

## The Ranking of Razan Basin Erosion by Using the Fuzzy Logic, EPM and BLM Model in GIS Environment

Mousa Abedini<sup>1</sup>✉, Dariush Abolfathi<sup>2</sup>, Maryam Raesi<sup>3</sup>

1. Professor of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

✉E-mail: [Abedini@uma.ac.ir](mailto:Abedini@uma.ac.ir)

2. Ph. D in Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

E-mail: [Dariushablf@yahoo.com](mailto:Dariushablf@yahoo.com)

3. M.Sc of Watershed Management, University of Gorgan, Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

E-mail: [Maryam.Raisi90@yahoo.com](mailto:Maryam.Raisi90@yahoo.com)



**How to Cite:** Abedini, M; Abolfathi, D; & Raesi, M. (2022). The Ranking of Razan Basin Erosion by Using the Fuzzy Logic, EPM and BLM Model in GIS Environment. *Geography and Development*, 20 (68), 62-86.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2022.7002>

**Received:**

27 June 2021

**Received in revised form:**

25 January 2022

**Accepted:**

4 April 2022

**Published online:**

25 August 2022

**Keywords:**

Ablation,  
Fuzzy logic model,  
EPM model,  
BLM model,  
Razan watershed  
and GIS.

### ABSTRACT

Awareness of the amount of the danger of ablation, the possibility of recognizing critical areas and arranging of managing plans and protecting plans achieved. the present study is produced aiming the use of fuzzy logic EPM and BLM in predicting the power of ablation and calculation of the whole illuviation that has been produced in a year in the Razan basin by help of evaluation and GIS then the correctness of the studies have been compared according to the results of BLM model the more of the studied are wan in low erosion in the rest of the paper by using EPM model the whole of illuviation that had been produced in Razan basin was calculated according to the results of EPM model the power of ablation in the studied area laid in the ablation of middle class also the results of game operator of fuzzy %98 of study area was show reel in five class of the less clanger to the most danger final the results of credit evaluating of models showed that the results of EPM model had more similarity with the prepare data of the study that show the correctness of EPM model in analyzing ablation of the studied area according to the ranking of the area and using EPM model 28/44- 32/16 and 39 /40 % Percent of the space of the area laid in the classes of the more less .less- middle.



© the Author(s).

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

### Extended Abstract

#### 1. Introduction

Soil is one of the most important natural resources in any country. The human life history and its evolution shows that, soil has always been used as a substrate for agricultural crops and provides food needs to ensure its survival., soil particles eradicate from soil bed and transporter agents transmit particles to other places. Erosion, which is called Abtra in German and Erosion in French and English, and is derived from the Latin word

Erodere, is the constant wearing away and destruction of soil on the surface of the earth (transfer or movement from one point to another on the surface of the earth) by water or wind (Kardwani, 2017: 264). Awareness of the amount of the ablation danger provides to recognize critical areas and arrange managing and protecting plans. This present study aimed the model of fuzzy logic, EPM and BLM in predicting the ablation intensity and total illuviation calculation produced during

one year in the Razan basin by evaluation of and GIS. Finally, the certitude of every studied models were compared to each other. Results in BLM model showed that most studied areas were in ranking of low erosion areas. By using EPM model, the total amount of illuviation produced in Razan basin was calculated. Results in EPM model showed that intensity of ablation in the studied area is assessment in the ranking of middle class erosion. Detection the different areas of a catchment in terms of erosion and its severity has always been one of the most important goals of natural resources experts (Nojavan et al., 2012 : 119).

#### - The Study Area

Razan catchment is located in the northeast of Hamadan province with an area of 3084 square kilometers. This basin is limited from the north by the ridge of Aghdorband, Qarahgoni and Aran heights from Qazvin province, from the west by the ridge of Qarahdagh and Qoliabad heights from plain catchment of Kaboudar Ahang, from the east by the separating watershed (Kuh-e-Sefid and Ghezel-Dagh hern boundary are separated from Komijan plain of Arak near Firoozabad and Dolatabad villages.

The surface area of the main aquifer (aquifer) of this plain is 1709 square kilometers. Razan city is located 80 km from the center of the province with an altitude of 1841 meters above sea level and coordinates of 20 and 49 degrees east longitude and 23 and 35 degrees north latitude. Meanwhile, from the south of the study area, the Qarachayay River enters the Komi Jan study area, which, after crossing the east of Qahavand, moves north to Amirabad.

#### 2. Methods and Material

In present study, factors considered including topographic maps of 1:50000 scale of the geographical organization, Landsat satellite imagery of 8 study areas, climate data including humidity, precipitation and temperature, 30-meter SRTM DEM of the study area, Geological and geological maps of the study area at a scale of 1:100000 were prepared from relevant organizations. ArcGIS software was used to create databases. Then, spatial-spatial analysis, finally implementing models and ENVI software were used to process

satellite images. Fuzzy logic is a multi-value logic, meaning that its parameters and variables, in addition to having the numbers 0 or 1, can also take all the values between two numbers. The affiliation of each member of the reference set to a member of a particular subset is not definitive, ie it cannot be said with certainty whether the member in question belongs to this collection or not. This uncertainty is done by assigning a number between 0 and 1 to this member. If this number is zero, it can be said with certainty that the member in question does not belong to that set. If this number is 1, it can be claimed that the member in question belongs to that set. In this way, subsets of a fuzzy set can be represented by assigning the numbers 0 and 1 to each member of the set. Fuzzy theory includes all theories that use the basic concepts of fuzzy sets or membership functions. The membership function can be considered as the degree to which the elements of the reference set belong to its subsets and is represented by  $c(X)$ . In the definite functions of decisive sets, we must decide whether a member belongs to the set, which is either zero or one. While membership functions allow us to choose the degree of affiliation or degree as a real number between one and zero. Fuzzy logic model operators include fuzzy community operator, fuzzy sharing operator, fuzzy algebraic multiplication operator, fuzzy algebraic aggregation operator, and fuzzy gamma operator. Fuzzy community operator: This is a collection community operator. In this way, it extracts the maximum degree of membership and does not have high accuracy in determining vulnerability. In this study, slope factors, erosion coefficient, land use coefficient, rock and soil sensitivity coefficient to erosion were investigated. Then, using GIS software a map of each of these factors was prepared and finally, the estimation of erosion and sedimentation of Razan catchment using EPM and BIM models in the study area was obtained.

#### 3. Results and Discussion

In this study, using fuzzy logic model, first the database including slope, slope, lithology, land use, vegetation, precipitation, soil and waterway layers were formed and then the data were generated in the form of raster and vector models. Then the required maps were obtained by processing the

data. Lithology: Recognition of surface geological features of the catchment is of particular importance for the assessment of erosion and sediment. Loose and soft rocks are usually easily eroded and play an important role in sediment production. To prepare the lithological layer of the study area, a geological map with a scale of 1:100000 of the Geological Survey were used. In this study, the fuzzy gamma operator 0.98 was used to moderate the very high sensitivity of the fuzzy algebra multiplication operator and the very low accuracy of the fuzzy algebra addition operator. Finally, the erosion risk zoning map obtained from the 0.98 fuzzy gamma operator was divided into 5 classification: very low, low, medium, high and very high risk zones with a difference of 0.2 (Figure 14). The coefficients of the EPM model were obtained from Tables 1, 2 and 3 related to the EPM model and then the erosion of the study area was classified into three categories of medium, low and very low risk.

#### 4. Conclusion

The aim of this study was preparing the final erosion risk map in Razan basin of Hamedan and estimating the sedimentation amount using fuzzy logic, EPM and BLM models. In order to prepare the erosion map, the weights obtained from the

EPM model by the ArcGIS overlap functions multiplied in the relevant layers and the final map of erosion risk was calculated. The comparison of results obtained from the BLM model in area that was studied with erosion status table in terms of the sum of scores of seven factors determining the soil erosion class indicated that the basin erosion class is in the low erosion group. The results of the EPM model with intensity classification table of erosion in the EPM model showed that the erosion class of the study area is moderate erosion. Although, erosion zoning in the study area by function of gamma-fuzzy 0.98 in the study area in 5 level of danger : very low, low, medium, high and very high risk classes with areas of 15.59, 31.37, 25.25, / 98, respectively. Showed 19 and 7.34. The results of this study are consistent with the results of the study (Demril and Tuzun, 2011: 6-8) in evaluating the factors affecting erosion using fuzzy ANP method. In this study, land slope, land use and human activities were the most important factors in causing erosion. Therefore, our investigations on the area of study suggest that plowing should be direction perpendicular to the slop in rainfed lands, especially on slopes and slopes.

**Keywords:** Ablation, Fuzzy logic model, EPM model, BLM model, Razan watershed.

#### 5. References

- Abedini, Mousa (1400). Quantitative study of gully erosion and sedimentation using rain erosion indices, morphometry and linear regression in Harzand-Chai watershed (1400), Destruction and Restoration of Natural Lands Journal, No.3, 100-111. [http://drnl.sanru.ac.ir/article-190-1\\_fa.html](http://drnl.sanru.ac.ir/article-190-1_fa.html)
- .Abedini, Mousa; Daneshvar Gabloo, Hossein; Ismail Ali Auri, Abazar (1394). Estimation of soil erosion and sediment production in Anbaran watershed using WEPP and GIS models. International Development Conference focusing on agriculture, environment and tourism. 1-14. [https://gdij.usb.ac.ir/m/article\\_245.html](https://gdij.usb.ac.ir/m/article_245.html)
- Abedini, Mousa; Shebarang, listen; Abazar Ismaili Avari, (2012). Investigating the amount of soil erosion and sedimentation in Meshkin Chai watershed using EPM method. Geography and Development, No. 30, 87-100. [https://gdij.usb.ac.ir/m/article\\_245.html](https://gdij.usb.ac.ir/m/article_245.html)
- Ahmadi, Hassan (1378). Applied geomorphology. University of Tehran, third edition, first Volume (blue erosion), 688. <https://www.gisoom.com/book/1168291>
- Ahmadi, Hassan; Thrvati, Mohammad Reza; Noor Mohammad, Ali Mohammad (1386). Estimation of sediment and erosion with EPM and MPSIAC models using geomorphology and GIS methods in Basher watershed (Torbat-e-Heydariyeh) Journal of Geographical Sciences, No. 7 and 8 Fall and Winter 86.35-52. <https://www.gisoom.com/book>
- Alizadeh, Amin (2005). Applied Hydrology, Astan Quds Razavi, 28th edition, 870. <https://www.gisoom.com/book/174677/1168291>

- Demirel, T. and Tüzün, T. (2011). Multi Criteria Evaluation of the Methods for Preventing Soil Erosion Using Fuzzy ANP: The Case of Turkey, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2(3): 6-8.  
<https://www.academia.edu/3405803/>
- Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homaei, M. and Pazira, E (2012). Comparison of empirical models to estimate soil erosion and sediment yield in micro catchments. *Eurasian Journal of Soil Science*. 1-6.  
<https://www.researchgate.net/>
- Feng, X. Wang, Y. Cheng, L. Fu, B. Bai, G (2010). Modeling soil erosion and response to land-use change in hilly catchments of the Chinese loss plateau, 118. <https://www.semanticscholar.org/>
- Ghobadi, Y., Pirasteh, S., Pradhan, B., Ahmad, N. B., Shafri, Z. B. M., Sayyad, Gh. A. and Kabiri, K (2011). Determine of Correlation Coefficient between EPM and MPSIAC Models and Generation of Erosion Maps by GIS Techniques in Baghmalek Watershed, Khuzestan, Iran. 5th Symposium on Advances in Science & Technology, Mashhad. Iran. 1-12. <https://www.yumpu.com/>
- Hasanzadeh, A., Ziapour, A. and Javanmiri, M (2013). Estimating of Sediments using EPM Method in Chelleh Watershed Area of Gilan-Gharb. *Journal of Science and today's world*. 2(9): 1257-1266 PP.  
<https://www.yumpu.com/>
- Hashemi, Seyed Ali Asghar; Arabkhodari, Mahmoud (2002). Evaluation of EPM model through sediment measurement of small dam reservoirs, *agricultural science and technology and natural resources*. Issue 42.  
<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=77087>
- Khodabakhsh, Saeed; Mohammadi, Akbar; Rafiei, Behrooz; Bozorgzadeh, Esa (1388). Comparison of estimation of erosion and sedimentation rate in Cesar sub-basin (Dez dam watershed) using experimental EPM and MPSIAC models with the help of fuzzy knowledge. *Iranian Geological Quarterly*, Year 3, Issue 12, 51-61.  
[https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_3543.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_3543.html)
- Khayyam, Maghsoud; Ghanmi Jaber, Mustafa; Samadzadeh, Rasool (1392). Comparison of the efficiency of MPSIAC and EPM models in estimating erosion and sedimentation of Saezchay Namin watershed. *Bi-Quarterly Journal of Applied Geomorphology of Iran*, First Issue, 1-15.  
<https://www.sid.ir/fa/journal>
- Kordavani, Parviz (2007). *Soil protection* Tehran University Press, 9th edition, 264.
- Kordvani, Parviz (2003). *Soil protection*. University of Tehran Press, ninth edition, 264.  
<https://press.ut.ac.ir/?search&au=1930&aun=%20>
- Nojavan, Mehdi; Mohammadi, Ali Asghar; Gholami, Vahid (2007). Determination of erosion intensity using Fargas and BLM models Case: Bandar watershed. *Geography and development*. No. 29, 119-130.  
[https://gdj.usb.ac.ir/article\\_127.html](https://gdj.usb.ac.ir/article_127.html)
- Rastgo, Saeed; Gahraman, Bijan; Davari, Kamran (1389). Case comparison of four methods MPSIAC, EPM, FAO and BLM in estimating erosion and sedimentation of Tang Kunsht watershed. *Second National Student Conference on Water and Soil Resources*. Faculty of Agriculture, Shiraz University, 1-10.  
[https://journals.ui.ac.ir/article\\_18554.html](https://journals.ui.ac.ir/article_18554.html)
- Refahi, Husseinghli (1379). *Water erosion and its control*, University of Tehran Press. Third edition. 551.  
<https://www.gisoom.com/book/11133577>
- Soleimani, Mina (1392). Investigation of hydrogeomorphological issues in Lai Chay watershed with emphasis on soil erosion and sediment production using WEPP method. Master Thesis, Mohaghegh Ardabili University.  
<https://elmnet.ir/article/10532690-87129>
- Tulabi, Susan (1392). Modeling soil and sediment erosion with WEPP and EPM models in GIS environment (Solachai-Ardabil watershed). Master Thesis in Natural Geography, Mohaghegh Ardabili University.  
<https://www.virascience.com/thesis/596580>
- TaherNezami, M. and Izadi, M (2013). Estimating the amount of erosion using the EPM and MPSIAC models in the basin of Karaj Dam's Shahrestanak. *IJACS Journal*. 6-12. [www.yumpu.com](http://www.yumpu.com)



## پهنه‌بندی فرسایش حوضه آبریز رزن با استفاده از مدل‌های منطق فازی، EPM و BLM در محیط GIS

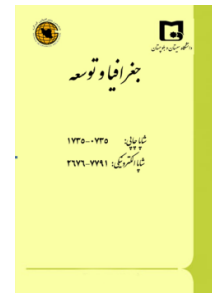
دکتر موسی عابدینی<sup>۱\*</sup>، دکتر داریوش ابوالفتحی<sup>۲</sup>، مریم رئیسی<sup>۳</sup>

### مقاله پژوهشی

#### چکیده

آگاهی از میزان خطر فرسایش، امکان شناسایی نواحی بحرانی و اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی را فراهم می‌کند. این مطالعه با هدف استفاده از مدل‌های منطق فازی، EPM و BLM دربرآورد شدت فرسایش و محاسبه کل رسوب تولیدشده در مدت یک سال در حوضه آبریز رزن، به کمک فناوری سنجش از دور و GIS انجام گرفته است و سپس دقت هر یک از مدل‌های مورد مطالعه با یکدیگر مقایسه شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل BLM، بیشتر منطقه مورد مطالعه در تیپ فرسایش کم قرار دارد. در ادامه با استفاده از مدل EPM مقدار کل رسوب تولیدشده در حوضه آبریز رزن محاسبه شد. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده از مدل EPM، شدت فرسایش در منطقه مورد مطالعه در کلاس فرسایش متوسط قرار دارد. همچنین نتایج حاصل از عملگر گامای فازی ۰/۹۸ فازی فرسایش منطقه مورد مطالعه را در ۵ دسته از خطر خیلی کم تا خیلی زیاد نشان داد. در نهایت نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد که نتایج مدل EPM با داده‌های برداشت‌شده در مطالعه میدانی مطابقت بیشتری دارد که نشان‌دهنده دقت مدل EPM در بررسی فرسایش در منطقه مورد مطالعه است. براساس پهنه‌بندی صورت‌گرفته با استفاده از مدل EPM به ترتیب ۲۸/۴۴، ۳۲/۱۶، ۳۹/۴۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط قرار گرفته است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۸، پاییز ۱۴۰۱  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶  
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵  
صفحات: ۸۶-۶۲



واژه‌های کلیدی:  
فرسایش، مدل منطق فازی، مدل BLM،  
مدل EPM، حوضه آبریز رزن

#### مقدمه

فرسایش فرایندی است که طی آن ذرات از بستر خود جدا و با یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شوند. در صورتی که عامل جداشدن ذرات از بستر و انتقال آن‌ها آب باشد، به آن فرسایش آبی گفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۹: ۸۷۰). شناخت مناطق مختلف یک حوضه آبریز از نظر وقوع فرسایش و شدت آن همواره یکی از مهم‌ترین اهداف کارشناسان منابع طبیعی بوده است (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۹). برای رسیدن به این مهم مدل‌هایی به صورت تجربی ارائه شده‌اند که هر کدام دارای نقاط قوت و ضعفی هستند. اخیراً محققان زیادی در سراسر جهان با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات

خاک، یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور محسوب می‌شود. بشر در طی تاریخ تکامل خود، همواره از خاک به عنوان بستری برای کشت و کار محصولات کشاورزی و تأمین نیازهای غذایی استفاده کرده است تا ادامه حیات خود را تضمین کند. فرسایش که به آلمانی Abtra و به فرانسه و انگلیسی Erosion گفته می‌شود و از واژه لاتین Eroderere گرفته شده، عبارت است از فرسودگی و از بین رفتن مداوم خاک سطح زمین (انتقال یا حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر در سطح زمین) توسط آب یا باد (کردوانی، ۱۳۸۷: ۲۶۴).

Abedini@uma.ac.ir

Dariushablf@yahoo.com

Maryam.Raisi90@yahoo.com

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی، گرایش ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)

۲. فارغ‌التحصیل دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور نهاوند، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران



برآورد فرسایش و رسوب حوضه از چهار روش MPSIAC، EPM، FAO و BLM استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل MPSIAC نتایج بهتری ارائه می‌دهد و می‌توان از آن برای حوضه‌های بدون آمار استفاده کرد. (طولابی، ۱۳۹۲) در تحقیقی درباره فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای مقادیر رسوب را با سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیر جریان به ترتیب ۰/۲۳۱، ۰/۱۷۸ و ۰/۷۸۵ و با مدل EPM ۰/۳۳ و برای رسوب مشاهده‌ای ۰/۲۴۱ تن در هکتار در سال محاسبه کرده که مقادیر عددی مدل WEPP به رسوب مشاهده‌ای نزدیک است.

سلیمانی (۱۳۹۲) مسائل هیدروژئومورفولوژی، فرسایش و رسوب حوضه لای چای را بررسی کرده است. در این تحقیق پس از تعیین واحدهای کاری به جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز برای ساختن فایل‌های خاک، مدیریت زراعی، اقلیم، شیب و آبراهه کرد. میزان فرسایش به سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیر جریان به ترتیب ۰/۳۰۸، ۰/۲۱۵ و ۰/۴۹۱ تن در هکتار در سال است. بر این اساس روش دامنه با میزان فرسایش ۰/۳۰۸ تن در هکتار در سال به عدد مشاهده‌ای ۰/۳۱۹ تن در هکتار در سال نزدیک‌تر بوده و برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه مناسب است (سلیمانی، ۱۳۹۲: ۱۱۰).

خیام و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی که در حوضه آبخیز سقزچای انجام دادند، برای برآورد رسوب از دو روش MPSIAC و EPM استفاده کردند. نتیجه تحقیق نشان داد که مدل MPSIAC میزان رسوب سالانه حوضه را با دقت ۹۸/۳۱ درصد رسوب مشاهده‌ای برآورد کرده؛ اما مدل EPM تنها ۷۴ درصد رسوب مشاهده‌ای حوضه را محاسبه کرده است (خیام و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵).

در تحقیقی که در زیرحوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) برای برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی از مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM با کمک دانش فازی

جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش‌ازدور با استفاده از این مدل‌ها اقدام به برآورد فرسایش و رسوب به صورت کمی می‌کنند (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲).

از مدل‌های فرسایش خاک می‌توان برای مطالعه و بررسی روش‌های فرسایش در رابطه با تغییرات زمین و چگونگی استفاده از آن و شناخت منابع رسوبی استفاده کرد (Feng et al, 2010: 118). به آزاد شدن ذرات خاک از محل اولیه و انتقال آن‌ها به محیط جدید تحت تأثیر عوامل مختلف مثل آب، باد و دیگر عوامل طبیعی و مصنوعی، فرسایش می‌گویند. خاک در زندگی انسان و موجودات دیگر به قدری اهمیت دارد که می‌توان آن را گوهر گرانبه‌ای طبیعت نام گذاشت. زندگی گیاهان به خاک وابسته است. اگر خاک منطقه‌ای در معرض فرسایش قرار گیرد، اولین تأثیر منفی را روی آب و گیاه می‌گذارد.

به‌طور کلی دو عامل طبیعی و انسانی در فرسایش و تولید رسوب مؤثر هستند. این دو عامل بر یکدیگر اثر می‌گذارند؛ به‌طوری‌که عوامل انسانی باعث تشدید فرسایش در مناطقی شده که عوامل طبیعی شرایط مناسبی را برای بروز آن فراهم کرده‌اند یا برعکس، عوامل انسانی وضعیت فرسایشی منطقه را مستعد کرده و عوامل طبیعی فرسایش آن را تشدید کرده است. برای اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی و نیز محاسبه دقیق حجم سد در احداث سدهای مخزنی، باید حجم کل رسوب تولیدی سالانه در حوضه آبخیز ارزیابی و برآورد شود. نبود یا کمبود داده‌ها در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و رسوب‌زایی را الزامی می‌کند؛ از جمله این روش‌ها EPM، PSIAC، BLM و FAO است که در این راستا می‌توان به مطالعات زیر در این زمینه اشاره کرد:

در مطالعه‌ای که در حوضه آبخیز تنگ کنشت توسط راستگو و همکاران (۱۳۸۳: ۱۰) انجام شد، ایشان برای

به‌عنوان یک ناحیه بحرانی از نظر میزان فرسایش شناخته شد (TaherNezami and Izadi, 2013:6).

در مطالعه‌ای دیگر که توسط حسن زاده و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه آبخیز چاله در منطقه گیلان غرب انجام شده، آنها با استفاده از مدل EPM اقدام به تخمین بار رسوب کردند. همچنین براساس پارامترهایی مثل عامل کاربری، عامل حساسیت خاک به فرسایش و شیب مناسب منطقه را به ۵ زیربخش تقسیم کردند. نتایج نشان داد که فرسایش ویژه در زیر حوضه ۴ بزرگ‌تر از زیرحوضه‌های دیگر است (Hasan zadeh et al, 2013: 1257).

عابدینی و همکاران (۱۳۹۴: ۱۴) میزان رسوبدهی حوضه آبخیز عنبران را با استفاده از مدل WEPP مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت ۴ نوع مدیریت، ۲ نوع خاک و ۵ نوع آبراهه توسط مدل WEPP در حوضه آبخیز عنبران تشخیص داده شد. میزان رسوب برآوردی توسط روش دامنه و حوضه آبخیز مدل WEPP به ترتیب ۰/۱۱۶ و ۰/۰۸۲ تن در هکتار به دست آمد که روش دامنه با ۰/۱۱۶ تن در هکتار در سال به رسوب مشاهده‌ای ایستگاه عنبران با ۰/۱۳۸ تن در هکتار در سال نزدیک است. بدین ترتیب نتایج نشان داد که روش دامنه مدل WEPP نسبت به روش حوضه آبخیز کارایی بیشتری دارد. در مطالعه‌ای دیگر در حوضه آبخیز مشکین چای که توسط (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۷) انجام شد، ایشان برای بررسی میزان فرسایش خاک و رسوبدهی از روش EPM استفاده کردند. در این راستا از نرم‌افزار ARCGIS، تصاویر ماهواره‌ای IRS، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری، هواشناسی، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی در اجرای مدل EPM مورد استفاده قرار گرفت.

عابدینی (۱۴۰۰) در مورد فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرسایش باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزندچای شهرستان مرند تحقیق بعمل آورده‌اند و

استفاده شد؛ نتایج نشان داد که هر چند هر سه روش تمایل به بیش‌برآوردی دارند، ولی روش MPSIAC نتایج بهتری ارائه می‌دهد (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۱). بعلاوه محققینی مانند عیسی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای که در حوضه‌های آبخیز کوچک انجام دادند، از دو روش RUSLE و MPSIAC برای اندازه‌گیری فرسایش و رسوب استفاده کردند، سپس دقت و صحت هر یک از این مدل‌ها با استفاده از مدل‌های آماری مثل MAD تعیین شد. نتایج نشان داد که روش MPSIAC با مقدار حداقل MAD در اولویت اول برای برآورد رسوب قرار گرفت (Eisazadeh et al, 2012:6).

روش کار و نتایج تحقیق بعمل آمده توسط دمیرل و توزون (۲۰۱۱) در مورد ارزیابی عوامل مؤثر بر فرسایش با استفاده از روش ANP فازی انطباق زیادی با تحقیق کنونی در حوضه رزن مطابقت دارد (Demirel and Tüzün, 2011: 6-8).

در تحقیقی که قبادی و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه آبخیز باغ ملک در خوزستان، برای برآورد مقدار فرسایش و رسوب انجام دادند، روش‌های MPSIAC و EPM را همراه با نقشه‌های فرسایشی که با استفاده از تکنیک GIS ایجاد شده بودند، به کار گرفتند (Ghobadi et al, 2011: 12).

نتایج نشان داد که مدل MPSIAC با تکنیک‌های GIS و RS پیوستگی بیشتری با نرخ فرسایش دارد. در نهایت نتایج حاصل از رگرسیون خطی نیز نشان داد که در مدل MPSIAC در مقایسه با مدل EPM گراف رسوب دارای بیشترین همبستگی است.

همچنین طاهر نظامی و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیقی که در حوضه آبخیز کرج (سد شهرستانک) انجام دادند، برای برآورد فرسایش و رسوب از دو مدل MPSIAC و EPM استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار رسوب برآوردشده با استفاده از مدل EPM بیشتر بوده است و در نهایت منطقه مورد مطالعه،

نتایج نشان داده که مجموع کل فرسایش سالانه خاک در حوضه ۴۱۱۲۱۵۲۵ تن و برای هر هکتار ۲۹۱ تن می باشد که این بیانگر بالا بودن نرخ فرسایش خاک در این حوضه است.

بررسی نتایج نشان می دهد که سه عامل مهم توپوگرافی، لیتولوژی و تغییرات کاربری اراضی در کنترل فرسایش و رسوب نقش مهمی ایفا کرده اند. در این پژوهش از مدل های منطق فازی، BLM و EPM برای برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبریز رزن استفاده شده است و مقایسه موردی بین این مدل ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رزن با مساحت ۳۰۸۴ کیلومترمربع در شمال شرقی استان همدان واقع شده است. این حوضه از شمال توسط خطالرأس ارتفاعات آق دریند، قره گونی و آران از استان قزوین، از غرب توسط خطالرأس ارتفاعات قره داغ و قلی آباد از حوضه آبریز دشت

کبودرآهنگ، از شرق توسط حد جداکننده حوضه آبریز (ارتفاعات کوه سفید و قزل داغ) از دشت ساوه (استان مرکزی) و حد جنوبی آن از دشت کمیجان اراک در حوالی روستای فیروزآباد و دولت آباد جدا می شود. سطح گسترش سفره اصلی آب زیرزمینی (آبخوان) این دشت ۱۷۰۹ کیلومترمربع است. شهر رزن در فاصله ۸۰ کیلومتری از مرکز استان با ارتفاع ۱۸۴۱ متر از سطح دریا و مختصات ۲۰ و ۴۹ درجه طول شرقی و ۲۳ و ۳۵ درجه عرض شمالی واقع شده است. ضمناً از جنوب ناحیه مورد بررسی رودخانه قره چای از محدوده مطالعاتی کمیجان وارد دشت می شود که بعد از عبور از شرق قهاوند و حرکت به سمت شمال امین آباد کرد در شرق پیرنهان به شاخه ورودی از دشت کبودرآهنگ متصل و ضمن ادامه مسیر در جهت شمال شرق در شرق محدوده مطالعاتی رزن - قهاوند نهایتاً در حوالی روستاهای ده دوان و عمرآباد از منطقه خارج می شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رزن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

در این حوزه چهار رودخانه اصلی خمیگان، زهتران، قوری چای و شراء (قره چای) وجود دارد که جریان آب در آنها فصلی است. رودخانه خمیگان: این رودخانه از دامنه ارتفاعات شمالی اوزن بلاغ، خلج، دولت آباد و وفس

سرچشمه می گیرد و به طرف جنوب جریان می یابد، در قسمت های جنوبی از کنار روستاهای سراوک، نگارخاتون و جهان آباد عبور می کند و در نهایت به رودخانه قره چای می ریزد. رودخانه زهتران از ارتفاعات قاراش، گوجه بغاز،



سنگ‌جوش و ماسه‌سنگ روی رسوبات ژوراسیک قرار گرفته است. تشکیلات کرتاسه در غرب گسترش بیشتری دارند؛ درحالی‌که در جنوب‌غربی تشکیلات ژوراسیک فزونی می‌یابد. در نیمه جنوبی در دامنه کلیه ارتفاعات آبرفت‌های قدیم و جوان دوران چهارم وجود دارد که حاصل تخریب ارتفاعات اطراف است. این واریزه‌ها در برخی قسمت‌ها تا حدودی سخت شده و حالت کنگلومرای پیدا کرده‌اند.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا اطلاعات پایه شامل نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ منطقه مورد مطالعه (ژوئن، ۲۰۱۳)، داده‌های مربوط به اقلیم منطقه از جمله رطوبت، بارش و دما، DEM ۳۰ متری SRTM منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه مورد مطالعه به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان‌های مربوط تهیه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برای ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و درنهایت پیاده‌کردن مدل‌ها، نرم‌افزار ENVI برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. برای اعتبارسنجی نتایج مدل‌های مورد استفاده موقعیت ۵۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش در بررسی‌های میدانی با استفاده از دستگاه GPS مشخص شد و این نقاط با نقشه‌های نهایی فرسایش انطباق داده شد. بدیهی است هر کدام از مدل‌های مورد استفاده با نتایج این انطباق هم‌خوانی بیشتری داشته باشند، برای بررسی فرسایش منطقه از کارایی بیشتری برخوردار هستند. پس از تهیه لایه‌های مورد نیاز مدل EPM شامل لایه کاربری زمین، شیب متوسط حوضه و تهیه لایه‌های فرسایش حوضه آبریز و حساسیت سنگ و خاک به فرسایش از نقشه‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه مورد مطالعه، با

کرفس و شوند واقع در شمال منطقه سرچشمه می‌گیرد و درنهایت با روندی شمالی-جنوبی و با گذر از کنار روستای نصیرآباد به رودخانه قره‌چای می‌پیوندد. رودخانه قوری‌چای که در اغلب ایام سال فاقد جریان است، در سال ۱۳۶۹ زیر پوشش اندازه‌گیری قرار گرفت. ارتفاعات محدوده مطالعاتی رزن-قهاوند در سمت شمال بیشتر از جنس سنگ‌های آتشفشانی و توف و دگرگونی در سمت شمال‌شرق شامل لایه‌های آهکی، مارنی، کنگلومرای و ماسه‌سنگی مربوط به الیگومیوسن، در سمت شرق رسوبات شیل و ماسه‌سنگ و در سمت غرب بیشتر از جنس توده‌های آذرین دیوریتی و گرانیتی هستند. قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در این محدوده، اسلیت‌های کم دگرگون یافته و شیست‌ها هستند که سن تریاس و ژوراسیک فوقانی دارند. این سنگ‌ها در کوه‌های آوج و رزن مانند کوه پاشالو شرق گل تپه در نزدیکی و مجاورت قره‌بلاغ گسترش قابل ملاحظه‌ای را از خود نشان می‌دهد. قاعده این تشکیلات در منطقه مورد مطالعه رخنمون ندارد. اتفاق و تجمع این سنگ‌ها که انواع مختلف شیست‌ها از جمله کلریت شیست، مسکویت شیست و بیوتیت شیست را تشکیل می‌دهند، همراه با شواهد و قرائن صحرایی دلالت بر درجه ضعیف دگرگونی، از نوع دگرگونی محلی را برای این سنگ‌ها مشخص می‌کند. همان‌طوری که اشاره شد، قاعده سنگ‌های دگرگونی در محل مورد مطالعه رخنمون و بیرون‌زدگی ندارد؛ ولی کمی دورتر در جایی که توسط رسوبات دگرگون شده کرتاسه پوشیده می‌شود، قابل ملاحظه است. سن دگرگونی احتمالاً بین کرتاسه و ائوسن است. در نیمه جنوبی این محدوده مطالعاتی (قهاوند) جنس ارتفاعات حاشیه دشت در قسمت‌های غربی و جنوب‌غربی شامل رسوبات ژوراسیک با جنس ماسه‌سنگ، شیل همراه با آهک‌های سیلتی عدسی‌شکل شیست، اسلیت و مارن است. تشکیلات کرتاسه شامل آهک-آهک مارنی،

بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ (۱۹۸۸) ارائه شده است. اگر این مدل با بازدیدهای صحرائی کنترل شود، می‌تواند نتایج قابل‌قبولی داشته باشد. مدل EPM می‌تواند به‌عنوان ابزاری در جهت به‌دست‌آوردن یک برآورد اولیه از میزان بار رسوب آبراهه‌ها در طرح‌های مربوط به سدهای درحال احداث یا سایر سازه‌هایی که به نحوی به این‌گونه داده‌ها نیازمندند، به‌کار گرفته شود. در این روش، چهار عامل در برآورد میزان رسوب مؤثر هستند که عبارت است از ضریب فرسایش حوضه آبخیز  $(\phi)$ ، ضریب استفاده از زمین  $(Xa)$ ، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش  $(Y)$ ، شیب متوسط حوضه  $(I)$  که در هر کدام از واحدهای کاری مورد بررسی قرار می‌گیرد (رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۵۱). سپس برای تعیین شدت فرسایش در حوضه مورد مطالعه با استفاده از روش EPM به‌صورت زیر به‌دست آمد.

$$Z = Xa \cdot Y \cdot (\phi + I^{1/2}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

استفاده از جداول مربوط به مدل EPM، به هر یک از لایه‌های موردنیاز امتیاز داده شد و نقشه پهنه‌بندی فرسایش به‌دست آمد. در مدل BLM وضعیت فرسایش را برحسب جمع نمرات عوامل هفت‌گانه در یک جدول امتیازدهی عوامل سطحی (جدول ۵) عرضه کرده است و مطابق با این جدول، وضعیت کلی فرسایش برای هر تیپ فرسایشی مشخص شد (جدول ۶). برای تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از مدل منطق‌فازی، ابتدا نقشه لایه‌های عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک با توجه به نظر کارشناسی، شامل شیب، جهت‌شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، خاک، لیتولوژی و بارش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت.

مدل EPM: مدل EPM با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمین‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق به‌دست آمده و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس

جدول ۱: کلاس شیب و امتیاز آن در مدل EPM

امتیاز در مدل EPM	شیب	کلاس شیب
۰/۰۲۵	۰-۵	۱
۰/۰۷۵	۵-۱۰	۲
۰/۱۵	۱۰-۲۰	۳
۰/۲۵	۲۰-۳۰	۴
۰/۳۵	۳۰-۴۰	۵
۰/۴۵	۴۰-۵۰	۶
۰/۶	>۵۰	۷

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۵۱

جدول ۲: ویژگی‌های فرسایش در واحدهای کاربری

فرسایش	ویژگی‌های فرسایش در واحد کاری	ردیف
۱	سطح وسیعی از منطقه از هکت و فرسایش خندقی پوشیده شده باشد	۱
۰,۹	حدود ۸۰ درصد از منطقه دارای فرسایش خندقی و شیاری باشد	۲
۰,۸	حدود ۵۰ درصد از منطقه دارای فرسایش خندقی و شیاری باشد	۳
۰,۷	سطح وسیعی از منطقه دارای فرسایش سطحی و حرکات توده‌ای و به مقدار کم فرسایش خندقی و خندقی و شیاری و پدیده کارستی باشد	۴
۰,۶	سطح وسیعی از منطقه دارای فرسایش سطحی بدون آثار فرسایش شدید باشد	۵
۰,۵	۵۰ درصد از منطقه دارای فرسایش سطحی باشد	۶
۰,۴	۲۰ درصد از منطقه دارای فرسایش سطحی باشد	۷
۰,۳	منطقه بدون فرسایش سطحی قابل ذکر باشد	۸
۰,۲	اراضی کشاورزی با فرسایش ناچیز	۹
۰,۱	اراضی به صورت جنگل و مرتع و با فرسایش ناچیز	۱۰

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۵۱

جدول ۳: ضریب حساسیت فرسایش به واحدهای سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی

ضریب حساسیت	شرایط سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی	ردیف
۲	ماسه، سنگ ریزه، شیست، مارن دارای املاح گچ و نمک	۱
۱,۶	لس، توف، خاک شور و قلیایی، خاک استپی	۲
۱,۲	آهک تخریب‌شده، رس و مارن بدون املاح	۳
۱,۱	ماسه سنگ قرمز و رسوبات فلیشی	۴
۱	شیست خردشده، میکاشیست، گنیس، شیست آرژیلیت‌دار	۵
۰,۹	سنگ آهک سخت، خاک‌های هموس‌دار	۶
۰,۸	خاک‌های قهوه‌ای جنگلی و خاک‌های کوهستانی	۷
۰,۶	خاک‌های هیدرومرف سیاه یا خاکستری	۸
۰,۵	خاک‌های چرنوزوم و رسوبات آبرفتی با بافت مناسب	۹
۰,۲۵	سنگ‌های آذرین سخت، دگرگونی و متبلور	۱۰

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۵۱

جدول ۴: طبقه‌بندی شدت فرسایش در مدل EPM (رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۵۱)

مقادیر متوسط Z	مقادیر حد Z	شدت فرسایش	طبقه‌بندی فرسایش
۱,۲۵	$z > 1$	خیلی شدید	I
۰,۸۵	$1 > z > 0.71$	شدید	II
۰,۵۵	$0.7 > z > 0.41$	متوسط	III
۰,۳	$0.4 > z > 0.2$	کم	IV
۰,۱	$0.19 > z$	خیلی کم	V

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۵۵۱

در این رابطه WSP میزان فرسایش ویژه سالانه برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع و T ضریب درجه حرارت است.

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5}$$

رابطه (۳)

مرحله دوم محاسبه میزان حمل رسوب است که با استفاده از رابطه ۳، می‌توان مقدار فرسایش را در طول یک سال در واحد سطح حوضه آبخیز (کیلومتر مربع) برحسب مترمکعب در کیلومتر در سال برآورد کرد.

$$WSP = T.H.Z^{1.5} \cdot \pi$$

رابطه (۲)

T: متوسط درجه حرارت سالیانه حوضه آبخیز برحسب درجه سانتیگراد، H متوسط بارندگی سالیانه برحسب میلی‌متر، Z ضریب شدت فرسایش و  $\pi$  معادل ۳,۱۴ است.

مرحله سوم محاسبه دبی رسوب ویژه برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال است که از طریق رابطه ۴، به دست می‌آید. سپس از طریق رابطه ۵، ضریب رسوب‌دهی محاسبه می‌شود که در این رابطه p محیط حوضه آبخیز برحسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع برحسب متر و L طول حوضه یا بزرگ‌ترین آبراهه برحسب کیلومتر است. مقدار D نیز از رابطه ۶ به دست می‌آید که در آن  $D_{av}$  ارتفاع متوسط حوضه برحسب کیلومتر و  $D_o$  ارتفاع نقطه خروجی حوضه برحسب کیلومتر است.

$$GSP = WSP.RU \quad \text{رابطه (۴)}$$

GSP: دبی رسوب ویژه برحسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال  
WSP: مقدار فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال  
RU: ضریب رسوب‌دهی.

$$RU = \frac{4(P.D)^{0.5}}{L+10} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$D = D_{av} - D_o \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این تحقیق عوامل شیب، ضریب فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش مورد بررسی قرار گرفت. سپس نقشه هریک از این عوامل با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه و در پایان برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبریز رزن با استفاده از مدل EPM در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. برای تهیه نقشه شیب (I) ابتدا مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه مورد مطالعه تهیه شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc Gis نقشه شیب تولید و مورد استفاده قرار

گرفت (شکل ۳). درجهت محاسبه ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی (شکل ۲) منطقه مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان همدان تهیه و سپس با استفاده از این نقشه و کمک‌گرفتن از اطلاعات جدول ۳ ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در منطقه مورد مطالعه به دست آمد (جدول ۷). ضریب فرسایش سطحی حوضه آبریز (φ) در واقع وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه را نشان می‌دهد. نقشه این لایه از سازمان منابع طبیعی استان همدان تهیه شد. نقشه کاربری اراضی (Xa) منطقه مورد مطالعه نیز از اداره منابع طبیعی استان همدان تهیه و به کار گرفته شد (شکل ۴).

مدل BLM: این مدل توسط دفتر مدیریت اراضی

آمریکا ابداع شده و مراحل اجرای آن به شرح زیر است:

۱. تهیه نقشه تیپ فرسایش با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرایی طبق جدول تعیین امتیاز سطحی خاک (S.S.F<sup>2</sup>) جدول ۵.
۲. تعیین امتیاز عامل فرسایش سطحی (توسط آب، باد، نیروی ثقل و...) با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرایی.
۳. تعیین امتیاز عامل وجود لاشبرگ سطحی در خاک با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرایی.
۴. تعیین امتیاز عامل پوشش سنگی سطح زمین با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرایی.
۵. تعیین امتیاز عامل آثار تخریب در سطح زمین با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرایی.
۶. تعیین امتیاز عامل وجود فرسایش شیاری با دامنه عددی ۰-۱۴ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرایی.
۷. تعیین امتیاز عامل آثار رسوب‌گذاری جریان با دامنه عددی ۰-۱۵ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرایی.
۸. تعیین امتیاز عامل وجود فرسایش خندقی با دامنه

عددی ۰-۱۵ با توجه به جدول ۵ و بازدیدهای صحرائی. سازمان مدیریت اراضی آمریکا (B.L.M) وضعیت فرسایش را بر حسب جمع نمرات عوامل هفت‌گانه عرضه کرده‌است (جدول ۶). طبق این جدول وضعیت کلی فرسایش برای هر تیپ فرسایشی مشخص می‌شود.

جدول ۵: امتیازدهی عوامل براساس مدل BLM

شرح	حدود امتیاز	ویژگی ظاهری
حرکت توده خاک	۰-۳	حرکت قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود
	۴-۵	حرکت مختصر ذرات خاک
	۶-۸	حرکت متوسط و تازه ذرات خاک قابل مشاهده است.
	۹-۱۱	آثار تجمع خاک و ذرات مختلف در مقابل موانع کوچک که با هر رواناب، این مدل اتفاق می‌افتد.
	۱۲-۱۴	خاک تحت‌الارضی در بیشتر مناطق ظاهر شده و به‌وضوح دیده می‌شود.
پوشش لاشبرگ	۰-۳	تجمع بقایای گیاهی در یک منطقه
	۴-۶	بقایای گیاهی دارای حرکت کمی هستند.
	۷-۸	حرکت متوسط لاشبرگ آشکار است و در مقابل موانع رسوب کرده‌است.
	۹-۱۱	حرکت زیاد لاشبرگ آشکار است و مقادیر زیاد و بزرگ در مقابل موانع رسوب کرده‌است.
	۱۲-۱۴	لاشبرگ سطحی خیلی کم است.
پوشش سطحی سنگ زمین	۰-۲	به‌خوبی توسعه یافته و به‌صورت یکسان پراکنده است.
	۳-۵	به‌صورت لکه‌لکه‌ای پراکنده است.
	۶-۸	مقدار سنگ‌های کوچک و بزرگ با پراکنش خیلی ضعیف
	۹-۱۱	به‌صورت سطوح منفرد است و حرکت کمی را نشان می‌دهد.
	۱۲-۱۴	به میزان زیاد وجود دارند، اما به‌وسیله شیارها و خندق‌ها از هم جدا می‌شوند.
قطعات سنگی تحکیم یافته	۰-۳	شواهد قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود.
	۴-۶	در مسیرهای جریان به میزان کم وجود دارد.
	۷-۹	وجود سنگ‌های کوچک و گیاهان در شبکه جریان
	۱۰-۱۲	سنگ‌های کوچک و گیاهان به‌صورت برجستگی‌ها درآمده و عموماً ریشه گیاهان دیده می‌شود.
	۱۳-۱۴	گسترش خیلی زیاد سنگ‌ها و گیاهان به‌صورت تحکیم‌یافته
شیارهای سطحی	۰-۳	شیارها در سطح زمین بر اثر فرسایش آبی دیده نمی‌شوند.
	۴-۶	شیارها در سطح زمین مشهود است، اما این شیارها عمقی کمتر از ۱/۵ سانتی‌متر دارند.
	۷-۹	شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک به فواصل حدود ۳ متر از یکدیگر دیده می‌شوند.
	۱۰-۱۲	شیارهایی با عمق ۱/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در سطح خاک دیده می‌شوند که فواصل بین آن‌ها حدود ۳ متر است.
	۱۳-۱۴	شیارهایی با عمق ۷/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر با فاصله کمتر از ۱/۵ متر در سطح خاک دیده می‌شود.
شکل آبراهه	۰-۳	کمتر آبراهه‌ای در سطح زمین دیده می‌شود.
	۴-۶	مواد برجای مانده در کف آبراهه تا حدودی مشهود است.
	۷-۹	ذرات موجود در کف آبراهه به‌ترتیب اندازه‌تشنشین شده‌اند.
	۱۰-۱۲	در کف آبراهه ذرات لای شن و مواد کوه‌رفتی دیده می‌شود.
	۱۳-۱۵	تراکم آبراهه در سطح زمین زیاد و اراضی غیرقابل کشت در محل‌تشنسست مواد کوه‌رفتی به چشم می‌خورد.
توسعه فرسایش خندقی	۰-۳	ممکن است در شرایط پایداری باشند و پوشش گیاهی کف آبراهه و شیب‌های جانبی مستقر باشند.
	۴-۶	تعدادی خندق با فرسایش بستر و شیب کناری کم، مقداری پوشش گیاهی رویشی به وجود دارد.
	۷-۹	تعدادی از خندق‌ها کاملاً توسعه‌یافته دارای فرسایش فعال در طول کمتر از ۹۱ درصد طول آن
	۱۰-۱۲	خندق‌ها به تعداد زیاد ۵۵-۱۰ درصد فعالیت فرسایشی دارند.
	۱۳-۱۵	خندق‌های فعال که بیشتر از ۵۰ درصد منطقه را می‌پوشانند و از نظر فرسایشی فعال هستند.

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۶۸



جدول ۶: وضعیت فرسایش بر حسب جمع نمرات هفت عامل

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفت‌گانه
جزئی	۰-۲۰
کم	۲۱-۴۰
متوسط	۴۱-۶۰
زیاد	۶۱-۸۰
خیلی زیاد	۸۱-۱۰۰

مأخذ: رفاهی، ۱۳۷۹: ۲۷۱

### مدل منطق فازی

منطق فازی یک منطق چندمقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیرمجموعه خاص، به صورت قطعی نیست، یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه است یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. اگر این عدد برابر با صفر باشد، می‌توان با قطعیت گفت که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه نبوده و همچنین اگر این عدد ۱ باشد، می‌توان ادعا کرد که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه است. بدین ترتیب می‌توان زیر مجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت دادن عددهای ۰ و ۱ به هر عضو مجموعه بازنمایی کرد.

تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. به بیان لطفی‌زاده برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت تعریف شود (تاناکا، ۲۰۰۴). یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی، بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. تابع عضویت را می‌توان درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌های آن دانست و به صورت  $\mu_C(X)$  نمایش داده می‌شود. در

توابع مشخصه مجموعه‌های قاطع باید در مورد تعلق یک عضو به مجموعه که یا صفر است یا یک، تصمیم بگیریم. در حالی که توابع عضویت این امکان را به ما می‌دهد که میزان تعلق یا درجه را به صورت یک عدد حقیقی بین یک تا صفر انتخاب کنیم. اپراتورهای مدل منطق فازی شامل عملگر اجتماع فازی<sup>۱</sup>، عملگر اشتراک فازی<sup>۲</sup>، عملگر ضرب جبری فازی<sup>۳</sup>، عملگر جمع جبری فازی<sup>۴</sup> و عملگر گاما فازی<sup>۵</sup> هستند.

عملگر اجتماع فازی: این عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. به این صورت که حداکثر درجه عضویت را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نیست. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۷)

$$\text{Combination} = \text{MAX} [\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots] \mu$$

عملگر اشتراک فازی: این عملگر اشتراک مجموعه‌ها است. به این صورت که حداقل درجه عضویت را استخراج می‌کند، یعنی در بین همه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۸)

$$\mu = \text{MIN} [\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots] \text{combination}$$

1. Fuzzy OR
2. Fuzzy AND
3. Fuzzy Algebraic Product
4. Fuzzy Algebraic Sum
5. Fuzzy Gamma

جبری فازی خواهد بود و وقتی  $y=0$  باشد ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $y$  بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی هستند. نتایج به‌دست‌آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار است.

### بحث و نتایج

در جهت انجام این مطالعه با استفاده از مدل منطبق فازی، ابتدا پایگاه داده شامل لایه‌های شیب، جهت‌شیب، سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری ارضی، پوشش گیاهی، بارش، خاک و آبراهه تشکیل و سپس داده‌ها در قالب مدل‌های رستری و برداری تولید شد. سپس با پردازش داده‌ها نقشه‌های مورد نیاز به‌دست آمد.

سنگ‌شناسی: شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی سطحی حوزه آبریز برای ارزیابی فرسایش و رسوب دارای اهمیت ویژه‌ای است. سنگ‌های سست و نرم معمولاً به‌سادگی فرسوده می‌شوند و نقش مهمی را در تولید رسوب برعهده دارند. در جهت تهیه لایه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه، از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی استفاده شد (شکل ۲).

شیب: یکی از عوامل اصلی در فرسایش خاک و تولید رسوب در هر حوزه آبریز، شیب زمین است. در شیب‌های تند با طول زیاد به‌دلیل افزایش سرعت و مقدار رواناب و همچنین افزایش نقش قطرات باران فرسایش معمولاً افزایش می‌یابد. در این پژوهش برای تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (شکل ۳).

عملگر ضرب جبری فازی: در این اپراتور همه لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به‌دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی است، این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد؛ به‌همین دلیل این اپراتور از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است. این عملگر به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۹)

$$\text{Combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i \mu$$

عملگر جمع جبری فازی: این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبری است؛ به‌همین دلیل در نقشه خروجی بر خلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. این عملگر به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱۰)

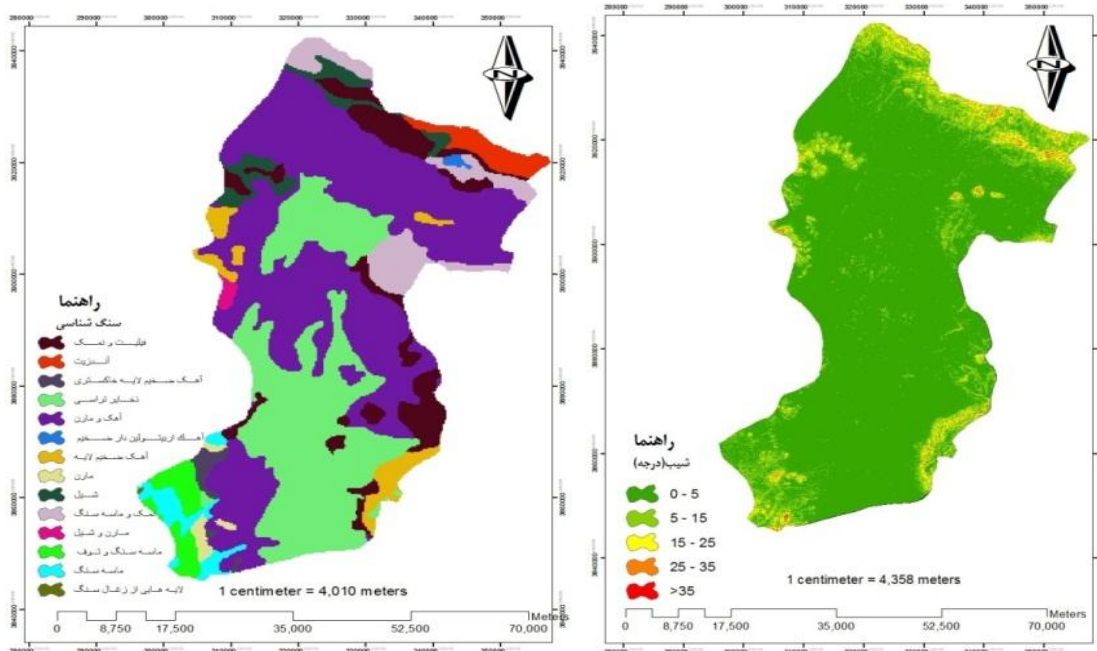
$$\mu \text{ Combination} = \prod_{i=1}^n i(1 - \mu)$$

عملگر گامای فازی: این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۱۱)

$$\text{Combination} = (\text{Fuzzy A I g . Sum})^{0^y} * (\text{Fuzzy A I g . Pr oduct})^{0^{1-y} \mu}$$

که در آن  $y$  پارامتر انتخاب‌شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی  $y$  برابر با ۱ باشد، ترکیب همان جمع



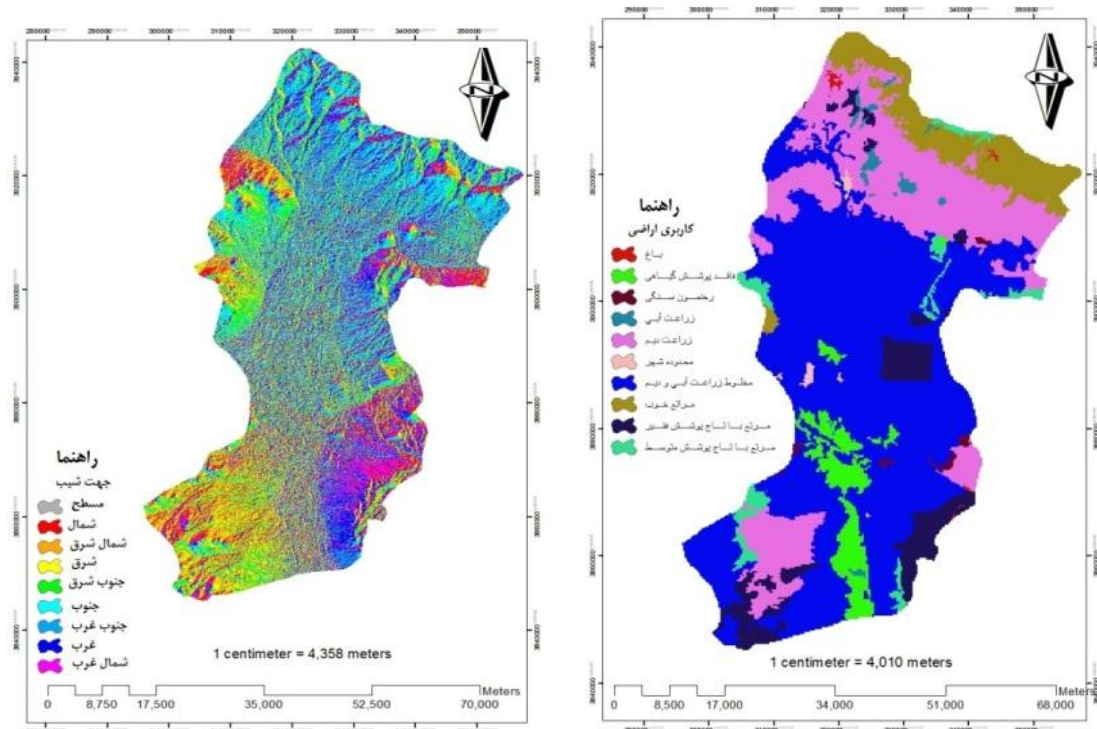
شکل ۲: نقشه سنگ شناسی حوضه و شکل ۳: در سمت چپ نقشه شیب حوضه

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۳۹۶

### کاربری اراضی

مطالعه نوع پوشش گیاهی روی زمین و نوع کاربرد آن در مصارف کشاورزی، صنعتی و عمرانی در امر بررسی فرسایش دامنه‌ها بسیار مهم است. فعالیت‌های انسان از زمانی که شروع به بهره‌برداری از زمین کرد، در جهت تشدید فرسایش بوده و میزان این فرسایش با بهره‌برداری بیشتر افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی هر استفاده‌ای که موجب کاهش درصد پوشش زمین روی یک شیب شود، به‌شدت بر فرسایش و تولید رسوب اثر می‌گذارد. با توجه به پوشش گیاهی و نوع کاربری، زمین‌های حوضه آبریز کهمان به ۹ کلاس تقسیم شدند

که مبنای آن مطالعاتی بود که در سازمان منابع طبیعی استان لرستان انجام گرفته‌است (شکل ۴). جهت شیب دامنه: جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است. در این پژوهش به‌منظور نشان‌دادن ارتباط بین جهت شیب و فرسایش‌های رخ داده و با توجه به اهمیت این موضوع در پدیده فرسایش نقشه جهت شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۹ کلاس شمال، شمال‌شرق، شرق، جنوب‌شرق، جنوب، جنوب‌غرب، غرب، شمال‌غرب و مناطق مسطح طبقه‌بندی شد (شکل ۵).



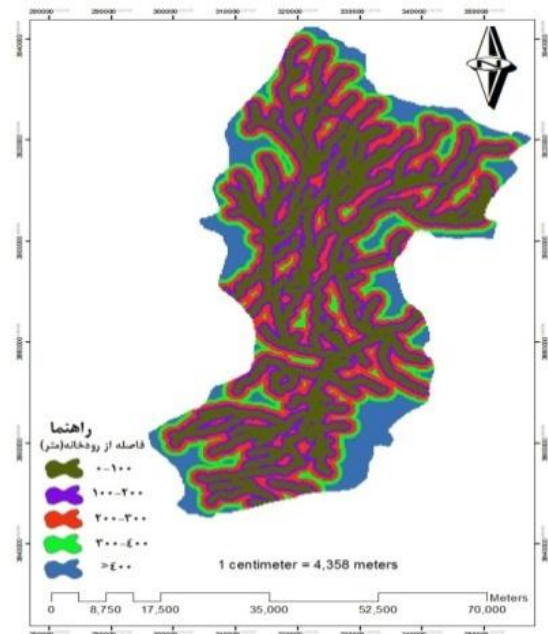
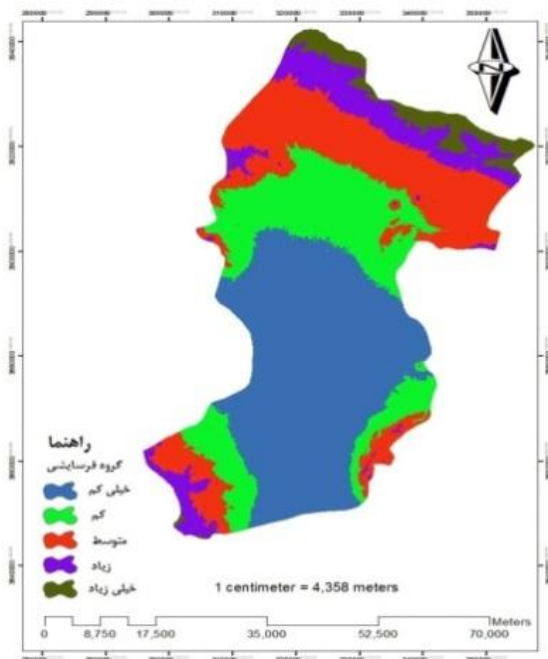
شکل ۴: نقشه کاربری اراضی حوضه و شکل ۵: در سمت چپ نقشه جهت شیب حوضه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

داشته و با میزان رس موجود در خاک دارای رابطه معکوس است. نیروی چسبندگی بین ذرات رس باعث افزایش پایداری خاک می‌شود و در نتیجه از میزان فرسایش و تولید رسوب می‌کاهد. برای تهیه لایه خاک در منطقه مورد مطالعه، خاک‌های موجود براساس بافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، میزان آهک، مواد آلی و قابلیت پخش رس، به ۵ گروه شامل گروه فرسایشی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شدند (شکل ۷).

فاصله از آبراهه: برای تهیه نقشه فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد. آنگاه نقشه فاصله از آبراهه به ۵ کلاس با فواصل ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰ و بیشتر از ۴۰۰ متر تقسیم و در جهت ارتباط بین فرسایش خاک و فاصله از آبراهه به کار برده شد (شکل ۶).

خاک: فرسایش از ضربه قطرات باران به سطح خاک با شدت بارندگی و انرژی جنبشی آن رابطه مستقیم



شکل ۶: نقشه فاصله از آبراهه حوضه و شکل ۷: در سمت چپ نقشه خاک حوضه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

ارتفاع و میزان بارندگی در ایستگاه‌های موجود به دست آمد (رابطه ۱۲) که با استفاده از این رابطه نقشه هم‌بارش حوضه آبریز رزن تهیه شد (شکل ۸).

رابطه (۱۲)

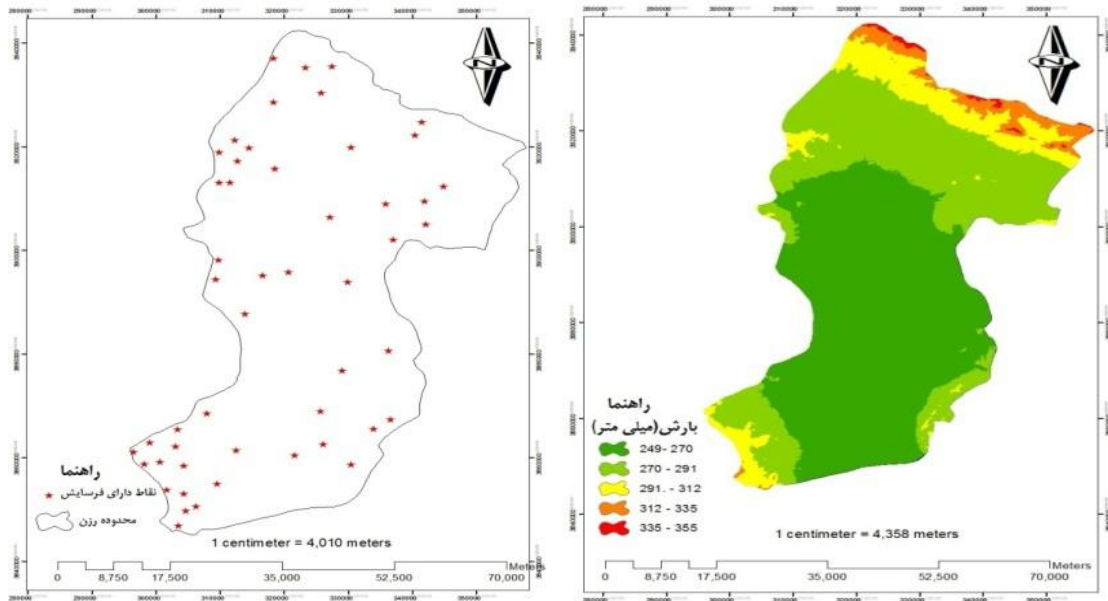
$$p = 0.1126 * h + 307.85$$

p مقدار بارندگی برحسب میلی‌متر، h ارتفاع از سطح دریا برحسب متر است.

برای اعتبارسنجی نتایج، موقعیت ۵۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش، در بررسی‌های میدانی، با استفاده از دستگاه GPS مشخص و این نقاط با نقشه‌های نهایی فرسایش انطباق داده شد (شکل ۹).

بارش: از میان عناصر تشکیل‌دهنده آب‌وهوا، بارش و درجه حرارت بیشترین تأثیر را بر فرسایش دارند. کاهش پارامترهای مقاومتی خاک خود فرسایش خاک را افزایش می‌دهند. مقدار و شدت بارندگی در میزان رواناب و در نتیجه میزان فرسایش مؤثر است. برای بررسی بارش، داده‌های اقلیمی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی‌های استان همدان، از اداره هواشناسی استان همدان تهیه شد. سپس در جهت تهیه نقشه هم‌بارش، تجزیه و تحلیل این داده‌ها در نرم‌افزار Excel صورت گرفت. در مناطق کوهستانی بارش از ارتفاع تأثیر می‌پذیرد. منطقه مورد مطالعه نیز به دلیل کوهستانی بودن و کمبود تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی، رابطه‌ای بین

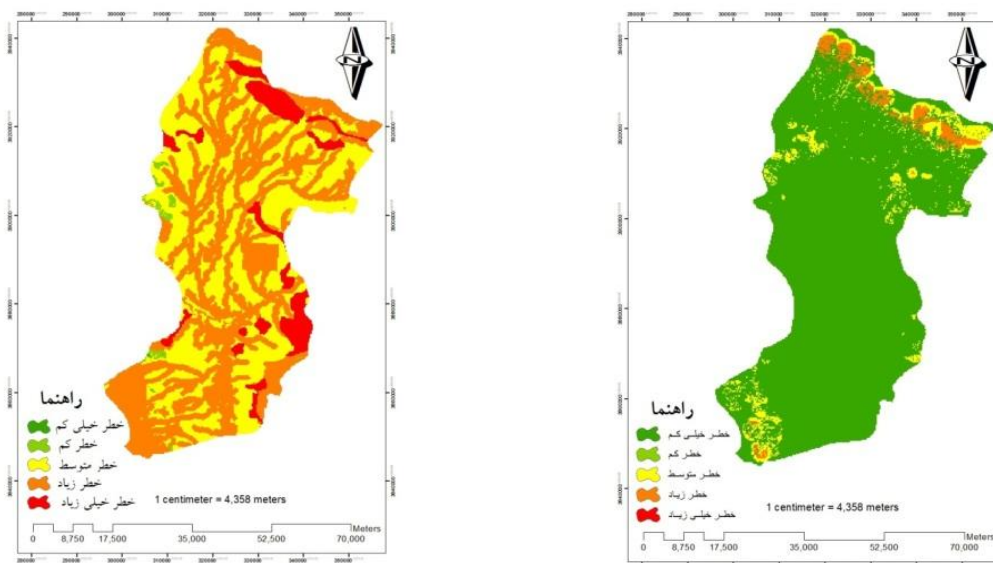




شکل ۸: نقشه بارش حوضه و شکل ۹: در سمت چپ نقشه پراکنش نقاط دارای فرسایش (برداشت با GPS) تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

از دقت بالایی در تعیین فرسایش برخوردار نبود (شکل ۱۰). عملگر اشتراک‌فازی اشتراک مجموعه‌هاست. این عملگر حداقل درجه عضویت‌ها را استخراج کرد. نتایج به‌دست‌آمده از این عملگر در طبقه‌های با خطر پایین قرار گرفت (شکل ۱۱).

در ادامه براساس عملگرهای فازی هم‌پوشانی نقشه‌ها انجام شد و نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش خاک براساس این عملگرها به‌دست آمد. عملگر اجتماع فازی اجتماع مجموعه‌هاست. نقشه حاصل از این عملگر حداکثر درجه عضویت اعضا را تولید کرد؛ به‌همین دلیل

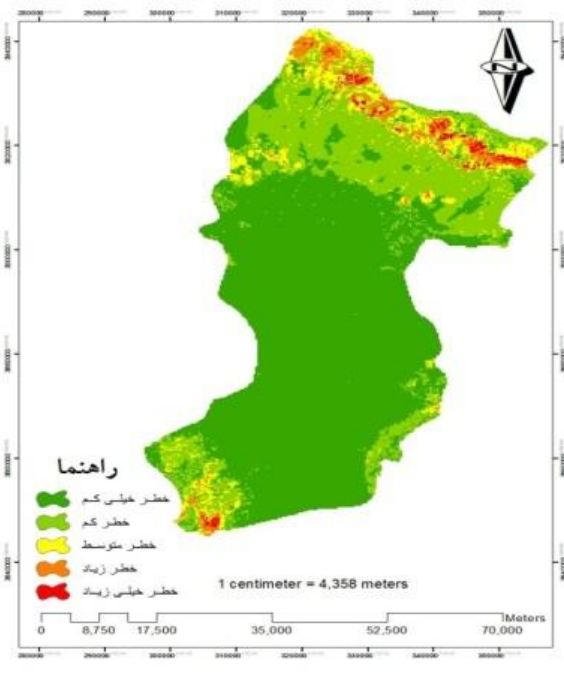
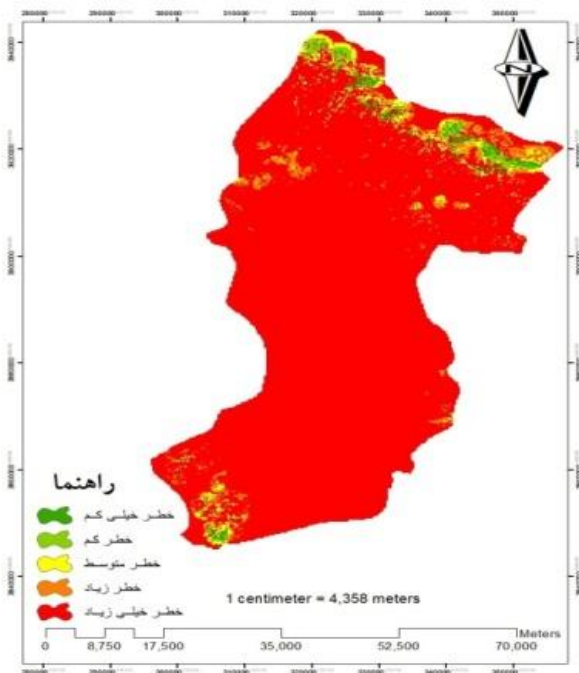


شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی فرسایش در حوضه با استفاده از عملگر اشتراک فازی  
شکل ۱۱: در سمت چپ نقشه پهنه‌بندی فرسایش در حوضه با استفاده از عملگر اجتماع فازی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جبری فازی و دقت خیلی کم عملگر جمع جبری فازی از عملگر گامای فازی ۰/۹۸، استفاده شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش، حاصل از عملگر گامای فازی ۰/۹۸ با اختلاف ۰/۲ به ۵ پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۴). ضرایب مدل EPM از جداول ۱، ۲ و ۳ مربوط به مدل EPM به‌دست آمد و سپس فرسایش منطقه مورد مطالعه با توجه به جدول ۴ در سه دسته خطر متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد (شکل ۱۵).

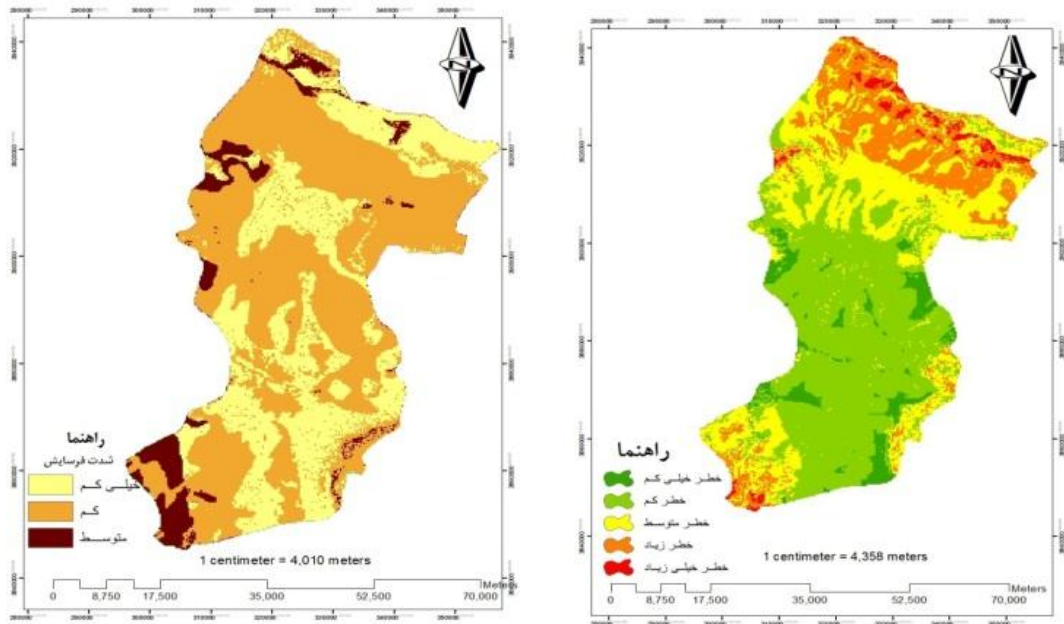
نقشه خروجی حاصل از عملگر ضرب جبری فازی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر نزدیک می‌شوند. این عملگر از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است (شکل ۱۲). عملگر جمع جبری فازی مکمل اپراتور ضرب جبری است. بدین خاطر در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت حداکثر نزدیک می‌شوند. نقشه خروجی حاصل از این عملگر پیکسل‌ها به سمت حداکثر (خطر خیلی زیاد) نزدیک می‌شوند (شکل ۱۳). در این پژوهش در جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب



شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی فرسایش در حوضه با استفاده از عملگر ضرب جبری فازی

شکل ۱۳: در سمت چپ نقشه پهنه‌بندی فرسایش در حوضه با استفاده از عملگر جمع جبری فازی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی فرسایش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از عملگر گاما فازی ۹۸ درصد

شکل ۱۵: در سمت چپ نقشه پهنه‌بندی فرسایش در حوضه با استفاده از مدل EPM

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول ۷: مقادیر رسوب برآوردشده با استفاده از مدل EPM در حوضه آبخیز رزن

حوضه	متوسط بارندگی سالانه mm	دمای سالانه C	ضریب درجه حرارت سالانه T	محیط حوضه Km	ارتفاع متوسط حوضه Km	حداقل ارتفاع حوضه Km	اختلاف ارتفاع حوضه Km	ضریب رسوب‌دهی	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	ضریب شدت فرسایش	رسوب کل
رزن	۳۵۹/۸۶	۱۲/۶۲	۱/۱۷	۳۰۰۳/۳	۲/۲	۱/۶	۰/۹	۰/۵۲	۱۱۷۸/۷	۶۱۲/۹	۰/۵۹	۱۸۹۰۱۸۳/۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جدول و نقشه حاصل از بررسی عوامل هفت‌گانه در جهت تعیین شدت فرسایش در روش BLM در جدول ۸ و شکل ۱۶ نشان داده شده‌است.

جدول ۸: نتایج حاصل از اجرای مدل BLM

تیب فرسایشی	امتیاز عامل ۱	امتیاز عامل ۲	امتیاز عامل ۳	امتیاز عامل ۴	امتیاز عامل ۵	امتیاز عامل ۶	امتیاز عامل ۷	امتیاز شدت فرسایش	شدت فرسایش
E1	۵	۹	۹	۶	۵	۱	۰	۳۵	کم
E2	۸	۸	۸	۷	۶	۳	۱	۴۱	متوسط
E3	۸	۶	۷	۶	۲	۲	۱	۳۲	کم
E4	۶	۷	۸	۶	۷	۷	۲	۴۳	متوسط
E5	۵	۷	۶	۷	۷	۳	۱	۳۶	کم
E6	۷	۸	۸	۴	۶	۲	۰	۳۵	کم

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

از مدل EPM به ترتیب ۲۸/۴۴، ۳۲/۱۶، ۳۹/۴۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته‌است. نتایج مدل BLM نیز ۶۶/۸۵ و ۳۳/۱۵ درصد از حوضه آبریز رزن را در کلاس‌های خطر کم و متوسط نشان می‌دهد (جدول ۹).

براساس پهنه‌بندی صورت‌گرفته با استفاده از عملگر گامای فازی ۰/۹۸، به ترتیب ۱۵/۵۹، ۳۱/۳۷، ۲۵/۷۲، ۱۹/۹۸ و ۷/۳۴ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (جدول ۹). همچنین براساس نتایج حاصل

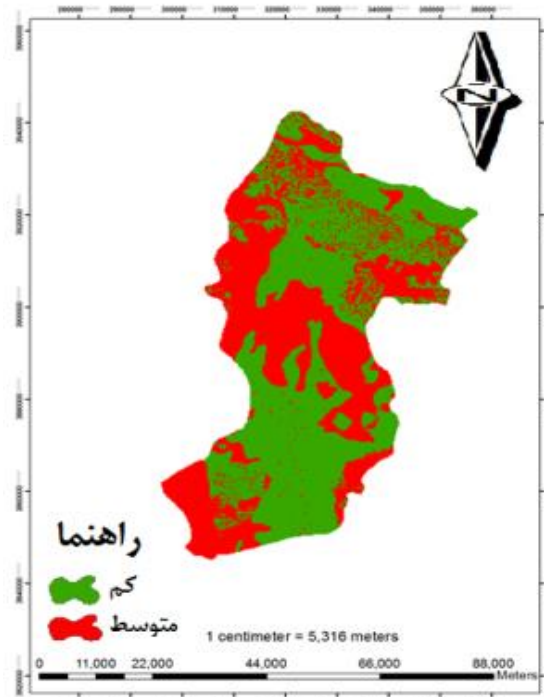
جدول ۹: درصد مساحت هریک از پهنه‌های فرسایشی در منطقه مورد مطالعه

با استفاده از مدل‌های فازی، EPM و BLM

درصد مساحت با مدل BLM	درصد مساحت با مدل EPM	درصد مساحت با مدل گامای فازی ۰/۹۸	کلاس‌های فرسایش
-----	۲۸/۴۴	۱۵/۵۹	خیلی کم
۶۶/۸۵	۳۲/۱۶	۳۱/۳۷	کم
۳۳/۱۵	۳۹/۴۰	۲۵/۷۲	متوسط
-----	-----	۱۹/۹۸	زیاد
-----	-----	۷/۳۴	خیلی زیاد

مأخذ: نگارندگان ۱۳۹۶

نقشه پهنه‌بندی حاصل از بررسی عوامل هفت‌گانه در جهت تعیین شدت فرسایش در روش BLM در شکل ۱۶ نشان داده شده‌است.



شکل ۱۶: نقشه شدت فرسایش به دست آمده با استفاده از مدل BLM

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

## نتیجه

این پژوهش با هدف تهیه نقشه نهایی خطر فرسایش در حوضه آبریز رزن همدان و برآورد میزان رسوب با استفاده از مدل‌های منطق فازی، EPM و BLM انجام شد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی فرسایش وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل EPM با استفاده از توابع هم‌پوشانی ArcGIS در لایه‌های مربوط ضرب شد و نقشه نهایی خطر فرسایش به‌دست آمد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مدل BLM در منطقه مورد مطالعه (جدول ۸) با جدول وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات هفت عامل تعیین کلاس فرسایش خاک (جدول ۶) حاکی از آن است که کلاس فرسایش حوضه در گروه فرسایش کم قرار دارد. نتایج حاصل از مدل EPM (جدول ۷) با جدول طبقه‌بندی شدت فرسایش در مدل EPM (جدول ۴) بیانگر آن است که کلاس فرسایش منطقه مورد مطالعه فرسایش متوسط است. همچنین پهنه‌بندی فرسایش در منطقه مورد مطالعه با عملکرد گاما فازی ۰/۹۸ منطقه مورد مطالعه را در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به‌ترتیب با مساحت‌های ۱۵/۵۹، ۳۱/۳۷، ۲۵/۷۲، ۱۹/۹۸ و ۷/۳۴ درصد نشان داد (جدول ۹).

برای اعتبارسنجی، نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های مورد استفاده، موقعیت ۵۰ نقطه از نقاط دارای فرسایش در بررسی میدانی با GPS مشخص شد (شکل ۹). سپس از روی هم‌گذاری این نقاط با نقشه‌های نهایی فرسایش (نقشه‌های مدل‌های منطق فازی، EPM و BLM) با استفاده از توابع ArcGIS مشخص شد که در مدل منطق فازی از این تعداد نقاط، ۵۸ درصد در خطر خیلی زیاد،

۳۲ درصد در خطر زیاد، ۲ درصد در خطر متوسط، ۲ درصد در خطر کم و ۶ درصد در منطقه خطر بسیار کم قرار گرفتند. همچنین در مدل EPM ۹۱ درصد نقاط در منطقه خطر متوسط، ۷ درصد در خطر کم و ۲ درصد در منطقه خطر بسیار کم و در مدل BLM ۶۳ درصد این نقاط در منطقه خطر کم و ۳۷ درصد در منطقه خطر متوسط قرار گرفتند.

بازدیدهای صحرایی انجام‌شده در این منطقه، قرار گرفتن در کلاس متوسط از نظر شدت فرسایش را نشان می‌دهد (در کلاس فرسایش متوسط جدا شدن و جابه‌جایی ذرات خاک به میزانی است که اجرای برنامه‌های حفاظت آب و خاک ضرورت و اولویت داشته و استفاده از اراضی محدودیت زیادی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل EPM برای ارزیابی فرسایش در منطقه مورد مطالعه نتایج دقیق‌تری را نشان می‌دهد و منطقه مورد مطالعه در کلاس فرسایش متوسط قرار دارد. براساس نتایج مدل EPM به‌ترتیب ۲۸/۴۴، ۳۲/۱۶، ۳۹/۴۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم و متوسط قرار گرفته است (جدول ۹). همچنین مدل EPM، ضریب شدت فرسایش را برای حوضه آبریز رزن ۰/۵۹ و رسوب کل تولیدشده ۱۸۳/۶۱۸۹۰ متر مکعب در سال برآورد کرد (جدول ۷).

در این تحقیق فاکتورهایی مانند شیب، کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی مهم‌ترین عوامل در ایجاد فرسایش بوده‌اند؛ بنابراین در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود در اراضی دیم، به‌ویژه در دامنه‌ها و سراشیب‌ها، زمین در جهت عمود بر شیب منطقه شخم زده شود.



## منابع

- احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، دانشگاه تهران. چاپ سوم. جلد اول (فرسایش آبی). ۶۸۸ صفحه.  
<https://www.gisoom.com/book/1168291>
- احمدی، حسن؛ محمدرضا ثروتی؛ علی محمد نورمحمدی (۱۳۸۶). برآورد رسوب و فرسایش با مدل‌های EPM و MPSIAC با استفاده از روش ژئومورفولوژی و GIS در حوضه آبخیز باغره (تربت حیدریه) مجله علوم جغرافیایی، شماره ۷ و ۸ پاییز و زمستان ۸۶. صفحات ۵۲-۳۵.
- [https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_3543.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_3543.html)
- خدابخش، سعید؛ اکبر محمدی؛ بهروز رفیعی؛ عیسی بزرگزاده (۱۳۸۸). مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوبزایی در زیرحوضه سزار (حوضه آبخیز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی ای پی ام و ام پسیاک با کمک دانش فازی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران. سال سوم. شماره دوازدهم. صفحات ۶۱-۵۱.
- <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=130269>
- خیام، مقصود؛ غنمی جابر، مصطفی؛ رسول صمدزاده، (۱۳۹۲). مقایسه کارایی مدل‌های MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوبزایی حوضه آبخیز سقزچای نمین، دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران. شماره اول. صفحات ۱۵-۱.
- <https://www.sid.ir/fa/journal>
- راستگو، سعید؛ بیژن قهرمان؛ کامران داوری (۱۳۸۳). مقایسه موردی چهار روش MPSIAC، EPM، FAO و BLM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز تنگ‌کنشت، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب‌و خاک. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز. صفحات ۱۰-۱.
- [https://journals.ui.ac.ir/article\\_18554.html](https://journals.ui.ac.ir/article_18554.html)
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۹). فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم. ۵۵۱ صفحه.  
<https://www.gisoom.com/book/11133577>
- سلیمانی، مینا (۱۳۹۲). بررسی مسائل هیدروژئومورفولوژی در حوضه آبخیز لای چای با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل وپ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.
- <https://elmnet.ir/article/10532690-87129/>
- طولابی، سوسن (۱۳۹۲). مدل‌سازی فرسایش خاک و رسوب با مدل‌های WEPP و EPM در محیط GIS (حوضه آبخیز سولاچای- اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی.
- <https://www.virascience.com/thesis/596580>
- عابدینی، موسی (۱۴۰۰). بررسی کمی فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرساینده باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزندچای (۱۴۰۰)، نشریه تخریب و احیاء اراضی طبیعی. شماره ۳. صفحات ۱۱۱ - ۱۰۰.
- <http://drnl.sanru.ac.ir/article-۱-۱۹۰-fa.html>
- عابدینی، موسی؛ حسین دانشورگیلو؛ ابادر اسمعیلی‌عوری (۱۳۹۴). برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز عنبران با استفاده از مدل WEPP و GIS، کنفرانس بین‌المللی توسعه با تمرکز بر کشاورزی. محیط زیست و توریسم. صفحات ۱۴-۱. <https://civilica.com/doc/468348>
- عابدینی، موسی؛ شنو شبرنگ؛ ابادر اسمعیلی‌عوری (۱۳۹۲). بررسی میزان فرسایش خاک و رسوبدهی در حوضه آبخیز مشکین‌چای به روش EPM، جغرافیا و توسعه. شماره ۳۰. صفحات ۱۰۰ - ۸۷.
- [https://gdij.usb.ac.ir/m/article\\_245.html](https://gdij.usb.ac.ir/m/article_245.html)
- علیزاده، امین (۱۳۸۹). هیدرولوژی کاربردی، آستان قدس رضوی. چاپ ۲۸. ۸۷۰ صفحه.  
<https://www.gisoom.com/book/174677>
- کردوانی، پرویز (۱۳۸۷). حفاظت خاک، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ نهم. ۲۶۴ صفحه.  
<https://press.ut.ac.ir/?search&au=1930&aun=%20>

نوجوان، مهدی؛ علی اصغر محمدی؛ وحید غلامی (۱۳۹۱). تعیین شدت فرسایش با استفاده از مدل‌های BLM و Fargas مورد: حوضه‌ی آبخیز بندره، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۹. صفحات ۱۳۰-۱۱۹.

[https://gdij.usb.ac.ir/article\\_127.html](https://gdij.usb.ac.ir/article_127.html)

هاشمی، سیدعلی اصغر؛ محمود عربخدری (۱۳۸۶). ارزیابی مدل EPM از طریق رسوب‌سنجی مخازن سدهای کوچک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۴۲.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=77087>

## References

Demirel, T. and Tüzün, T. (2011). Multi Criteria Evaluation of the Methods for Preventing Soil Erosion Using Fuzzy ANP: The Case of Turkey, Proceedings of the World Congress on Engineering, 2(3): 6-8 pp.

<https://www.academia.edu/3405803/>

Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homae, M. and Pazira, E (2012). Comparison of empirical models to estimate soil erosion and sediment yield in micro catchments. Eurasian Journal of Soil Science. 1-6 pp.

<https://www.researchgate.net/>

Feng, X. Wang, Y. Cheng, L. Fu, B. Bai, G (2010). Modeling soil erosion and response to land - use change in hilly catchments of the Chinese loss plateau, 118 pp. <https://www.semanticscholar.org/>

Ghobadi, Y., Pirasteh, S., Pradhan, B., Ahmad, N. B., Shafri, Z. B. M., Sayyad, Gh. A. and Kabiri, K (2011). Determine of Correlation Coefficient between EPM and MPSIAC Models and Generation of Erosion Maps by GIS Techniques in Baghmalek Watershed, Khuzestan, Iran. 5th Symposium on Advances in Science & Technology, Mashhad. Iran. 1-12 pp. <https://www.yumpu.com/>

Hasanzadeh, A., Ziapour, A. and Javanmiri, M (2013). Estimating of Sediments using EPM Method in Chelleh Watershed Area of Gilan-Gharb. Journal of Science and today's world. 2(9): 1257-1266 pp.

<https://www.yumpu.com/>

Taher Nezami, M. and Izadi, M (2013). Estimating the amount of erosion using the EPM and MPSIAC models in the basin of Karaj Dam's Shahrestanak. IJACS Journal. 6-12 pp.

[www.yumpu.com](http://www.yumpu.com)