Investigating the controlling factors of the suspended sediment of Gharasu River in Ardabil province using principal component analysis and multivariate regression

Ehsan Ghale [a], Sayyad Asghari Sarasekanrood [b,*], Fariba Esfandiary Darabad [c], Batool Zeinali [d]
[a] *Ph.D Candidate in Geomorphology, Physical Geography Department, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
[b,c,d] *Professor, Physical Geography Department, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2023/06/11 Accepted: 2023/10/17

Extended abstract

1- Introduction

Water erosion is the result of interactions between various environmental factors such as topography, soil characteristics, climate characteristics, runoff and land use and management. Sediment production is highly dependent on runoff, so doubling the speed of runoff increases its leaching capacity and transportability up to five and six times. Knowing the effective factors in sediment production plays an important role in determining the amount of sedimentation of a watershed and understanding the phenomenon of erosion and its consequences, and it can be used in prioritizing the sub-basins of a watershed. The purpose of this research is to investigate the relationship between morphological characteristics and the amount of sediment production in the catchment area of the Gharasu River in Ardabil using principal component analysis and multivariate regression, in this regard, using 16 independent variables and 1 dependent variable in 13 sub-basins of the Gharasu River.

2- Methodology

As one of the sub-basins of the Aras catchment basin, Gharasu catchment is located in the geographical coordinates of 47°31' to 48°47' east longitude and 37°47' to 38°52' north latitude. In this study, 1:100,000 scale geological maps, 1:25,000 scale topographic maps, and discharge and suspended sediment statistics and information of 13 hydrometric stations of Gharasu River sub-basin were used in the 50-year period from 1350 to 1399. In order to check the correlation between independent and dependent variables and to test the normality and normal distribution of data, Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests were used in SPSS software. Also, in this research, the OLI Landsat 8 satellite images were used to extract the vegetation cover index (NDVI). For this purpose, step-by-step linear regression is used to determine the most effective variables and to determine the most appropriate statistical relationship between suspended sedimentation and the variables used, and principal component analysis is used to determine the most effective factors of suspended sediment production in the watershed.

3- Results

In this study, the average annual suspended sediment of the basin was considered as dependent variable and other parameters as independent variables, and Pearson correlation method was used to check the correlation between independent variables and dependent variable. The variables of time of concentration, length of the main waterway, area, Slenderness ratio, perimeter and slope have a higher correlation with the amount of sediment production in the basin than other variables. Based on the models obtained from sediment correlation analysis, the amount of sediment produced with the concentration time variable had a positive correlation and was significant at the 5% level. The results of the analysis of the principal components show that the four factors of area, length of the main waterway, concentration time and slenderness ratio of the basin have an eigenvalue greater than 1, and the number of extracted factors is 4 factors. The first factor (area) has been able to explain

* **Corresponding Author: s.asghari@uma.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

37.230 percent of the variance of all research variables. This value is 24.735, 16.950 and 9.849 percent for the second factor (length of the main waterway), the third factor (concentration time) and the fourth factor (slenderness ratio) respectively.

4- Discussion & Conclusions

The present research was conducted with the aim of investigating the relationship between geomorphic parameters, vegetation and erodible formations of selected sub-basins of Gharasu basin with the average annual sediment. For this purpose, the statistics and information of 17 variables (16 independent variables and 1 dependent variable) were obtained for 13 sub-basins of Gharasu basin from the regional water of Ardabil province. The relationship between geomorphic parameters and annual precipitation was determined using stepwise multivariate regression method. The research results indicate that geomorphic parameters have a high correlation with the amount of annual sediment production and can be used in sediment prediction. Meanwhile, the variables of concentration time, length of the main waterway, area, slenderness ratio, perimeter and slope have a higher correlation with the amount of sediment production in the basins than other variables. Among these variables, the basin concentration time variable was used in the final step-by-step regression model and was selected as the sediment predictor variable. This variable alone can predict 98% of annual precipitation. In order to ensure the appropriateness of the data, the KMO coefficient was used to analyze the main components. The value of KMO = 0.78, as a result, the data will be suitable for factor analysis. The results showed that the four factors of area, main waterway length, concentration time and elongation factor could explain 88.754% of the variance of all research variables.

Key Words: PCA Method, Hydrogeomorphological Parameters, Suspended Sediment, Stepwise Regression.

Cite this article: Ghale, E., Sarasekanrood, S.A.., Esfandiary Darabad, F., & Zeinali, B. (2024). Investigating the controlling factors of the suspended sediment of Gharasu River in Ardabil province using principal component analysis and multivariate regression. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (1) :42-59.* http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

بررسی عوامل کنترل کننده رسوب معلق رودخانه قره‌سو استان اردبیل با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندمتغیره

احسان قلعه: *دانش‌آموختهٔ دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی ، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
صیاد اصغری سراسکانرود*: *استاد گروه جغرافیای طبیعی ، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
فریبا اسفندیاری درآباد: *استاد گروه جغرافیای طبیعی ، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
بتول زینالی: *استاد گروه جغرافیای طبیعی ، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
DOI: http//doi.org/

چکیده

مشاهدات فرسایش خاک و بار رسوب برای رودخانه‌ها در بسیاری از نقاط جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه بسیار کم است و همچنین تولید و انتقال رسوب معلق در سیستم رودخانه‌ای دارای فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل زیادی می‌باشد. یکی از این عوامل، ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز است که بخش مهمی از مطالعات فرسایش و رسوب بوده و اثر تعیین کننده‌ای در ویژگی‌های هیدرولوژیکی دارند. لذا هدف از مطالعه حاضر بررسی عوامل کنترل کننده رسوب معلق رودخانه قره‌سو استان اردبیل با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) و رگرسیون چندمتغیره است. به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مورد استفاده از جمله ارتفاع، مساحت، محیط، شیب، طول آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، بارش بیشینه، زمان تمرکز، دبی، ضریب فرم حوضه، ضریب گردی، ضریب گشیدگی، شاخص شکل حوضه، نسبت لمنیسکیت، پوشش گیاهی و سازندهای فرسایش‌پذیر با رسوب هر حوضه، ابتدا از آزمون همبستگی پیرسون جهت ارزیابی میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (رسوب) و سپس از تحلیل رگرسیون چند متغیره گام به گام استفاده شد. همچنین جهت شناسایی عوامل تأثیرگذار بر میزان تولید رسوب حوضه از بین متغیرهای موجود، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتیجه بررسی ارتباط بین متغیرهای حوضه با رسوب نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با متغیر زمان تمرکز، همبستگی مثبت داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که چهار عامل مساحت، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز و ضریب کشیدگی به ترتیب با ۳۷/۲۳۰ درصد، ۲۴/۷۳۵ درصد، ۱۶/۹۵۰ درصد و ۹/۸۴۹ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کنند که نشان می‌دهد ۴ عامل مذکور بیش از ۸۸ درصد تولید رسوب در حوضه قره‌سو را بر عهده دارند. نتایج حاضر ضمن معرفی عوامل تاثیرگذار بر میزان تولید رسوب در حوزه آبخیز قره‌سو، می‌تواند برای برآورد رسوب به مناطق فاقد آمار تعمیم داده شود.

واژگان کلیدی: پارامترهای هیدروژئومورفولوژی؛ رسوب معلق؛ رگرسیون گام به گام؛ روش **PCA**.

* **نویسندهٔ مسئول:** s.asghari@uma.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

۱ـ مقدمه

فرسایش آبی نتیجه فعل و انفعالات بین عوامل مختلف محیطی از جمله توپوگرافی، خصوصیات خاک، ویژگی‌های آب و هوایی، رواناب و کاربری و مدیریت زمین است. تولید رسوب به شدت به رواناب وابسته بوده به‌طوری‌که دو برابر شدن سرعت رواناب، ظرفیت آبشستگی و قابلیت انتقال آن را تا پنج و شش برابر افزایش می‌دهد (Shi et al., 2014). در اغلب رودخانه های طبیعی بخش اعظم رسوبات به صورت بار معلق انتقال می‌یابند. بار رسوب معلق رودخانه‌ای که حدود ۷۵ تا ۹۵ درصد کل رسوب رودخانه را شامل می گردد، از جنبه های مختلف نظیر مهندسی منابع آب، مسائل زیست محیطی، کیفیت آب و غیره حائز اهمیت بوده و می تواند به عنوان شاخصی از وضعیت فرسایش خاک و شرایط اکولوژیک حوضه در نظر گرفته شود (Zhu et al., 2007).

مشاهدات فرسایش خاک و بار رسوب برای رودخانه‌ها در بسیاری از نقاط جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه بسیار کم است (Heng and Suetsugi, 2014). آگاهی از فرآیند فرسایش خاک و انتقال رسوب به عنوان عامل تاثیرگذار در کاهش حاصل‌خیزی و هدررفت خاک، پرشدن مخازن سدها، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آب از دیرباز مورد توجه کارشناسان علوم زمین بوده است. شناخت عوامل موثر در تولید رسوب نقش مهمی در تعیین مقدار رسوبدهی یک حوضه و درک پدیده فرسایش و عواقب آن را به همراه دارد و می‌تولند در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های یک آبخیز مورد استفاده قرار گیرد (Shayan et al., 2013). شرایط محیطی حوضه مثل آب و هوا، خاک، توپوگرافی، کاربری اراضی و اشکال مختلف دخالت‌های انسانی می‌تواند بر منبع رسوب، انتقال، ذخیره‌سازی، زمان ترسیب و همچنین ارتباط بین منبع رسوب با خروجی حوضه مؤثر باشد (Fryirs, 2013). خصوصیات فیزیوگرافی حوضه به مجموعه ویژگی‌هایی گفته می‌شود که مقادیر آن‌ها برای هر حوضه در طول زمان نسبتاً ثابت بوده و نشان دهنده وضع ظاهری و مورفولوژیک حوزه آبخیز است. آگاهی از خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه همراه با داشتن اطلاعاتی از شرایط آب و هوائی منطقه می‌تواند تصویر نسبتاً دقیقی از عملکرد کمی و کیفی سیستم هیدرولوژی آن حوضه ارائه دهد. مهمترین خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه عبارتند از مساحت، محیط، طول آبراهه اصلی، شیب، شکل، ارتفاع، پستی و بلندی، مستطیل معادل و زمان (Ziegler et al., 2014). ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز بخش مهمی از مطالعات ژئومورفیک، فرسایش و رسوب می‌باشد و اثر تعیین‌کننده‌ای در ویژگی‌های هیدرولوژیکی دارد. در دهه‌های اخیر به دلیل سهولت دسترسی به مدل‌های رقومی ارتفاع[1]، تصاویر سنجش از دور[2] و داده‌های خاک به عنوان پیش‌بینی کننده‌های رسوب، محاسبه ویژگی‌های حوزه آبخیز تسهیل شده است (Soni, 2017). تاکنون مطالعات متعددی در خصوص نقش عوامل ژئومورفیک و فیزیوگرافی بر رفتار هیدرولوژیک حوضه و به‌ویژه میزان رسوبدهی انجام شده است. از جمله Gholami et al (۲۰۰۸) در مدل‌سازی رسوب ناشی از رگبارها با استفاده از متغیرهای باران و رواناب در حوزه آبخیز چهل‌گزی استان کردستان مشاهده کردند که مدل‌های رگرسیونی دو متغیره در مقایسه با چند متغیره از کارایی بالاتری برخوردار است. Asghari و Ghaleh (۲۰۲۰) در پژوهشی به مدل‌سازی رابطه بین میزان بار رسوب معلق با ویژگی‌های ژئومورفیکی حوضه رودخانه قرنقو پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقدار رسوب تولیدی با حجم جریان و ضریب فرم حوضه، همبستگی مثبت داشته و چهار عامل

[1] Digital Elevation Model (DEM)
[2] Remote Sensing (RS)

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

مساحت، محیط، طول و ضریب فرم حوضه، ۹۲/۲ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کنند. Fathabadi و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به مقایسه کارایی انواع رگرسیون خطی در کمی‌سازی عدم قطعیت پیش‌بینی غلظت رسوب معلق در سه حوزه آبخیز ارازکوسه، اوغان و جاجرود پرداختند. نتایج نشان داد که با توجه به فاصله پیش‌بینی و درصد داده‌های مشاهده شده، رگرسیون چند متغیره پیش‌بینی قابل‌اعتمادتری ارائه کرد. Lamb و Toniolo (۲۰۱۶) به کمی سازی بار معلق ۳ رودخانه در منطقه شمالی آلاسکا پرداختند. پایش منطقه مورد مطالعه برای ۳ سال به طول انجامید و نمونه‌برداری بار معلق در اعماق مختلف رودخانه انجام شد و بین میزان بار معلق و پارامترهای حوضه مدلسازی به روش رگرسیونی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که در هر سه رودخانه پارامترهای بارندگی و شکل حوضه تاثیر زیادی در میزان بار معلق حوضه داشتند. Hamdan (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با استفاده ار ۹ پارامتر مورفومتریک مؤثر بر رفتار هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز و تجزیه و تحلیل ضریب همبستگی بین متغیرها، نتیجه گرفت که با استفاده از تحلیل‌های آماری می‌توان ویژگی‌های حوزه آبخیز را ارزیابی نمود. همچنین مشخص گردید که ۴ عامل زمان تمرکز، شیب، بارش و مساحت، بیشترین ارتباط و همبستگی با میزان تولید رسوب در منطقه مورد مطالعه را دارند.

هدف از این پژوهش، بررسی ارتباط بین ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی و میزان تولید رسوب در حوزه آبریز رودخانه قره‌سو اردبیل می‌باشد که در این راستا از ۱۶ متغیر مستقل و ۱ متغیر وابسته در ۱۳ زیرحوضه رودخانه قره‌سو استفاده شد. بدین منظور از رگرسیون خطی گام به گام[1] جهت تعیین موثرترین متغیرها و تعیین مناسب‌ترین رابطه‌ی آماری بین رسوب‌دهی معلق و متغیرهای مورد استفاده و از تحلیل مولفه‌های اصلی جهت مشخص کردن تأثیرگذارترین عوامل تولید رسوب معلق در حوزه آبخیز استفاده می‌گردد.

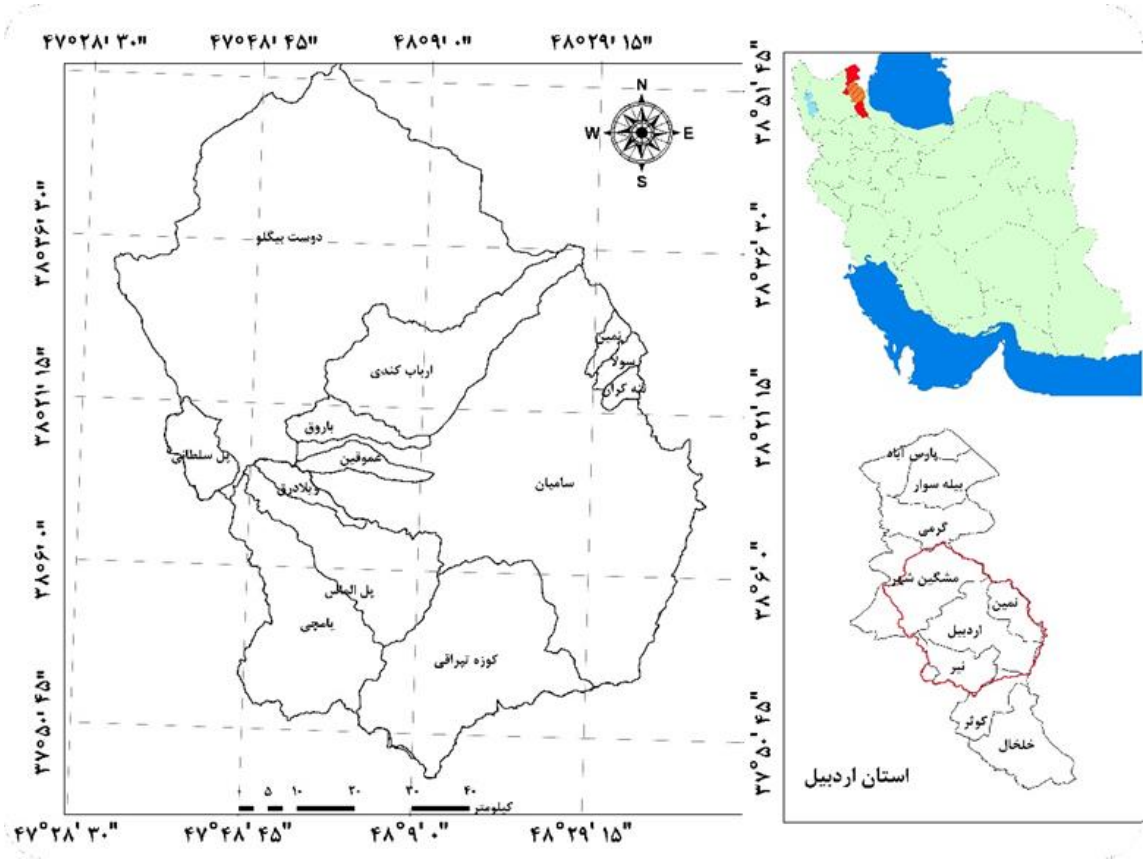
۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوزه آبریز قره‌سو به عنوان یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبریز ارس در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. این حوضه با مساحت ۷۴۸۷ کیلومترمربع قسمت مرکزی استان اردبیل را شامل شده و بخش کوچکی از آن نیز در محدوده استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است که رشته کوه صلوات در شمال، رشته کوه سبلان در غرب، رشته تالش در شرق و ادامه رشته بزغوش در جنوب این حوزه آبریز را محدود کرده‌اند(شکل ۱). رودخانه قره‌سو بلندترین و پرآب‌ترین رود داخلی استان اردبیل محسوب می‌شود که از ارتفاعات تالش در شرق اردبیل سرچشمه گرفته و در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل، آب‌های جاری این منطقه را جمع کرده و به رودخانه ارس می‌ریزد. منطقه مطالعاتی در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران در زون البرز- آذربایجان جای گرفته است. نخستین حرکات تکتونیکی که در تشکیل ناهمواری‌های منطقه موثر واقع شده در آخر کرتاسه (حرکت لارامید) رخ داده است. سه واحد آبرفتی کواترنری یعنی واحدهای Qal، Qt2 و Qt1 منطبق بر بستر و دشت سیلابی رودخانه قره‌سو و بخش‌هایی از دشت اردبیل می‌باشند. استان اردبیل به دلیل تنوع توپوگرافی و توده‌هواهای ورودی از تنوع اقلیمی زیادی برخوردار می‌باشد. بارش‌های اصلی منطقه مطالعاتی در فصول بهار و تابستان عمدتا در اثر عبور جریان‌های عرض‌های میانی و کم فشار سودانی اتفاق می‌افتد.

[1] Stepwise

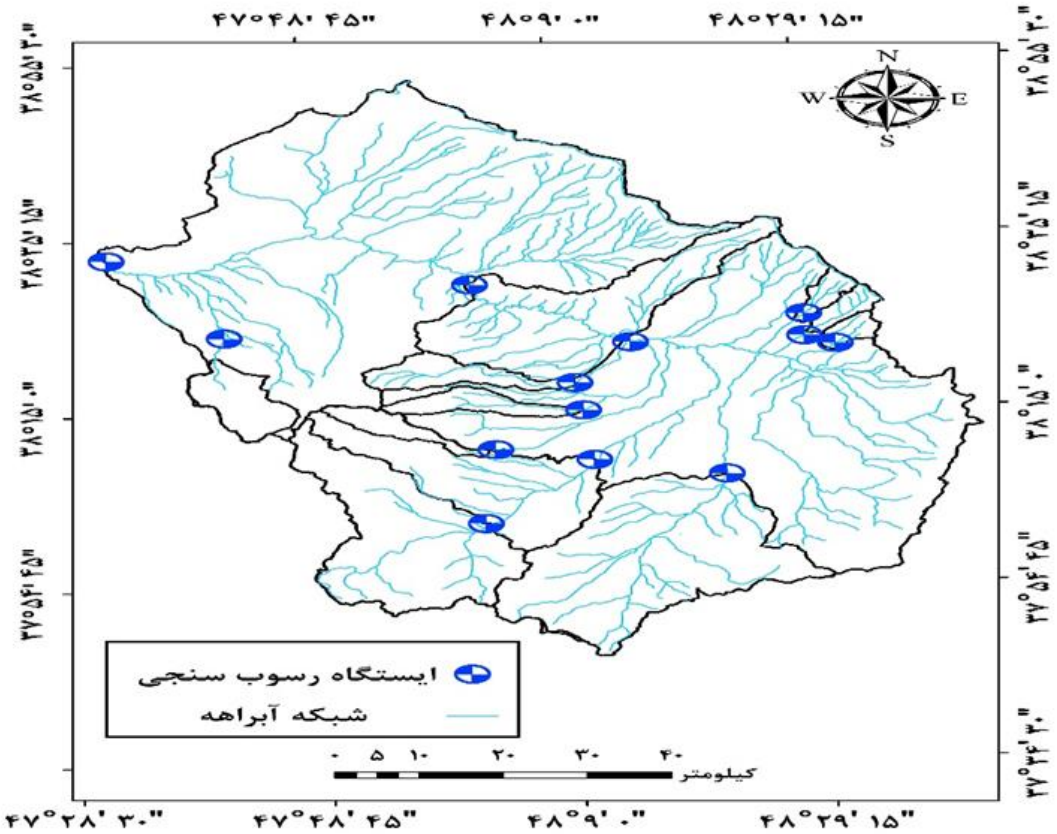
[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

میانگین بارش در منطقه مورد مطالعه از حداقل ۲۶۷ میلیمتر در اراضی پست منطقه مطالعاتی (دشت اردبیل) تا حداکثر ۵۱۱ میلیمتر در ارتفاعات سبلان متغیر است. متوسط ارتفاع حوضه قره‌سو ۱۷۶۵ متر می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه حوضه قره‌سو قله سبلان با ارتفاع مطلق ۴۸۱۱ متر از سطح آزاد دریاهاست. کم‌ارتفاع‌ترین نقطه حوضه نیز در مصب رودخانه (در محل الحاق به رودخانه ارس) در حدود ۷۶۰ متر می‌باشد. بخش عمده‌ی ناهمواری‌های حوضه رودخانه قره‌سو مربوط به ارتفاعات سبلان در جنوب غرب حوضه، ارتفاعات باغروداغ در جنوب شرق و ارتفاعات بزقوش در جنوب حوضه است(اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های رسوب‌سنجی منطقه مورد مطالعه

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

مواد مورد استفاده در این مطالعه به شرح ذیل است:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی
- نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
- آمار و اطلاعات دبی و رسوب معلق ۱۳ زیرحوضه رودخانه قره‌سو سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل

دوره زمانی مشترک مورد استفاده در این تحقیق یک دوره ۵۰ ساله از سال آبی ۱۳۵۰ تا سال آبی ۱۳۹۹ را شامل می‌شود که در انتخاب این پایه زمانی مشترک، معیارهای کامل بودن، طول کافی داده‌ها و استفاده از آخرین داده‌های در دسترس مدنظر قرار گرفت. به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته و برای تست نرمال بودن و توزیع نرمال داده‌ها از آزمون‌های شاپیرو– ویلک[1] و کولموگروف – اسمیرنوف[2] در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

[1] Shapiro - Wilk
[2] Kolmogorov - Smirnov

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

همچنین در این پژوهش جهت استخراج شاخص پوشش گیاهی (NDVI[1]) از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸ استفاده گردید(جدول ۱). بخشی از پارامترهای ژئومورفیک مورد استفاده در تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱: اطلاعات تصاویر ماهواره لندست ۸.

نام ماهواره	مسیر	گذر	درصد پوشش ابر	زاویه خورشید	زمان (گرینویچ)	تاریخ
لندست ۸	۱۶۷	۳۳	۰	۱۲۴/۹۰۵۹۶۳۶۷	۷:۲۵:۱۰	۲۰۲۱/۰۶/۲۳
لندست ۸	۱۶۷	۳۴	۰	۱۱۴/۳۹۱۸۸۷۳۱	۰۷:۲۱:۴۲	۲۰۲۱/۰۶/۲۱

جدول ۲: پارامترهای ژئومورفیک مورد استفاده در تحقیق

ویژگی ژئومورفیک	علامت اختصاری	رابطه
رتبه آبراهه‌های حوضه	μ	---
تعداد آبراهه	Nμ	---
مجموع طول آبراهه	∑X	X: طول آبراهه
تراکم زهکشی	Dd	$D_d = \frac{\sum X}{A}$
ضریب فرم حوضه	Ff	$F_f = \frac{Area}{L^2}$
ضریب گردی	Rc	$Rc = \frac{4\pi A}{P^2}$
ضریب کشیدگی	Er	$E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L}$
شاخص شکل حوضه	SW	$S_W = \frac{1}{Ff}$
نسبت لمنیسکیت	Lr	$L_r = \frac{L^2}{4Area}$

۲-۳- شاخص NDVI

شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی یکی از رایج ترین شاخص‌های پوشش گیاهی برای بیان اطلاعات تراکم پوشش گیاهی، پیش بینی تولید محصولات زراعی، پایش خشکسالی و تهیه نقشه بیابان زایی است. عموماً مقادیر کمتر از صفر به عنوان نواحی مرطوب و آب در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر بین ۰ تا ۰/۳ نیز پوشش‌های خاک و مراتع را شامل می‌شوند. مقادیر بیشتر از ۰/۳ نیز نشان‌دهنده پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\boldsymbol{NDVI = (B_{NIR} - B_{RED})/(B_{NIR} + B_{RED})}$$ رابطه (۳)

که در این رابطه B_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک و B_{RED} باند قرمز است (Kakehmami et al., 2020).

۳-۳- رگرسیون چندمتغیره گام به گام

[1] Normalized Difference Vegetation Index

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

در این پژوهش، رگرسیون چندمتغیره گام‌به گام‌به عنوان‌یک تکنیک کاهش‌دهنده عوامل، جهت انجام تحلیل رگرسیون مورد استفاده قرار گرفت. این روش اثر چندین متغیر مستقل روی یک متغیر وابسته را بررسی می‌کند. در مدل رگرسیون چند متغیره رابطه یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل به طور همزمان مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. یکی از فرض‌های لازم در تحلیل رگرسیون عدم وجود همخطی میان متغیرهای مستقل می باشد. چرا که همبستگی بالای متغیرهای مستقل باعث شده که نتایج تحلیل رگرسیون مطلوب نباشد (Zare Chahuki, 2010). یکی از شرایط استفاده از رگرسیون چندمتغیره گام به گام در تجزیه و تحلیل داده‌ها، عدم وجود هم‌خطی چندگانه[1] بین متغیرهای مستقل می‌باشد که در این پژوهش‌با استفاده از عامل تورم واریانس[2] بررسی گردید (Faghfouri et al., 2017). در این پژوهش ۱۶ ویژگی هیدروژئومورفولوژیکی برای تعداد ۱۳ زیرحوضه مورد مطالعه به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و ضمن شناسایی مهمترین ویژگی‌های ژئومورفیک موثر در میزان رسوب زیرحوضه‌ها، رابطه پیش‌بینی مقدار رسوب سالانه توسط موثرترین پارامترها تعیین گردید.

۴-۳- تحلیل مولفه‌های اصلی

از روش تحلیل مؤلفه های اصلی به منظور تعیین مؤثرترین ویژگی های رسوبات و همچنین گروه‌بندی آنها استفاده شد. در روش تحلیل مؤلفه اصلی، متغیرهایی که دارای همبستگی بالایی بوده و در یک فضای چند بعدی توزیع شده‌اند، به مجموعه‌ای از مؤلفه‌های غیرهمبسته خلاصه می‌شوند که هر یک از آنها ترکیب خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند. مؤلفه‌های غیرهمبسته به دست آمده مولفه‌های اصلی (PC) نامیده می شوند. قبل از تجزیه به مؤلفه‌های از ضریب KMO به منظور اطمینان از تناسب داده ها برای انجام تجزیه به مؤلفه های اصلی استفاده شد. این ضریب در دامنه ۰-۱ در نوسان بوده و در صورتی که مقدار آن کمتر از ۰/۵ باشده، داده‌ها برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقادیر این ضریب بین ۰/۵- ۰/۶۹ باشد، تناسب داده‌ها متوسط و اگر مقدار این ضریب بیش از ۰/۷ باشد، داده‌ها برای انجام تجزبه به مولفه‌های اصلی کاملا مناسب خواهند بود (Asghari and Ghaleh, 2020).

۴-یافته‌ها

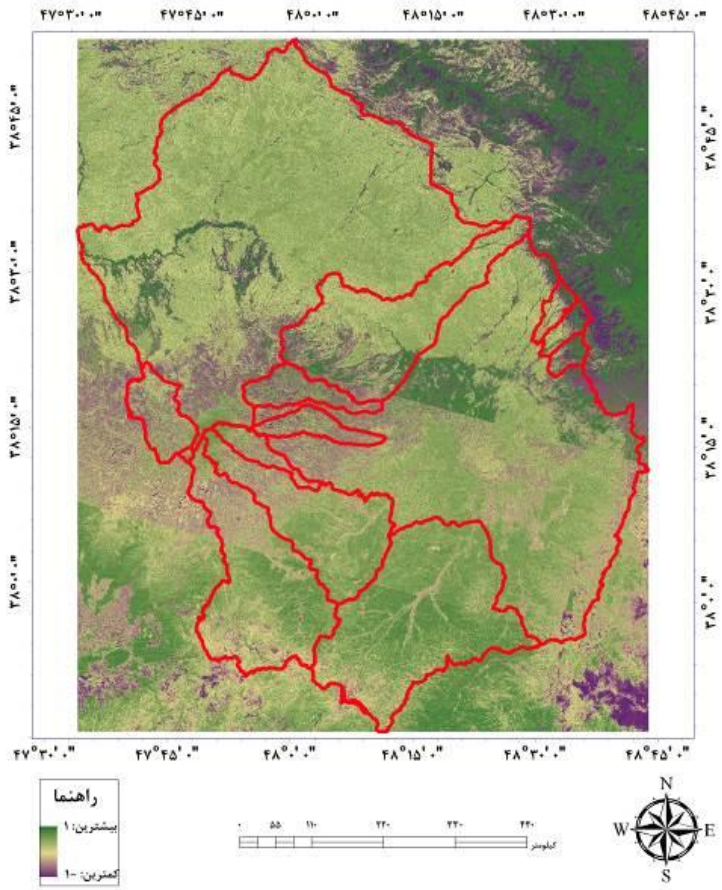
در این بررسی ابتدا با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی بین پارامترهای مورد استفاده با رسوب معلق مشخص گردید و سپس با استفاده از رگرسیون چندمتغیره گام به گام، معادله رگرسیون خطی با کمترین مقدار خطا استخراج و سپس با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی، چهار پارامتر اصلی تاثیرگذار بر رسوب معلق مشخص گردیدند.

نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس جدول ۳ ضریب فرم حوضه از ۰/۰۶۹۴ تا ۱۲/۷۹۹۳ متغیر است. بالاترین میزان شاخص شکل به مقدار ۱۴/۳۹۵۴ در حوضه پل سلطانی مشاهده می‌گردد. ضریب کشیدگی در منطقه مورد مطالعه دارای دامنه گسترده و وسیعی می‌باشد که از مقدار ۰/۰۰۴۰ برای حوضه سولا تا مقدار ۶/۹۱۸۲ برای حوضه دوست بیگلو متغیر می‌باشد. ضریب گردی همواره کمتر از یک بوده و در حوضه‌های گرد به یک نزدیک‌تر است که در حوضه‌های مورد مطالعه در این پژوهش کمترین ضریب گردی متعلق به حوضه باروق به میزان ۰/۳۰۲۴ و بیشترین ضریب گردی در حوضه ننه کران به میزان ۰/۸۴۷۳ مشاهده گردید. نسبت

[1] Multicollinearity
[2] Variance Inflation (VIF)

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

لمنیسکیت به عنوان معیاری برای توصیف میزان تشابه شکل حوضه به دایره تعریف شده است (Chorley et al., 1957) که برای توصیف شکل حوضه بکار می‌رود. بیشترین مقدار نسبت لمنیسکیت برای حوضه پل سلطانی به میزان ۳/۵۹۸۸ و کمترین مقدار برای حوضه ویلادرق به میزان ۰/۰۱۹۵ بدست آمد. یکی از پارامترهای مهم در رسوبدهی حوضه‌ها، مساحت حوضه می‌باشد که حوضه‌های مورد مطالعه در این پژوهش توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل و با توجه به موقعیت و قرارگیری ایستگاه‌های رسوب‌سنجی حوضه‌بندی گردیده و دارای دامنه مساحت از ۴۰ کیلومترمربع برای حوضه ننه کران تا ۷۳۱۱ کیلومترمربع برای حوضه دوست بیگلو متغیر می‌باشد. شیب در حوضه‌های مختلف از ۳/۵ تا ۱۹/۵ درصد متفاوت است و کمترین آن در دو حوضه دوست بیگلو و کوزه تپراقی و بیشترین مقدار شیب در حوضه پل سلطانی مشاهده می‌شود. یکی دیگر از مهمترین پارامترهای ژئومورفیک تراکم زهکشی است که به عنوان شاخصی برای بیان وضعیت آبراهه‌های حوضه، بارندگی و ظرفیت نفوذپذیری، تکامل توپوگرافی و فرسایش حوضه می‌باشد. با توجه به جدول ۳ کمترین تراکم زهکشی در حوضه ویلادرق و بیشترین تراکم زهکشی در حوضه‌های پل سلطانی و یامچی مشاهده می‌گردد.جهت کسب شناخت کلی از وضعیت شاخص گیاهی زیر حوضه‌های مورد مطالعه، نقشه شاخص گیاهی NDVI منطقه استخراج گردید (شکل ۳). میانگین مقادیر متوسط شاخص گیاهی برای منطقه مورد مطالعه طبق جدول ۳ برابر با ۰/۳۷ است که نشان از پوشش گیاهی نسبتاً تنک منطقه دارد. کمینه متوسط شاخص گیاهی در حوضه عموقین با ۰/۲۱ و بیشینه متوسط شاخص گیاهی در حوضه دوست بیگلو با ۰/۶۷ حاصل شده است.



شکل ۳: شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

جدول ۳: پارامترهای ژئومورفیک ثانویه مورد استفاده در تحقیق

نام حوضه / متغیر	ارباب کندی	باروق	کوزه توپراقی	نمین	ننه کران	پل الماس	پل سلطانی	سامیان	سولا	ویلادرق	یامچی	عموقین	دوست بیگلو
میانگین رسوب معلق سالانه(تن بر سال)	۵۳۵/۹۴	۱۴۱/۲۱	۱۴۱/۰۲	۱/۶۲	۱/۶۹	۲۰۶/۱۲	۹۸/۷۲	۵۳۶/۶۵	۱/۴۲	۱/۵۴	۱۴/۸	۳۵/۶۳	۱۲۸۰/۲۱
ارتفاع(متر)	۱۷۷۲/۴۶	۲۵۵۹/۹۷	۱۷۵۳/۵۹	۱۶۹۴/۷۱	۱۴۵۰/۱۷	۲۱۱۹/۷۹	۲۶۷۰/۹۵	۱۷۹۶/۶۸	۱۵۶۶/۷۵	۳۰۸۴/۴۴	۱۰۲۸	۲۲۰۴/۱۸	۲۳۲۷
مساحت(کیلومترمربع)	۴۸۰۰	۹۶	۸۱۲/۵	۴۴	۴۰	۱۰۷۰	۹۸	۴۰۰۴	۴۴	۹۴	۷۱۰	۱۱۰	۷۳۱۱
محیط(کیلومتر)	۳۵۹/۶	۶۳/۱۴	۱۴۸/۹۸	۳۲/۹۴	۲۴/۳۵	۱۶۹/۲	۵۳/۶۷	۳۵۰/۷۷	۳۲/۳۵	۵۲	۱۴۳/۰۶	۵۴/۱۱	۴۴۰/۷۷
شیب(درصد)	۹/۲۹	۱۴/۵۹	۸/۸۶	۱۱/۵۶	۹/۵۹	۱۱/۱۸	۱۹/۶	۹/۲۴	۱۱/۲	۱۸/۵۴	۱۱/۳۲	۱۲/۸۸	۳/۵
طول آبراهه اصلی(کیلومتر)	۱۲۷/۸	۳۳/۷	۲۱/۸	۹/۶	۱۰/۰۵	۶۷/۹	۳۷/۵۶	۱۲۷/۸	۱۴/۸	۲/۷۱	۲۰/۴۹	۱۷/۴۶	۲۳۸/۷
تراکم زهکشی(کیلومتر بر کیلومترمربع)	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۱۸	۱/۵۳	۰/۲۹	۰/۵۴	۰/۰۴	۱/۱۷	۰/۳۴	۰/۳۰
بارش بیشینه(میلیمتر)	۵۲۷/۵۴	۴۷۱/۶۲	۳۹۵/۷۶	۳۶۸/۵۳	۳۴۷/۴۸	۵۲۷/۵۴	۴۷۸/۲	۵۲۷/۵۴	۳۵۵/۹۵	۵۲۷/۸۹	۵۰۳/۹	۴۷۰/۸۵	۵۲۷/۸۹
زمان تمرکز(دقیقه)	۶۵۱/۵۱	۱۶۵/۱۷	۱۳۱/۷۹	۶۴/۰۳	۸۱/۹۳	۱۹.۳۲۵	۱۸۶/۰۵	۲۳.۶۶۴	۱۱۵/۴۲	۸/۲۶	۸۷/۳۲	۷۷/۴۱	۱۲۹۳/۶۹
دبی(مترمکعب بر ثانیه)	۴/۳۹	۰/۳۹	۱/۱۷	۰/۱۱	۰/۱۱	۲/۱۸	۱۰/۰۳	۴/۲۵	۰/۲۱	۰/۰۸	۶/۱۴	۰/۴۳	۳/۶۳
ضریب فرم حوضه	۰/۲۹۳۸	۰/۰۸۴۵	۱/۷۰۹۶	۰/۴۷۷۴	۰/۳۹۶۰	۰/۲۳۲۰	۰/۰۶۹۴	۰/۲۴۵۱	۰/۲۰۰۸	۱۲/۷۹۹۳	۱/۶۹۱۱	۰/۳۶۰۸	۰/۱۲۸۳
ضریب گردی	۰/۴۶۶۲	۰/۳۰۲۴	۰/۴۵۹۷	۰/۵۰۹۳	۰/۸۴۷۳	۰/۴۶۹۴	۰/۴۲۷۳	۰/۴۰۸۷	۰/۵۲۸۰	۰/۴۳۶۶	۰/۴۳۵۷	۰/۴۷۱۸	۰/۴۷۲۶
ضریب گشیدگی	۵/۵۶۹۸	۰/۰۰۸۴	۰/۹۳۵۵	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۴۹	۰/۵۲۰۹	۰/۰۰۷۸	۳/۸۷۵۷	۰/۰۰۴۰	۰/۱۰۰۷	۰/۷۶۰۰	۰/۰۲۱۴	۶/۹۱۸۲
شاخص شکل حوضه	۳/۴۰۲۶	۱۱/۸۳۰۱	۰/۵۸۴۹	۲/۰۹۴۵	۲/۵۲۵۰	۴/۳۰۸۷	۱۴/۳۹۵۴	۴/۰۷۹۱	۴/۹۷۸۱	۰/۰۷۸۱	۰/۵۹۱۲	۲/۷۷۱۲	۷/۷۹۲۴
نسبت لمنیسکیت	۰/۸۵۰۶	۲/۹۵۷۵	۰/۱۴۶۲	۰/۵۲۳۶	۰/۶۳۱۲	۱/۰۷۷۱	۳/۵۹۸۸	۱/۰۱۹۷	۱/۲۴۴۵	۰/۰۱۹۵	۰/۱۴۷۸	۰/۶۹۲۸	۱/۹۴۸۳
سازندهای فرسایش پذیر	۵۰/۱۸	۸۲/۶۶	۱۲/۷۴	۴/۷۷	۱۰/۰۹	۶۲/۲۴	۱۰۰	۰/۰۵	۹/۶۳	۹۹/۹۸	۵۴/۸۲	۹۹/۵۱	۵۱/۲۱
شاخص گیاهی	۰/۵۱	۰/۲۹	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۶۷

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

آزمون کولموگراف - اسمیرنوف نرمال بودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند امکان استفاده از آزمون پارامتریک وجود دارد و در غیر این صورت باید از آزمون ناپارامتریک استفاده کرد. در آزمون کولموگراف – اسمیرنوف اگر آزمون معنی‌دار باشد یعنی p کوچکتر از ۵ صدم باشد، به معنی این است که توزیع نرمال نیست و باید از آزمون ناپارامتریک استفاده کرد. هنگام بررسی نرمال بودن داده‌ها فرض صفر مبتنی بر اینکه توزیع داده‌ها نرمال است را در سطح خطای ۵٪ تست می‌شود. بنابراین اگر آماره آزمون بزرگتر مساوی ۰/۰۵ باشد، در این صورت دلیلی برای رد فرض صفر مبتنی بر اینکه داده نرمال است، وجود نخواهد داشت یا به عبارت دیگر توزیع داده‌ها نرمال خواهد بود(Tadaion et al., 2016). تمامی داده‌های مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از آزمون کولموگراف – اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج آزمون نشان داد که توزیع داده‌ها نرمال می‌باشد و جهت بررسی همبستگی مورد استفاده قرار گرفتند(جدول ۴).

جدول ۴: آزمون نرمال بودن متغیرهای مورد استفاده

متغیر	آماره آزمون	سطح معنی‌داری
رسوب	۱/۱۴۲	۰/۱۴۷
ارتفاع	۰/۶۳۳	۰/۸۱۹
مساحت	۱/۲۲۰	۰/۱۰۲
محیط	۰/۹۴۱	۰/۳۳۸
طول آبراهه اصلی	۱/۰۷۶	۰/۱۹۷
شیب	۰/۷۲۲	۰/۶۷۵
تراکم زهکشی	۰/۸۰۰	۰/۵۴۴
زمان تمرکز	۱/۱۱۹	۰/۱۶۴
شاخص گیاهی	۰/۸۱۰	۰/۵۲۹
سازند فرسایش‌پذیر	۰/۷۶۳	۰/۶۰۵
دبی	۰/۷۸۸	۰/۵۶۴
ضریب فرم حوضه	۱/۴۱۲	۰/۳۰۷
ضریب گردی	۱/۰۵۲	۰/۲۱۸
ضریب کشیدگی	۱/۲۷۲	۰/۷۰۸
شاخص شکل حوضه	۰/۸۳۶	۰/۴۸۶
نسبت لمنیسکیت	۰/۸۳۶	۰/۴۸۶
بارش بیشینه	۰/۸۳۳	۰/۴۹۱

جدول ۵: همبستگی بین متغیرهای ژئومورفیک موثر بر رسوب معلق در زیرحوضه‌های مورد مطالعه

آزمون همبستگی / متغیرهای مستقل	پیرسون	
	همبستگی	سطح معنی‌داری

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

ارتفاع	۰/۱۵۸	۰/۶۰۷
مساحت	۰/۹۶۷**	۰/۰۰۰
محیط	۰/۹۰۹**	۰/۰۰۰
طول آبراهه اصلی	۰/۹۸۸**	۰/۰۰۰
شیب	-۰/۶۶۱*	۰/۰۱۴
تراکم زهکشی	-۰/۲۷۲	۰/۳۷۰
زمان تمرکز	۰/۹۹۲**	۰/۰۰۰
شاخص گیاهی	۰/۳۹۳	۰/۱۸۵
سازند فرسایش‌پذیر	-۰/۰۸۱	۰/۷۹۱
دبی	۰/۲۵۵	۰/۴۰۰
ضریب فرم حوضه	-۰/۲۲۹	۰/۴۵۲
ضریب گردی	۰/۱۶۵	۰/۵۹۰
ضریب کشیدگی	۰/۹۳۶**	۰/۰۰۰
شاخص شکل حوضه	۰/۲۳۴	۰/۴۴۲
نسبت لمنیسکیت	۰/۲۳۴	۰/۴۴۲
بارش بیشینه	۰/۴۶۹	۰/۰۸۳

در این مطالعه میانگین رسوب معلق سالانه حوضه به عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترها به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و جهت بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته از روش همبستگی پیرسون[1] استفاده شد. با توجه به ماتریس همبستگی متغیرها (جدول ۵) مشاهده می‌شود که به ترتیب متغیرهای زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی، مساحت، ضریب کشیدگی، محیط و شیب نسبت به سایر متغیرها همبستگی معنی‌دارتری با میزان تولید رسوب حوضه دارند.

جدول ۶: ضرایب همبستگی روابط رگرسیونی

مدل	ضریب همبستگی چندگانه (R)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین تعدیل شده	اشتباه معیار (SE)	سطح معنی‌داری F	سطح معنی‌داری sig
۱	۰/۹۹۲	۰/۹۸۴	۰/۹۸۲	۶/۴۱۹	۶۶۷/۱۸۲	۰/۰۰۰

جدول ۷: آزمون معنی‌داری ضرایب روابط رگرسیونی

مدل	متغیر مستقل	بتا	T	سطح معنی‌داری	مقدار ثابت	معادله رگرسیون خطی
۱	مقدار ثابت	---	-۳/۵۶۶	۰/۰۰۴	-۶۳/۰۴۷	$Y= -۶۳/۰۴۷ -۰/۹۹۲ (x_1)$
	زمان تمرکز	۰/۹۹۲	۵/۸۳۰	۰/۰۰۰	---	

جدول ۶ آماره‌های مربوط به رگرسیون چند متغیره گام به گام را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۷ در مدل ۱ متغیر زمان تمرکز حوضه وارد شده و ضریب تعیین (R2) به مقدار ۰/۹۸۴ رسیده است. ضریب تعیین تعدیل شده بیانگر آن

[1] Pearson

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

است که متغیر زمان تمرکز، ۹۸ درصد از رسوبدهی حوضه‌ها را کنترل می‌کند. با توجه به اینکه بهترین مدل رگرسیونی مدلی است که ضریب تعیین (R^2) بیشتر و خطای استاندارد (SE) کمتر داشته باشد، لذا مدل نهایی برای حوضه‌های مورد مطالعه قابل اعتماد می‌باشد. سطح معنی‌داری F و سطح معنی‌داری sig با یکدیگر رابطه معکوس دارند. به عبارت دیگر هرچقدر میزان سطح معنی‌داری F افزایش یابد، سطح معنی‌داری sig کاهش می‌یابد و بالعکس. جدول ۷ ضرایب رابطه رگرسیون و آزمون معنی‌داری را نشان می‌دهد. برای آزمون معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب رابطه رگرسیون از آزمون t استفاده گردید. معنی‌دار بودن ضریب در معادله رگرسیونی به این معنا است که متغیر مستقل مربوطه می‌تواند به طور معنی‌داری قسمتی از تغییرات در متغیر وابسته را بیان کند. با توجه به سطح معناداری آزمون t در مدل با اطمینان ۹۸ درصد، این ضرایب مخالف صفر و برابر با مقادیر برآورد شده است. مقادیر t برای متغیرها که کمتر از ۱۰ می‌باشد، بیانگر عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای ژئومورفیک می‌باشد. لذا متغیرها برای تعیین ضریب رگرسیونی مناسب می‌باشند. با توجه به جدول ۷ معادله رگرسیون خطی برای میزان تولید رسوب در زیرحوضه‌های منتخب به صورت مدل ۱ می‌باشد.

۱-۴- نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی

به منظور اطمینان از تناسب داده‌ها برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از ضریب KMO استفاده شد. این ضریب در دامنه بین ۰ تا ۱ در نوسان بوده و در صورتی که مقدار آن کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای انجام تحلیل مولفه‌های اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقادیر این ضریب بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد، تناسب داده‌ها متوسط و اگر مقدار این ضریب بیش از ۰/۷ باشد، داده‌ها برای انجام تجزیه به مولفه‌های اصلی کاملا مناسب خواهند بود(Asghari and Ghaleh, 2020). با توجه به جدول ۸ مقدار KMO=۰/۷۸۰ بوده در نتیجه داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهند بود. همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز معنی‌دار است، به این مفهوم که فرض مخالف تأیید می‌شود یعنی بین متغیرها همبستگی معنی داری وجود دارد. معنی دار بودن مربع کای نیز بیانگر کمینه شرایط لازم برای اجرای تحلیل عاملی است.

جدول ۸: آماره KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت

آزمون کرویت بارتلت و KMO		
	سنجش کفایت داده‌ها با استفاده از Kaiser-Meyer-Olki	۰/۷۸۰
آزمون کرویت بارتلت	Approx. Chi-Square	۳۶۹/۹۱۱
	df	۶۱
	Sig	۰/۰۰۰

در جدول (۹) مقدار واریانس استخراج شده هر متغیر مشخص شده است. اشتراکات تعیین می‌کنند چه مقدار از واریانس هر متغیر به وسیله عوامل نهایی یعنی عامل‌هایی که مقدار ویژه بیشتر از ۱ دارند، تبیین می‌شود. این مقدار واریانس، واریانسی است که توسط عامل‌های نهایی تبیین شده است. هرچقدر میزان واریانس استخراج شده هر متغیر نزدیکتر به ۱ باشد، نشان می‌دهد که عامل‌های استخراج شده مناسب‌تر است. حداقل میزان واریانس استخراج شده برای هر متغیر را ۰/۵ یا ۵۰ درصد در نظر می‌گیرند.

جدول ۹: میزان واریانس استخراج شده متغیرها

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

متغیر	مقدار ویژه	واریانس استخراج شده
ارتفاع	۱	۰/۸۶۵
مساحت	۱	۰/۹۷۹
محیط	۱	۰/۹۸۵
طول آبراهه اصلی	۱	۰/۹۸۶
شیب	۱	۰/۹۲۷
تراکم زهکشی	۱	۰/۹۳۵
زمان تمرکز	۱	۰/۹۷۹
شاخص گیاهی	۱	۰/۷۳۳
سازند فرسایش‌پذیر	۱	۰/۷۵۰
دبی	۱	۰/۹۴۷
ضریب فرم حوضه	۱	۰/۸۰۰
ضریب گردی	۱	۰/۵۴۰
ضریب کشیدگی	۱	۰/۹۴۹
شاخص شکل حوضه	۱	۰/۹۶۹
نسبت لمنیسکیت	۱	۰/۹۶۹
بارش بیشینه	۱	۰/۸۳۲

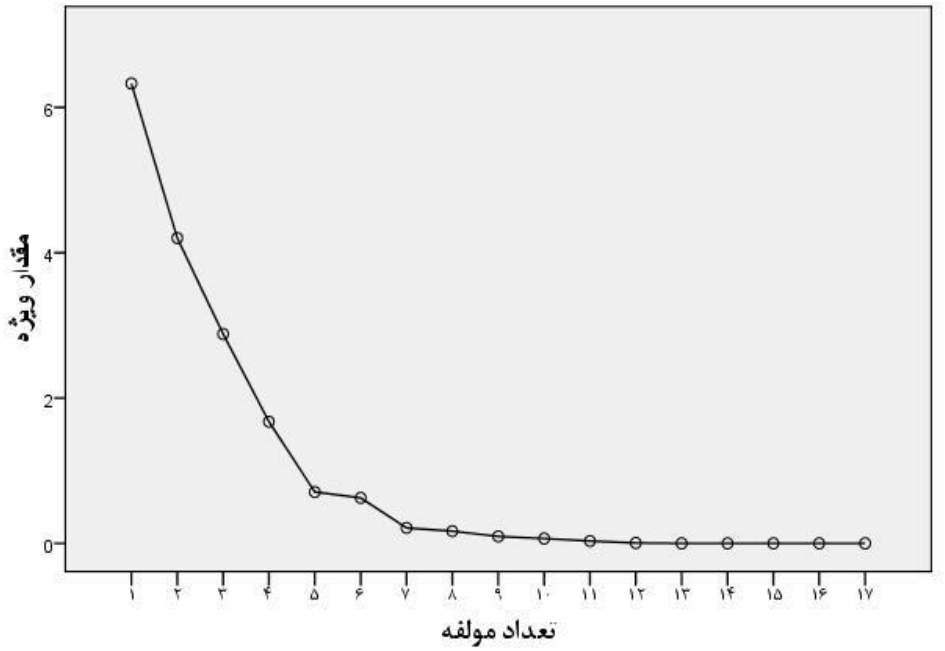
جهت تعیین تعداد عامل‌ها از مقدار ویژه استفاده می‌شود. حداقل مقدار ویژه برای انتخاب عامل‌های نهایی مقدار ۱ است و عامل‌هایی که مقدار ویژه بیشتر از ۱ داشته باشند جزء عامل‌های نهایی محسوب می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که چهار عامل مساحت، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز و ضریب کشیدگی حوضه مقدار ویژه بیشتر از ۱ دارند و تعداد عامل‌های استخراج شده ۴ عامل است. درصد واریانس تبیین شده توسط هر عامل در جدول (۱۰) نشان می‌دهد که عامل اول (مساحت) توانسته است ۳۷/۲۳۰ درصد از واریانس تمامی متغیرهای تحقیق را تبیین کند. این مقدار برای عامل دوم (طول آبراهه اصلی)، عامل سوم (زمان تمرکز) و عامل چهارم (ضریب کشیدگی حوضه) به ترتیب ۲۴/۷۳۵، ۱۶/۹۵۰ و ۹/۸۴۹ درصد است. در مجموع چهار عامل استخراج شده نهایی توانستند ۸۸/۷۵۴ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین کنند. بدین معنی که علت اصلی رسوبدهی حوضه‌های مورد مطالعه، ۴ عامل مذکور می‌باشند که بیش از ۸۸ درصد تولید رسوب در حوضه قره‌سو را بر عهده دارند.

جدول ۱۰: درصد واریانس تجمعی و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

مولفه‌ها	مقادیر ویژه اولیه		
	درصد تجمعی	درصد واریانس	کلی
مساحت	۳۷/۲۳۰	۳۷/۲۳۰	۶/۳۲۹
طول آبراهه اصلی	۶۱/۹۶۵	۲۴/۷۳۵	۴/۲۰۳
زمان تمرکز	۷۸/۹۱۵	۱۶/۹۵۰	۲/۸۸۱
ضریب کشیدگی	۸۸/۷۶۴	۹/۸۴۹	۱/۶۷۴

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

نمودار واریزه‌ای(شکل ۴) به صورت بصری تعداد عامل‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن مقدار ویژه ۱ در محور عمودی می‌توان تعداد عامل‌های نهایی را مشخص کرد. نتایج نمودار واریزه‌ای با نتایج جدول قبل یکسان بوده با این تفاوت که نمودار به صورت بصری نتایج را ارائه می‌دهد. وجود شیب تند بین عامل‌های اصلی می‌تواند مبنایی تکمیلی جهت گزینش عامل‌های نهایی باشد. همان طور که نمودار نشان می‌دهد بین عامل‌های اول تا چهارم شیب تندی وجود دارد و بعد از عامل چهارم شیب مقدار ویژه به طور محسوسی کاهش می‌یابد.



شکل ۴: نمودار واریزه‌ای (Scree Plot) جهت انتخاب تعداد عامل‌های نهایی.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

با مطالعه و مدل‌سازی رابطه بین ویژگی‌های فیزیوگرافی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی هر حوضه با میزان رسوبات معلق این امکان فراهم می‌شود که به توان تخمین درستی از میزان رسوبات رودخانه‌ها داشت. تحقیق حاضر با هدف مدلسازی میزان رسوبات معلق در حوزه آبخیز رودخانه قره‌سواستان اردبیل با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندمتغیره انجام شد. نتایج تحقیق دلالت بر این دارد که پارامترهای مورد استفاده، همبستگی بالایی با میزان رسوب سالانه دارند و می‌توانند در پیش‌بینی رسوب استفاده شوند. همچنین نتایج مقادیر ویژه تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که ۴ مؤلفه مساحت، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز و ضریب کشیدگی در مجموع بالغ بر ۸۸ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین می‌کنند. بنابراین با توجه به نتایج قبل قبول این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندمتغیره کارایی مناسب و قابل قبولی در برآورد و مدلسازی میزان رسوبات معلق در حوزه‌های آبخیز مورد بررسی دارند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که پارامترهای مورد استفاده، همبستگی بالایی با میزان تولید رسوب سالانه دارند و می‌توانند در پیش‌بینی رسوب استفاده شوند اما به هیچ

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

عنوان قابل تعمیم به سایر حوضه‌ها نمی‌باشند چون شرایط مورفولوژیکی و هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌های مختلف با همدیگر متفاوت است، پس سهم هر کدام از عوامل در حوضه‌های دیگر از شدت و ضعف برخوردار خواهد بود و قابل تعمیم به حوضه‌های دیگر نیست و برای هر حوضه‌ای باید مستقلاً کار شود. در مطالعه حاضر علاوه بر ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی حوضه که در اکثر پژوهش‌ها و تحقیقات استفاده می‌گردد، از ۲ متغیر شاخص گیاهی و سازندهای فرسایش‌پذیر در حوضه رودخانه قره‌سو استفاده شد که تفاوت تحقیق حاضر با سایر تحقیق‌های انجام شده را نشان می‌دهد. اما نتایج نشان داد که متغیرهای شاخص گیاهی و سازندهای فرسایش‌پذیر جزو عامل‌های اصلی تولید رسوب در منطقه مورد مطالعه نبوده و ممکن است در حوضه‌های دیگر جزو عامل‌های اصلی به شمار آیند. نتایج پژوهش Lamb و Toniolo (۲۰۱۶) و Hamdan (۲۰۲۰) نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با شکل حوضه، زمان تمرکز، شیب، بارش و مساحت بیشترین ارتباط و همبستگی را دارند که نشان دهنده این نکته است که در هر منطقه‌ای عامل اصلی تولید رسوب بنا بر شرایط حاکم بر منطقه متفاوت می‌باشد که ممکن است در یک منطقه مطالعه انجام شده با مطالعه حاضر همسو باشد و در منطقه دیگر دارای مغایرت با مطالعه حاضر باشد. در پژوهش Fathabadi و همکاران (۲۰۲۲) نتایج نشان داد که روش رگرسیون چندمتغیره کارایی مناسب و قابل قبولی ارائه کرده است که با مطالعه حاضر همسو می‌باشد. همچنین در پژوهش Esfandiari Darabad و همکاران (۲۰۲۲)، نقش طول آبراهه اصلی و مساحت در میزان رسوب حوزه و ارتباط بالای آن با رسوبدهی حوزه بیان شده است که همسو با پژوهش حاضر می‌باشد. همچنین در تحقیق مذکور، عامل بارش به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار مشخص گردید که دارای تفاوت با تحقیق حاضر می‌باشد. همبستگی بالای بارندگی با رسوب می‌تواند به شرایط اقلیمی و همچنین وضعیت پوشش گیاهی زیرحوزه‌های تحقیق مرتبط باشد. در پژوهش Asghari و Ghaleh (۲۰۲۰) که به مدل‌سازی رابطه‌ی بین میزان بار رسوب معلق با ویژگی‌های ژئومورفیکی حوضه رودخانه قرنقو در استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با حجم جریان و ضریب فرم حوضه، همبستگی مثبت داشته و همچنین چهار عامل مساحت، محیط، طول و ضریب فرم حوضه به ترتیب ۵۰، ۲۰/۹، ۱۳/۶ و ۷/۵ درصد از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین کند که با پژوهش حاضر همسو می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود که برای برآورد میزان رسوبات معلق در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، علاوه بر عوامل طبیعی نیز از عوامل انسانی که در میزان تخریب اراضی و افزایش تولیدات رسوب تاثیرگذار هستند استفاده شود. همچنین جهت رسیدن به ارتباط کاملتر عامل بارندگی با تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز از ویژگی‌های مهم و اصلی بارش چون زمان و شدت بارندگی در مدل‌سازی رگرسیونی بهره گرفته شود. در راستای نتایج پژوهش حاضر می‌توان نسبت به تعیین آبخیزهایی با تولید بالای رسوب اقدام نمود و بر اساس عوامل موثر بر تولید رسوب، نسبت به اجرای اقدامات مدیریتی و سازه‌ای اقدام نمود. علاوه بر این، دقت در تعیین متغیرهای موثر بر تولید رسوب در مطالعات مرتبط و برآورد بهتر مقادیر رسوب معلق از دیگر نکات قابل توجه در تحقیق حاضر است.

منابع

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]

1. Asghari, S., Ghaleh, E. 2020. Investigation of the relationship between geomorphic characteristics and sediment yield (Case Study: Gharanghoo Basin in East Azarbaijan Province). Quantitative Geomorphological Research, 8(3), 146-164. (In Persian)
2. Esfandiari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Nezafat takle, B., Pasban, A. 2022. Modeling of Suspended Sediment Yield in Ardabil Province watersheds using PCA and Multiple Regression Analysis. Irrigation and Water Engineering, 13(2), 143-162. (In Persian)
3. Faghfouri, Z., Arman, N., Faraji, M., & Khorsandi, Z. 2017. Identifying the effective factors on sediment yield using statistical method, case study: Seyed Abad Basin. Watershed Engineering and Management, 9(2), 190-204. (In Persian)
4. Fathabadi, A., Seyedian, S.M., Malekian, A. 2022. Comparison of Bayesian, k-Nearest Neighbor and Gaussian process regression methods for quantifying uncertainty of suspended sediment concentration prediction. Science of the Total Environment, 8(18), 25-41.
5. Fryirs, K. 2013. Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. Earth Surface Processes and Landforms, 38(1), pp.30-46
6. Gholami, L., Sadeghi, H., Khaledi Darvishan, A., Telvari, A. 2008. Storm-Wise sediment yield prediction using rainfall and runoff variables. Water and Soil, 22(2). (In Persian)
7. Heng, S., Suetsugi, T. 2014. Comparison of regionalization approaches in parameterizing sediment rating curve in ungauged catchments for subsequent instantaneous sediment yield prediction. Journal of Hydrology, 512, 240-253.
8. Kakehmami, A., Ghorbani, A., Asghari Sarasekanrood, S., Ghale, E., Ghafari, S. 2020. Study of the relationship between land use and vegetation changes with the land surface temperature in Namin County. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(2), 27-48. (In Persian)
9. Lamb, E., Toniolo, H. 2016. Initial Quantification of Suspended Sediment Loads for Three Alaska North Slope Rivers. Water, 419(8), 2-11.
10. Shayan, S., Zare, GH.R., Yamani, M., Sharifi Kia, M., Sultanpour, M. 2013. Analysis of the trend of statistics changes in the discharge and sediment of the Mend watershed and its application in environmental planning, Journal of Applied Geomorphology. 1(2), 50-37.
11. Shi, Z.H., Huang, X.D., Ai, L., Fang, N.F., Wu, G.L. 2014. Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds. Geomorphology, 226, 193-201.
12. Soni, S. 2017. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique. Applied Water Science. 7(5), 2089-2102.
13. Tadaion, B., Abedi, M.R., Nilforoshan, P. 2016. The Effect of Group Emotional intelligence Training on Employability in Isfahan University of Technology, Quarterly Journal of Career & Organizational Counseling, 7(22), 9-32. (In Persian)
14. Zare Chahuki, M.A. 2010. Data analysis in natural resources research using SPSS software. first edition. Jahad University press. 309 P.
15. Zhu, Y.M., X.X. Lu and Y. Zhou. 2007. Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment. Geomorphology, 84: 111-125.
16. Ziegler A.D., Benner G., Tantasirin C. 2014. Turbidity-based sediment monitoring in northern Thailand: hysteresis, variability, and uncertainty. Journal of Hydrology, 519, 2020–2039.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.42]