرات بیشینه شتاب زمین بر شدت حرکت بالا ظاهر می‌شود. اشتری و همکاران ۲۰۲۳ به منشایابی رسوبات در حوضه آبخیز تالار پرداختند. نتایج نشان داد لرزه‌خیزی و شتاب نقش مهمی در تولید رسوبات منطقه داشته است. دی فیلیپو^۹ و همکاران ۲۰۲۴ به بررسی پاسخ‌های لرزه‌ای در نهشته‌های خاکی با استفاده از کد کامپیوتری Deepsoil پرداختند. نتایج نشان داد که عامل تشدید چینه‌شناسی به طور قابل توجهی تحت تأثیر شتاب اوج رخنمون و عمق سنگ بستر است.

با مرور پژوهش‌های ذکر شده، آنچه مسلم است، مطالعه‌ای که ارتباط بین وضعیت بیشینه شتاب زمین را با فاکتورهای مهمی چون کربن آلی خاک، بافت خاک، حد روانی خاک و در حالت کلی فرسایش خاک باشد انجام نشده است. با توجه به اینکه حوضه آبخیز تالار یک حوضه فعال به لحاظ لرزه‌خیزی، فرسایش و رسوب است، هدف از مطالعه حاضر تحلیل تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک در سطوح مختلف بیشینه شتاب زمین در جهت انتقال رسوب و ایجاد فرسایش در حوضه آبخیز تالار است.

روش پژوهش

به منظور تحلیل خطر احتمالی زلزله نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب‌زمین به عنوان عامل کنترل‌کننده فرسایش که در مطالعه Ashtari و همکاران ۲۰۲۳ برای حوضه تالار تخمین زده شد، مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب‌زمین مطابق با روش تحلیل خطر احتمالی لرزه‌ای است که در سایر مطالعات (Eluyemi et al., 2020; Barakat et al, 2024) نیز از این روش استفاده شده است. در مطالعه اشتری و همکاران ۲۰۲۳، به منظور تحلیل خطر لرزه‌ای فهرستی از زمین‌لرزه‌ها بین سال‌های ۱۹۳۵ تا ۲۰۲۰ گردآوری شده است. کمی‌سازی لرزه‌خیزی با بهره‌گیری از قانون گوتنبرگ-ریشتر با استفاده از نحوه توزیع زلزله‌ها و بزرگای آن‌ها پارامترهای لرزه‌خیزی a و b استخراج گردید. تعیین تابع چگالی احتمال فاصله ساختگاه از چشمه لرزه‌ای و تعیین تابع چگالی احتمال بزرگی زلزله محتمل در پهنه یا ساختگاه مورد نظر نیز انجام شد. در نهایت از روابط کاهندگی برای پیش‌بینی بیشینه شتاب زمین استفاده شد. تمامی مراحل در قالب فرآیند روش پژوهش در (شکل ۱) ارائه شده است.

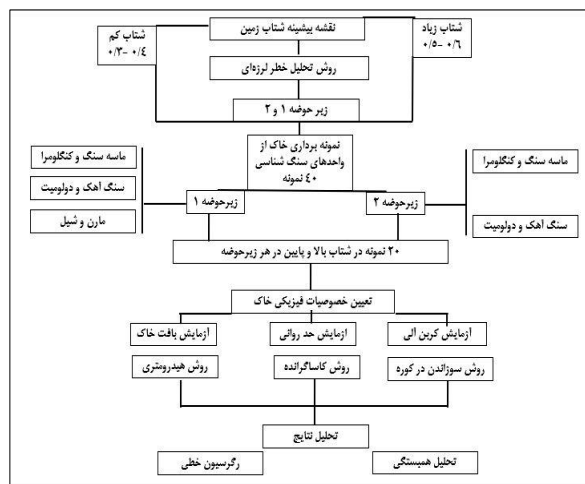
5. Yang

6. Peak ground velocity (PGV)

7. Peak Ground Displacement (PGD)

8. Spectral acceleration (Sa)

9. Di Filippo



شکل ۱. فرآیند روش پژوهش

تعیین خصوصیات فیزیکی خاک در محدوده‌های شتاب $g (0.3-0.4)$ و $g (0.5-0.6)$

با توجه به (شکل ۱) نقشه ارائه شده مناطق با شتاب زمین بالا $g (0.5-0.6)$ و پایین $g (0.3-0.4)$ را مشخص می‌کند و این اطلاعات برای انتخاب نمونه‌های خاک و تحلیل‌های رگرسیون در بخش‌های بعدی استفاده شده است. با توجه به نتایج اخیر مطالعه Ashtari و همکاران (۲۰۲۳) که مشخص گردید زیرحوضه ۳ نقش بسیار ناچیزی در تولید رسوب دارد، بنابراین در این مطالعه زیرحوضه ۱ و ۲ که تاثیر بیشتری در میزان تولید رسوب داشته‌اند، بررسی شدند. به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی خاک مانند بافت خاک، کرنش آلی خاک و حد روانی در محدوده بالای شتاب $g (0.6-0.5)$ و مقایسه با محدوده‌های پایین شتاب $g (0.4-0.3)$ ۴۰ نمونه خاک شامل ۲۰ نمونه در زیرحوضه ۱ و ۲۰ نمونه در زیرحوضه ۲ جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک در هر دو زیرحوضه از عمق ۲۰-۵۰ سانتی‌متری خاک بوده، که شامل ۱۰ نمونه در محدوده شتاب بالا $g (0.6-0.5)$ و ۱۰ نمونه در محدوده شتاب پایین $g (0.4-0.3)$ است. به منظور اینکه نمونه‌ها معرف کاملی از منطقه باشند برای هر نمونه در یک شعاع ۱۰۰ متری حدود ۱۰ نمونه برداشت شد و پس از مخلوط کردن ۱ کیلوگرم از آن نمونه برداشت گردید. مطابق با نقشه واحدهای سنگ‌شناسی (شکل ۱) نمونه‌های جمع شده در زیر حوضه ۱ از سازندهای زمین‌شناسی (کنگلومرا و ماسه‌سنگ)، (سنگ آهک و دولومیت) و (مارن و شیل) است که در هر دو محدوده شتاب قرار گرفته‌اند. در زیرحوضه ۲ نیز نمونه‌ها در هر دو محدوده شتاب در بردارنده سازندهای (ماسه‌سنگ و کنگلومرا) و (سنگ آهک و دولومیت) هستند واحد (مارن و شیل) به دلیل عدم پوشش در محدوده شتاب $g (0.4-0.3)$ از بررسی‌های خصوصیات فیزیکی خاک حذف شده است.

بافت خاک

در این آزمایش تمام نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده می‌شوند. سپس ۵۰ گرم از هر نمونه وزن شده و با ۵۰ سی‌سی محلول هگزا متا فسفات سدیم ترکیب شد. مخلوط حاضر به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی قرار گرفتند. پس از این مرحله به مدت ۳۰ دقیقه بر روی دستگاه شیکر برقی قرار گرفته تا به خوبی ذرات خاک در محلول مورد نظر ترکیب شوند. در مرحله بعد مخلوط مورد نظر را درون استوانه‌های مدرج یک لیتری ریخته شده و با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شدند. پس از آن به مدت یک دقیقه مخلوط را هم زده و چگالی سنج را درون مخلوط قرار می‌دهیم، قرائت اول H1 (مقدار رس و سیلت) و T1 دمای مخلوط پس از ۴۰ ثانیه است. پس از گذشت ۲ ساعت قرائت

دوم H2 (مقدار رس) و T2 دمای مخلوط نیز انجام می‌شود. مقدار شن نیز از تفاضل مقدار رس و سیلت حاصل می‌شود پس از تعیین درصد ذرات خاک با استفاده از مثلث بافت خاک، بافت خاک را بدست می‌آوریم (فیض‌نیا، ۱۳۸۷).

کربن آلی خاک

اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش LOI توسط نلسون و^۱ سامر (۱۹۸۴) ارائه گردید. به منظور برآورد کربن آلی خاک از روش سوزاندن در کوره استفاده شد. در مرحله اول از هر یک از نمونه‌های خاک ۵ گرم وزن کرده و به بوتله‌های چینی که وزن این بوتله‌ها نیز از قبل یادداشت شده منتقل می‌شود. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند. پس از سرد شدن وزن دقیق نمونه‌ها به عنوان وزن اولیه اندازه‌گیری می‌شوند. در مرحله دوم نمونه‌ها در کوره در دمای ۳۵۰ درجه به مدت ۱۶ ساعت حرارت داده می‌شوند. پس از سرد شدن نمونه‌ها، وزن آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری می‌شود که به عنوان وزن ثانویه در نظر گرفته می‌شود. مواد آلی خاک از رابطه (۱) با محاسبه وزن از دست‌رفته در دو دمای ۱۰۵ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید.

$$\text{SocLOI(gkg-1)} = \frac{100 \times (\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه})}{\text{وزن اولیه}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

حد روانی خاک

برای انجام این آزمایش ابتدا ۲۵۰ گرم از نمونه‌های خاک از الک شماره ۴۰ (۴۲۵ میکرون) عبور داده شدند. سپس به هر یک مقداری آب اضافه شد. پس از آن از خمیرهای تهیه شده را به آرامی درون جام پخش می‌کنیم. سپس شیارزن را در جهت عمود بر سطح جام از بالاترین نقطه لبه جام تا پایین‌ترین نقطه متصل می‌کنیم. دسته جام چرخانده می‌شود. زمانی که شیارهای خاک در طول ۱۲/۷ میلی‌متر به هم متصل شدند برشی از خاک که از یک سر تا سر دیگر خاک با زاویه قائم نسبت به محور شیار امتداد یافته است را طوری بر می‌داریم که بخش به هم رسیده شیار را پوشش دهد. سپس در ظرف درصد رطوبت که از قبل وزن شده است (w1) قرار داده و سپس خاک مرطوب را به همراه ظرف وزن کرده (w2) و به منظور خشک‌شدن نمونه ظرف را در آون با حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه‌روز نگهداری می‌کنیم. پس از سرد شدن نمونه‌ها، ظرف به همراه خاک خشک را وزن کرده (w3) همچنین تعداد ضربات (N) که در هر مرحله باعث بسته شدن شیار شده را نیز یادداشت می‌کنیم. مراحل ذکر شده را برای هر نمونه تا ۳ مرتبه انجام داده و سپس با استفاده از رابطه (۲) برای هر مرتبه درصد رطوبت (w) را تعیین می‌کنیم. به منظور تعیین حد روانی در یک نمودار نیمه لگاریتمی که محور عمودی آن درصد رطوبت و محور افقی آن تعداد ضربه‌ها است برای هر نمونه به صورت جدا درصدهای رطوبت و تعداد ضربات را بر روی نمودار مشخص کرده سپس از ۳ نقطه ترسیم شده بر روی نمودار خط راستی کشیده می‌شود درصد رطوبت این خط با محل برخورد خط قائم در تعداد ۲۵ ضربه به عنوان حد روانی خاک اعلام می‌شود (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۶).

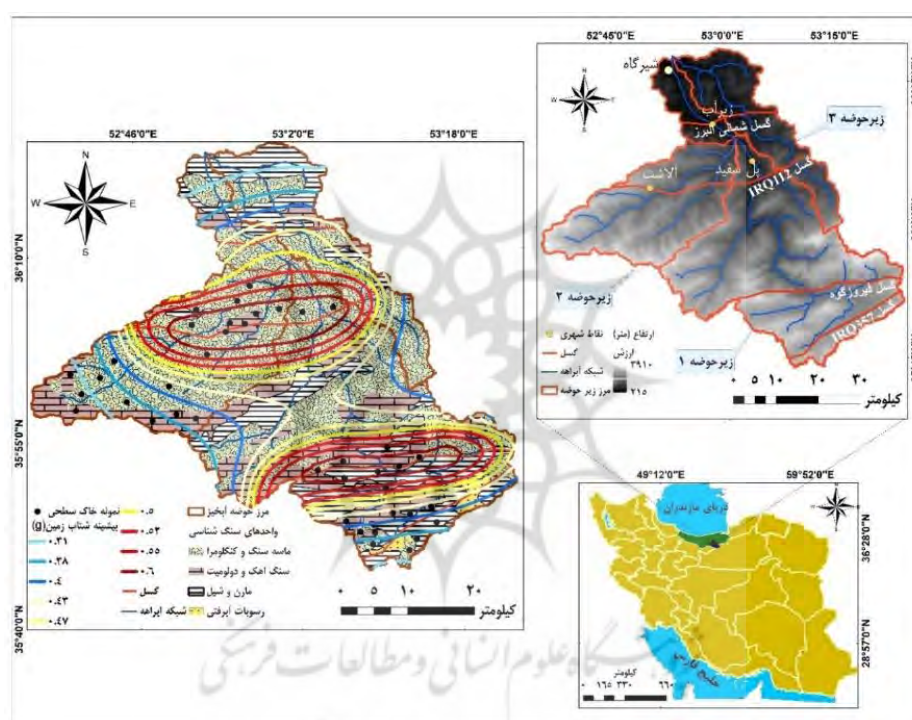
$$W = \frac{(w_2 - w_3)}{(w_3 - w_1)} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

تحلیل رگرسیون خطی

متغیر بیشینه شتاب زمین به عنوان متغیر مستقل و سایر عوامل مانند ماسه، سیلت، رس، کربن آلی و حد روانی به عنوان متغیر وابسته در زیر حوضه‌های ۱ و ۲ در مناطق با شتاب بالا و شتاب پایین انجام شد.

محدوده مورد مطالعه

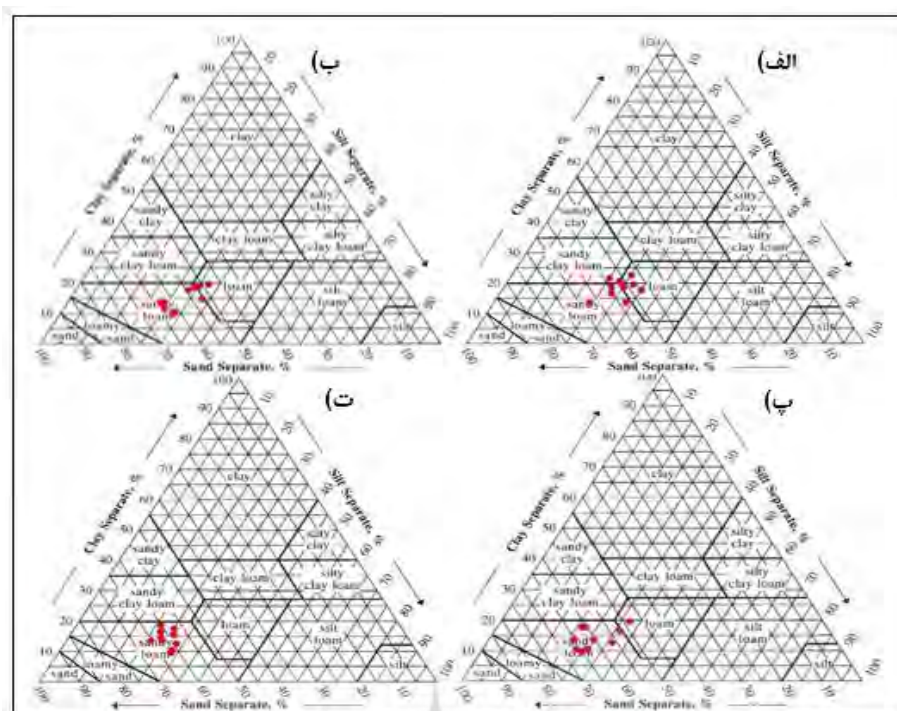
حوضه آبخیز تالار در دو طرف محور قائمشهر-تهران واقع گردیده است. از نظر مختصات جغرافیایی بین طول شرقی $52^{\circ}35'22''$ الی $53^{\circ}23'33''$ و عرض شمالی $35^{\circ}44'23''$ الی $36^{\circ}19'11''$ قرار دارد (شکل ۱). خروجی اصلی حوضه در محل تقاطع رودخانه‌های تالار و کسپیلان که واقع در شهر شیرگاه است، می‌باشد. وسعت حوضه تالار ۲۱۰۵ کیلومتر مربع است. رودخانه تالار رودخانه اصلی این حوضه است که حدود ۱۰۰ کیلومتر طول دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع در محدوده مطالعاتی ۲۱۵ متر و ۳۹۱۰ متر است. مساحت کاربری‌های اصلی در حوضه تالار شامل زمین‌های کشاورزی و باغات ($8/8$ کیلومتر مربع، $3/9\%$)، مراتع ($9/73$ کیلومتر مربع، $34/7\%$)، جنگل‌ها ($5/128$ کیلومتر مربع، $60/8\%$) و مناطق مسکونی ($8/12$ کیلومتر مربع، $0/6\%$) است (شکل ۱). از شهرها و روستاهای مهم درون حوضه می‌توان به پل سفید، آلاشت، دواب، زیرآب، اشاره نمود (گزارش مطالعات جامع حوضه آبخیز تالار، ۱۳۸۰).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها

مطابق (شکل ۲) در زیرحوضه ۱ بافت نمونه‌ها (لومی ماسه‌ای، لومی) و (لومی ماسه‌ای رسی) و در زیرحوضه ۲ (لومی ماسه‌ای) است.



شکل ۲. مثلث بافت خاک در نمونه‌های برداشت شده در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ الف و ب: نمونه‌های خاک زیر حوضه ۱ در مناطق شتاب بالا و پایین پ و ت: نمونه‌های خاک زیر حوضه ۲ در مناطق شتاب بالا و پایین

در زیرحوضه ۱ (جدول ۱) میانگین درصد ذرات ماسه در مناطق شتاب بالا ۵۳/۱۰ و در مناطق شتاب پایین، ۵۷/۷۰ است. در زیرحوضه ۲ نیز در مناطق شتاب بالا (جدول ۲)، ۶۰/۶۰ و در مناطق شتاب پایین، ۶۱/۷۰ است. میانگین درصد ذرات سیلت در زیرحوضه ۱ در مناطق شتاب بالا با اختلاف اندکی با مقدار ۲۸/۲۰ بیشتر از مناطق شتاب پایین با مقدار ۲۷/۱۹ است. در زیرحوضه ۲ نیز در مناطق شتاب بالا ۲۴/۸۰ و در مناطق شتاب پایین ۲۳/۶۰ است. میانگین درصد ذرات رس در زیرحوضه ۱ در محدوده شتاب بالای زمین ۱۸/۷۰ و در محدوده شتاب پایین ۱۵/۲۰ است. در زیر حوضه دو نیز به ترتیب ۱۴/۶۰ و ۱۴/۷۰ است. میانگین کربن آلی در زیرحوضه ۱ در سطح شتاب بالا ۱/۴۵ و در سطح شتاب پایین ۱/۵۳ است. در زیرحوضه ۲ نیز به ترتیب ۳/۰۵ و ۲/۷۵ است. میانگین حد روانی در زیرحوضه ۱ در بخش‌های با شتاب بالا ۲۲/۳۴ و در بخش‌های با شتاب پایین ۱۷/۵۳ است. در زیرحوضه ۲ نیز به ترتیب ۱۷/۱۴ و ۱۷/۶۸ است. میانگین بیشینه شتاب زمین در محدوده شتاب‌های بالا (۰/۵ - ۰/۶) در زیرحوضه ۱، ۰/۵۶ و در زیر حوضه ۲، ۰/۵۵ است. در محدوده شتاب‌های پایین (۰/۳ - ۰/۴) در زیرحوضه ۱، ۰/۳۷ و در زیرحوضه ۲، ۰/۳۶ است.

جدول ۱. مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های زیر حوضه ۱ در محدوده‌های شتاب بالا (۰/۵ - ۰/۶) و شتاب پایین (۰/۳ - ۰/۴)

متغیر	کمینه	بیشینه	شتاب بالا (۰/۵ - ۰/۶)				شتاب پایین (۰/۳ - ۰/۴)			
			میانگین	انحراف معیار	واریانس	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس
ماسه	۴۸	۶۳	۵۳/۱۰	۴/۵۱	۲۰/۳۲	۴۹	۶۴	۵۷/۷۰	۶	۳۶/۰۱
سیلت	۲۳	۳۴	۲۸/۲۰	۳/۴۹	۱۲/۱۸	۲۲	۳۲	۲۷/۱۰	۳/۳۱	۱۰/۹۹
رس	۱۴	۲۳	۱۸/۷۰	۳/۰۶	۹/۳۴	۱۰	۲۰	۱۵/۲۰	۳/۶۱	۱۳/۰۷
کربن آلی	۰/۵۰	۲/۷۶	۱/۴۵	۰/۷۹	۰/۶۲	۰/۴۸	۲/۵۲	۱/۵۳	۰/۷۳	۰/۵۳
حدروانی	۱۶/۸۰	۲۶/۴۰	۲۲/۳۴	۳/۴۲	۱۱/۶۷	۱۲	۲۴	۱۷/۵۳	۴/۲۵	۱۸/۰۵
شتاب	۰/۵۱	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۰۳	۰	۰/۳۳	۰/۴	۰/۳۷	۰/۰۳	۰

جدول ۲. مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های زیر حوضه ۲ در محدوده شتاب بالا (۰/۵ - ۰/۶) g و شتاب پایین (۰/۳ - ۰/۴) g

متغیر	شتاب بالا (۰/۵ - ۰/۶) g					شتاب پایین (۰/۳ - ۰/۴) g				
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس
ماسه	۴۹	۶۷	۶۰/۶۰	۵/۹۵	۳۵/۳۸	۵۸	۶۶	۶۱/۷۰	۲/۳۱	۵/۳۴
سیلت	۲۰	۳۱	۲۴/۸۰	۴/۲۴	۱۷/۹۶	۲۰	۲۷	۲۳/۶۰	۲/۸۴	۸/۰۴
رس	۱۰	۲۰	۱۴/۶۰	۳/۴۷	۱۲/۰۴	۱۰	۱۹	۱۴/۷۰	۲/۹۱	۸/۴۶
کربن آلی	۱/۴۰	۶/۲۰	۳/۰۵	۱/۵۲	۲/۳۲	۱/۵۱	۵/۰۴	۲/۷۵	۱/۱۴	۱/۳۱
حدروانی	۱۲/۳۰	۲۴	۱۷/۱۴	۴/۲۰	۱۷/۶۱	۱۳/۲۰	۲۲/۸۰	۱۷/۶۸	۳/۲۵	۱۰/۵۴
شتاب	۰/۵۱	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۰۳	۰	۰/۳۳	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۰۲	.

تحلیل همبستگی در نمونه‌های خاک‌های زیر حوضه ۱ و ۲

نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نمونه‌های زیر حوضه ۱ و ۲ در مناطق شتاب بالا در (جدول ۳) نمایش داده شده است. مطابق با نتایج تحلیل همبستگی در (جدول ۳) زیرحوضه ۱ در مناطق شتاب بالا، ضرایب همبستگی فاکتورهای ماسه، سیلت، رس، کربن آلی و حدروانی با بیشینه شتاب زمین به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۷۷، ۰/۵۵، ۰/۳۳ و ۰/۴۶ بودند. مطابق با (جدول ۳) در زیر حوضه ۲ نیز ضرایب همبستگی به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۸۱، ۰/۶۴، ۰/۳۱ و ۰/۶۸ بوده است.

جدول ۳. تحلیل همبستگی در نمونه‌های زیر حوضه‌ها در شتاب بالا (۰/۵ - ۰/۶) g. * = سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ** = سطح معنی‌داری ۰/۰۱

ردیف	متغیر	زیرحوضه ۱					زیرحوضه ۲				
		۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
۱	ماسه	۱					۱				
۲	سیلت	-۰/۷۴*	۱				-۰/۸۳**	۱			
۳	رس	-۰/۶۴*	-۰/۰۶	۱			-۰/۷۱*	-۰/۱۸	۱		
۴	کربن آلی	-۰/۳۸	-۰/۲۳	-۰/۸۳**	۱		-۰/۴۴	-۰/۰۹	-۰/۸۷**	۱	
۵	حدروانی	-۰/۵۸	-۰/۱۰	-۰/۹۷**	-۰/۸۴**	۱	-۰/۷۶*	-۰/۲۷	-۰/۹۷**	-۰/۸۳**	۱
۶	شتاب	-۰/۹۷**	-۰/۷۷**	۰/۵۵	۰/۳۳	۰/۴۶	-۰/۹۵**	-۰/۸۱**	-۰/۶۴*	-۰/۳۳	-۰/۶۸*

جدول ۴. تحلیل همبستگی در نمونه‌های زیر حوضه‌ها در شتاب پایین (۰/۳ - ۰/۴) g. * = سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ** = سطح معنی‌داری ۰/۰۱

ردیف	متغیر	زیرحوضه ۱					زیرحوضه ۲				
		۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
۱	ماسه	۱					۱				
۲	سیلت	-۰/۸۵**	۱				-۰/۳۸	۱			
۳	رس	-۰/۸۸**	-۰/۵۰	۱			-۰/۴۳	-۰/۶۸*	۱		
۴	کربن آلی	-۰/۶۶*	-۰/۲۹	-۰/۸۴**	۱		-۰/۲۹	-۰/۶۹*	-۰/۹۰**	۱	
۵	حدروانی	-۰/۸۹**	-۰/۵۷	-۰/۹۶**	-۰/۶۷*	۱	-۰/۴۰	-۰/۶۶*	-۰/۹۷**	-۰/۹۴**	۱
۶	شتاب	-۰/۹۳**	-۰/۸۴**	-۰/۷۸**	-۰/۷۲*	-۰/۷۴*	-۰/۹۴**	-۰/۳۰	-۰/۴۶	-۰/۴۳	-۰/۴۶

نتایج تحلیل همبستگی پیرسون مطابق با (جدول ۴) در زیرحوضه ۱ در مناطق شتاب پایین، همبستگی عامل بیشینه شتاب زمین با شاخص‌های ماسه، سیلت، رس، کربن آلی و حدروانی به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۸۴، ۰/۷۸، ۰/۷۲ و ۰/۷۴ بوده است. در زیرحوضه ۲ مطابق با (جدول ۴) نیز به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۳۰، ۰/۴۶، ۰/۴۳ و ۰/۴۶ بودند.

رگرسیون خطی بین خصوصیات فیزیکی خاک و بیشینه شتاب زمین

در زیر حوضه ۱ در مناطق شتاب بالا با ورود متغیر وابسته ماسه و سیلت به صورت جداگانه در مدل سطح معناداری به ترتیب $(0/01)$ ، $(0/01)$ و ضریب همبستگی برای متغیر بیشینه شتاب زمین به عنوان متغیر مستقل به ترتیب $(r=0/97)$ و $(r=0/77)$ است به دلیل سطح معناداری بیشتر از $0/05$ متغیر مستقل بیشینه شتاب زمین در سایر متغیرهای وابسته رس $(0/09)$ ، کربن آلی $(0/35)$ و حد روانی $(0/18)$ ، این متغیرهای وابسته از تحلیل رگرسیون حذف شدند. بنابراین مدل رگرسیون خطی نهایی برای متغیر ماسه و سیلت بدین شکل بیان می‌گردد.

$$\text{سیلت} = 88 - 21/8 + \text{بیشینه شتاب زمین} \quad \text{ماسه} = \text{بیشینه شتاب زمین} - 144/8 - 134/5$$

در مناطق شتاب پایین در زیر حوضه ۱ متغیر مستقل بیشینه شتاب در سطح معناداری کمتر از $0/05$ با همه متغیرهای وابسته ماسه $(0/01)$ ، سیلت $(0/02)$ ، رس $(0/08)$ ، کربن آلی $(0/19)$ و حد روانی $(0/15)$ است. ضریب همبستگی نیز به ترتیب $(0/93)$ ، $(0/84)$ ، $(0/78)$ ، $(0/72)$ و $(0/74)$ است. مدل رگرسیون نهایی بدین شکل بیان می‌گردد.

$$\text{سیلت} = 13/9 - 110/5 + \text{بیشینه شتاب زمین} \quad \text{ماسه} = 140/3 - 222/6 + \text{بیشینه شتاب زمین}$$

$$\text{کربن آلی} = 28/6 - 124/4 + \text{بیشینه شتاب زمین} \quad \text{رس} = 26/4 - \text{بیشینه شتاب زمین} + 112/1$$

$$\text{حد روانی} = 6/2 - 20/7 + \text{بیشینه شتاب زمین}$$

در زیرحوضه ۲ در مناطق با شتاب بالا ضریب همبستگی متغیر بیشینه شتاب زمین در تحلیل رگرسیون متغیرهای وابسته ماسه، سیلت و حد روانی به ترتیب $0/95$ ، $0/81$ و $0/68$ است. همچنین سطح معناداری نیز به ترتیب $0/01$ ، $0/04$ و $0/03$ است. به دلیل سطح معناداری بیشتر از $0/05$ متغیر مستقل بیشینه شتاب زمین در سایر متغیرهای وابسته رس $(0/05)$ ، کربن آلی $(0/35)$ ، این متغیرهای وابسته از تحلیل رگرسیون حذف شدند. مدل رگرسیون نهایی بدین شکل بیان می‌گردد.

$$\text{سیلت} = 45/2 + 127/3 + \text{بیشینه شتاب زمین} \quad \text{ماسه} = 175/6 - 209/1 + \text{بیشینه شتاب زمین}$$

$$\text{حد روانی} = 41 + 105/6 + \text{بیشینه شتاب زمین}$$

در مناطق شتاب پایین در زیر حوضه ۲ متغیر مستقل بیشینه شتاب با متغیر ماسه دارای ضریب همبستگی $0/94$ و سطح معناداری $0/01$ است. متغیر مستقل بیشینه شتاب در سطح معناداری بیشتر از $0/05$ در کنار سایر متغیرهای وابسته سیلت $(0/40)$ ، رس $(0/18)$ ، کربن آلی $(0/22)$ و حد روانی $(0/18)$ است. مدل رگرسیون نهایی بدین شکل بیان می‌گردد.

$$\text{ماسه} = 92/1 - 95/31 + \text{بیشینه شتاب زمین}$$

بحث

با توجه به آمار توصیفی نمونه‌ها تفاوت در میانگین اندازه ذرات ماسه در هر دو زیرحوضه و در هر دو محدوده شتاب زمین g $(0/5 - 0/6)$ و g $(0/3 - 0/4)$ می‌تواند به دلیل تحرک بیشتر خاک‌های واقع در محدوده شتاب g $(0/5 - 0/6)$ باشد که در وقوع زلزله‌های پی در پی اتفاق خواهد افتاد و به دلیل ماهیت فیزیکی ذرات ماسه وزن بیشتر و عدم چسبندگی، بیشتر تحت تاثیر شتاب‌های بالا قرار می‌گیرند. در مطالعه Antinao و Gosse ۲۰۰۹ انتقال بارهای رسوب معلق را بر اساس لغزش سنگ‌ها در اثر تکتونیک را مهم‌تر از عوامل اقلیمی دانستند. نکته حائز اهمیت در این مطالعه با مطالعه حاضر اثرگذاری نقش تکتونیک از طریق جابه جایی سنگ‌ها و انتقال رسوبات است. ذرات سیلت نیز به دلیل ماهیت فیزیکی یعنی سبکی و عدم چسبندگی به راحتی تحت تاثیر شتاب‌های واقع در هر دو زیرحوضه قرار می‌گیرند. اما به نظر می‌رسد چون در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ غالب فشارهای شتاب زمین بر ذرات ماسه است. در مناطق شتاب پایین به

دلیل قدرت کمتر شتاب‌های وارد شده در هر دو زیرحوضه ذرات ریزدانه سیلت نقش بیشتری در این فرایند دارند. همچنین بیشتر بودن میانگین ذرات سیلت در زیرحوضه ۱ نشان می‌دهد که خاک‌های این بخش بیشتر مستعد فرسایش هستند. اختلاف میان میانگین رس در محدوده پرشتاب در زیرحوضه ۱ می‌تواند به دلیل بافت خاک (لومی ماسه‌ای رسی) در بعضی از نمونه‌های واقع در این بخش باشد. این نمونه‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها از درصد رس بیشتری برخوردار بودند. ذرات رس به دلیل چسبندگی بالا و سبکی کمتر دستخوش تغییرات حرکات شتاب زمین قرار می‌گیرند. در زیرحوضه ۲ در هر دو محدوده شتاب ذرات رس از ثبات بیشتری برخوردار هستند. میزان ذخیره کربن آلی در زیرحوضه ۱ به دلیل بارش کمتر و پوشش گیاهی کم که بیشتر مراتع را به خود اختصاص می‌دهد و وجود زمین‌های کشاورزی و بایر بسیار کمتر از نمونه‌های زیر حوضه ۲ است. در زیرحوضه ۱ در محدوده‌های شتاب بالا میزان کربن آلی خاک به واسطه فرسایش‌های ناشی از حرکات زمین به خصوص در نزدیکی گسل‌های فعال این زیرحوضه مانند گسل فیروزکوه، IRQ112 و IRQ357 واقع در (شکل ۱) کمتر از محدوده‌های شتاب پایین که فاصله بیشتری از گسل‌های ذکر شده دارند، است. در زیرحوضه ۲ نیز به دلیل بارش‌های بیشتر و پوشش گیاهی جنگلی و مراتع خاک‌های غنی‌تری از مواد آلی ایجاد شده است. بنابراین میزان کربن آلی در زیرحوضه ۲ به دلیل عوامل ذکر شده کمتر در معرض تغییر در اثر حرکات شتاب زمین در محدوده‌های شتاب بالا قرار می‌گیرد. بنابراین تاثیر شتاب زمین بر روی ویژگی‌های خاک در این بخش به عنوان یک عامل کنترل‌کننده غیرخطی بوده و تا حدودی به شرایط محیطی وابسته است در حالی که در مطالعه Howarth و همکاران ۲۰۱۲ زمین‌لرزه‌های گسل آلپ یکی از مهم‌ترین محرک‌های فرسایش در جبهه دامنه کوه‌های آلپ جنوبی هستند. این تفاوت در تاثیر گسل‌ها بر فرسایش خاک می‌تواند در رفتار پوشش گیاهی در نواحی لرزه‌خیز باشد که این عامل سبب کاهش انتقال ذرات خاک می‌گردد. بالا بودن میزان حد روانی در محدوده‌های شتاب بالا در زیرحوضه ۱ حاکی از بیشتر بودن درصد ذرات ریزدانه رس در بافت خاک‌های این بخش است. بر اساس خاصیت کلئیدی ذرات رس به دلیل جذب رطوبت در ساختار خود نیاز به رطوبت بیشتری دارند تا به حد روانی برسند. با توجه به نتایج تحلیل همبستگی می‌توان دریافت در هر دو زیرحوضه در محدوده شتاب بالا محل‌هایی که ذرات ماسه کاهش می‌یابد بیشینه شتاب زمین افزایش یافته است (-0.97 و -0.95) $r^2 =$ و سطح معنی داری 0.01 است. در واقع نیروی بیشینه شتاب زمین عاملی برای خردشدن و تضعیف سنگ‌ها و انتقال و حرکت ذرات خاک از جمله ذرات ماسه و انتقال آن‌ها به شبکه‌های رودخانه‌ای جاری در حوضه تالار است. تغییرات ذرات ماسه در هر دو زیرحوضه در محدوده شتاب پایین مانند بخش قبل کاهش ذرات ماسه بر اثر تحرک و فشارهای شتاب زمین در سطح g (-0.4 - 0.3) است که سبب شده است ضریب همبستگی این بخش مانند بخش قبل با کمی اختلاف -0.93 و سطح معنی داری 0.01 باشد. در مطالعه حاضر شتاب زمین بیشترین همبستگی منفی را با درصد ماسه نشان داد در حالی که در مطالعه Vanmaercke و همکاران ۲۰۱۴ همبستگی بالای بیشینه شتاب زمین با رسوب گزارش شده است. این نتیجه بیانگر تاثیرگذاری عامل شتاب بر روی انتقال رسوبات ریزدانه از طریق لرزه‌خیزی است. ضرایب همبستگی ذرات سیلت، رس، کربن آلی و حد روانی در زیرحوضه ۱ تاییدکننده این مطلب است که در محدوده شتاب‌های کم ثبات ذرات به جهت قدرت شتاب‌های وارد شده بیشتر است. این وضعیت به گونه ای است که با افزایش سطوح فشار در محدوده g (-0.4 - 0.3) ضرایب همبستگی ارتباط مستقیم تمام عوامل را با عامل بیشینه شتاب زمین نشان می‌دهد. در زیرحوضه ۲ ضرایب همبستگی ذرات سیلت، رس، کربن و حد روانی با بیشینه شتاب زمین اختلاف بسیاری با ضرایب همبستگی ذکر شده در زیر حوضه ۱ دارد. از جمله دلایل آن می‌توان به تعداد محدوده‌های شتاب اشاره کرد. مطابق با (شکل ۱) در زیرحوضه ۲ یک محدوده شتاب بالا و یک محدوده شتاب پایین قرار دارد. اما در زیر حوضه ۱، ۲ محدوده شتاب بالا و ۲ محدوده شتاب پایین قرار دارد

که این تعداد بیشتر به دلیل گسل‌های فعال بیشتر در زیر حوضه ۱ نسبت به زیر حوضه ۲ است. نتایج نمونه‌های خاک در زیر حوضه ۱ و ۲ در مناطق با شتاب بالا و شتاب پایین تاییدکننده این مطلب است که مناطق با شتاب بالا تاثیر زیادی بر انتقال ذرات خاک همچون (ماسه و سیلت) دارد. همچنین در صورت وجود گسل‌های متعدد و فعال نیز تاثیرپذیری سایر خصوصیات فیزیکی خاک از فشارهای وارد شده بر اثر شتاب زمین، بیشتر می‌شود. در زیرحوضه ۱ نیز به دلیل حاکم بودن شرایط ذکرشده محدوده‌های شتاب زمین بر انتقال و فرسایش این ذرات نقش قابل ملاحظه‌ای دارند. در زیر حوضه ۲ تا حدودی روند نتایج در زیر حوضه ۱ نمایان است. اما در مناطق شتاب پایین به واسطه وجود گسل IRQ112 و فاصله زیاد پهنه‌های شتاب پایین با گسل ذکرشده مطابق با (شکل ۱)، تاثیر پذیری ذرات خاک در مناطق شتاب پایین بسیار کمتر از زیرحوضه ۱ است.

در مجموع همبستگی بین شتاب زمین و فرسایش خاک وجود دارد، این رابطه خطی نیست و بسته به شرایط خاص و ویژگی‌های حوضه می‌تواند متفاوت باشد. چند نکته کلیدی باید در نظر گرفته شود؛ انتقال ذرات خاک تحت تاثیر حداقل سطح شتاب زمین g ($0/3 - 0/4$) است که با افزایش سطح شتاب با توجه به ماهیت ذرات خاک عمل فرسایش خاک افزایش می‌یابد. عامل دیگر بزرگای بیشتر زلزله‌ها و مدت زمان طولانی‌تر شتاب زمین به طور کلی منجر به افزایش حساسیت ذرات به جابه‌جایی و انتقال می‌شود. لرزش شدید و طولانی مدت می‌تواند ذرات خاک را بی‌ثبات کند، حساسیت آن‌ها به فرسایش را بیشتر کند. ویژگی‌های خاک شامل ترکیب، چسبندگی و رطوبت آن نیز در تعیین پاسخ انتقال ذرات خاک به شتاب زمین نقش دارد. خاک‌هایی که چسبندگی کمتر و رطوبت بالاتری دارند عموماً مستعد فرسایش هستند. شتاب زمین می‌تواند بر چسبندگی خاک و فشار آب منفذی و بر نرخ جابه‌جایی تأثیر بگذارد. عامل توپوگرافی، شیب‌های تند مستعد فرسایش هستند، زیرا نیروی گرانشی وارد بر ذرات خاک قوی‌تر است. شتاب زمین می‌تواند این نیروی گرانشی را افزایش داده و منجر به افزایش فرسایش در شیب‌های تند شود. پوشش گیاهی وجود و تراکم پوشش گیاهی در حوضه آبریز می‌تواند به طور قابل توجهی بر رابطه شتاب زمین و فرسایش خاک تأثیر بگذارد. پوشش گیاهی به عنوان یک لایه حفاظتی عمل کرده و با کاهش تاثیر بارش و شتاب زمین در تثبیت ذرات خاک می‌کند. نتایج نمونه‌های خاک در زیر حوضه ۱ و ۲ در مناطق با شتاب بالا و شتاب پایین تاییدکننده این مطلب است که مناطق با شتاب بالا تاثیر زیادی بر انتقال ذرات خاک همچون (ماسه و سیلت) دارد. در مطالعات Vanmaercke و همکاران ۲۰۱۷ نیز رابطه بین تولید رسوب و عوامل کنترل‌کننده آن اغلب پیچیده گزارش شده است. بنابراین تحرک بیشتر ذرات خاک در محدوده شتاب g ($0/5 - 0/6$) در زیرحوضه ۱ و ۲ موید فرسایش خاک و تولید رسوب بیشتر در این بخش است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی و تحلیل خصوصیات فیزیکی خاک در محدوده‌های بالا و پایین شتاب زمین در حوضه تالار پرداخته شد. قرارگیری سازندهای فرسایش‌پذیر چون سازند شمشک که شامل سنگ‌های فرسایش‌پذیر مانند مارن و شیل است در محدوده‌های بالای بیشینه شتاب زمین سبب تسریع در روند تولید رسوب و فرسایش می‌شود. وجود گسل‌های فعال مانند فیروزکوه، IRQ112 و IRQ357 در هر دو زیرحوضه و به تبع آن فعالیت‌های لرزه‌ای بالا سبب تحریک بیشتر ذرات خاک در دامنه‌های حساس به وقوع فرسایش شده است. در مناطق با شتاب بالا g ($0/5 - 0/6$)، عامل شتاب زمین تاثیر قابل توجهی در حرکت ذرات خاک از جمله ذرات ماسه در زیرحوضه ۱ و ۲ با ضریب همبستگی $-0/97$ و $-0/95$ دارد. ذرات سیلت پتانسیل بالایی برای انتقال و جابه‌جایی در شتاب‌های بالای g ($0/5 - 0/6$) هر دو زیرحوضه و

شتاب پایین g ($0/3 - 0/4$) در زیرحوضه ۱ با ضرایب همبستگی $0/77 - 0/81$ و $0/84$ نشان دادند. در مناطقی که پوشش گیاهی مناسب است و عامل بیشینه شتاب زمین در محدوده g ($0/5 - 0/6$) است، میزان تغییرات کرن آلی خاک به واسطه عامل پوشش گیاهی که به صورت یک لایه محافظ برای خاک عمل کرده است کم می‌باشد. بررسی خصوصیات فیزیکی خاک مانند ماسه، سیلت، رس، کرن آلی و حد روانی در مناطق پرشتاب و شتاب پایین در زیرحوضه ۱ و ۲ این فرضه تایید می‌شود که در مناطق پرشتاب، عامل بیشینه شتاب زمین به طور قابل ملاحظه‌ای تاثیر مستقیمی بر انتقال و جابه‌جایی ذرات خاک و خصوصیات فیزیکی‌شان دارد. روند تاثیرگذاری بر ذرات ماسه دارای همبستگی منفی و بر سایر ذرات دارای همبستگی مثبت است. بنابراین تحرک بیشتر ذرات خاک در اثر شتاب g ($0/5 - 0/6$) در زیرحوضه ۱ و ۲ تاییدکننده فرسایش خاک و تولید رسوب بیشتر در این بخش است.

در بررسی اثر شتاب بر خصوصیات فیزیکی خاک وجود برخی محدودیت‌ها سبب شده‌است تا برای درک بهتر تفسیر شود. ۱- در ارتباط با پوشش مکانی، اثر زیرحوضه ۳ به دلیل رسوب و فرسایش بسیار کم در مطالعه حاضر در نظر گرفته نشد. با توجه به رسوبی بودن رودخانه تالار و عبور این رودخانه از زیرحوضه ۱ و ۲، زیرحوضه‌های مذکور در مطالعه حاضر بررسی شدند. ۲- با توجه به کوهستانی بودن حوضه تالار و معابر سخت امکان پوشش بیشتر از ۴۰ نمونه در هر زیرحوضه میسر نبود. ۳- به جهت مقایسه خصوصیات خاک در شتاب پایین g ($0/3 - 0/4$) و شتاب بالا g ($0/5 - 0/6$)، نیاز به ادامه کاوش در شتاب حد وسط ($0/4 - 0/5$) و تاثیر این سطح از شتاب بر رفتار خاک است. این مطالعه با ایجاد یک مبنای علمی در جهت کمک به برنامه‌های کاهش فرسایش برای مدیران محیط‌زیست سودمند خواهد بود. به عنوان مثال در زیرحوضه شماره ۱ و ۲ که انتقال ذرات ماسه با افزایش عامل شتاب زمین وجود دارد توصیه می‌شود در قالب طرح‌های آبخیزداری که شامل مدیریت و حفاظت خاک است توجه بیشتری به مناطق شتاب بالا g ($0/5 - 0/6$)، داشته باشند. دامنه‌های حساس و شیب‌های تند و مناطق با پوشش گیاهی کم که در سطح محدوده‌های با شتاب بالا قرار دارند در اولویت اجرای برنامه‌های حفاظت خاک هستند. همچنین در محدوده‌هایی که جریان رودخانه تالار در سطوح بالای شتاب زمین قرار دارد می‌توان با اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در هنگام زلزله از فرسایش دیواره و کانال رودخانه‌ها جلوگیری کرد. با در نظر داشتن عوامل ذکر شده انتقال ذرات خاک از دامنه‌ها و کانال‌های رودخانه در مناطق شتاب بالا کمتر خواهد شد. با توجه نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آینده اثرات شتاب زمین بر سایر خصوصیات خاک به طور مثال ۱- اندازه‌گیری پارامتر نفوذپذیری خاک، ۲- وزن مخصوص ظاهری خاک، ۳- نوع رس برای تحلیل بیشتر دینامیک خاک در سطوح لرزه‌خیزی را هدف قرار دهند.

حامی مالی

این پژوهش مورد حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی (اعتبار ویژه پژوهشی شماره ۶۰۰/۸۷۱) بوده است.

سهم نویسندگان

در پژوهش نویسندگان در تمامی مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری رسانده بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- اشتری، نفیسه؛ نصرتی، کاظم و امی، سلما. (۱۴۰۲). تعیین سهم واحدهای سنگ‌شناسی و محدوده‌های بیشینه شتاب زمین در تولید رسوب با استفاده از روش منشایی رسوب (حوضه آبخیز تالار استان مازندران). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۲(۳)، ۱۲۰-۱۴۱.
- عبدالحمیدی، شهره؛ ایلدرمی، علیرضا و حشمتی، مسیب. (۱۴۰۰). اثر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک حوزه آبخیز هلشی، کرمانشاه. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۵(۷۵)، ۱۷۱-۱۸۰.
- فلاح‌زاده، جابر و حاج عباسی، محمد علی. (۱۳۹۰). تغییر شاخص‌های کیفیت خاک در اثر احیای زمین‌ها شور دشت ابرکوه در ایران مرکزی. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۱۵(۵۵)، ۱۳۹-۱۴۹.
- فرومدی، مجید؛ واعظی، علیرضا و نیکبخت، جعفر. (۱۳۹۹). بررسی حساسیت خاک‌های با بافت مختلف منطقه نیمه خشک به فرسایش بین‌شیاری تحت تاثیر تندی شیب سطح در استان زنجان. *نشریه تحقیقات کاربردی خاک*، ۱۰(۱)، ۲۸-۱۵.
- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور. (۱۳۸۰). گزارش مطالعات جامع حوضه آبخیز تالار، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها، وزات جهاد کشاورزی، شرکت خدمات مهندسی جهاد کشاورزی.
- نصرتی، کاظم. (۱۳۹۰). تأثیر فرسایش آبی و کاربری اراضی بر ذخیره کربن آلی و نیتروژن خاک، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱(۳)، ۱۲۷-۱۴۰.
- واعظی، علیرضا و عبادی، مهدی. (۱۳۹۶). توزیع اندازه ذرات منتقله در اثر فرسایش سطحی در شدت‌های مختلف باران و درجات شیب. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۱(۱)، ۲۱۶-۲۲۹.

References

- Abdoalmohamdi, S., Ildoromi, A., & Heshmati, M. (2021). The Effect of Land Use Change on Some Physical and Chemical Properties of Soil in the Halshi Watershed, Kermanshah. *Journal of Geography and Planning*, 25(75), 171-180. [In Persian]
- Antinao, J.L., & Gosse, J. (2009). Large rockslides in the Southern Central Andes of Chile (32–34.5°S): Tectonic control and significance for Quaternary landscape evolution. *Geomorphology*, 104(3), 117-133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.008>
- Ashtari, N., Nosrati, K., & Ommi, S. (2023). Determining lithological units contribution and ranges of peak ground acceleration in sediment yield using the sediment fingerprinting technique (Talar drainage basin of Mazandaran province). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(3), 120-141. [In Persian]
- Ashtari, N., Nosrati, K., Ommi, S., & Collins, Adrian L. (2023). Investigating the effect of seismicity on spatial sediment sources and loads using the fingerprinting approach. *Catena*, 227(2), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107091>
- Barakat, S. A., Arab, M. G., Awad, R. A., Malkawi, D. A. H., Metawa, A., & Omar, M. (2024). Probabilistic seismic hazard assessment for the United Arab Emirates using integrated seismic source model. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 11(1), 100173. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2024.100173>

- Di Filippo, G., Biondi, G., Casablanca, O., & Cascone, E. (2024). Seismic site response analyses of ideal medium-stiff soil deposits. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 10(58), 2175-2180. <https://doi.org/10.3208/jgsssp.v10.OS-47-02>
- Douglas, J. (2003). Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth-Science Reviews*, 61(1-2), 43-104. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00112-5)
- Eluyemi, A.A., Ibitoye, F.I., & Baruah, S. (2020). Preliminary analysis of probabilistic seismic hazard assessment for nuclear power plant site in nigeria. *Scientific African* 8, e00409. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00409>
- Fallahzade, J., & Hajabbasi, M. A. (2011). Changes in Soil Quality Indicators by Reclamation of Salt-Affected Land in Abarkooh Plain. Central Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 15(55), 139-150. [In Persian]
- Foroumadi, M., Vaezi, A. R., & nikbakht, J. (2022). Investigating The Susceptibility of Semi-arid Soils with Different Texture to Interrill Erosion in Relation to Slope Sharpness in Zanjan Province. *Applied Soil Research*, 10(1), 15-28. [In Persian]
- Hecht, H., & Oguchi, T. (2017). Global evaluation of erosion rates in relation to tectonics. *Progress in Earth and Planetary Science*, 4(40), 1-9.
- Howarth, J.D., Fitzsimons, S.J., Norris, R.J., & Jacobsen, G.E. (2012). Lake sediments record cycles of sediment flux driven by large earthquakes on the Alpine fault, New Zealand. *Geology* 40(12), 1091-1094. <https://doi.org/10.1130/G33486.1>
- Koons, P.O., Upton, P., & Barker, A.D. (2012). The influence of mechanical properties on the link between tectonic and topographic evolution. *Geomorphology*, 137(1), 168-180. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.11.012>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 961-1010. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Nosrati, K. (2011). The Effect of Land use and Soil Erosion on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stock. *Environmental Erosion Research Journal*, 1(3), 127-140. [In Persian]
- Phuong, T. T., Shrestha, R. P., & Chuong, H. V. (2017). Chapter 6 - Simulation of Soil Erosion Risk in the Upstream Area of Bo River Watershed. *Redefining Diversity & Dynamics of Natural Resources Management in Asia*, 3, 87-99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805452-9.00006-0>
- Portenga, E. W., & Bierman, P. R. (2011). Understanding earth's eroding surface with 10Be. *GSA Today*, 21(8), 4-10. <https://doi.org/10.1130/G111A.1>
- Saedi, T., Shorafa, M., Gorji, M., & Moghadam, B. K. (2016). Indirect and direct effects of soil properties on soil splash erosion rate in calcareous soils of the central Zagross, Iran: A laboratory study. *Geoderma*, 271, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.008>
- Schoenholtz, S.H., Miegroet, H.V., & Burger, J. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and management*, 138, 335-356. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)
- Vaezi, A.R., & Ebadi, M. (2017). Particle Size Distribution of Surface-Eroded Soil in Different Rainfall Intensities and Slope Gradients. *Water and Soil*, 31(51), 216-229. [In Persian]
- Vanmaercke, M., Ardizzone, F., Rossi, M., & Guzzetti, F. (2017). Exploring the effects of seismicity on landslides and catchment sediment yield: An Italian case study. *Geomorphology*, 278, 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.010>
- Vanmaercke, M., Kettner, A.J., Eeckhaut, M.V.D., Poesen, J., Mamaliga, A., Verstraeten, G., Rădoane, M., Obreja, F., Upton, P., Syvitski, J.P.M. & Govers, G. (2014). Moderate seismic activity affects contemporary sediment yields. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38(2), 145-172. <https://doi.org/10.1177/0309133313516160>
- Veon, W. J., & Miller, A. C. (1977). Soil properties that affect erosion. *Transportation Research Record*, (642), 68-72.
- Yang, S., Han, X., Lei, Q., Yu, S., & Liu, C. (2021). Study on the seismic effect of the interbedded soil layer in the yinchuan alluvial plain. *Advances in Civil Engineering*, 2021(1), 1519750. <https://doi.org/10.1155/2021/15197>