

ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک با رسوب آبخیز (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های منتخب خراسان رضوی)

راضیه معتمدی: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

محمود آذری*: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۴)

چکیده

فرسایش خاک یک فرایند ژئومورفیک غالب است که امنیت غذایی را در بخش‌های وسیعی از کره‌ی زمین تهدید می‌کند. ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه در هیدرولوژی، فرسایش خاک و تولید رسوب نقش مهمی دارد و می‌تواند شاخصی از وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه باشد. این تحقیق با هدف استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی برای استخراج خصوصیات ژئومورفیک حوضه و بررسی ارتباط آن با رسوب حوضه در ۲۲ زیرحوضه در استان خراسان رضوی اجرا شد. بدین منظور بار رسوب سالانه با استفاده از منحنی سنج رسوب محاسبه شد. به منظور استخراج خصوصیات فیزیوگرافی و ژئومورفیک زیرحوضه‌ها، از مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۳۰ متر استفاده و ۳۰ ویژگی ژئومورفیک برای هر زیرحوضه محاسبه شد. به منظور تعیین ارتباط بین خصوصیات ژئومورفیک با رسوب هر زیرحوضه، از تحلیل رگرسیون چند متغیره گام به گام استفاده شد. نتیجه‌ی بررسی ارتباط بین خصوصیات ژئومورفیک با رسوب زیرحوضه‌ها نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با ضریب فرم حوضه و متوسط بارندگی سالانه، همبستگی مثبت داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده‌است. همچنین پارامترهای مربوط به شکل حوضه شامل ضریب فرم حوضه، کشیدگی و شاخص شکل به ترتیب با ضریب همبستگی ۷۶/۸، ۷۶/۵ و ۷۲ درصد در کنار بارندگی سالانه با ضریب ۷۳/۹ درصد، بیشترین همبستگی را با مقدار رسوب حوضه‌ها داشته‌اند. در مجموع، با توسعه‌ی قابلیت‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در استخراج پارامترهای مختلف فیزیوگرافی و ژئومورفیک حوضه، امکان ارائه‌ی روابط منطقه‌ای برای پیش‌بینی رسوب وجود دارد که می‌تواند در برنامه‌های کنترل رسوب و آبخیزداری استفاده شود. واژگان کلیدی: بار رسوب، خراسان رضوی، رگرسیون چندمتغیره، ژئومورفولوژی کمی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱- مقدمه

فرسایش خاک یک فرایند ژئومورفیک غالب است که در سطح وسیعی از کره‌ی زمین رخ می‌دهد (Zhang et al, 2015). آگاهی از فرآیند فرسایش خاک و انتقال رسوب به عنوان عامل تأثیرگذار در کاهش حاصل‌خیزی و هدر رفت خاک، پر شدن مخازن سدها، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آب از دیرباز قابل توجه کارشناسان علوم زمین بوده‌است. شناخت عوامل مؤثر در تولید رسوب، نقش مهمی را در تعیین مقدار

رسوب یک حوضه و درک پدیده‌ی فرسایش و عواقب آن به همراه دارد و می‌تواند در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک آبخیز استفاده شود (Shayan et al, 2013). رسوب حوضه^۱ مقدار رسوباتی است که از سطح حوضه به خارج از آن منتقل می‌شود (Zhang et al, 2015). عوامل مختلفی در جابجایی و انتقال مواد رسوبی رودخانه‌ها تأثیرگذار است که شناخت نقش هر یک در کمیت و نحوه‌ی انتقال رسوب، از گام‌های اساسی در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها محسوب می‌شود. 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 ارتباط بین منبع رسوب با خروجی حوضه مؤثر باشد (Fryirs, 2013). نتیجه‌ی تعامل عوامل محیطی یک حوضه، به صورت ویژگی‌های ژئومورفیک قابل مشاهده و اندازه‌گیری است و شاخصی از فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه محسوب می‌شود که پایه و اساس بررسی‌های منابع طبیعی حوضه‌های آبخیز به شمار می‌رود (Ranjbar and Iranmanesh, 2007). ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه‌های آبخیز، به مجموعه عوامل فیزیکی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوضه به نسبت ثابت است و وضع ظاهری حوضه‌ی آبخیز را نشان می‌دهد (Abdideh et al, 2011).

هدف اصلی بکارگیری شاخص‌های ژئومورفیک و اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتریک، مطالعه‌ی اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین به صورت کمی و عددی است. ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه‌های آبخیز در سه گروه خطی^۲، پستی و بلندی^۳ و سطحی^۴ طبقه‌بندی می‌شود (Moges et al, 2015). علاوه بر این، ویژگی‌های ژئومورفیک به ویژگی‌های توپوگرافی اولیه، ثانویه و ترکیبی نیز تفکیک می‌شود. ویژگی‌های توپوگرافی اولیه شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب حوضه و ویژگی‌های توپوگرافی ثانویه که از ویژگی‌های اولیه مشتق شده‌اند، شامل پروفیل انحناء^۵ و پلان انحناء^۶ است (Moore et al, 1991). ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز بخش مهمی از مطالعات ژئومورفیک، فرسایش و رسوب است و اثر تعیین‌کننده‌ای بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی دارد. در دهه‌های اخیر با سهولت دسترسی به مدل‌های رقمی ارتفاع^۷ و تصاویر سنجش از دور^۸، محاسبه‌ی ویژگی‌های حوضه‌ی آبخیز تسهیل شده‌است (Soni, 2017). سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی^۹ فرصت‌های تازه‌ای در زمینه‌ی مدل‌سازی هیدرولوژیک حوضه‌ها و استخراج پارامترهای حوضه‌های آبخیز فراهم آورده‌است که می‌تواند در درک روابط عوامل ژئومورفیک و هیدرولوژی حوضه استفاده شود (Zargar et al, 2012).

تاکنون مطالعات متعددی در خصوص نقش عوامل ژئومورفیک و فیزیوگرافی بر رفتار هیدرولوژیک حوضه و به‌ویژه میزان رسوب‌دهی انجام شده‌است. در پژوهشی، Shabani و همکاران (2007) عوامل مؤثر بر رسوب حوضه‌ی آبخیز طالقان را با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و روش تجزیه تحلیل عاملی تعیین کردند و به این نتیجه رسیدند که مساحت اراضی کشاورزی، مساحت زیرحوضه‌ها، مجموع مساحت سازنده‌های حساس و نیمه‌حساس و پستی و بلندی حوضه، ۸۸ درصد تغییرات رسوب‌دهی را کنترل می‌کند. در پژوهشی دیگر، Ghaderi Fijani و همکاران (2015) به بررسی پارامترهای فیزیوگرافی و تأثیر آنها در رسوب‌زایی حوضه‌ی آبخیز الیاتو واقع در جنوب‌غرب فریمان پرداختند و به این نتیجه رسید که مقدار رسوب‌زایی با ارتفاع

¹ Sediment yield

² Linear

³ Relief

⁴ Areal

⁵ Profile curvature

⁶ Profile curvature

⁷ Digital Elevation Model (DEM)

⁸ Remote Sensing (RS)

⁹ Geographic Information System (GIS)

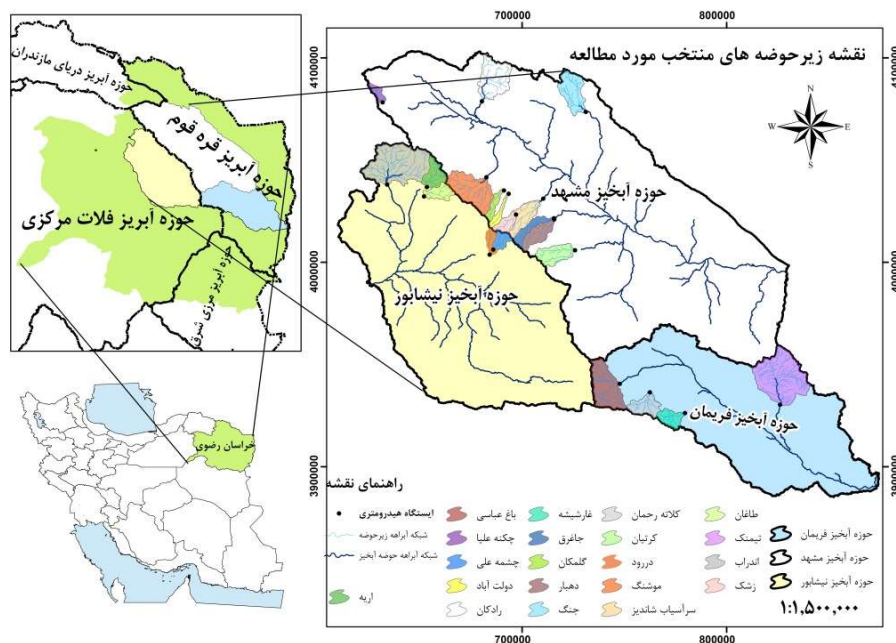
حوضه و شیب حوضه رابطه‌ی مستقیم دارد. Saghafian و همکاران (2009) نیز عوامل مؤثر بر رسوب حوزه‌های آبخیز جنوب غرب ایران را با روش تجزیه و تحلیل عاملی تعیین کردند و به این نتیجه رسیدند که عوامل مساحت حوضه، درصد تحدب و درصد اراضی با جهت شمال‌غربی به ترتیب مؤثرترین عوامل بر رسوب حوضه هستند. Farahi و همکاران (2011)، رسوب حوزه‌های آبخیز شمال استان خراسان را با استفاده از مدل رگرسیون فازی برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که پارامترهای نسبت اختلاف ارتفاع، حداکثر دبی روزانه با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، ارتفاع متوسط، شیب متوسط و درصد اراضی زراعی مؤثرترین متغیرها هستند. در خارج از کشور نیز Zhang و همکاران (2015)، به بررسی ارتباط میان ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه با میزان رسوب در فلات لسی چین پرداختند. در این پژوهش، از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای بررسی ارتباط بین ۲۹ ویژگی ژئومورفیک حوضه با میزان رسوب استفاده شد. نتایج نشان داد که پارامترهای شکل حوضه، ضریب پیچانرودی رودخانه، طول آبراهه‌ی اصلی حوضه، مشخصات ارتفاعی، وضعیت بارندگی و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را بر رسوب حوضه دارند. Shi و همکاران (2014)، اثرات کاربری اراضی و پارامترهای فیزیوگرافی مؤثر بر رسوب را در چین مطالعه کردند؛ بدین منظور با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات جزئی، ارتباط بین رسوب ویژه و متریک‌های سرزمین و ۱۹ ویژگی ژئومورفیک حوضه تعیین شد. نتایج تحقیق نشان داد که درصد مساحت اراضی کشاورزی بیشترین تأثیر را در تولید رسوب داشته‌است. Salim (2014) ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مؤثر در رسوب را برای حوضه‌ای در جنوب اردن استخراج کرد. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون گام به گام نشان داد که اهمیت ۴۳٪ از کل متغیرهای مورد مطالعه در میزان رسوب، کمتر از ۵ درصد است. در این تحقیق دبی حوضه، درصد پوشش گیاهی و شیب حوضه به ترتیب مهمترین متغیرها در میزان رسوب هستند. Babel و Wuttichaikitcharoen (2014)، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه برای ارزیابی رسوبات معلق در حوزه‌های آبخیز شمال تایلند استفاده کردند. در این پژوهش، عوامل مؤثر بر رسوب معلق با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی تعیین شد و روابط رگرسیونی برای تخمین عملکرد رسوب معلق، براساس عوامل کلیدی انتخاب شده با PCA توسعه یافت. نتایج نشان داد که وسعت حوزه‌ی آبخیز، ویژگی‌های شبکه‌ی آبراهه، کاربری اراضی و میزان بارندگی از عوامل کلیدی مؤثر بر رسوب است و شش مؤلفه با واریانس کل ۸۶٪ می‌تواند در تخمین رسوب معلق مورد استفاده قرار گیرد. Paulinus و همکاران (2016)، مورفومتری حوزه‌ی آبخیز Oguta در نیجریه را با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS تجزیه و تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که طول حوضه، مساحت حوضه، طول آبراهه، نسبت انشعاب و فاکتور فرم حوضه از شاخص‌های کلیدی در هیدرولوژی و فرسایش و رسوب حوزه‌های مورد مطالعه است. Cheng و همکاران (2017)، ارتباط بین توپوگرافی و فرسایش خاک را در فلات لسی چین با ترکیب PCA و رگرسیون خطی بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که خصوصیات توپوگرافی حوضه و شاخص توپوگرافی فرسایش از الگوی مشابه برخوردارند و بین شاخص توپوگرافی فرسایش و متغیرهای دبی رسوب حوضه همبستگی مثبت وجود دارد.

در مجموع، مطالعات مختلف نشان می‌دهد که عوامل مؤثر در رسوب حوضه در شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی حوضه متفاوت است. با توجه به اهمیت رسوب حوضه‌ها در مناطق خشک، بررسی روابط بین خصوصیات حوضه با رسوب سالانه نقش مهمی در کنترل رسوب دارد که این امر نیازمند تحقیقات منطقه‌ای است. در نتیجه، هدف این پژوهش استفاده از قابلیت‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در استخراج خصوصیات ژئومورفیک حوزه‌ی آبخیز و تعیین ارتباط آنها با رسوب حوضه در ۲۲ زیر حوضه

منتخب در استان خراسان رضوی است. بدین منظور، از رگرسیون گام به گام برای تعیین مؤثرترین پارامترها و تعیین مناسب-ترین رابطه‌ی آماری استفاده می‌شود.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

این پژوهش در ۲۲ زیرحوضه در استان خراسان رضوی در محدوده‌ی حوزه‌های آبریز قره‌قوم و فلات مرکزی اجرا شده‌است (شکل ۱). حوزه‌ی آبخیز نیشابور با وسعت ۹۳۳۹ کیلومتر مربع، جزئی از حوزه‌ی آبریز درجه دو کویر مرکزی در محدوده‌ی مطالعاتی نیشابور (کد ۴۷۳۸) واقع شده‌است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب به میزان ۳۳۱۶ متر در قله‌ی بینالود و ۱۰۵۴ متر در خروجی رودخانه‌ی کال‌شور گزارش شده‌است. آب و هوای منطقه با طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه‌خشک و خشک و متوسط بارندگی آن ۲۶۱ میلی‌متر است. حوزه‌ی آبخیز مشهد نیز با متوسط بارندگی سالانه ۲۵۵ میلی‌متر، در حوزه‌ی آبریز درجه دو قره‌قوم و محدوده‌ی مطالعاتی مشهد (کد ۶۰۰۷) در شمال شرقی ایران بین رشته کوه‌های بینالود و هزارمسجد قرار دارد (Davoudi et al, 2010). بلندترین نقطه‌ی ارتفاعی حوضه، ۳۲۴۹ متر از سطح دریا در قله‌ی بینالود و کمترین آن با ارتفاع ۹۰۰ متر از سطح دریا در محل خروجی دشت است (Akbari et al, 2009). حوزه‌ی فریمان با وسعت ۶۱۰۳ کیلومتر مربع، بخشی از حوزه‌ی آبریز درجه دو قره‌قوم و محدوده‌ی مطالعاتی فریمان - تربت‌جام (کد ۶۰۱۰) است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب ۲۹۰۸ و ۶۴۸ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی آن ۱۶۰ میلی‌متر در سال است. بارش رگباری با شدت زیاد و مدت کم، از ویژگی‌های رژیم بارش در زیرحوضه‌های مورد مطالعه است که با شرایط نامناسب پوشش گیاهی و خاک فرسایش‌پذیر، به بروز سیلاب‌های شدید و تولید رسوب زیاد منجر می‌شود (Bazrafshan et al, 2016).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

۳- مواد و روش

۳-۱- تهیه داده‌های هواشناسی و هیدرومتری

برای انتخاب زیرحوضه‌های مناسب، آمار دبی و رسوب معلق ایستگاه‌های هیدرومتری و بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران-سنجی و تبخیرسنجی از شرکت تحقیقات منابع آب ایران و شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، برای حوضه‌های مورد مطالعه گرفته شد. سپس ایستگاه‌هایی با آمار دبی و رسوب مناسب از نظر طول دوره آماری (بیش از ۳۰ سال) و فقدان بند انحرافی و سد در بالادست ایستگاه، برای اجرای این پژوهش انتخاب شد (Vafakhah and Kheirfam, 2015). در انتخاب پایه‌ی زمانی مشترک نیز وجود کمترین نقص آماری، طول دوره‌ی کافی و استفاده از آخرین داده‌های در دسترس نیز مدنظر قرار گرفت (Saghafian, 2009). پس از انتخاب پایه‌ی زمانی مشترک، داده‌های ناقص رسوب با روش همبستگی بین ایستگاه‌ها بازسازی شد (Mahdavi, 2011). به منظور بررسی همبستگی بین رسوب سالانه‌ی ایستگاه‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها با آزمون‌های شاپیرو-ویلک^۱ و کولموگروف-اسمیرنوف^۲ و همگنی واریانس با آزمون لون در نرم‌افزار SPSS 22 اجرا شد (Khodashenas et al, 2007). برای محاسبه‌ی مقدار رسوب متوسط سالانه، از رابطه‌ی منحنی سنج رسوب استفاده شد (Asselman, 2000). بدین منظور با برازش داده‌های دبی و رسوب متناظر، رابطه‌ی رگرسیونی بر مبنای رابطه‌ی (۱) محاسبه و با استفاده از آن، رسوب معلق روزانه و سالانه محاسبه شد (Vanmaercke et al, 2011).

$$Q_s = aQ_w^b \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

در رابطه‌ی ۱، Q_s رسوب معلق بر حسب تندر سال، Q_w دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه و a و b ضرایب منطقه‌ای هستند (Walling and Webb, 1981).

۳-۲- ویژگی‌های ژئومورفیک

در این پژوهش به منظور استخراج ویژگی‌های ژئومورفیک زیرحوضه‌های مورد مطالعه، از مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده شد. بدین منظور، مدل رقومی ارتفاع از سایت سازمان زمین‌شناسی امریکا^۳، مربوط به سنجنده‌ی Aster با دقت ۳۰ متر اخذ شد و به افزونه‌ی Arc Hydro در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 وارد شد. سپس تصحیحات و پیش‌پردازش‌های سطح زمین از قبیل حذف چاله‌های هیدرولوژیکی اجرا و الگوی زهکشی زمین تعیین شد. تشریح بخشی از پارامترهای ژئومورفیک ثانویه مورد استفاده در تحقیق، در جدول ۱ ارائه شده‌است.

¹ Shapiro-Wilk

² Kolmogorov -Smirnov

³ United States Geological Survey (USGS)

جدول ۱: تشریح برخی از پارامترهای ژئومورفیک ثانویه مورد استفاده در تحقیق

منابع	رابطه	علامت اختصار	ویژگی ژئومورفیک	گروه	
Strahler (1957)	---	μ	رتبه آبراهه‌های حوضه	خطی	
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)	X: طول آبراهه	$\sum X$	مجموع طول آبراهه	سطحی	
Horton (1945)	$D_d = \frac{\sum X}{A}$	Dd	تراکم زهکشی		
Horton (1945)	$F_s = \frac{N_\mu}{A}$	Fs	فراوانی آبراهه		
Smith (1950)	$R_t = D_d \cdot F_s$	Dt	بافت زهکشی		
Sharma and Tiwari (2009)	$F_f = \frac{Area}{L^2}$	Ff	ضریب فرم حوضه		
Miller (1953)	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	Rc	ضریب گردی		
Schumm (1956)	$E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L}$	Er	ضریب کشیدگی		
Horton (1932)	$S_w = \frac{1}{Ff}$	SW	شاخص شکل حوضه		
Chorely et al (1957)	$L_r = \frac{L^2}{4Area}$	Lr	نسبت لمنیسکیت		
Schumm (1956)	$B_f = E_{max} - E_{min}$	Bf	پستی و بلندی حوضه		
Schumm (1956)	$R_r = \frac{BF}{L_{SMAX}}$	Rr	نسبت پستی و بلندی		پستی و بلندی
Strahler (1958)	$R_n = B_f \cdot D_d$	Rn	عدد ناهمواری		
Singh and Dubey (1994)	$DI = \frac{BF}{E_{max}}$	DI	شاخص انشعاب		

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

۳-۳- رگرسیون چندمتغیره‌ی گام به گام

در این پژوهش به منظور کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعیین عوامل مؤثر در رسوب حوضه، از رگرسیون چندمتغیره‌ی گام به گام استفاده شد. این روش، اثر چندین متغیر مستقل را بر یک متغیر وابسته بررسی می‌کند (Zare Chahuki, 2010). در رگرسیون چندمتغیره‌ی گام به گام، متغیر مستقلی که تأثیر محسوس‌تری در زمینه‌ی متغیر وابسته ندارد، از تحلیل حذف و از معادله خارج می‌شود. شکل کلی رابطه‌ی رگرسیون گام به گام، به صورت رابطه‌ی ۲ است:

$$Y = a + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n + e \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

در رابطه‌ی ۲، Y متغیر وابسته (رسوب معلق سالانه)، a: ثابت مدل و X_1, X_2, \dots, X_n متغیرهای مستقل هستند که خصوصیات و پارامترهای ژئومورفیک حوضه به شمار می‌روند. همچنین B_1, B_2, \dots, B_n ضریب مربوط به هر یک از

متغیرهای مستقل و ϵ : نشان‌دهنده‌ی خطای مدل رگرسیون است (Zare Chahuki, 2010). یکی از شرایط استفاده از رگرسیون چندمتغیره‌ی گام به گام در تجزیه و تحلیل داده‌ها، فقدان هم‌خطی چندگانه^۱ بین متغیرهای مستقل است که در این پژوهش با استفاده از عامل تورم واریانس^۲ بررسی شد (Arman et al, 2017). در رگرسیون چندمتغیره برای آزمون معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب معادله‌ی 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. R^2 یا ضریب تعیین چندگانه، نسبتی از تغییرات کل در متغیر وابسته است که توسط معادله‌ی رگرسیونی بیان می‌شود. اشتباه استاندارد، معیار دیگری برای انتخاب مدل نهایی است. مدلی که کمترین اشتباه استاندارد را داشته باشد، باریک‌ترین فاصله‌ی اطمینان را خواهد داشت و مناسب‌تر است (Hair et al, 1998). در این پژوهش، ۳۰ ویژگی ژئومورفیک برای تعداد ۲۲ زیرحوضه‌ی مورد مطالعه به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و ضمن شناسایی مهمترین ویژگی‌های ژئومورفیک مؤثر در میزان رسوب زیرحوضه‌ها، رابطه‌ی پیش‌بینی مقدار رسوب سالانه توسط مؤثرترین پارامترها تعیین شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

رسوب زیرحوضه‌ها

دوره‌ی آماری ۳۰ ساله، از سال آبی ۱۳۶۱-۶۲ تا ۱۳۹۰-۹۱ به عنوان دوره‌ی مشترک این پژوهش در نظر گرفته شد. میانگین رسوب سالانه‌ی زیرحوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول ۲، مقدار رسوب سالانه از ۱۰۲۶ تن در سال در زیرحوضه جنگ تا ۲۷۴۵۷۲ تن در سال در زیرحوضه‌ی حسین‌آباد متغیر است. در شکل ۲ نیز مقدار رسوب ویژه برای زیرحوضه‌ها ارائه شده است. زیرحوضه‌های کلاته رحمان و جنگ به ترتیب با ۳۱۷ و ۵ تن در کیلومتر مربع در سال، بیشترین و کمترین رسوب ویژه را داشته‌اند.

¹ Multicollinearity

² Variance in flation (VIF)

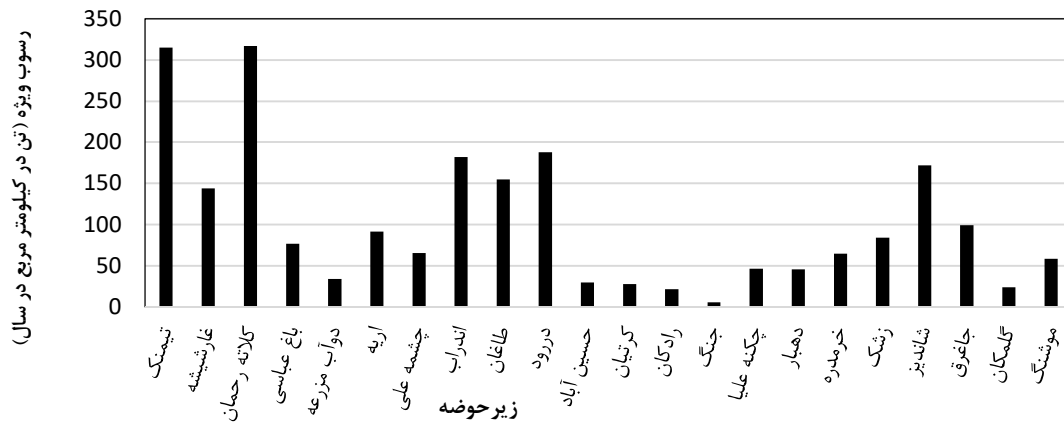
جدول ۲: مقدار رسوب و برخی از مشخصات زیرحوضه‌های منتخب

نام زیرحوضه	مساحت (km ²)	محیط (km)	شیب متوسط (%)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	میانگین رسوب سالانه (ton/year)	رسوب ویژه (ton/km ² /year)
تیمنگ	۴۹۵	۱۵۵	۱۶	۱۶۴	۱۵۵۷۱۰	۳۱۵
غارشیشه	۸۶	۶۱	۴۲	۲۴۱	۱۲۳۵۲	۱۴۴
کلاته رحمان	۱۱۹	۷۵	۳۱	۲۲۹	۳۷۷۶۷	۳۱۷
باغ عباسی	۲۷۸	۱۱۵	۲۰	۲۶۳	۲۱۲۹۷	۷۷
دو آب مزرعه	۶۱۰۴	۶۸۸	۱۴	۱۶۰	۲۰۷۶۲۷	۳۴
ارپه	۱۱۱	۷۴	۳۳	۳۰۵	۱۰۱۵۹	۹۲
چشمه علی	۶۰	۴۷	۵۱	۲۹۲	۳۸۹۸	۶۵
اندراب	۴۹۰	۱۶۳	۲۱	۲۰۳	۸۹۱۷۱	۱۸۲
طاغان	۸۱	۶۴	۴۳	۲۹۰	۱۲۵۸۶	۱۵۵
دررود	۴۹	۴۹/۵	۵۰	۲۷۷	۹۲۰۹	۱۸۸
حسین آباد	۹۳۳۹	۷۴۲	۱۴	۱۸۰	۲۷۴۵۷۲	۲۹
کرتیان	۱۳۷	۷۷	۳۱	۲۸۰	۳۷۹۹	۲۸
رادکان	۲۴۸	۱۱۸	۳۳	۲۱۵	۵۳۰۹	۲۱
جنگ	۱۸۹	۹۸	۳۴	۳۲۶	۱۰۲۶	۵
چکنه علیا	۴۰	۴۸	۲۶	۳۳۸	۱۸۳۶	۴۶
دهبار	۱۱۶	۷۸	۳۳	۲۲۶	۵۲۶۷	۴۵
خرمدره	۴۱	۶۰	۴۹	۲۴۹	۲۶۳۴	۶۴
زشک	۶۶	۵۳	۴۷	۳۴۸	۵۴۹۷	۸۴
شاندیز	۱۲۹	۸۸	۳۵	۲۲۴	۲۲۲۷۹	۱۷۲
جاغرق	۷۸	۸۴	۳۶	۳۱۲	۷۷۴۸	۹۹
گلمکان	۴۷	۶۰	۴۳	۲۴۳	۱۱۰۷	۲۴
موشنگ	۲۸۴	۱۱۴	۴۳	۲۶۱	۱۶۵۰۵	۵۸

۱-۴- ویژگی‌های ژئومورفیک زیرحوضه‌ها

مساحت حوزه آبخیز یکی از پارامترهای مهم در رسوب حوضه محسوب می‌شود. در این پژوهش، دامنه‌ی مساحت از ۴۰ کیلومتر مربع برای زیرحوضه‌ی چکنه علیا تا ۹۳۳۹ کیلومتر مربع برای زیرحوضه‌ی حسین آباد متغیر است. همچنین زیرحوضه‌ی حسین آباد با ۷۴۲ کیلومتر، بیشترین و زیرحوضه‌ی چشمه علی با ۴۷ کیلومتر، کمترین محیط را دارد (جدول ۲). شیب حوضه در زیرحوضه‌های مختلف از ۱۴ تا ۵۱ درصد متفاوت است و کمترین آن در دو زیرحوضه‌ی دو آب مزرعه و حسین آباد و بیشترین مقدار شیب در زیرحوضه‌ی چشمه علی در دشت نیشابور مشاهده می‌شود. به منظور بررسی نقش عوامل اقلیمی در کنار عوامل ژئومورفیک، متوسط بارندگی سالانه با استفاده از گرادیان بارندگی و ارتفاع برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شد که

در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس، بیشترین بارندگی در زیرحوضه‌ی زشک به میزان ۳۴۸ میلی‌متر و کمترین بارش در زیرحوضه‌ی دوآب مزرعه به میزان ۱۶۰ میلی‌متر بدست آمد.



شکل ۲: نمودار مقدار رسوب ویژه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه

ارتفاع زیرحوضه‌های منتخب از ۶۴۸ تا ۳۳۱۶ متر از سطح دریا متغیر است (جدول ۳). طول حوضه عبارت است از طول خطی که نقطه‌ی خروجی حوضه را با خطی مستقیم به دورترین نقطه‌ی مرز حوضه وصل می‌کند (Mahdavi, 2011). بیشترین طول حوضه در حوزه‌ی آبخیز حسین‌آباد با مقدار ۳۳۷/۵ کیلومتر و کمترین طول حوضه در زیرحوضه‌های چکنه‌علیا و خرمدره با مقدار ۱۲ کیلومتر دیده می‌شود. برای بیان شکل حوضه و مقایسه‌ی حوضه‌های مختلف با یکدیگر از شاخص‌های مختلفی نظیر ضریب فرم حوضه، شاخص شکل، ضریب فشردگی، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، نسبت لمنیسکیت استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه‌ی این پارامترها، در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس جدول ۳، ضریب فرم حوزه‌ی آبخیز از ۰/۸ تا ۰/۲۴ متغیر است. همچنین ضریب فشردگی برای تمامی زیرحوضه‌ها در محدوده‌ی ۱/۵ تا ۲/۵ است؛ به طوری که زیرحوضه‌های خرمدره، جعفرق و گلکان بیشترین کشیدگی را دارند. شاخص شکل حوضه نیز نتیجه‌ی مشابه را نشان می‌دهد. بالاترین میزان شاخص شکل با توجه به جدول ۳، در زیرحوضه‌ی حسین‌آباد مشاهده می‌شود.

نسبت لمنیسکیت، به عنوان معیاری برای توصیف میزان تشابه شکل حوضه به دایره تعریف شده است (Chorely et al, 1957). بیشترین مقدار نسبت لمنیسکیت با توجه به شکل و طول جریان برای حوضه‌ی حسین‌آباد (۳/۰۵) و کمترین مقدار برای زیرحوضه‌های خرمدره و چکنه‌علیا (۱/۰۲) حاصل شد. نسبت پستی و بلندی در زیرحوضه‌ها بین ۱۰/۰۶ تا ۱۱۴/۰۳ متغیر است (جدول ۴). شاخص انشعاب، نسبت بین تخریب واقعی توسط رودخانه و پتانسیل آن از سطح پایه را نشان می‌دهد (Pal et al, 2012). کم بودن مقدار شاخص انشعاب، پایین بودن میزان تخریب را نشان می‌دهد. جدول ۴ نشان می‌دهد که مقادیر شاخص انشعاب از ۰/۲۹ تا ۰/۷۸ متغیر است. کمترین میزان تخریب مربوط به زیرحوضه‌ی چکنه‌علیا و بیشترین آن مربوط به زیرحوضه‌ی دوآب مزرعه است. بیشترین میزان ناهمواری در زیرحوضه‌ی دررود با مقدار ۳۷/۵۷ است و کمترین میزان آن در زیرحوضه‌ی حسین‌آباد با مقدار ۳/۰۵ دیده می‌شود. یکی از روش‌های توصیف شکل منحنی هیپسومتریک یک حوضه، محاسبه‌ی انتگرال هیپسومتریک آن حوضه است. 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 شبکه‌ی زهکشی در یک

سطح هموارتر است. ارتباط بین انتگرال هیپسومتریک باعث شده تا این انتگرال به عنوان معیاری برای تشخیص چرخه‌ی فرسایش چشم‌انداز استفاده شود. بالاترین میزان انتگرال هیپسومتري در زیرحوضه‌های غارشیشه، اریه، چشمه‌علی، طاغان و خرمدره دیده می‌شود. ناهمواری حوضه نقش مهمی در توسعه‌ی زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، توسعه‌ی اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد. مقدار بالای ناهمواری حوضه نشان دهنده‌ی شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است (جدول ۴). در این پژوهش، کمترین ناهمواری در زیرحوضه‌ی چکنه‌علیا و بیشترین ناهمواری در حسین‌آباد و دوآب مزرعه دیده می‌شود.

جدول ۳: پارامترهای ارتفاعی و شکل زیرحوضه‌های مورد مطالعه

زیرحوضه	ارتفاع حداکثر (m)	ارتفاع متوسط (m)	ارتفاع حداقل (m)	طول حوضه (Km)	ضریب فرم حوضه	ضریب شاخص شکل حوضه	ضریب فشردگی	ضریب کشیدگی	ضریب گردی	نسبت لمنیسکیت
تیمنک	۱۹۶۵	۱۴۲۱	۱۱۳۶	۵۷/۹۱	۰/۱۵	۶/۷۸	۱/۹۷	۰/۴۳	۰/۲۶	۱/۶۹
غارشیشه	۲۹۱۶	۲۱۷۹	۱۴۴۶	۲۰/۲۴	۰/۲۱	۴/۷۷	۱/۸۶	۰/۵۲	۰/۲۹	۱/۱۹
کلاته رحمان	۲۸۲۰	۲۰۴۶	۱۵۷۰	۲۴/۶۴	۰/۲۰	۵/۱۰	۱/۹۴	۰/۵۰	۰/۲۷	۱/۲۷
باغ عباسی	۲۶۱۸	۱۹۹۱	۱۶۳۰	۴۰/۹۸	۰/۱۷	۶/۰۴	۱/۹۵	۰/۴۶	۰/۲۶	۱/۵۱
دوآب مزرعه	۲۹۰۸	۱۳۳۳	۶۴۸	۲۶/۵۱	۰/۰۹	۱۱/۲۰	۲/۴۸	۰/۳۴	۰/۱۶	۲/۸۰
اریه	۲۹۰۰	۲۲۳۸	۱۵۷۲	۲۳/۶۲	۰/۲۰	۵/۰۳	۱/۹۸	۰/۵۰	۰/۲۵	۱/۲۶
چشمه علی	۳۱۸۹	۲۴۲۱	۱۵۷۱	۱۶/۲۸	۰/۲۳	۴/۴۴	۱/۷۲	۰/۵۴	۰/۳۴	۱/۱۱
اندراب	۲۹۱۸	۱۸۱۵	۱۳۸۶	۵۷/۵۹	۰/۱۵	۶/۷۷	۲/۰۷	۰/۴۳	۰/۲۳	۱/۶۹
طاغان	۳۲۱۶	۲۳۹۰	۱۵۱۷	۱۹/۵۹	۰/۲۱	۴/۷۲	۲/۰۱	۰/۵۲	۰/۲۵	۱/۱۸
دررود	۳۳۱۶	۲۲۳۳	۱۴۵۸	۱۴/۴۷	۰/۲۳	۴/۲۷	۱/۹۹	۰/۵۵	۰/۲۵	۱/۰۷
حسین‌آباد	۳۳۱۶	۱۵۵۵	۱۰۵۴	۳۳۷/۵۴	۰/۰۸	۱۲/۲۰	۲/۱۷	۰/۳۲	۰/۲۱	۳/۰۵
کرتیان	۲۶۶۵	۱۷۷۵	۱۲۲۱	۲۶/۸۱	۰/۱۹	۵/۲۴	۱/۸۵	۰/۴۹	۰/۲۹	۱/۳۱
رادکان	۲۸۸۷	۱۹۷۳	۱۲۶۶	۳۸/۳۱	۰/۱۷	۵/۹۱	۲/۱۲	۰/۴۶	۰/۲۲	۱/۴۸
جنگ	۲۹۵۱	۲۲۳۰	۱۶۶۱	۳۲/۵۴	۰/۱۸	۵/۶۰	۲/۰۱	۰/۴۸	۰/۲۵	۱/۴۰
چکنه‌علیا	۲۳۷۵	۱۹۷۲	۱۶۸۶	۱۲/۷۳	۰/۲۴	۴/۰۹	۲/۱۵	۰/۵۶	۰/۲۲	۱/۰۲
دهبار	۲۹۲۲	۱۷۹۲	۱۲۲۳	۲۴/۲۶	۰/۲۰	۵/۰۷	۲/۰۳	۰/۵۰	۰/۲۴	۱/۲۷
خرمدره	۳۳۰۷	۲۴۴۱	۱۵۶۵	۱۲/۹۷	۰/۲۴	۴/۱۲	۲/۶۴	۰/۵۶	۰/۱۴	۱/۰۳
زشک	۳۲۵۶	۲۴۲۶	۱۷۱۰	۱۷/۲۲	۰/۲۲	۴/۵۲	۱/۸۵	۰/۵۳	۰/۲۹	۱/۱۳
شاندیز	۳۰۷۶	۱۸۵۵	۱۲۴۲	۲۵/۹۰	۰/۱۹	۵/۱۸	۲/۱۸	۰/۵۰	۰/۲۱	۱/۳۰
جاغرق	۳۰۷۶	۱۹۶۲	۱۲۲۴	۱۹/۱۱	۰/۲۱	۴/۶۸	۲/۶۷	۰/۵۲	۰/۱۴	۱/۱۷
گلمکان	۳۲۰۵	۲۲۶۸	۱۵۵۶	۱۴/۱۲	۰/۲۴	۴/۲۳	۲/۴۶	۰/۵۵	۰/۱۷	۱/۰۶
موشنگ	۳۱۴۶	۲۱۷۵	۱۴۲۱	۴۱/۴۸	۰/۱۶	۶/۰۷	۱/۹۱	۰/۴۶	۰/۲۷	۱/۵۲

تراکم زهکشی شاخصی برای بیان وضعیت آبراهه‌های حوضه، بارندگی و ظرفیت نفوذپذیری، تکامل توپوگرافی و فرسایش حوضه است. با توجه به جدول ۵، کمترین تراکم زهکشی در زیرحوضه‌ی زشک و بیشترین تراکم در زیرحوضه‌ی گل‌مکان مشاهده می‌شود. نسبت انشعاب درون یک حوضه با افزایش رتبه کاهش می‌یابد. بیشترین میانگین نسبت انشعاب در حوضه‌ی حسین‌آباد و کمترین مقدار آن در زیرحوضه‌ی چکنه‌علیا، خرمدره و جاغرق مشاهده می‌شود. عدد ناهمواری، نشان دهنده‌ی پیچیدگی ساختاری حوضه است. مقادیر بالای عدد ناهمواری، نشان دهنده‌ی نقاط مستعد برای فرسایش است. بیشترین مقدار آن در مناطق مرکزی حوضه مشاهده می‌شود که همان مناطق تقریباً مسطح است. فراوانی آبراهه‌ها، با تراکم زهکشی در حوضه‌ی آبخیز همبستگی مثبت دارد که این امر نشان دهنده‌ی افزایش در تراکم زهکشی است. لذا با توجه به مقادیر کم تراکم زهکشی، مقادیر فراوانی آبراهه نیز کم است.

جدول ۴: پارامترهای ژئومورفیک پستی و بلندی زیرحوضه‌های مورد مطالعه

ناهمواری	انتگرال	پستی و بلندی	شاخص	بافت زهکشی	نسبت پستی	متوسط	زیرحوضه
حوضه	هیپسو متریک	نسبی	انشعاب		و بلندی	پستی و بلندی ^۱	
۸۲۹	۰/۳۴	۵/۳۴	۰/۴۲	۲/۳۶	۲۹/۲۹	۲۸۵/۱۵	تیمنک
۱۴۶۹	۰/۵۰	۲۴/۰۶	۰/۵۰	۱/۵۴	۳۲/۶۹	۷۳۳/۴۸	غار شیشه
۱۲۵۰	۰/۳۸	۱۶/۶۹	۰/۴۴	۳/۱۰۰	۶۴/۷۶	۴۷۵/۷۵	کلاته رحمان
۹۸۸	۰/۳۶	۸/۵۷	۰/۳۸	۱/۸۸	۵۲/۷۶	۳۶۰/۵۲	باغ عباسی
۲۲۶۰	۰/۳۰	۳/۲۹	۰/۷۸	۲/۷۰	۱۰/۰۶	۶۸۵/۴۷	دو آب مزرعه
۱۳۲۸	۰/۵۰	۱۷/۹۳	۰/۴۶	۱/۸۵	۵۱/۴۳	۶۶۵/۷۶	اریه
۱۶۱۸	۰/۵۳	۳۴/۲۹	۰/۵۱	۱/۹۱	۱۱۲/۴۶	۸۴۹/۵۶	چشمه علی
۱۵۳۲	۰/۲۸	۹/۴۲	۰/۵۳	۲/۱۰۰	۳۶/۰۵	۴۲۹/۴۹	اندراب
۱۶۹۹	۰/۵۱	۲۶/۴۹	۰/۵۳	۲/۰۹	۸۱/۱۴	۸۷۲/۶۶	طاغان
۱۸۵۸	۰/۴۲	۳۷/۵۷	۰/۵۶	۲/۲۶	۱۱۴/۰۳	۷۷۵/۰۶	دررود
۲۲۶۲	۰/۲۲	۳/۰۵	۰/۶۸	۲/۶۹	۱۰/۴۳	۵۰۱/۵۰	حسین‌آباد
۱۴۴۴	۰/۳۸	۱۸/۷۹	۰/۵۴	۲/۱۶	۵۶/۴۵	۵۵۳/۵۵	کرتیان
۱۶۲۱	۰/۴۴	۱۳/۷۰	۰/۵۶	۲/۰۲	۴۱/۶۳	۷۰۷/۰۶	رادکان
۱۲۹۰	۰/۴۴	۱۳/۱۴	۰/۴۴	۱/۸۵	۳۸/۴۰	۵۶۹/۲۰	جنگ
۶۸۹	۰/۴۱	۱۴/۳۹	۰/۲۹	۲/۶۶	۴۶/۶۵	۲۸۵/۷۷	چکنه‌علیا
۱۶۹۹	۰/۳۳	۲۱/۹۰	۰/۵۸	۲/۳۲	۶۵/۶۵	۵۶۸/۶۲	دهبار
۱۷۴۲	۰/۵۰	۲۹/۱۴	۰/۵۳	۳/۸۱	۸۰/۴۷	۸۷۶/۰۹	خرمدره
۱۵۴۶	۰/۴۶	۲۹/۲۰	۰/۴۷	۲/۰۹	۸۹/۷۳	۷۱۶/۰۷	زشک
۱۸۳۴	۰/۳۳	۲۰/۸۲	۰/۶۰	۳/۰۳	۵۰/۶۲	۶۱۳/۳۶	شاندیز
۱۸۵۲	۰/۴۰	۲۲/۱۶	۰/۶۰	۲/۱۹	۶۱/۰۲	۷۳۷/۵۰	جاغرق
۱۶۴۹	۰/۴۳	۲۷/۵۹	۰/۵۱	۳/۶۷	۸۴/۶۹	۷۱۲/۲۱	گل‌مکان
۱۷۲۵	۰/۴۴	۱۵/۱۵	۰/۵۵	۲/۰۶	۵۷/۴۰	۷۵۴/۴۰	موشنگ

^۱ Divide average relief

۲-۴- نتایج تحلیل رگرسیون

با توجه به ماتریس همبستگی متغیرها (جدول ۶) مشاهده می‌شود که پارامترهای مربوط به شکل حوضه همبستگی بالاتری با رسوب دارند. در این میان، ضریب فرم حوضه و متوسط بارندگی سالانه نسبت به سایر متغیرها همبستگی بالاتری با میزان تولید رسوب حوضه دارد؛ به همین دلیل در مدل‌های رگرسیونی وارد شدند. با توجه به جدول ۶ متغیر کشیدگی حوضه با ضریب همبستگی ۷۶/۵ درصد، بعد از دو پارامتر بارندگی و ضریب فرم حوضه بیشترین همبستگی را با میزان رسوب حوضه دارد. همچنین پارامتر شکل حوضه - که تابعی از ضریب فرم حوضه است - با مقدار ضریب همبستگی ۷۲ درصد، در مرتبه‌ی بعدی نسبت به پارامترهای فوق قرار دارد. جدول ۷، آماره‌های مربوط به رگرسیون چندمتغیره‌ی گام به گام را نشان می‌دهد. براساس جدول ۷، در مدل ۱ با ورود ضریب فرم حوضه ضریب تعیین (R^2) به مقدار ۰/۵۹ رسیده‌است. در مدل ۲ نیز با ورود بارندگی سالانه به معادله، ضریب تعیین به ۰/۶۷۴ رسیده‌است. ضریب تعیین تعدیل شده در مدل دوم (جدول ۷)، بر این دلالت دارد که دو متغیر ضریب فرم حوضه و بارش سالانه، ۶۴ درصد از رسوب زیرحوضه‌ها را کنترل می‌کند. اشتباه معیار برآورد (SE)، نشان دهنده‌ی مقدار انحراف معیار واقعی متغیر وابسته حول خط رگرسیون است که صحت پیش‌بینی را تعیین می‌کند (Varvani et al, 2002). با توجه به نتایج جدول ۷، مقدار آن از ۱/۱۴ به ۱/۰۴ کاهش یافته‌است. بهترین مدل رگرسیونی، مدلی است که ضریب تعیین (R^2) بیشتر و اشتباه استاندارد (SE) کمتر داشته باشد؛ از این رو مدل دوم، مدل نهایی برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه است.

جدول ۵: پارامترهای ژئومورفیک آبراهه‌ها در زیرحوضه‌های مورد مطالعه

نام زیرحوضه	تراکم زهکشی (km/km^2)	میانگین نسبت انشعاب	عدد ناهمواری	فراوانی آبراهه	رتبه استراهلر	رتبه شرو	تعداد کل آبراهه	مجموع طول آبراهه (km)
تیمنگ	۰/۷۰	۲/۶۷	۵۷۷	۰/۳۰	۴	۵۳	۱۴۶	۳۴۴/۳۶
غارشیشه	۰/۵۶	۱/۸۰	۸۲۰	۰/۳۶	۳	۶۰	۳۱	۴۷/۸۸
کلاته رحمان	۰/۶۳	۱/۶۳	۷۸۱/۵	۰/۲۱	۳	۶۱	۲۵	۷۴/۴۷
باغ عباسی	۰/۶۰	۴/۴۱	۵۹۵	۰/۳۲	۴	۷۴	۸۹	۱۶۷/۵۷
دو آب مزرعه	۰/۷۵	۳/۶۱	۱۷۰۶	۰/۲۸	۵	۸۵۵	۱۷۰۸	۴۶۰۶/۶۱
اریه	۰/۵۷	۱/۶۴	۷۵۳	۰/۳۱	۳	۱۸	۳۴	۶۲/۸۸
چشمه علی	۰/۴۸	۱/۶۷	۷۷۶	۰/۲۵	۳	۸	۱۵	۲۸/۶۲
اندراب	۰/۶۱	۳/۲۳	۹۴۲	۰/۳۱	۴	۷۶	۱۵۱	۳۰۱/۳۳
طاغان	۰/۴۹	۱/۹۲	۸۳۲	۰/۲۳	۳	۱۰	۱۹	۳۹/۷۸
دررود	۰/۶۹	۱/۵۳	۱۲۸۳	۰/۳۱	۳	۱۵	۱۵	۳۳/۸۶
حسین آباد	۰/۷۶	۶/۱۰	۱۷۱۰	۰/۲۸	۷	۱۳۱۶	۲۶۲۸	۷۰۶۰/۱۳
کرتیان	۰/۵۷	۳/۱۰	۸۲۰	۰/۲۶	۳	۱۹	۳۶	۷۷/۸۶
رادکان	۰/۵۸	۲/۴۹	۹۳۵	۰/۲۹	۴	۳۶	۷۱	۱۴۳/۳۱
جنگ	۰/۵۶	۳/۲۱	۷۱۹	۰/۳۰	۴	۲۹	۵۷	۱۰۵/۵۳
چکنه علیا	۰/۶۱	۰/۰۰	۴۱۷	۰/۲۳	۲	۵	۹	۲۳/۹۶
دهبار	۰/۵۴	۱/۹۰	۹۱۵	۰/۲۳	۳	۱۴	۲۷	۶۲/۵۲

خرمدره	۰/۶۵	۰/۰۰	۱۱۳۸	۰/۱۷	۲	۴	۷	۲۶/۷۰
زشک	۰/۴۲	۳/۲۰	۶۴۳	۰/۲۰	۳	۷	۱۳	۲۷/۲۳
شاندیز	۰/۶۳	۵/۶۱	۱۱۵۹	۰/۲۱	۴	۲۰	۲۷	۸۱/۷۶
جاغرق	۰/۵۹	۰/۰۰	۱۰۹۲	۰/۲۷	۲	۱۱	۲۱	۴۵/۹۹
گلکان	۰/۸۶	۱/۷۵	۱۴۱۴	۰/۲۳	۳	۶	۱۱	۴۰/۳۵
موشنگ	۰/۵۶	۳/۳۶	۹۶۵	۰/۲۷	۴	۳۹	۷۷	۱۵۸/۷۵

جدول ۶: همبستگی پیرسون بین متغیرهای ژئومورفیک مؤثر بر رسوب معلق در زیرحوضه‌های مورد مطالعه

	Sediment	Area	P	L _b	Ff	Sw	Cc	RC	Er
Sediment	۱/۰۰۰	۰/۵۷۲**	۰/۶۳۴**	۰/۶۳۱**	-۰/۷۶۸**	۰/۷۲۰**	-۰/۰۴۰	-۰/۰۰۸	-۰/۷۶۵**
Area		۱/۰۰۰	۰/۹۷۸**	۰/۹۹۲**	-۰/۷۷۹**	۰/۹۳۷**	۰/۲۳۵	-۰/۲۷۰	-۰/۸۲۷**
P			۱/۰۰۰	۰/۹۹۴**	-۰/۸۵۲**	۰/۹۷۵**	۰/۲۷۵	-۰/۳۱۲	-۰/۸۹۳**
L				۱/۰۰۰	-۰/۸۴۵**	۰/۹۷۲**	۰/۲۲۵	-۰/۲۶۴	-۰/۸۸۶**
Ff					۱/۰۰۰	-۰/۹۴۵**	-۰/۰۱۸	۰/۰۸۴	۰/۹۹۶**
SW						۱/۰۰۰	۰/۱۵۷	-۰/۲۰۹	-۰/۹۶۹**
Cc							۱/۰۰۰	-۰/۹۸۲**	-۰/۰۵۷
RC								۱/۰۰۰	۰/۱۲۰
Er									۱/۰۰۰

Area: مساحت حوضه، P: محیط حوضه، L_b: طول حوضه، Ff: ضریب فرم حوضه، Sw: شاخص شکل حوضه، Cc: ضریب فشردگی، RC: نسبت گردی، Er: نسبت کشیدگی، **معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۸ ضرایب رابطه‌ی رگرسیون و آزمون معنی‌داری را نشان می‌دهد. برای آزمون معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب رابطه‌ی رگرسیون، از آزمون t استفاده شد (Hakim Khani et al, 2006). معنی‌دار بودن ضریب در معادله‌ی رگرسیونی، بر این دلالت دارد که متغیر مستقل مربوطه می‌تواند قسمتی از تغییرات در متغیر وابسته را بیان کند. با توجه به سطح معناداری آزمون t در مدل ۲، با اطمینان ۹۵ درصد، این ضرایب مخالف صفر و برابر با مقادیر برآورد شده‌است. مقایر VIF کمتر از ۱۰، فقدان هم‌خطی بین متغیرهای ژئومورفیک را نشان می‌دهد؛ از این رو، متغیرها برای تعیین ضریب رگرسیونی مناسب هستند. با توجه به جدول ۸، معادله‌ی نهایی برای رسوب تولیدی در زیرحوضه‌های منتخب به صورت مدل ۲ است. براساس مدل‌های حاصل از تحلیل همبستگی رسوب، مقدار رسوب تولیدی با ضریب فرم حوضه و متوسط بارندگی سالانه، همبستگی داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده‌است (جدول ۸).

به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیون، معنی‌داری آماری آنها بررسی شد. مفهوم معنی‌دار بودن یک ضریب در معادله‌ی رگرسیونی این است که متغیر مستقل مربوطه می‌تواند به طور معنی‌داری قسمتی از تغییرات در متغیر وابسته را بیان کند. اما به منظور اطمینان از کارایی مدل‌ها، فرضیات آنالیز رگرسیونی شامل خطی بودن، یکنواختی واریانس و مستقل بودن باقی نیز بررسی شد. در شکل ۳ و شکل ۴، رابطه‌ی بین متغیرهای مستقل و رسوب حوضه در مدل نهایی ارائه شده‌است که نتایج بیانگر

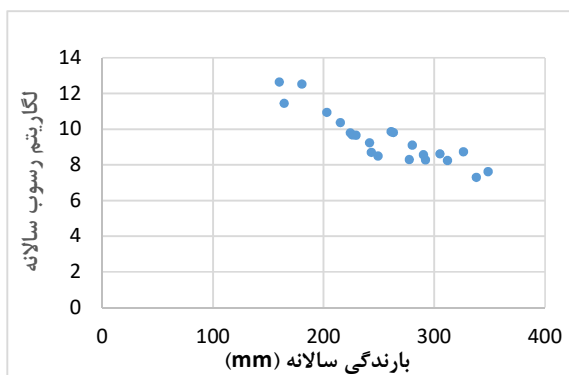
رابطه‌ی خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته است. در شکل ۵ نیز ارتباط بین مانده‌های نرمال شده با مقدار پیش‌بینی مدل ارائه شده‌است. الگوی تصادفی نشان می‌دهد که واریانس‌ها یکنواخت و مانده‌ها مستقل است.

جدول ۷: ضرایب همبستگی روابط رگرسیونی

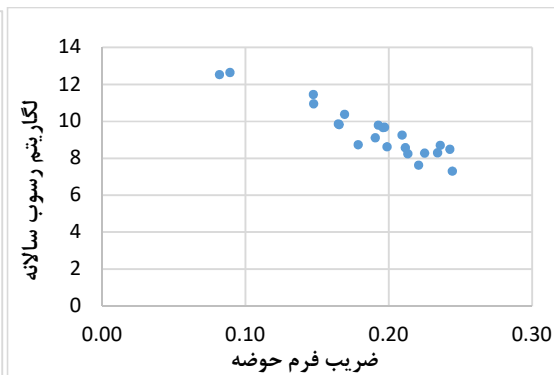
مدل	ضریب همبستگی چندگانه (R)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب تعیین تعدیل شده	اشتباه معیار (SE)	سطح معنی داری
۱	۰/۷۶۸	۰/۵۹۰	۰/۵۶۹	۱/۱۴۳۲۲	۰/۰۰۰
۲	۰/۸۲۱	۰/۶۷۴	۰/۶۴۰	۱/۰۴۵۱۵	۰/۰۳۹

جدول ۸: آزمون معنی داری ضرایب روابط رگرسیونی

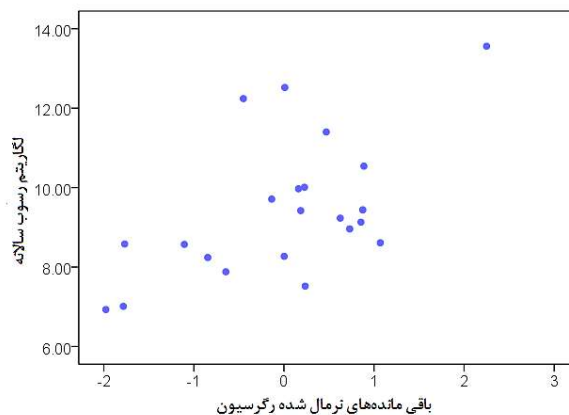
مدل	متغیر مستقل	بتا	t	سطح معنی داری	عامل تورم	معادله رگرسیون خطی
۱	مقدار ثابت	۱۵/۱۸۱	۱۳/۸۳۳	۰/۰۰۰		$Y = ۱۵/۱۸۱ - ۳۰/۳۴۸ (X_1)$
	ضریب فرم حوضه	-۳۰/۳۴۸	-۵/۳۶۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	
۲	مقدار ثابت	۱۶/۴۵۵	۱۴/۲۳۷	۰/۰۰۰		$Y = ۱۶/۴۵۵ - ۱۹/۴۷۹ (X_1) - ۰/۰۱۳(X_2)$
	ضریب فرم حوضه	-۱۹/۴۷۹	-۲/۷۳۵	۰/۰۱۳	۱/۸۹۵	
	بارندگی سالانه	-۰/۰۱۳	-۲/۲۲۰	۰/۰۳۹	۱/۸۹۵	



شکل ۴: رابطه‌ی متوسط بارندگی سالانه و رسوب متوسط سالانه



شکل ۳: رابطه‌ی ضریب فرم حوضه (Ff) با رسوب متوسط سالانه



شکل ۵: رابطه‌ی مانده‌های نرمال شده با مقدار پیش‌بینی مدل نهایی

۵- بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط بین پارامترهای ژئومورفیک زیرحوضه‌های منتخب استان خراسان رضوی با رسوب سالانه انجام شد. بدین منظور از توانایی‌ها GIS و تحلیل مدل رقومی ارتفاع برای استخراج پارامترهای مختلف ژئومورفیک استفاده شد؛ بدین صورت که با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، ۳۰ متغیر ژئومورفیک برای ۲۲ زیرحوضه‌ی منتخب استان خراسان رضوی محاسبه شد. میزان رسوب سالانه‌ی زیرحوضه‌ها با استفاده از آمار هیدرومتری محاسبه و ارتباط بین پارامترهای ژئومورفیک با رسوب سالانه، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره‌ی گام به گام تعیین شد. مقدار رسوب محاسبه شده برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه با مقادیر ارازه شده در پژوهش Khodashenas و همکاران (2007) برای زیرحوضه‌ی حسین‌آباد، اریه، چشمه‌علی، طاغان، کلاته‌رحمان، رادکان، حصار، جاغرق و کرتیان؛ و Farahi و همکاران (2011) در ایستگاه‌های اریه، کرتیان، جاغرق، حصار، موشنگ، رادکان، کلاته‌رحمان، طاغان و دررود و چشمه‌علی؛ و رضانی (2015) در زیرحوضه‌های رادکان، اریه، چشمه‌علی، چکنه‌علیا، دهبار، خرمدره، اندراب، سرآسیاب شاندیز، کرتیان، جاغرق و گلمکان مقایسه شد که اختلاف قابل قبولی با نتایج این تحقیقات داشت. این اختلاف بیشتر به دلیل طول دوره‌ی آماری متفاوت است. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، زیرحوضه‌ی جنگ با داشتن بارش نسبتاً زیاد (۳۲۶ میلی‌متر) کمترین رسوب ویژه را دارد که این می‌تواند به دلیل ساختار زمین‌شناسی و وجود گستره‌ی وسیعی از رخنمون‌های سنگی از جنس آهک و دولومیت در این زیرحوضه باشد. عامل ارتفاع حوضه‌ها نیز با تأثیر روی مقدار و نوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق و وضعیت پوشش گیاهی حوضه بر ضریب رواناب و در نتیجه میزان رسوب حوضه تأثیر گذار است.

نتایج تحقیق بر این دلالت دارد که پارامترهای ژئومورفیکی همبستگی بالایی با میزان رسوب سالانه دارد و می‌تواند در پیش‌بینی رسوب استفاده شود که این موضوع در تحقیقات Zhang (2015)، Chen و Yu (2011)، Cavalli و همکاران (2013) و Shi و همکاران (2014) نیز مورد تأکید قرار گرفته‌است. از این میان، پارامترهای مربوط به شکل حوضه شامل ضریب فرم حوضه، کشیدگی حوضه و شاخص شکل حوضه به ترتیب با ضریب همبستگی $0.76/8$ ، $0.76/5$ و 0.72 درصد، بیشترین همبستگی را با رسوب حوضه‌ها داشته‌اند. براساس شاخص‌های شکل محاسبه شده، بیشتر زیرحوضه‌ها مورد مطالعه کشیده می‌باشند. شکل حوضه می‌تواند تکامل رودخانه و آبراهه‌های حوضه را تحت تأثیر قرار دهد که این بر حجم رواناب و رسوب حوضه مؤثر است. نتایج پژوهش Arman و همکاران (2017) در حوضه‌ی سیدآباد کهکیلویه و بویراحمد، Bourbouri و همکاران (2009) در حوضه‌ی جاجرود و Darvishan و Mirzai (2016) در حوضه‌های استان مازندران نیز نشان داد که طول مستطیل، ضریب فرم حوضه در کنار متوسط بارندگی سالانه و درصد شیب، از پارامترهای مهم با همبستگی بالا با میزان رسوب حوضه هستند. در تحقیق Zhang و همکاران (2015) در فلات لسی چین نیز پارامترهای شکل حوضه و پستی و بلندی به عنوان مهمترین عوامل تعیین کننده‌ی مقدار رسوب زیرحوضه‌ها گزارش شده‌است. ضریب فرم حوضه، شاخصی بدون بعد برای شکل‌گیری و حرکت سیل، درجه‌ی فرسایش و ظرفیت حمل بار رسوب در حوزه‌ی آبخیز است که تابع مساحت و طول حوضه می‌باشد. شاخص شکل حوضه نیز عکس ضریب فرم است؛ به همین دلیل، همبستگی بالایی با مقدار رسوب دارد. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر ترکیب مساحت و طول حوضه به صورت نمایه‌های شکل حوضه، بیش از تأثیر مستقل هر کدام است. علاوه بر ضریب فرم حوضه، بارش سالانه نیز در مدل نهایی رگرسیون گام به گام وارد شده و به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده‌ی رسوب انتخاب شده‌است. این دو متغیر می‌توانند ۶۴ درصد از رسوب سالانه را پیش‌بینی کنند. در پژوهش Zhang

(2015)، Hakim Khani (2006) و Ghoreyshi و Abdoli (2005) نیز بارندگی به عنوان یکی از پارامترهای مهم در مدل رسوب مطرح شده است. با توجه به ضریب مدل نهایی، ارتباط رسوب با بارش سالانه، منفی است که این می‌تواند به دلیل وجود رخنمون‌های سنگی و عمق خاک کم در حوضه‌های مرتفع و پرباران باشد که باعث شده است رسوب بالایی نداشته باشد. از سوی دیگر، شکل قالب بارش در این حوضه‌ها به صورت برف است که فرساینده‌گی بالایی ندارد؛ از این رو، تولید رسوب کمتری را به همراه دارد. پس پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی در کنار عوامل ژئومورفیک، پارامترهای مربوط به جریان رودخانه نیز به تحلیل اضافه شود.

فهرست منابع

1. Akbari, M.; Jarge, M.R.; & H. Madani Sadat, 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer), *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(4), 63-78. (In Persian).
2. Arman, N.; Faghfour, Z.; Faraji, M.; & Z. Khorsandi, 2017. Determination of effective factors on sedimentation using statistical methods, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 9(2), 190-204. (In Persian).
3. Abdideh, M.; Ghorashi, M.; Rangzan, K.; & M. Arian, 2011. Relative Analysis of Activated Land Using a Mortising Analysis of the Case Study of the Dez River Basin, Southwest of Iran, *Earth Sciences*, 20(80), 33-46. (In Persian).
4. Asselman, N. E. M., 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves, *Journal of Hydrology*, 234(3), 228-248.
5. Amulya, T. H. M., & D. Nerlikar., (2018). Morphometric Analysis of Bettahalasuru Using GIS And Remot Sensing. *International Journal Of Applied and Advanced Scientific Research*. 3 (1), 12-17.
6. Bourbouri, F.; Fayyazi, F.; Nakhaei, M.; & A. A. MetKan., 2009. Estimation of sediment yield of Jajrood River in the upstream of Latian Dam Using Multivariate Regression, *Journal of Applied Geology*, 5(3), 213-219. (In Persian).
7. Bazrafshan, O.; Ahmadi, S.; & A. Khorani., 2016. Effects of Runoff and Sediment from Upland Catchment on Mangrove Forests Area (Case Study: Gabric-Hormozgan), *Journal of Environmental Erosion Research*, 6(21), 88-102. (In Persian).
8. Chakraborti, A. K., 1993. Strategies for Watershed Management planning using remote sensing technique, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 21(2), 87.
9. Cheng, NN.; He, H. M.; Yang, S.Y.; Lu, Y. J.; Jing, Z.W., 2017. Impacts of topography on sediment discharge in Loess Plateau, China. *Quaternary International*, 440(2), 119-29.
10. Chorely, R. J.; Malm, D. E.; & H. A. Pogorzelski., 1957. A new standard for estimating drainage basin shape, *American Journal of Science*, 255(2), 138-141.
11. Cavalli, M.; Trevisani, S.; Comiti, F.; & L. Marchi., 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments, *Geomorphology*, 188, 31-41.
12. Darvishan, A., & S. Mirzai., (2016). The possibility of estimating the Sediment measured curve parameters by using physical and geomorphological characteristics in the ungagged watershed. *12th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering*. 784-775. (In Persian).
13. Davoodi, M.; Mohammadi, H.; & N. Bay., 2009. Analysis and prediction some Mashhad climatic elements, *Nivar Science and Technology Journal*, 71, 35-46. (In Persian).
14. Fryirs, K., 2013. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem, *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(1), 30-46.
15. Farahi, G.; Khodashenas, S. R.; & A. Alizadeh., 2011. Estimation of sediment of Khorasan northern watershed using fuzzy regression model, *Journal of Science and Engineering of Watershed Management of Iran*, (15), 11-24. (In Persian).

16. Ghany, M. K. A., 2015. Quantitative Morphometric Analysis of Drainage Basins between Qusseir and Abu Dabbab Area, Red Sea Coast, Egypt using GIS and Remote Sensing Techniques, *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 4(1), 1295-1322.
17. Ghaderi-Fijani, H.; Mohammad Khanehbad, M.; Mosavi Harami, R.; & A. Mahboubi, 1394. Study of physiographic parameters and their effect on the sedimentation of the Eliatou watershed in the south-west of Fariman, *The 19th Earth Summit of Iran and the 9th National Geological Conference of Payame Noor University*, 833-828. (In Persian).
18. Ghoreyshi Rad, H. R.; & S. Abdoli, (2005). Investigation of the relationship rainfall and Sediment load changes in the Oghan River, *National Conference on erosion and sediment*. (In Persian).
19. Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370.
20. Horton, R. E., 1932. Drainage-basin characteristics. *Eos, transactions american geophysical union*, 13(1), 350-361.
21. Hakim Khani, Sh. ; & M. Arab khodari, (2006). Regression analysis between suspended sediment and hydrogeomorphological characteristics of Urmia Lake Watershed. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 37(2), 223-231. (In Persian).
22. Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; & R. L. Tatham, 1998. Multivariate data analysis (Vol. 5, No. 3, 207-219). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.
23. Khodashenas, S. R.; Gahraman, B.; Davary, K.; & H. Nazerian, 2007. Multivariate regression models for predicting sediment yield of the northern watersheds in the Great Khorasan province, *Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology)*, (2), 164-150. (In Persian).
24. Kheirfam, H., & M. Vafakhah, (2015). Evaluation of Gamma Test and Andrew Curaes to Estimate Suspended Sediment Load in Southeastern Watersheds of the Caspian Sea. *Journal of Watershed Management Research*. 6(11), 47-58. (In Persian).
25. Moore, I. D.; Grayson, R. B.; & A. R. Ladson, 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.
26. Miller, V. C., 1953. Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee, *Technical report (Columbia University. Department of Geology)*, no. 3.
27. Mahdavi, M., 2011. Applied Hydrology. 9th edition, *Tehran University press*, 342 p. (In Persian).
28. Moges, G., & V. Bhole, (2015). Morphometric Characteristics and the Relation of Stream Orders to Hydraulic Parameters of River Goro: An Ephemeral River in Dire-dawa, Ethiopia. *Universal Journal of Geoscience*. 3(1), 13-27.
29. Pal, B.; Samanta, S.; & D. K. Pal, 2012. 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.
30. Ramazani pour, E., 2015. Determination of regional relationships of suspended sediment discharge based on watershed characteristics in Mashhad and Nyshabour regions. M.Sc, *Thesis Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Natural Resources and Environment*, 125 p. (In Persian).
31. Ranjbar, M., & F. Iranmanesh., (2007). Investigating the effective factors on geomorphologic characteristics and the extension of erosion forms using RS and GIS (Case study: Basin of Ghorandeh Viz, Kordestan). *Territorial Quarterly, Fourth Edition*. (14), 118-107. (In Persian).
32. Saghafian, B.; Ghermezcheshmeh, B.; Samiei, M.; & R. Asheghi, 2009. Effective factors on suspended sediment Load in southwestern basins of Iran, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 1(3), 140-152. (In Persian).
33. Salim, A. H. A., 2014. Geomorphological analysis of the morphometric characteristics that determine the volume of sediment yield of Wadi Al-Arja, South Jordan, *Journal of Geographical Sciences*, 24(3), 457-474.

34. Shi, Z. H.; Huang, X. D.; Ai, L.; Fang, N. F.; & G. L. Wu, 2014. Quantitative analysis of factors controlling sediment yield in mountainous watersheds, *Geomorphology*, 226, 193-201.
35. Shabani, M.; Feiznia, s.; Ahmadi, H.; & J. Ghodosi, 2007. Investigation and determination of effective factors on sediment production and yield of drainage basins (Case Study: Taleghan Drainage Basin), *Journal of the Iranian Natural Res*, 60(3), 759-771. (In Persian).
36. Shayan, S.; Zare, GH. R.; Yamani, M.; Sharifi Kia, M.; & M. Sultanpour, 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. (In Persian).
37. Singh, S., 1992. Quantitative geomorphology of the drainage basin (pp. 81-7233). *Scientific Publishers*, Jodhpur, India.
38. Singh, S., & A. Dubey., (1994). *Geoenvironmental planning of watersheds in India*, Chugh.
39. Singh, S., 1998. Geomorphology, Department of Geology, University of Allahabad INDIA, *Printed at Artiorinters Sarvodaya Nagar, Allahpur*, p.330-353
40. Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
41. Strahler, A. N., 1958. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms, *Geological Society of America Bulletin*, 69(3), 279-300.
42. Strahler, A. N., 1964. Quantitative Geomorphology of Basin and Channel Networks: Handbook of Applied Hydrology.
43. Smith, K. G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography, *American Journal of Science*, 248(9), 655-668.
44. Soni, S., 2017. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique, *Applied Water Science*, 7(5), 2089-2102.
45. 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.
46. Sharma, S. K., & K. N. Tiwari., (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.
47. Vanmaercke, M.; Poesen, J.; Verstraeten, G.; de Vente, J.; & F. Ocakoglu, 2011. Sediment yield in Europe: spatial patterns and scale dependency, *Geomorphology*, 130(3), 142-161.
48. Varvani, J.; Feiznia, S.; Mahdavi, M.; & M. Arabkhedri, 2002. Analysis of Regional Suspended Sediment in Gorganrood Drainage Basin Using Regression Equations. *Iranian J, Natural Resources Journal*, 55 (1), 35-47. (In Persian).
49. Walling, D. E., & B. W. Webb., (1981). The reliability of suspended sediment load data [River Creedy, *England*].
50. Zare chahuki, M. A., 2010. Data analysis in natural resources research using SPSS software, first edition, *Jahad University press*, 309 P. (In Persian).
51. Zargar, M.; Mohammadi, I.; & A. Masoumi Nejad, 2012. Modeling and extraction of watershed physiographic parameters using SRMS images and WMS & GIS (Case study: Dehbar River Watershed), Third National Conference on Integrated Water Resources Management, *Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. (In Persian).
52. Zhang, H. Y.; Shi, Z. H.; Fang, N. F.; & M. H. Guo, 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China, *Geomorphology*, 234, 19-27.

The Relationship between Geomorphic Characteristics and Watershed Sediment Yield: A Case of Selected Subwatersheds of Khorasan Razavi

Razieh Motamedi: *MSc Student in watershed Management, Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad*

Mahmood Azari¹: *Assistant Professor, Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad*

Article History (Received: 2017/12/18

Accepted: 2018/05/14)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion by water is a dominant geomorphic process which threatens food security in most parts of the world. The geomorphic characteristics of a watershed play an important role in watershed hydrology, soil erosion processes and sediment yield. Geomorphic characteristics can be an indicator of soil erosion and sedimentation of a watershed. Geomorphic characteristics of watersheds are classified into linear, relief, and areal categories. Linear characteristics include stream number, bifurcation ratio, stream length and streams order. Relief characteristics include three-dimensional features of the watershed such as hypsometric integral, ruggedness number, and relative relief. Areal characteristics encompass morphological characteristics such as drainage density, stream frequency and watershed shape parameters. Accessibility to Digital Elevation Models and remote sensing data as sediment yield predictors simplify the calculation of the watershed geomorphic characteristics. The purpose of this study was to use the latest capabilities of geographic information system to extract the watershed geomorphic characteristics and determine their relationship with sedimentation in the subwatersheds of Khorasan Razavi province.

2- Methodology

This study was conducted in 22 subwatersheds in Mashhad, Neyshabour and Fariman watersheds in Khorasan Razavi province. In order to select appropriate subwatersheds, the hydrometric and rainfall data for hydrometric and meteorological stations were obtained from Khorasan Razavi Regional Water authority for the selected watersheds. Annual sediment load was calculated using sediment rating curve method. Physiographic and geomorphic characteristics including 30 geomorphic parameters were calculated for each subwatershed using Digital Elevation Model with spatial resolution of 30 m. In order to determine the relationship between geomorphic characteristics and sediment yield of the subwatersheds, a multivariate regression stepwise analysis was used. In the multivariate regression, the important geomorphic characteristics which affected watershed sedimentation were identified and based on those parameters, the best annual sediment yield and geomorphic characteristics equation were presented.

3- Results

The subwatershed areas under study vary from 40 square kilometers for the Chakaneh Olya to 9339 square kilometers for the Hossein Abad subwatershed. The average annual sediment yield for the studied subwatersheds during the period of 30 years varied from 1026 tons per year in the Jang subwatershed to 274572 tons per year at Hossein Abad watershed. The subwatersheds of Kalateh Rahman and Jang had the highest and lowest sediment yield, respectively, with 317 and 5 tons per square kilometers. The relationship between geomorphic characteristics and sediment yield of subwatersheds showed that the annual sediment yield had a positive correlation at the 5% confidence level with form factor and annual rainfall. The results of this study showed that the watershed shape parameters including form factor, elongation ratio and shape index had high correlations with sediment yield with the pertaining coefficients of 76.8, 76.5 and 72 percent, respectively. Also, the correlation coefficient of annual rainfall with annual sediment yield was 73.9 percent. After rainfall and form factor, elongation ratio was the third parameter that had a high correlation

¹ Corresponding Author: m.azari@um.ac.ir

coefficient (76%) with sediment yield. In addition, watershed shape index which was a function of form factor was correlated with sediment yield at 72%. Among these characteristics, the annual rainfall and watershed form factor were used in the stepwise regression in the final model and were selected as predictor variables for sediment yield. Study results showed that the annual rainfall and watershed form factor variables could predict 64% of the annual sediment yield of the studied watersheds.

4- Discussion & Conclusions

The results of this study indicated that there was a significant relationship between the geomorphic characteristics of the studied watersheds and annual sediment yield. Watershed form factor was a dimensionless index for flood flow and movement, erosion severity and sediment transport capacity of watersheds. This factor was a function of watershed area and length. The runoff and the amount of flood peak in bigger watersheds will increase the sediment yield. Many researches have reported a high correlation between rainfall and sediment yield. Arid climate and poor vegetation coverage in the selected watersheds were the main reasons for the high correlation of rainfall and sediment yield. Soil erosion and sediment yield would increase due to the high intensity and low duration of rainfall along with the scarcity of vegetation coverage and erodible soils in this region. Overall, the study results indicated that with the development of new technologies and the possibility of extracting different physiographic and geomorphic parameters of watersheds from a Digital Elevation Model, it is possible to present regional equations for the prediction of sediment yield using geomorphic characteristics that can be used in sediment control and Watershed Management Programs.

Key Words: GIS, Khorasan Razavi, Multivariate regression, Quantitative Geomorphology, Sediment yield.