



شمس‌الله عسگری^۱

بررسی روابط عوامل تولید رسوب و پارامترهای ژئومورفیکی در بار رسوب حوزه شهر مهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۵

چکیده

با توجه به مخاطره رسوب در حوزه آبخیز شهر مهران، عوامل و پارامترهای تاثیر گذار در رسوب زایی و میزان بار رسوب این حوزه تحلیل آماری شد. هدف این تحقیق مدل‌سازی رابطه بین میزان تولید رسوب با استفاده از عوامل مدل تجربی MPSIAC و بار رسوب معلق با استفاده از پارامترهای ژئومورفیکی و ارتباط آنها با رسوب‌دهی در حوضه آبخیز است. به روش تصادفی ساده حوضه شهر مهران با چهار زیر حوضه مشخص و مجهز به ایستگاه هیدرومتری از حوضه‌های جنوبی استان ایلام انتخاب شد. جهت تحلیل ارتباط بین عوامل مدل MPSIAC و متغیرهای ژئومورفیک با رسوب هر زیر حوضه از روش رگرسیون چندگانه آماری استفاده شد. طبق نتایج مدل تجربی مقدار رسوب سالانه در زیر حوضه‌های شهر مهران، تنگ باجک، آسان و گنبد به ترتیب $19/4$ ، $16/8$ ، $14/7$ و $12/2$ امتنانی در هکتار در سال برآورد شد. نتایج بررسی ارتباط بین عوامل در تولید رسوب و متغیرهای ژئومورفیکی در بار رسوب زیر حوضه‌ها نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با عامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، وضعیت فرسایش فعلی، فرسایش رودخانه‌ای و توپوگرافی حوضه همبستگی مثبت داشته و در سطح 100% معنی‌دار بوده است. مقدار بار رسوب معلق با شاخص شبی، ضریب گردی، بارندگی، ناهمواری و مساحت حوضه همبستگی مثبت داشته و در سطح 100% معنی‌دار بوده است و مقدار رسوب بار معلق سالانه در زیر حوضه‌های شهر مهران، تنگ باجک، آسان و گنبد به ترتیب $16/2$ ، $14/5$ ، $11/6$ و $12/4$ امتنانی در هکتار در سال برآورد شد. جهت تأثیرگذاری عوامل و متغیرها بر میزان رسوب زیر حوضه‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشاهی استفاده گردید. نتایج نشان داد درصد واریانس تبیین شده توسط کاربری حوضه 25% از واریانس تمامی متغیرهای تحقیق را تبیین نموده و در مجموع سه عامل کاربری حوضه، وضعیت فرسایش فعلی، زمین‌شناسی و دو پارامتر ضریب گردی و ضریب شبی توانسته‌اند 86% از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین کنند. در نهایت اگرچه مدل ترکیبی این تحقیق عوامل و متغیرهای زیادی در ارتباط با میزان رسوب تولیدی و بار رسوب، در نظر می‌گیرد اما از نتایج آماری معنی‌دار و دقیق تری در سیستم حوضه آبخیز برخوردار است.

واژگان کلیدی: رسوب، رگرسیون چند متغیره، حوضه شهر مهران، MPSIAC

*۱- بخش تحقیقات منابع طبیعی و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول).

E-mail: Shamsasgari@yahoo.com

مقدمه

رسوبزایی و بار رسوب نتیجه فرایندی است که بر اثر عوامل و متغیرهای دروندادی و برون دادی حاکم بر سیستم حوضه آبخیز شکل می‌گیرد، بنابراین متغیر وابسته رسوب تابع متغیرهای زیادی است و با اجرای یک مدل تجربی و یا هیدرولوژیکی که در چند عامل خلاصه شده است نمی‌توان آمار دقیقی از این متغیر وابسته در دامنه خطای آماری قابل قبول ارائه داد. از طرفی رابطه عوامل و رسوب در تحقیقات سنتی بصورت جداگانه با نتایج خطی از سیستم حوضه آبخیز استخراج شده است، در حالی که استفاده از مدل‌های آماری در رگرسیونهای چند متغیره می‌تواند از بین عوامل و صدھا متغیر تاثیر گذار بر رسوب مهمترین عوامل یا متغیر را با معنی داری آماری استخراج نماید و این روش به نوعی بهتر می‌تواند قانونمندی حاکم بر سیستم پیچیده حوضه آبخیز را معرفی نماید. در این تحقیق با اجرای یکی از معروف ترین مدل‌های تجربی در برآورد فرسایش خاک و رسوب بنام مدل MPSIAC که بیشترین عوامل تاثیر گذار بر رسوب را در نظر می‌گیرد در مقایسه با آمار بار رسوبی ایستگاه‌های هیدرومتری و تقریباً در نظر گرفتن همه متغیرهای ژئومورفیک تاثیر گذار بر رسوب در مدل‌های آماری تحلیل شده تا بتوان پاسخی قانونمند، کمی و با معنی داری آماری مناسب معرفی نمود. ویژگیهای ژئومورفیک حوضه‌های آبخیز، به مجموعه عوامل فیزیکی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوضه به نسبت ثابت است و وضع ظاهری حوضه آبخیز را نشان می‌دهد (Abdideh et al., 2011). رسوب یک حوضه و درک پدیده فرسایش و عواقب آن می‌تواند در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های یک حوزه آبخیز استفاده شود (Shayan et al., 2013). کاهش تولید رسوب نیازمند اجرای روش‌های مناسب کنترل رسوب و حفاظت خاک در مناطق بحرانی منبع تولید رسوب در حوضه آبخیز است (Patrick et al., 2022). رسوب محصول نهایی فرسایش در یک حوضه آبخیز است که ناشی از فرسایش خاک اراضی بالادست، فرسایش کناری و بستر رودخانه است (Pohlert, 2015). فرسایش و رسوب‌گذاری به عنوان یک رفتار طبیعی رودخانه، باعث هدررفت خاک حاصلخیز کشاورزی و وارد نمودن خسارت جبران‌ناپذیر به سازه‌های آبی می‌شود (Karami and Bayati, 2019). رسوب رودخانه‌ای به عنوان یک محرک تنفس‌زا، مهم‌ترین تهدید برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود که برای جلوگیری و یا به حداقل رساندن خسارات واردہ باید سه مرحله فرایند فرسایش را مورد مطالعه قرار داد (Naseri et al., 2019). تعیین مقدار رسوب انتقال یافته توسط رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است. رسوب حمل شده توسط جریان آب، عامل مهمی در شکل‌گیری ساختار هندسی و خصوصیات ژئومورفیک رودخانه‌ها تلقی می‌شود (Heidari Tashekabood and Rezai, 2019). در ادامه چند نمونه از سوابق تحقیق در ایران و جهان آورده شده است.

(Lamp and Toniolo, 2016) به کمی سازی بار معلق ۳ رودخانه در منطقه شمالی آلاسکا پرداختند. پایش منطقه مورد مطالعه برای ۳ سال به طول انجامید و نمونه برداری 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.

Daneshfaraz et al (2017) در حوضه‌ی آذربایجان شرقی با استفاده از مدل MPSIAC و فن‌های GIS^۱ و RS^۲ فرسایش خاک را برآورد و نقشه‌ی رسوب حوضه را تهیه کردند که نتایج نشان داد سالانه ۴۷۵ تن بر کیلومترمربع خاک فرسوده شده و از حوضه خارج شده است و شیب و پوشش زمین مهم‌ترین عوامل کنترل کننده‌ی رسوب هستند.

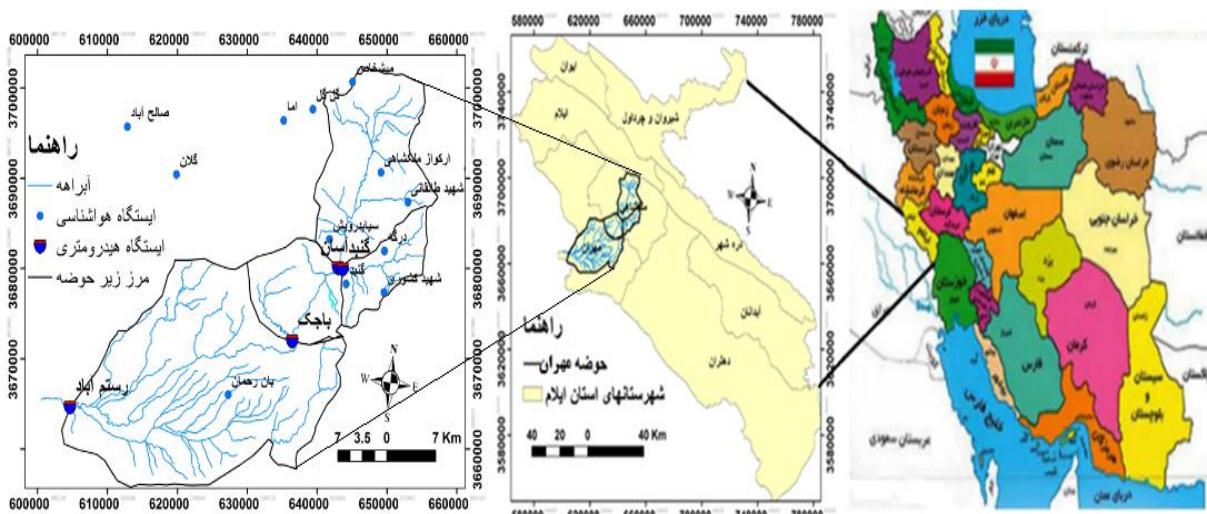
Zarei and Amiri (2017) نیز با استفاده از مدل MPSIAC، هدررفت خاک و تولید رسوب را در حوضه‌ی کچویه برآورد کردند. بر اساس نتایج حاصل از مدل MPSIAC، درصد (۹۶/۱ کیلومترمربع) از مساحت مورد مطالعه در کلاس فرسایش جزئی و ۲۹/۲ درصد (۱۴۷/۵ کیلومتر) در کلاس فرسایش متوسط طبقه‌بندی شده‌اند.

Honarbakhsh et al (2019) در برآورد میزان رسوب در حوضه‌ی دز از ۱۵ پارامتر در برآورد رسوبات متعلق با روش تجزیه مولفه‌های اصلی به این نتایج دست یافتند که این مدل بهترین کارآیی و کمترین درصد خطای برآورد را داشته است. همچنین نتایج نشان داد که دبی سالانه تاثیرگذارترین پارامتر در مدل‌های برآورد رسوبات متعلق بوده است.

Motamedi and Azari(2016) در برآورد فرسایش خاک در زیر حوضه‌های خراسان رضوی با استفاده از رگرسیون چند متغیره گام به گام به این نتایج دست یافتند که مقدار رسوب تولیدی با ضریب فرم حوضه و متوسط بارندگی سالانه، همبستگی مثبت داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. Asghari and oala (2019) در برآورد میزان تولید رسوب در حوضه قرنقو با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام به این نتایج دست یافتند که مقدار رسوب تولیدی با حجم جریان و ضریب فرم حوضه، همبستگی مثبت داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین جهت شناسایی عوامل تاثیرگذار بر میزان رسوب حوضه از بین متغیرهای موجود از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شده است. شهر مهران در دشت مهران و در نقطه انتهایی و خروجی حوزه قرار گرفته و همواره توسط سیل و آورد رسوب تحت مخاطره بوده است، با توجه به اهمیت حوضه شهر مهران در استان ایلام که حیات شهر مهران و روستا‌های حومه شهر تقریباً به این حوضه و زیر حوضه‌های آن و سدهایی که بر شریان این زیر حوضه‌ها احداث شده است وابسته است بر این اساس بررسی متغیرهای تاثیرگذار در تولید رسوب و بار رسوب در حوضه شهر مهران از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به آمار و اطلاعات در منطقه بنظر می‌رسد برخی پارامترهای ژئومورفیکی در تولید و بار رسوب زیر حوضه‌ها نقش بسزایی دارند که در این تحقیق با هدف برآورد میزان تولید رسوب با لحاظ کردن ویژگی‌های ژئومورفیک و شناسایی زیرحوضه‌های بحرانی از نظر تولید رسوب با استفاده از تحلیل رگرسیون چند متغیره به دستگاه‌های اجرایی ذیربسط معرفی می‌شود تا در مدیریت و برنامه‌ریزی آتی در زیر حوضه‌ها تمهیدات لازم اندیشیده شود.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه شهر مهران یکی از رودخانه های حوضه آبریز مهران در جنوب غرب استان ایلام با موقعیت جغرافیایی $46^{\circ}24' \text{ تا } 46^{\circ}36'$ طول شرقی و $33^{\circ}02' \text{ تا } 33^{\circ}12'$ عرض شمالی واقع گردیده است. (شکل ۱)



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

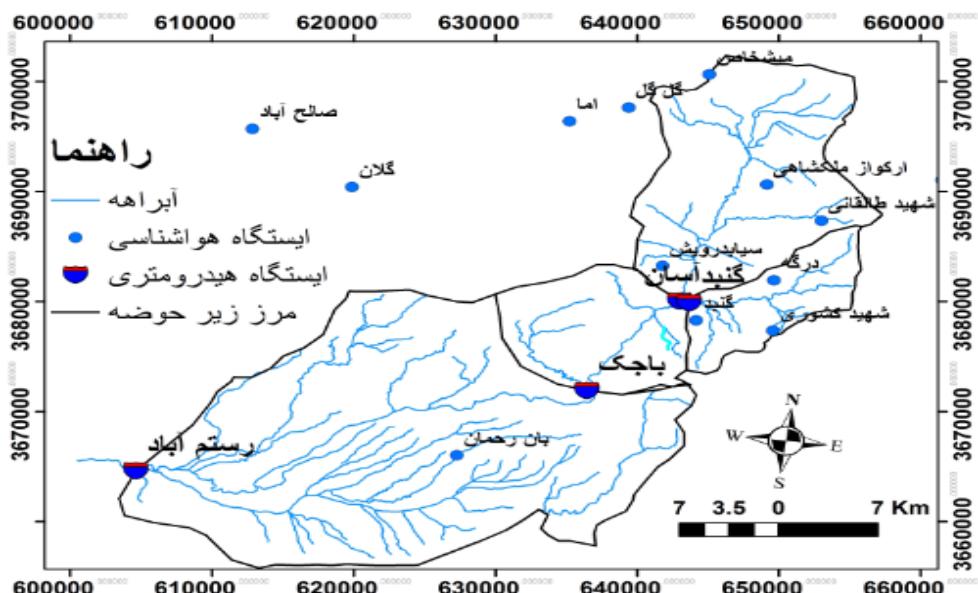
Figure 1: Geographical location of the study area

مواد و روش ها

در این تحقیق برای برآورده میزان تولید رسوب از مدل MPSIAC با در نظر گرفتن ۹ عامل (زمین شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه ای) با وارد نمودن لایه های اطلاعاتی به محیط GIS و رقومی سازی و کلاسه بندی هر یک از این لایه ها مورد بررسی قرار داده و عوامل مؤثر در رسوبزایی حوضه و میزان تأثیر هر عامل بر اساس امتیازات بدست آمده از فرمولهای مدل MPSIAC مشخص گردیده است.

آمار دبی و رسوب ۴ ایستگاه هیدرومتری و ۱۲ ایستگاه هواشناسی از شرکت آب منطقه ای و اداره تحقیقات هواشناسی استان ایلام تهیه شده است (شکل ۲). با استفاده از نقشه های توپوگرافی با مقیاس $1/25000$ اطلاعات فیزیوگرافی زیر حوضه ها محاسبه شد. به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل ووابسته، تست نرمال بودن داده ها با آزمون های شاپیرو - سویلک و کولموگروف اسمیرنوف در نرم افزار SPSS21 انجام شد. جهت استخراج ویژگی های ژئومورفیک زیر حوضه ها از مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردید. با استفاده از تحلیل خوشه ای، حوضه های آبخیز به مناطق همگن تقسیم شدند. در نهایت بر اساس مطالعات انجام شده (Ziglear et al., 2014) با استفاده از رگرسیون چند متغیره در مناطق همگن مدل سازی رسوب صورت پذیرفت.

تحلیل عاملی از جمله روش‌های چند متغیره است که در آن متغیرهای مستقل و وابسته مطرح نیست، زیرا این روش جزء تکنیک‌های هم وابسته محسوب می‌گردد و کلیه متغیرها نسبت به هم وابسته‌اند. تحلیل عاملی نقش بسیار مهمی در نارسایی متغیرهای مکنون یا همان عامل‌ها از طریق متغیرهای مشاهده شده دارد. عامل (factor) متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی مقادیر اصلی متغیرهای مشاهده شده برآورده می‌شود. روش تحلیل عاملی برای ساخت آزمون‌ها اولین بار توسط چارلز اسپیرمن به کار برده شده است. تحلیل خوشه‌ای به عنوان روشی در کاهش داده‌ها است یعنی از بین بردن مشاهدات تعدادی گروه همگن حاصل می‌گردد که هدف اصلی آن به حداقل رساندن تغییرات درون گروهی و به حداقل رساندن تغییرات بین گروهی است. روش رگرسیونی گام به گام بدليل سادگی در اجرا و تفسیر در مدل‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی بخصوص برآورد میزان رسوب با استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. در مرحله بعد همگنی حوضه‌های آبخیز با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای ارزیابی شد. در تحلیل خوشه‌ای پس از استاندارد کردن داده‌ها به روش Z-SCORE گروه‌بندی با روش طبقاتی تجمعی و محاسبه فاصله اقلیدسی به روش ward انجام شد. به تدریج زیر حوضه‌های مشابه طی فرآیند جمع‌آوری در یک گروه با هم ادغام شدند. برای مدل‌سازی میزان رسوب متغیرهای مستقل اعم از فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی موثر در تولید رسوب در زیر حوضه‌های مورد مطالعه شناسایی و داده‌های آنها استخراج گردید. سپس تصحیحات و پیش پردازش‌های سطح زمین از قبیل حذف چاله‌های هیدرولوژیکی انجام گردید و الگوی زهکشی زمین تعیین شد. پارامترهای ژئومورفیک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۲: ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی حوضه شهر مهران

Figure 2: Hydrometric and meteorological stations of Mehran basin

جدول ۱- پارامترهای زئومورفیک مورد استفاده در تحقیق

Table 1- Geomorphic parameters used in the research

منابع	رابطه	علامت اختصار	ویژگی زئومورفیک
Strahler (1957)	-	μ	رتبه آبراهه‌های حوضه
Strahler (1958)	-	$N\mu$	تعداد آبراهه
Schumm (1956)	$BR = \left(\frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} + \dots + \frac{N_{n-1}}{N_n} \right) \left(\frac{1}{n-1} \right)$	ARb	میانگین نسبت انشعاب
Horton (1945)	طول آبراهه: X	Σ^X	مجموع طول آبراهه
Horton (1945)	$D_d = \frac{\Sigma X}{A}$	D_d	تراکم زهکشی
Horton (1945)	$F_s = \frac{N\mu}{A}$	F_s	فراوانی آبراهه
Smith (1950)	$R_t = D_d \cdot F_s$	D_t	بافت زهکشی
Sharma and Tiwari(2009)	$F_f = \frac{Area}{L^2}$	F_f	ضریب فرم حوضه
Miller (1953)	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	R_c	ضریب گردی
Schumm (1956)	$E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L}$	E_r	ضریب کشیدگی
Horton (1932)	$S_w = \frac{1}{F_f}$	SW	شاخص شکل حوضه
Chorely et al (1957)	$L_r = \frac{L^2}{4Area}$	L_r	نسبت لمبیسکیت
Schumm (1956)	$B_f = E_{max} - E_{min}$	B_f	پستی و بلندی حوضه
Schumm (1956)	$R_r = \frac{BF}{Lsmax}$	R_r	نسبت پستی و بلندی
Strahler (1958)	$R_n = B_F \cdot D_d$	R_n	عدد ناهمواری
Singh and Dubey(1994)	$DI = \frac{BF}{Emax}$	DI	شاخص انشعاب

A: مساحت حوضه آبخیز، L: طول حوضه آبخیز، P: محیط حوضه، E_{max} : حداقل ارتفاع حوضه، E_{min} : حداقل ارتفاع حوضه، Lsmax: بلندترین طول آبراهه.

جهت کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعیین عوامل مؤثر در رسوب حوضه، از رگرسیون چند متغیره گام به گام استفاده شد. این روش، اثر چندین متغیر مستقل را بر یک متغیر وابسته بررسی می‌کند (Zare, 2010) در رگرسیون چند متغیره گام به گام، متغیر مستقلی که تأثیر محسوس‌تری در زمینه متغیر وابسته ندارد، از تحلیل حذف و از معادله خارج می‌شود. شکل کلی رابطه رگرسیون گام به گام، به صورت رابطه یک است:

$$Y = a + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n + e \quad (1)$$

Y متغیر وابسته (رسوب معلق سالانه)، a: ثابت مدل، X_1, X_2, \dots, X_n : متغیرهای مستقل هستند که خصوصیات و پارامترهای زئومورفیک حوضه به شمار می‌روند. همچنین B_1, B_2, \dots, B_n ضرایب مربوط به هر یک از متغیرهای مستقل و e نشان‌دهنده خطای مدل رگرسیون است. یکی از شرایط استفاده از رگرسیون چند متغیره گام به گام در تجزیه و تحلیل داده‌ها، فقدان هم خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل است که در این پژوهش با استفاده از عامل تورم واریانس بررسی شد. در رگرسیون چند متغیره برای آزمون معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب معادله رگرسیون، از آزمون t استفاده می‌شود. برای بررسی چگونگی برازش مدل بر داده‌ها از دو معیار R^2 (ضریب تعیین) و SE (اشتباه استاندارد)

استفاده می‌شود.² یا ضریب تعیین چندگانه، نسبتی از تغییرات کل در متغیر وابسته است که توسط معادله رگرسیونی بیان می‌شود. اشتباہ استاندارد، معیار دیگری برای انتخاب مدل نهایی است. مدلی که کمترین اشتباہ استاندارد را داشته باشد، باریکترین فاصله اطمینان را خواهد داشت و مناسب‌تر است. در این تحقیق، ۲۰ ویژگی ژئومورفیک و ۹ عامل تاثیرگذار در تولید رسوب به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و ضمن شناسایی مهمترین ویژگی‌های ژئومورفیک مؤثر در میزان رسوب زیرحوضه‌ها، رابطه پیش‌بینی مقدار رسوب سالانه توسط مؤثرترین پارامترها تعیین شد. اختلاف میزان رسوب تولیدی و بار رسوب وضعیت رسوب زایی، حمل رسوب و رسوب گذاری را در زیر حوضه نمایان ساخت.

یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل از تحلیل‌ها از عوامل تاثیرگذار در تولید رسوب در هر زیر حوضه در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج بررسی مدل MPSIAC و ۹ عامل این مدل برای ۴ زیر حوضه تعیین شده نشان می‌دهد که با توجه به مجموع امتیازات عوامل مؤثر در فرسایش و رسوب، زیر حوضه آسان با درجه رسوبدهی ۸۶/۸، زیر حوضه گنبد با درجه رسوبدهی ۸۲/۳، زیر حوضه تنگ با جک ۸۱/۶ و زیر حوضه شهرمهران با درجه رسوبدهی ۷۵/۱ و حوضه مورد مطالعه به صورت کلی با درجه رسوبدهی ۸۱/۴ در کلاس فرسایشی زیاد قرار می‌گیرند و میزان تولید رسوب این کلاس ۱۴۲۹-۴۷۶ متر مکعب در کیلومتر مربع و ۲۱۴۳/۵ - ۷۱۴ تن در کیلومتر مربع می‌باشد. برای برآورد تولید رسوب طبق مدل MPSIAC از رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب، از رابطه ۲ استفاده شد.

$$\text{QS} = e^{0.036R} 18.6 \quad \text{MPSIAC}$$

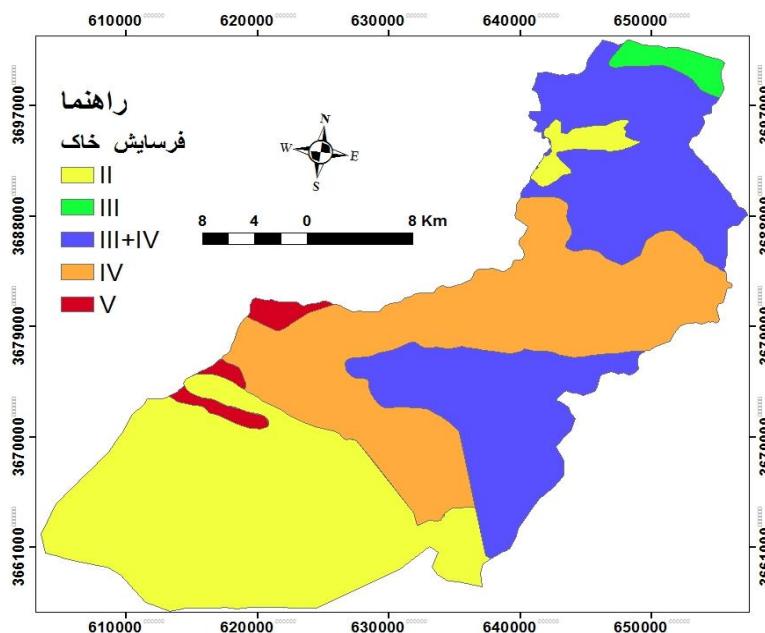
در این رابطه QS میزان رسوبدهی سالانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع و R درجه رسوبدهی یعنی مجموع امتیازات عوامل مختلف در نظر گرفته شده در مدل MPSIAC می‌باشد. لازم به ذکر می‌باشد که وزن مخصوص برای حوضه مورد مطالعه با توجه به ضریب منطقه‌ای، ۱/۴ در نظر گرفته می‌شود. با اعمال رابطه (۲) میزان رسوبدهی سالانه در زیر حوضه شهر مهران برابر ۹۷۶/۴ متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد گردیده که با دخالت دادن وزن مخصوص معادل ۱۲۵۲/۷ تن رسوب در کیلومتر مربع است که معادل ۱۹/۴ تن در هکتار در سال می‌باشد. میزان رسوبدهی سالانه در زیر حوضه تنگ با جک برابر ۷۵۹/۶ متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد گردیده که با دخالت دادن وزن مخصوص معادل ۱۱۰۵/۳ تن رسوب در کیلومتر مربع است که معادل ۱۶/۸ تن در هکتار در سال می‌باشد. میزان رسوبدهی سالانه در زیر حوضه آسان برابر ۶۶۳/۸ متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد گردیده که با دخالت دادن وزن مخصوص معادل ۹۸۰/۱ تن رسوب در کیلومتر مربع است که معادل ۱۴/۷ تن در هکتار در سال می‌باشد. میزان رسوبدهی سالانه در زیر حوضه گنبد برابر ۵۳۳/۷ متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد گردیده که با دخالت دادن وزن مخصوص معادل ۷۸۰/۶ تن رسوب در کیلومتر مربع است که معادل ۱۲/۲ تن در هکتار در سال می‌باشد. میزان رسوبدهی سالانه در کل حوضه شهر مهران برابر ۶۵۷/۸ متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد گردیده

که با دخالت دادن وزن مخصوص معادل ۹۷۵/۶ تن رسوب در کیلومتر مربع است که معادل ۱۵/۸ تن در هکتار در سال می باشد که نتایج کیفی فرسایش در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲-نتایج عوامل مدل MPSIAC در زیرحوضه های شهر مهران

Table 2- The results of MPSIAC model factors in the sub-basins of Mehran city

کل حوضه	زیرحوضه های شهر مهران					عامل
	شهر ایلام	تنگ باجک	گند	آسان		
۷/۵	۹/۳	۸/۱	۵/۲	۷/۴		زمین شناسی
۸/۱	۷/۳	۸/۲	۸/۱	۸/۵		خاک
۵/۴	۷/۵	۶/۵	۲/۸	۴/۸		آب و هوا
۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۴		روان آب
۱۲/۱	۱۴/۶	۱۳/۴	۹/۲	۱۱/۵		توپوگرافی
۷/۹	۸/۳	۷/۸	۵/۳	۶/۴		پوشش زمین
۱۸/۴	۱۹/۴	۱۸/۶	۱۷/۳	۱۸/۶		کاربری اراضی
۱۳/۳	۱۱/۲	۱۱/۸	۱۶/۸	۱۴/۷		وضعیت فرسایش فعلی
۸/۷	۸/۶	۷/۴	۹/۷	۹/۴		فرسایش رودخانه ای
۸۱/۴	۸۶/۸	۸۲/۳	۷۵/۱	۸۱/۶	R	مجموع امتیازات



شکل ۳: کلاس فرسایش حوضه مورد تحقیق

Figure 3: Erosion class of the studied basin

تحلیل یافته های ارتباط پارامترهای رئومورفیکی و میزان رسوب اندازه گیری شده در ایستگاه های هیدرومتری و منحنی سنجه رسوب بصورت میانگین رسوب سالانه در زیرحوضه های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) مقدار رسوب معلق سالانه از ۱۶/۲ تن در هکتار در سال در زیرحوضه شهر مهران تا ۱۱/۶ تن در

هکتار در سال در زیرحوضه گند متفاوت است. مساحت حوضه آبخیز یکی از پارامترهای مهم در رسوب‌دهی حوضه محسوب می‌شود که در این پژوهش دامنه مساحت از ۸۰ کیلومترمربع برای زیرحوضه آسان تا ۶۳۳ کیلومترمربع برای زیرحوضه شهر مهران متغیر است. بالاترین متوسط شیب در زیرحوضه آسان ۷۴/۶ درصد و پایین ترین متوسط شیب زیر حوضه شهر ایلام ۸/۳ درصد مشاهده می‌شود. در ارتباط با نحوه محاسبه متوسط بارش زیرحوضه‌ها از روش میانیابی استفاده شد. به منظور بررسی نقش عوامل اقلیمی در کنار عوامل زئومورفیک، متوسط بارندگی سالانه با استفاده از گرادیان بارندگی و ارتفاع برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شد که در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج حاصل از اجرای هر سه مدل درون‌یابی نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر ME و RMSE روش کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است که از بین حالت‌های مختلف روش کریجینگ نیز مدل گوسی دارای بیشترین دقت می‌باشد. بر این اساس بیشترین بارندگی در زیر حوضه آسان ۴۲۵ میلی متر و کمترین بارش در زیر حوضه شهر مهران ۲۱۰ میلی متر می‌باشد. عامل ارتفاع حوضه با تأثیر روی مقدار و نوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق و وضعیت پوشش گیاهی حوضه بر ضریب رواناب و در نتیجه میزان رسوبدهی تأثیرگذار می‌باشد. طول حوضه عبارت از طول خطی که نقطه خروجی حوضه را با یک خط مستقیم به دورترین نقطه مرز حوضه وصل می‌کند (Mahdavi., 2011). برای بیان شکل حوضه و مقایسه زیر حوضه‌ها با یکدیگر از پارامترهای مختلفی نظری ضریب فرم حوضه، شاخص شکل، ضریب فشردگی، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، نسبت لمنیسکیت استفاده شده است. نتایج حاصل از محاسبه این پارامترها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۳- مقدار رسوب معلق و برخی از مشخصات زیرحوضه‌های منتخب

Table 3- Amount of suspended sediment and some characteristics of selected sub-basins

نام زیرحوضه	مساحت (km ²)	محیط (km)	شیب متوسط (%)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	رسوب (ton/h/year)
شهر مهران	۶۳۳	۱۱۵	۸/۳	۲۱۰	۱۶/۲
تنگ باجک	۱۲۳	۴۴	۵۰/۹	۳۲۰	۱۴/۵
گند	۲۵۷	۷۱	۵۶/۸	۴۱۵	۱۱/۶
آسان	۸۰	۴۳	۷۴/۶	۴۲۵	۱۲/۴

جدول ۴- پارامترهای ارتفاعی و شکل زیرحوضه‌های مورد مطالعه

Table 4- Height and shape parameters of the studied sub-basins

زیرحوضه	ارتفاع متوسط (m)	ارتفاع حداقل (m)	ارتفاع حداقل (m)	ارتفاع میانی (m)	ارتفاع آبراهه اصلی (Km)	طول آبراهه (Km)	ضریب حوضه	ضریب شکل حوضه	ضریب فشردگی	ضریب کشیدگی	ضریب گردی	نسبت لمنیسکیت
شهر مهران	۹۰	۲۱۰	۴۲۰	۳۶/۲۵	۰/۴۸	۲/۱۲	۱/۳۰	۰/۴۰	۰/۱۹	۰/۴۲	۰/۱۹	۲/۵۲
تنگ باجک	۴۵۰	۵۶۰	۹۲۰	۱۳/۷	۰/۶۵	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۰/۴۶	۱/۱۲	۰/۴۲	۱/۶۲
گند	۸۴۰	۹۱۰	۱۲۰۰	۱۷/۳	۰/۸۸	۱/۱۴	۱/۲۵	۱/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۴۲	۲/۲۵
آسان	۹۰۰	۱۲۹۶	۱۹۵۰	۲۵/۴	۰/۱۲	۸/۳۳	۱/۳۷	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۰	۳/۱۴

نتایج نشان می‌دهد ضریب فرم حوضه آبخیز از $0/088$ تا $0/12$ متغیر است زیر حوضه‌های گند و تنگ با جک بیشترین کشیدگی را دارند. بیشترین ضریب فشردگی برای زیر حوضه‌های آسان و شهر مهران می‌باشد. شاخص شکل حوضه نیز نتیجه مشابه را نشان می‌دهد. بالاترین میزان شاخص شکل با توجه به جدول (۲) در زیر حوضه آسان مشاهده می‌شود. نسبت لمینسکیت به عنوان معیاری برای توصیف میزان مشابه شکل حوضه به دایره تعريف شده است که برای توصیف شکل حوضه بکار می‌رود (Chorely et al., 1975). بیشترین مقدار نسبت لمینسکیت با توجه به شکل و طول جریان برای زیر حوضه‌های شهر مهران و آسان بدست آمده است. شاخص انشعاب نسبت بین تخریب واقعی توسط رودخانه و پتانسیل آن از سطح پایه را نشان می‌دهد (Pal et al., 2011). ضریب فشردگی که به نام ضریب گراویلیوس نیز نامیده می‌شود عبارت است از نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر مساحت حوضه باشد. این دایره را دایره می‌معادل می‌گویند. حال چنانچه حوضه دایره‌ای کامل باشد این ضریب برابر یک است، در غیر این صورت مقدار این ضریب بزرگتر از یک خواهد بود که نشان دهنده انحراف شکل آن از دایره است. این ضریب بدون بعد است و برای حوضه‌های تقریباً گرد نزدیک به عدد یک است و برای حوضه‌های کشیده حدود $1/5$ تا $2/5$ است (Fattahi and Talebzadeh, 2017). کمترین ضریب فشردگی مربوط به زیر حوضه تنگ با جک $1/12$ و بیشترین مربوط به زیر حوضه آسان $1/37$ می‌باشد، همچنین ضریب کشیدگی از $0/052$ تا $0/20$ متغیر است این ضریب توسط (Schumm., 1956) مطرح شده است. در روش ضریب گردی هر چقدر RC به عدد یک نزدیک باشد شکل آبخیز به دایره نزدیک‌تر خواهد بود. یکی از روش‌های توصیف شکل منحنی هیپسومتریک یک حوضه، محاسبه انتگرال هیپسومتریک آن حوضه است (جدول ۵). مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک ($>0/5$) بر وجود پستی و بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه دلالت دارد و مقادیر کم تا متوسط انتگرال هیپسومتریک ($<0/4$) حاکی از شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر است. ارتباط بین انتگرال هیپسومتریک باعث شده تا این انتگرال به عنوان معیاری برای تشخیص چرخه فرسایش چشم انداز استفاده شود. بالاترین میزان انتگرال هیپسومتری در زیر حوضه‌های سرچوی، چاویز و ملکشاهی و کمترین میزان حوضه شهر ایلام می‌باشد. میزان ناهمواری ارتباط مستقیمی با درجه شیب آبراهه‌ها و سطح زمین دارد. همچنین به طور محسوسی بر فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش حوضه آبخیز اثر می‌گذارد (Aher et al., 2014). در این تحقیق، کمترین ناهمواری در زیر حوضه شهر مهران و بیشترین ناهمواری در زیر حوضه آسان دیده می‌شود. پستی و بلندی نشان دهنده موقعیت اقلیمی است. در حوضه‌های مناطق مرتفع نه تنها بارندگی بیش از حوضه‌های پست است بلکه در ارتفاعات نزولات جوی به صورت برف می‌باشد. بیشترین میزان پستی و بلندی در زیر حوضه آسان و کمترین میزان زیر حوضه شهر مهران می‌باشد. بافت زهکش بستگی دارد به برخی فاکتورهای طبیعی نظیر اقلیم، بارش، پوشش، نوع سنگ و خاک، ظرفیت نفوذپذیری، مرحله تکامل ناهمواری‌ها و سنگ‌های سست و ضعیفی که توسط پوشش گیاهی محافظت نشده‌اند بافت ریزی ایجاد می‌کنند در حالی که سنگ‌های توده‌ای و مقاوم بافت درشتی ایجاد می‌کنند. پوشش پراکنده گیاهی در اقلیم خشک سبب ایجاد بافت ریزتری نسبت به سنگ مشابه در اقلیم مرطوب می‌گردد. بافت سنگ‌ها به

طور کلی بستگی دارد به نوع پوشش و اقلیم. کمترین بافت زهکشی در زیر حوضه شهر مهران و بیشترین تراکم در زیر حوضه گند مشاهده می شود. نسبت تعداد قطعات یک مرتبه بویژه، به تعداد قطعات مرتبه بالاتر، نسبت انشعاب نامیده می شود این نسبت به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه آبریز دقیقاً از مرتبهای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود. بیشترین میانگین نسبت انشعاب در حوضه گند و کمترین مقدار آن در زیر حوضه شهر مهران مشاهده می شود.

جدول ۵- پارامترهای ژئومورفیک پستی و بلندی زیر حوضه های مورد مطالعه

Table 5- Geomorphic parameters of elevation and elevation of the studied sub-basins

ناهمواری حوضه	انتگرال هیپسومتریک	پستی و بلندی نسبی	شاخص انشعاب	بافت زهکشی	نسبت پستی و بلندی	متوجه پستی و بلندی	زیر حوضه
۲۸۵	۰/۱۶	۸/۳۳	۰/۶۰	۱/۱۲	۱۱/۶۶	۲۵۵	شهر مهران
۳۶۰	۰/۳۴	۲۰/۴۲	۰/۷۴	۲/۱۴	۶۷/۱۵	۶۸۵	تنگ باجک
۵۲۰	۰/۴۲	۲۲/۵۲	۰/۸۵	۳/۲۱	۷۰/۵۸	۱۰۲۰	گند
۶۵۴	۰/۴۸	۲۵/۴۱	۰/۷۳	۲/۷۴	۷۸/۲۱	۱۴۲۵	آسان

برای به دست آوردن روابط بین پارامترهای هیدرولوژیکی(رسوب) و خصوصیات حوضه ها از روش رگرسیون گام به گام استفاده شده است. برای انجام رگرسیون گام به گام از سه روش پیشرو، پسرو و ترکیب دو روش در دو حالت با داده های معمولی و لگاریتمی و برای آزمون مدل ها از روش تجزیه واریانس استفاده شده است. در این تحقیق وزن رسوب حوضه به عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترها به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. با توجه به ماتریس همبستگی متغیرها جدول (۶) مشاهده می شود که متغیرهای شیب، ضریب گردی، بارندگی، بافت زهکشی، مساحت، محیط، شکل حوضه، و ناهمواری حوضه نسبت به سایر متغیرها همبستگی بالاتری با میزان تولید رسوب حوضه دارند.

جدول ۶- همبستگی بین عوامل و متغیرهای ژئومورفیک موثر بر رسوب در زیر حوضه های مورد مطالعه

Table 6- Correlation between factors and geomorphic variables affecting sedimentation in the studied sub-basins

سطح معنی داری	همبستگی پیرسون	متغیرهای مستقل	
۰/۰۰۱	۰/۸۷۴	زمین شناسی	X1
۰/۰۰۳	۰/۷۱۲	خاک	X2
۰/۰۰۴	۰/۶۵۴	آب و هوا	X3
۰/۰۰۴	۰/۶۴۳	روان آب	X4
۰/۰۰۱	۰/۸۶۴	توبوگرافی	X5
۰/۰۰۳	۰/۷۱۰	پوشش زمین	X6
۰/۰۰۱	۰/۹۲۲	کاربری اراضی	X7
۰/۰۰۱	۰/۹۱۰	وضعیت فرسایش فعلی	X8
۰/۰۰۱	۰/۸۴۳	فرساش رودخانه ای	X9
۰/۰۰۳	۰/۷۲۳	مساحت	X10
۰/۰۰۳	۰/۷۴۲	محیط	X11

۰/۰۰۱	۰/۸۱۵	شیب	X12
۰/۰۰۱	۰/۷۷۹	بارندگی	X13
۰/۰۰۳	۰/۷۴۰	ارتفاع حداقل	X14
۰/۰۰۴	۰/۶۴۲	ارتفاع متوسط	X15
۰/۰۰۵	۰/۴۹۸	ارتفاع حداکثر	X16
۰/۰۰۳	۰/۷۱۵	طول حوضه	X17
۰/۰۰۴	۰/۶۲۴	ضریب فرم حوضه	X18
۰/۰۰۳	۰/۷۱۴	شاخص شکل حوضه	X19
۰/۰۰۴	۰/۶۵۹	ضریب فشردگی	X20
۰/۰۰۳	۰/۷۱۲	ضریب کشیدگی	X21
۰/۰۰۱	۰/۸۲۰	ضریب گردی	X22
۰/۰۰۵	۰/۵۱۶	نسبت لمنیسکیت	X23
۰/۰۰۵	۰/۶۰۰	متوسط پستی و بلندی	X24
۰/۰۰۵	۰/۳۴۵	نسبت پستی و بلندی	X25
۰/۰۰۱	۰/۷۸۵	بافت زهکشی	X26
۰/۰۰۵	۰/۵۲۲	شاخص انشعاب	X27
۰/۰۰۱	۰/۷۸۹	پستی و بلندی نسبی	X28
۰/۰۰۴	۰/۶۶۴	ناهمواری حوضه	X29

جدول (۷) ضرایب رابطه رگرسیون و آزمون معنی داری را نشان می دهد. برای آزمون معنی دار بودن هر یک از ضرایب رابطه رگرسیون، از آزمون t استفاده شده است. معنی دار بودن ضریب در معادله رگرسیونی، بر این دلالت دارد که متغیر مستقل مربوطه می تواند قسمتی از تغییرات در متغیر وابسته را بیان کند. با توجه به سطح معنی داری آزمون t با اطمینان ۹۵ درصد این ضرایب مخالف صفر و برابر با مقادیر برآورده شده است. مقاییر VIF کمتر از ۱۰ فقدان هم خطی بین متغیرهای ژئومورفیک را نشان می دهد. از این رو، متغیرها برای تعیین ضریب رگرسیونی مناسب هستند. براساس مدل های حاصل از تحلیل همبستگی رسوب، مقدار رسوب تولیدی با شیب حوضه، متوسط بارندگی، ضریب گردی، بافت زهکش و پستی و بلندی نسبی همبستگی داشته و در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است (جدول ۷). به منظور ارزیابی مدل های رگرسیون، معنی داری آماری آنها بررسی شد. مفهوم معنی دار بودن یک ضریب در معادله رگرسیونی این است که متغیر مستقل مربوطه می تواند به طور معنی داری قسمتی از تغییرات در متغیر وابسته را بیان کند. به منظور اطمینان از کارایی مدل ها، فرضیات آنالیز رگرسیونی شامل خطی بودن، یکنواختی واریانس و مستقل بودن باقی نیز بررسی شد. مدل توسعه یافته در منطقه ۲ مقدار ضریب R^2 بیشتری نسبت به مدل توسعه یافته در منطقه ۱ دارند. با توجه به اینکه در مدل توسعه یافته در منطقه ۲ تعداد پارامترهای بیشتری معنی دار و به مدل وارد شده اند. لذا مقدار ضریب تبیین در مدل ۲ بیشتر می شود زیرا با افزایش تعداد پارامترهای ورودی مدل مقدار ضریب تبیین افزایش می یابد اگرچه ممکن است. مقدار خطای مدل نیز تا حدی افزایش یابد.

چنانچه در جدول (۸) مشخص است مدل توسعه یافته بر اساس عامل دبی سالانه در منطقه ۲ در مقایسه با مدل ۱ با تعداد بیشتر پارامتر ورودی مقدار ضریب تعیین بالاتری ($R^2 = 0.99$) دارد که اهمیت عامل ضریب گردی حوضه در برآورد میزان رسوب معلق را نشان می‌دهد. بهترین مدل رگرسیونی، مدلی است که ضریب تعیین R^2 بیشتر و اشتیاه استاندارد SE کمتر داشته باشد. از این رو مدل دوم، مدل نهایی برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه است.

جدول ۷- آزمون معنی داری ضرایب روابط رگرسیونی

Table 7- Significance test of coefficients of regression relations

متغیر مستقل	T	سطح معنی داری	مقدار ثابت
مقدار ثابت	۱۰/۸۵۴	۰/۰۰۱	۸۷۴۲۵۰/۳۲۱
ضریب زمین شناسی حوضه	۲۱/۳۵۴	۰/۰۰۱	۸۹۶۸۷۵۲/۲۴۰
مقدار ثابت	۹/۹۴۷	۰/۰۰۱	۸۷۷۵۵۴/۳۵۲
ضریب کاربری حوضه	۲۳/۴۵۲	۰/۰۰۱	۸۸۹۳۵۶۷/۳۴۶
مقدار ثابت	۹/۷۱۰	۰/۰۰۱	۸۶۴۲۲۳/۲۰۱
ضریب وضعیت فرشایش حوضه	۲۲/۷۹۰	۰/۰۰۱	۸۷۹۴۳۲۶/۷۵۴
مقدار ثابت	۱۱/۸۲۰	۰/۰۰۱	۸۲۳۲۵۱/۴۴۰
ضریب شبیه حوضه	۱۹/۸۱۲	۰/۰۰۱	۷۷۱۹۹۳۲/۵۴۱
مقدار ثابت	۱۶/۵۱۴	۰/۰۰۱	۷۶۲۵۴/۷۹۰
ضریب گردی حوضه	۱۸/۵۲۱	۰/۰۰۱	۴۵۶۳۲۱/۲۲۱

جدول ۸- ضرایب همبستگی روابط رگرسیونی

Table 8- Correlation coefficients of regression relationships

مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب تعیین شده تعديل شده	ضریب تعیین معیار اشتیاه	سطح معنی داری	سطح معنی داری sig
۱	۰/۸۷۴	۰/۹۹	۰/۷۸۵	۱/۵۶۹۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۲	۰/۹۲۲	۰/۹۹	۰/۸۲۵	۱/۲۳۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۳	۰/۹۱۰	۰/۹۹	۰/۸۱۱	۱/۲۵۴۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۴	۰/۸۱۵	۰/۹۸	۰/۷۶۹	۲/۵۳۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
۵	۰/۸۴۲	۰/۹۸	۰/۷۷۶	۱/۳۴۵۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱

با توجه به جدول (۹) داده‌ها برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی کاملاً مناسب خواهند بود. مقدار $KMO = 0.9$ بوده در نتیجه داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهند بود. آماره کرویت بارتلت نشان می‌دهد که آیا ماتریس همبستگی، یک ماتریس همسان و واحد است؟ همچنین نتایج آزمون کرویت بارتلت نیز معنی دار 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. مقداره آماره KMO برابر با $0/9$ نشان می دهد که داده های استخراج شده برای انجام تحلیل عاملی تجزیه به مولفه های اصلی مناسب اند. همچنین معنی دار بودن آزمون کرویت بارتلت در سطح $0/001$ و کای اسکوار $197/58$ بیانگر تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است.

جدول ۹- آماره KMO و نتایج آزمون کرویت بارتلت

Table 9-KMO statistics and Bartlett's sphericity test results

آزمون کرویت بارتلت و KMO	
Kaiser-Meyer-Olki	۰/۹
سنجد کفایت داده ها با استفاده از	
آزمون کرویت بارتلت	Approx. Chi-Square
آزمون کرویت بارتلت	df
آزمون کرویت بارتلت	Sig

جهت تعیین تعداد عامل ها از مقدار ویژه استفاده می شود. حداقل مقدار ویژه برای انتخاب عامل های نهایی مقدار یک است و عامل هایی که مقدار ویژه بیشتر از یک داشته باشند جزء عامل های نهایی محسوب می شوند. نتایج نشان می دهد که ۵ عامل ضریب زمین شناسی، ضریب کاربری اراضی، ضریب وضعیت فرسایش، ضریب شیب و ضریب گردی، حوضه مقدار ویژه بیشتر از یک دارند. درصد واریانس تبیین شده توسط هر عامل در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰- درصد واریانس تجمعی و مقادیر ویژه عامل های مختلف

Table 10- Cumulative variance percentage and specific values of different factors

مقادیر ویژه اولیه	
درصد واریانس	مولفه ها
۲۱/۵۴	ضریب زمین شناسی حوضه
۲۵/۲۴	ضریب کاربری حوضه
۲۲/۶۱	ضریب وضعیت فرسایش حوضه
۱۱/۴۵	ضریب شیب حوضه
۵/۱۵	ضریب گردی حوضه

نتیجه گیری

در این تحقیق جهت بررسی رابطه رسوب‌زایی سطح حوضه و بار رسوب خروجی از ایستگاه هیدرومتری به دو روش مدل MPSIAC در جهت تاثیر عوامل بر رسوب‌زایی در یک حوضه آبخیز و با استفاده از رابطه تاثیر متغیرهای ژئومورفیکی در بار رسوب حوضه از روش‌های رگرسیون چند متغیره، تجزیه تحلیل خوشه‌ای، تجزیه تحلیل عاملی که از جمله روش‌های رایج در مدل سازی رابطه میزان رسوب و ویژگی‌های حوضه هستند(Honarbakhsh et al., 2019) بصورت تصادفی ساده در حوضه آبخیز شهر مهران انجام شد. اطلاعات کمی از مقدار رسوب بعنوان متغیر وابسته و عوامل و پارامترهای ژئومورفیک بعنوان متغیرهای مستقل زمانی قابل استناد می باشد که در یک مدل آماری نتایج معنی دار، قانونمند و علمی ارائه شود. با توجه به فرایند مدل‌سازی رگرسیونی، حضور یا عدم حضور یک عامل و یا یک متغیر در

مدل می‌بایست از نظر آماری قابل قبول باشد، بنابراین مدل نهایی شده به دلیل مستند و معتبر بودن از نظر آماری و طی نمودن صحیح فرایند مدل‌سازی با توجه به نتایج ارائه شده قابل استناد و پذیرش می‌باشد. عوامل و متغیرهای پیش‌بینی در مدل رگرسیونی به دست آمده مشخص می‌نماید که عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی حضور معنی داری در مدل دارند. همچنین نتایج تحقیق نشان دهنده آن است که عوامل و پارامترهای ژئومورفیکی همبستگی بالایی با میزان رسوب‌زایی و بار رسوب دارند. در مدل MPSIAC نتایج نشان داد که عوامل کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش، زمین‌شناسی، فرسایش رودخانه‌ای و توپوگرافی در سطح ۰/۰۰۱ با رسوب معنی دار است. نتایج این مدل نشان داد که میزان تولیدرسوب به ترتیب در زیر حوضه شهر مهران ۱۹/۴ در زیر حوضه تنگ باجک ۱۶/۸ در زیر حوضه آسان ۱۴/۷ در زیر حوضه گنبد ۱۲/۲ و میانگین در کل حوضه شهرمهران ۱۵/۸ تن در هکتار در سال می‌باشد. از بین پارامترهای ژئومورفیکی ضریب شبب، ضریب گردی، پستی و بلندی، بارندگی، مساحت حوضه و ضریب کشیدگی حوضه مهمندین عوامل در برآورد میزان رسوبات معلق براساس روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بودند و همبستگی بالایی را نشان دادند. مقدار رسوب معلق سالانه از ۱۶/۲ تن در هکتار در سال در زیر حوضه شهر ایلام تا ۱۱/۶ تن در هکتار در سال در زیر حوضه گنبد متغیر است. ارزیابی مقدار آزمون کرویت بارتلت و KMO مقدار ۰/۹ بوده و در نتیجه داده‌ها برای تحلیل خوش ای مناسب خواهد بود. درصد واریانس تبیین شده توسط هر عامل نشان می‌دهد کاربری حوضه با ۲۵/۲۴٪ از واریانس تمامی متغیرهای تحقیق را تبیین نموده و در مجموع سه عامل کاربری حوضه، وضعیت فرسایش فعلی، زمین‌شناسی و دو پارامتر ضریب گردی، ضریب شبب توانسته‌اند ۸۶٪ از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین کنند. بنابراین با پژوهش‌های مشابه (Zhang et al., 2015; Salim et al., 2014; Ares et al., 2016) مطابقت دارد. اختلاف میزان رسوب از نتایج دو روش نشان می‌دهد که در سیستم حوضه آبخیز همه عوامل و متغیرهای تاثیرگذار در رسوب‌زایی و بار رسوب را باید در نظر گرفت تا بترازن آمار دقیق و معنی داری از مقدار رسوب حوضه آبخیز ارائه نمود بنابراین نمی‌توان در سیستم حوضه آبخیز فقط عوامل فرسایش خاک و یا فقط بر اساس متغیرهای ژئومورفیکی میزان رسوب را سنجش نمود. از دیگر نتایج تحقیق اینکه معرفی عوامل اولویت دار تاثیرگذار بر رسوب‌زایی و بار خروجی رسوب در حوضه آبخیز از روش خطی یک متغیره و یا مدل‌های تجزیه نمی‌تواند معنی داری آماری رابطه رسوب و عوامل را نشان دهد اما استفاده توأم از روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تجزیه و تحلیل خوش ای و رگرسیون چند متغیره گام به گام معنی داری آماری عوامل و متغیرها در ارتباط رسوب را با ساختار کمی و آماری مناسبی تبیین می‌نماید. البته با توجه به رژیم‌های متفاوت اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز کشور جهت رسیدن به الگوی کارآمد استفاده از این روش در برآورد رسوب‌زایی و بار رسوبی مناطق گوناگون می‌تواند ثمربخش واقع شود.

References

- Aher, P., Adinarayana, J.,& Gorantiwar, S.D., (2014), "Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach", *Journal of Hydrology*, 511,850-860. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.028>
- Ares, M.G., Varni, M., & Chagas, C. (2016). "Suspended sediment concentration controlling factors: an analysis for the Argentine Pampas region". *Hydrological Science Journal*, 61 (12): 2237-2248. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1099793>.
- Abdideh, M., Qarashi, M., Rangzan, K., Arian, M., (2011), "Relative assessment of active Infrastructure Using Morphometric Analysis, A Case Study of the Dez river Basin, Southwestern Iran", *Quarterly Journal of Earth Sciences*, 20(80):33-46, <https://doi.org/10.22071/gsj.2011.55134>. [In Persian].
- Asghari Saraskanrood, S.,& Qala, E. (2019), "Investigating the relationship between hydro geomorphic properties and sediment production (Case Study: Qarnaqo Basin in East Azerbaijan Province)", *Quantitative Geomorphological Research*, 8(1),164-146.[In Persian].
- Fattahi, M.H., & Talebzadeh, Z., (2017). "Relationship between catchment compression coefficient and its fractal properties". *Iran Water Resources Research*, 13(1),203-191. [In Persian].
- Gholami, L., Sadeghi, H.R., Khaledi Darvishan, A.W., Telluri, A. R., (2008), "Modeling sediment caused by showers using rain and runoff variables", *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, 2: 271-236, [10.22067/JSW.V0I22.1022](https://doi.org/10.22067/JSW.V0I22.1022) [In Persian].
- Heidari Tashe Kaboud, Sh., Rezai, H. (2019). "Estimation of suspended sediment load values of the river using colonial competition algorithm". *Journal of Science and Engineering Elites*, 2, 288-282. [In Persian].
- Honarbakhsh, A., Niazi, A., Soltani Koopai, S.,& Tahmasebi, P., (2019), "Modeling the relationship between sediment rate and hydrological and environmental characteristics of the basin (Case study: Dez Dam basin) ", *Quantitative Geomorphological Research*, 8(1),105-117. [In Persian].
- Karami, F., Bayati Khatibi, M., (2019), "Modeling soil erosion and prioritizing sediment production in Sattarkhan Ahar dam basin using MUSLE and SWAT models", *Hydrogeomorphology*, 5(18):137-115. [In Persian].
- Lamb, E.,& Toniolo, H. (2016). "Initial quantification of suspended sediment loads for three Alaska North slope rivers", *Water* 419 (8): 2-11.
- Motamedi, R.,& Azari, M., (2017), "The relationship between geomorphic features and watershed sediment (Case study: selected sub-basins of Khorasan Razavi)", *Environmental Erosion Research, Fourth Year*, 28: 82-101, [10.29252/geores.36.1.23](https://doi.org/10.29252/geores.36.1.23). [In Persian].
- Naseri, F., Azari, M., & Dastarani, M., (2019), "Optimization of sediment level Equation coefficients using genetic algorithm (Case study: Ghazaghli and Bagh Abbasi stations)", *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(3): 97-82, [10.22125/IWE.2019.88672](https://doi.org/10.22125/IWE.2019.88672). [In Persian].
- Pal, B., Samanta, S., Pal, D.K. (2011), "Morphometric and hydrological analysis and mapping for Watut watershed using remote sensing and GIS techniques", *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2(1): 357-369.
- Patrick Laceby, J., McMahon, J., Evrard, O., & Olley, J., (2022), "A comparison of geological and statistical approaches to element selection for sediment fingerprinting", *Journal of Soils Sediments*, 22: 1315-1328. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03157-4> .
- Pohlert, T., (2015), "Projected climate change impact on soil erosion and sediment yield in the River Elbe catchment", *Springer International Publishing Switzerland*, 97-108, [10.3390/atmos13111752](https://doi.org/10.3390/atmos13111752) .

- Salim, A. H. A., (2014), "Geomorphological analysis of the morphometric characteristics that determine the volume of sediment yield of Wadi Al-Arja", *South Jordan*, 24(3): 457-474, <https://doi.org/10.1007/s11442-014-1100-8>.
- Schumm, S. A., (1956). "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey", *Geological society of America bulletin*, 67(5): 597-646. GSA Bulletin (1956) 67 (5), 597–646.[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67;5-597-EVODS).
- Shayan, S., Zare, G., Yamani, M., Sharifi KIA, M., (2013), "Analysis of the trend of statistical changes in discharge and sediment of the catchment area and its application in environmental planning", *Iranian Journal of Applied Geomorphology*, 1(2):37-50. <http://journals.hsu.ac.ir/agi/article-۴۸-۱-fa.html>,[In Persian].
- Sharma, S.K., Tiwari, K.N., (2009), "Bootstrap based artificial neural network (BANN) analysis for hierarchical prediction of monthly runoff in Upper Damodar Valley Catchment", *Journal of hydrology*, 374(3): 209-222, [10.1016/j.jhydrol.2009.06.003](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.003).
- Strahler, A.N., (1958),"Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms", *Geological Society of America Bulletin*, 69(3): 279-300, [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1958\)](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1958)69;3-279-DAAAP).
- Strahler, A.N.,(1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology Eos", *Transactions American Geophysical Union*, 38(6): 913-920, <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>.
- Tamene, L., Park, S.J., Dikau, R., Vlek, P.L.G., (2006), "Analysis of factors determining sediment yield variability in the highlands of northern Ethiopia", *Geomorphology*, 76: 76–91, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.10.007>.
- Zare chahuki, M.A., (2010), "**Data analysis in natural resources research using SPSS software, first edition**", *Jahad University press*: 309.
- Zhang, H.Y., Shi, Z.H., Fang, N.F., & Guo, M.H., (2015), "Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China", *Geomorphology*, 234, 19-27, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.014>.
- 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, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.010>.

Investigation of the Relationship Between Sediment Production factors and Geomorphic Parameters in Sediment load of Mehran City Basin

Shamsollah Asgari

Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Considering the risk of sedimentation in the watershed of Mehran city, factors and parameters influencing sedimentation and the amount of sediment load in this area were statistically analyzed. The purpose of this research is to model the relationship between the amount of sediment production using MPSIAC experimental model factors and suspended sediment load using geomorphic parameters and their relationship with sedimentation in the watershed. By a simple random method, the basin of Mehran city with four specific sub-basins and equipped with a hydrometric station was selected from the southern basins of Ilam province. In order to analyze the relationship between MPSIAC model factors and geomorphic variables with the sediment of each sub-basin, statistical multiple regression method was used. According to the results of the experimental model, the amount of annual sediment in the sub-basins of Mehran city, Tang Bajak, Asan and Gonbad was estimated as 19.4, 16.8, 2.7, 12.14 and in the whole basin as 15.8 tons per hectare per year. The results of investigating the relationship between factors in sediment production and geomorphic variables in the sediment load of sub-basins showed that the amount of sediment production had a positive correlation with geological factors, land use, current erosion status, river erosion and basin topography and was significant at the 0.001 level. Is. The amount of suspended sediment load has a positive correlation with the slope index, roundness coefficient, rainfall, roughness and basin area and it is significant at the level of 0.001, and the amount of annual suspended sediment load in the sub-basins of Mehran city, Teng Bajak, Asan and Gonbad respectively is 2 It was estimated 16.5, 14.5, 11.6 and 12.4 tons per hectare per year. Principal component analysis and cluster analysis were used to influence the factors and variables on the sedimentation rate of sub-basins. The results showed that the percentage of variance explained by basin use explained 25% of the variance of all research variables and in total three factors of basin use, current erosion status, geology and two parameters of roundness coefficient and slope coefficient were able to account for 86% of the total variance. Explain the research variables. Finally, although the combined model of this research considers many factors and variables related to the amount of sediment production and sediment load, it has more significant and accurate statistical results in the watershed system.

Keywords: Sediment, multivariate regression, Mehran city basin, MPSIAC.

Introduction

Sediment generation and sediment load is the result of a process that is formed by the input and output factors and variables governing the watershed system, so the dependent variable of sediment is subject to many variables and by implementing an experimental or hydrological model that is summarized in several factors It is not possible to provide accurate statistics of this dependent variable within an acceptable statistical error range. On the other hand, the relationship between factors and sediment in

traditional researches has been extracted separately with linear results from the watershed system, while the use of statistical models in multivariate regressions can identify the most important factors or variables among hundreds of factors and variables affecting sediment. to extract statistics with significance and this method can better introduce the rule governing the complex system of the aquifer basin. In this research, by implementing one of the most famous experimental models in the estimation of soil erosion and sediment called the MPSIAC model, which considers the most influencing factors on sediment, in comparison with the sediment load statistics of hydrometric stations and taking into account almost all geomorphic variables of influence. Reducing sediment production requires the implementation of appropriate methods of sediment control and soil protection in critical areas of the source of sediment production in the watershed (Patrick, et al, 2016).

Study area

The catchment area of Mehran city river is one of the rivers of Mehran catchment area in the southwest of Ilam province with a geographical location of $46^{\circ}24'$ to $46^{\circ}36'$ east longitude and $33^{\circ}12'$ to $33^{\circ}28'$ north latitude.

Materials and Methods

In this research, to estimate the amount of sediment production from the MPSIAC model, considering 9 factors (surface geology, soil, climate, runoff, elevation and elevation, land cover, land use, current state of erosion and river erosion) By entering information layers into the GIS environment and digitizing and classifying each of these layers, each of these layers has been investigated and the effective factors in basin sedimentation and the effect of each factor have been determined based on the scores obtained from the MPSIAC model formulas. The discharge and sediment statistics of 4 hydrometric stations and 12 meteorological stations have been prepared from the Regional Water Company and Meteorological Research Department of Ilam Province. In order to check the correlation between independent and dependent variables, data normality was tested with Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests in SPSS21 software. Digital height model was used to extract the geomorphic features of the sub-basins. Using cluster analysis, watersheds were divided into homogeneous areas. Finally, based on the studies conducted (Ziglear, et al, 2014), sediment modeling was done using multivariate regression in homogeneous areas.

Discussion of Results

In this research, in order to investigate the relationship between basin level sedimentation and the output sediment load from the hydrometric station using two methods of the MPSIAC model in the direction of the influence of factors on sedimentation in a watershed and by using the relationship between the influence of geomorphic variables on the sediment load of the basin from multivariate regression methods, analysis Cluster analysis, factor analysis, which are among the common methods in modeling the relationship between the amount of sediment and basin characteristics (Honarbakhsh, et al, 2019), was conducted in a simple random manner in the watershed of Mehran city. Quantitative information on the amount of sediment as a dependent variable and geomorphic factors and parameters as independent variables can be cited when meaningful, lawful and scientific results are presented in a statistical model. According to the process of regression modeling, the presence or absence of a factor or a variable in the model should be statistically acceptable, therefore the final model presented is due to being documented and valid from a statistical point of view and following the correct modeling process according to The presented results can be cited and accepted. The prediction factors and variables in the obtained regression model indicate that climatic and hydrological factors have a significant presence in the model. Also, the results of the research show that geomorphic factors and parameters have a high correlation with the rate of sedimentation and sediment load. In the MPSIAC model, the results showed that land use factors, the current state of

erosion, geology, river erosion and topography are significant at the level of 0.001 with sediment. The results of this model showed that the amount of sediment production in Shahr Mehran sub-basin is 19.4, in Teng Bajak sub-basin 16.8, in Asan sub-basin 14.7, in Gonbad sub-basin 12.2 and the average in the whole Shahr Mehran basin is 15.8 tons per hectare per year. Among the geomorphic parameters, slope coefficient, roundness coefficient, elevation and elevation coefficient, rainfall, basin area and basin elongation coefficient were the most important factors in estimating the amount of suspended sediments based on the method of decomposition into principal components and showed a high correlation. The annual amount of suspended sediment varies from 16.2 tons per hectare per year in Ilam city sub-basin to 11.6 tons per hectare per year in Gonbad sub-basin. The value of Bartlett's sphericity test and KMO is 0.9, and as a result, the data will be suitable for cluster analysis. The percentage of variance explained by each factor shows that watershed use explains 24.25% of the variance of all research variables, and in total, three factors of watershed use, current erosion status, geology and two parameters of roundness coefficient, slope coefficient were able to and explain 86% of the variance of all research variables. Therefore, it is consistent with similar researches (Zhang, et al, 2015), (Salim, et al, 2014) and Ares, et al, 2016).

Conclusions

The difference in the amount of sediment from the results of the two methods shows that in the watershed system, all factors and variables affecting sedimentation and sediment load must be considered in order to provide accurate and meaningful statistics on the amount of sediment in the watershed, so it cannot be used in the watershed system. The watershed measured only soil erosion factors or only based on geomorphic variables. Another result of the research is that the introduction of the priority factors affecting sedimentation and the output load of sediment in the watershed using the one-variable linear method or experimental models cannot show the statistical significance of the relationship between sediment and factors, but the combined use of component analysis methods Mainly, cluster analysis and multivariate regression step by step explain the statistical significance of factors and variables related to sedimentation with a suitable quantitative and statistical structure. Of course, considering the different climatic and hydrological regimes of the country's watersheds, in order to achieve an efficient model, using this method in estimating sedimentation and sediment load in different regions can be fruitful.