

تخمین دبی رواناب، رسوب و شناخت عوامل ژئومورفومتريک به کمک DTM در حوزه آبخیز بهادر بیگ

سعید عرب^{۱*}، یاسمین سگر^۲، مهدی نادری خوراسگانی^۳، محمد اسدی^۴ و پروین کیا^۵

^۱ استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۳ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ^۴ کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران، ^۵ کارشناس ارشد سازمان آموزش و پرورش همدان و فارغ التحصیل گروه جغرافیای، دانشکده ادبیات، دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶

چکیده

در حوزه آبخیز می توان روابط بین عوامل ژئومورفومتريک و شاخص رسوب را مورد بررسی قرار داد. مدل رقومی زمین (DTM) مشتق از DEM، در دریافت، پردازش، ذخیره، مدیریت و پایش اطلاعات برای سطح حوزه آبخیز توانایی بالایی دارد. به کمک DTM در یک حوزه آبخیز می توان شاخص رسوب (قدرت رود، انتقال رسوب و رطوبت زمین) و برخی از عوامل ژئومورفومتريک همچون طول و شیب کلی آبراهه، طول و شیب آبراهه مستقیم، ضریب افت، پیچ و خم و ارتفاع پایین دست آبراهه را محاسبه و به عنوان نقشه ترسیم کند. حوزه آبخیز بهادر بیگ با وسعت ۲۱۶/۶۹۲ کیلومترمربع در دامنه شمالی الوند استان همدان برای این مطالعه انتخاب شد. ابتدا رتبه بندی آبراهه در DTM مدیریت شد و نقشه شاخص رسوب به همراه نقشه برخی عوامل ژئومورفومتريک (روش درون یابی) برای چهار رتبه با ۳۰ نقطه تمرکز ترسیم شد. از ترکیب شاخص رسوب با میانگین دبی رواناب و رسوب ایستگاه هیدرومتری، دو عامل دبی رواناب و رسوب جزئی تحت عنوان تخمین گر نقطه ای پیشنهاد شد. در مدل رگرسیون کامل بین شاخص رسوب (متغیر وابسته) و برخی عوامل ژئومورفومتريک به همراه دبی رواناب و رسوب جزئی (متغیر مستقل)، روابط آماری معنی داری در سطح یک و ۲/۵ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که به ترتیب دبی رواناب و رسوب جزئی، شیب آبراهه (کل و مستقیم)، طول آبراهه مستقیم، ارتفاع پایین دست و پیچ و خم آبراهه از مهمترین عوامل مؤثر بر شاخص رسوب می باشد. در خاتمه، بر اساس نتایج یک تابع سری زمانی (۲۳ و ۲۴ ساله)، روند تغییرات دبی رواناب در حوضه سیر نزولی داشت و با دبی رسوب مطابقت نمی کرد.

واژه های کلیدی: پیوستگی، شاخص رسوب، مدل کامل رگرسیون، نقشه رقومی، AHP

سلسله مراتبی تحلیل^۱ (AHP) و مقیاس باشد (Hoosbeek, ۱۹۹۸). از نظر نگرش سامانه ای^۱،

مقدمه
به منظور دستیابی به پیوستگی اجزا در یک سامانه اراضی و خاک، مطالعات باید بر اساس سطوح

^۱ Analytical Hierarchy Process (AHP)

محاسبه کند (Li, ۱۹۹۰، ۲۰۰۵؛ Florinsky, ۲۰۱۲). مدل‌سازی DTM به‌شدت تحت تأثیر مدیریت پردازش و چگونگی ساختار طرح جدید عملیاتی است (Li, ۱۹۹۰، ۲۰۰۵). روش‌های مدل‌سازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی^۹ (GIS)، بسته به چگونگی تهیه نقشه رقومی ارتفاع^{۱۰} (DEM) و روش‌های درون‌یابی^{۱۱}، متفاوت است (Hengel و همکاران، ۲۰۰۳). به‌عنوان مثال، می‌توان از تعیین خصوصیات پستی و بلندی زمین (Wilson, ۲۰۱۱)، اندازه‌گیری اثر عوامل ژئومورفومتریک بر سطوح ژئومرفیک (Li, ۲۰۰۵؛ Wilson, ۲۰۱۱؛ Florinsky, ۲۰۱۲)، تعیین شاخص‌های سنجش ژئومورفیک، مانند شیب (Shary و همکاران، ۲۰۰۲؛ Hengel و همکاران، ۲۰۰۳؛ Wilson, ۲۰۱۱)، یا برای اندازه‌گیری شاخص رسوب، نام برد (Martinoni, ۲۰۰۲؛ Hengel و همکاران، ۲۰۰۳؛ Arab و همکاران، ۲۰۰۹؛ Florinsky, ۲۰۱۲). Arab و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از DTM نتیجه گرفتند که درصد شیب، نفوذ آب و حجم رسوبات از مهمترین عوامل اثرگذار بر روی پیکربندی چشم‌انداز و لندفرم است. Jalalian و همکاران (۲۰۱۵) نیز توانستند با استفاده از ۱۱ ویژگی اولیه و ثانویه توپوگرافی حاصل از DEM و نوعی مدل‌سازی DTM، سولوم خاک را در بخشی از اراضی تپه ماهوری کوه‌رنگ در زاگرس مرکزی پیش‌بینی کنند. همچنین، Naderi Khorasgani و Karimi (۲۰۰۸) نیز با استفاده از مدل‌سازی DTM، تاثیر رابطه خصوصیات ژئومورفولوژیک کف‌رسی^{۱۲} را بر کاربری اراضی شناسایی کردند. Shokati و Esmaili (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی لیتولوژی، کاربری و پوشش اراضی و توپوگرافی (شیب، شکل و طول دامنه) را با استفاده از شاخص رسوب (قدرت رود و رطوبت)، مورد استفاده قرار دادند و نقاط حساس به فرسایش آب‌کندی را پیش‌بینی کردند. Shayan و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهشی دیگر، نشان دادند که ژئومورفومتری عمومی، کارایی لازم را در استخراج طبقات اصلی مورفومتریک

پیوستگی اراضی و خاک می‌تواند در مقیاس سلسله مراتبی تحلیل در یک حوزه آبخیز^۲ مورد بررسی قرار گیرد (Hoosbeek, ۱۹۹۸). در این راستا، تغییرات مکانی نظام‌مند^۳ برای اراضی و خاک می‌تواند تابعی از فیزیوگرافی (شکل حوضه)، ژئومورفومتری باشد (Wilson, ۲۰۱۱). منابع اطلاعاتی گسسته^۴ (نقطه‌ای)، نتایج ارزیابی اراضی را به‌طور منفصل و بدون ارتباط ارائه می‌دهد، لیکن، اگر منابع اطلاعاتی با نوعی ارتباط و همبستگی مکانی همراه باشد، نتایج ارزیابی، صورت پیوسته^۵ پیدا کرده و پیرو یک تابع ریاضی خواهد شد (Rossiter, ۱۹۹۶). مدل رگرسیون^۶ به‌عنوان یک تابع ریاضی، توانایی بالایی در پیوستگی اطلاعاتی دارد (Roman و همکاران، ۲۰۱۲؛ Simsek و Lichtenberg, ۲۰۱۶).

توسعه خاک در یک توالی پستی و بلندی متأثر از نفوذپذیری و زهکشی آب است (Moameni, ۱۹۹۴؛ Zinck, ۱۹۸۹؛ Huggett, ۲۰۰۷؛ Florinsky, ۲۰۱۲). در صورت عدم زهکشی و تولید رواناب سطحی، برداشت و نهشت ذرات پوسته زمین تقویت شده و سطوح ژئومورفیک ایجاد می‌شود. از دیدگاه نگرش سامانه‌ای و فرایندهای ایجاد سطوح ژئومورفیک، مطالعه دو فرایند فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Zinck, ۱۹۸۹؛ Huggett, ۲۰۰۷). حوزه آبخیز به قسمتی از خشکی‌ها گفته می‌شود که با توجه به شیب و شکل زمین آب‌ها در آن‌جا به پست‌ترین مکان موجود در پهنه آن جریان یابد (Huggett, ۲۰۰۷).

مدل رقومی زمین^۷ (DTM) در تشریح خصوصیات اراضی یک حوضه به واسطه عوامل ژئومورفومتریک توانمند است (Naderi Khorasgani و De Dapper, ۲۰۰۹؛ Arab و همکاران، ۲۰۰۹؛ Florinsky, ۲۰۱۲). DTM می‌تواند عوامل ژئومورفومتریک و شاخص رسوب^۸ را به‌صورت کمی

¹ Systemic view

² Basin or catchment

³ Systematic variation

⁴ Discrete

⁵ Continuous

⁶ Regression model

⁷ Digital Terrain Model (DTM)

⁸ Sediment index

⁹ Geographic Information System (GIS)

¹⁰ Digital Elevation Model (DEM)

¹¹ Interpolation

¹² Claypan

موجود در رابطه (۲) می‌تواند برخی تغییرات تجربی را با توجه به شرایط محلی بپذیرد (Hengal و همکاران، ۲۰۰۳).

چون اندازه‌گیری دبی رواناب و رسوب فقط از طریق ایستگاه هیدرومتری انجام می‌گیرد و اطلاعاتی در این زمینه از سرتاسر حوضه وجود ندارد، بنابراین، مقاله حاضر دو هدف دارد: (۱) تخمین دبی رواناب و رسوب در کل حوضه با استفاده از شاخص رسوب و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری و (۲) بررسی و شناخت اثرات برخی عوامل ژئومورفومتریک بر شاخص رسوب.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر فرایند مدل‌سازی DTM (شکل ۱) و سطوح AHP (جدول ۱)، استوار شده است (Li, Hoosbeek, ۱۹۹۸؛ Li, ۲۰۰۵).

سطح یک (برنامه‌ریزی) موقعیت جغرافیایی،

ویژگی زمین‌شناسی و هیدرولوژی: حوزه آبخیز بهادریگ به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های سیمینه‌رود مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). رودخانه اصلی این حوضه به همین نام از ارتفاعات الموقولاغ در غرب حوضه سیمینه‌رود سرچشمه می‌گیرد (Kia, ۲۰۰۰). این حوضه بین طول‌های جغرافیایی ۱۸' ۷" تا ۲۷' ۲۷" ۴۸° شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی ۲۶' ۴۸" تا ۳۴' ۰" ۳۵° شمالی با وسعت ۲۱۶/۶۹ کیلومتر مربع واقع شده است که از اتصال رودخانه‌های همه‌کسی و گمش‌بلاغ به‌وجود می‌آید. ایستگاه هیدرومتری بهادریگ بر روی رودخانه بهادریگ و در حوالی روستایی به همین نام بین طول جغرافیایی ۱۹' ۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۵۷' ۳۵° شمالی با ارتفاع متوسط ۱۷۹۰ متر از سطح دریا مستقر شده است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک در این حوضه به‌ترتیب زیریک^۵ و مزیک^۶ به‌دست آمده است (Takom, ۲۰۰۲).

تشکیلات زمین‌شناسی حوضه نیز شامل، (۱) مارن، (۲) متاریولیت‌ها و ایگنمبریت‌های دگرگون شده، (۳) آهن، (۴) شیست‌های آندولوزیت کارنت و سیلیمانیت-دار، (۵) دیوریت، (۶) شیل-اسلیت و شیست است که

منطقه کویر مرنجان داشته و می‌تواند طبقات اصلی را در یک سطح پیوسته با استفاده از DEM استخراج کند.

برای تهیه نقشه و داده‌های عوامل ژئومورفومتریک می‌توان از روش میانگین متحرک استفاده کرد که در نرم‌افزار ILWIS یک ابزار قوی برای عملیات سنجش زمین به حساب می‌آید (Hengal و همکاران، ۲۰۰۳؛ Shrestha, ۲۰۰۵؛ Arab و همکاران، ۲۰۰۹؛ Florinsky, ۲۰۱۲؛ Retsios, ۲۰۱۵). برای تهیه نقشه‌های تک‌خصوصیتی از عوامل ژئومورفومتریک، می‌توان از روش میانگین متحرک با فاصله معکوس^۱ استفاده کرد. تخمین‌گر فاصله معکوس می‌تواند به گونه‌ای تعدیل و تعمیم یابد که دامنه وسیع‌تری از برآوردها را انجام دهد (Malczewski, ۲۰۰۴؛ Arab و همکاران، ۲۰۰۹).

در DTM، سه شاخص رسوب تعریف شده است که از نظر فیزیکی فاقد واحد یکا بوده، فقط به ازای مقادیر عددی، شدت را نشان می‌دهد. (۱) ترکیب پستی و بلندی^۲ یا رطوبت زمین، (۲) قدرت رود^۳ و (۳) انتقال رسوب^۴. شاخص CTI یا WI نسبت بین شیب‌های موجود در حوضه را با توجه به تمرکز آب، نشان می‌دهد. شاخص SPI، قدرت جریان (نسبت حجم رواناب) را در نواحی با شیب زیاد و یا کم به نمایش می‌گذارد، حال آن که شاخص STI، نسبت میزان انتقال رسوب یا انعکاس قدرت فرسایشی و رسوب‌گذاری را در حوضه نشان می‌دهد (Hengal و همکاران، ۲۰۰۳؛ Yu و Chen, ۲۰۱۱). شاخص رسوب بر اساس روابط (۱، ۲ و ۳) محاسبه می‌شود (Hengal و همکاران، ۲۰۰۳).

$$SPI = A_f \cdot \tan \beta \quad (1)$$

$$STI = (A_f / 22.13)^{0.6} \cdot (\sin \beta / 0.0896)^{1.3} \quad (2)$$

$$CTI = \ln(A_f / \tan \beta) \quad (3)$$

که در آن، A_f مساحت حوزه آبخیز و β زاویه شیب نقطه تمرکز نسبت به افق می‌باشد. ضرایب

¹ Inverse Distance

² Compound Topographic or Wetness Index, CTI or WI

³ Power Stream Index, SPI

⁴ Sediment Transport Index, STI

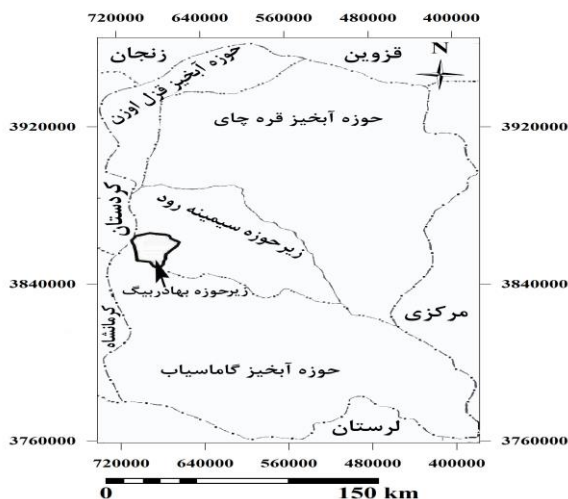
⁵ Xeric

⁶ Mesic

رسوب مقدار ۱۷۸/۳۴ تن در روز محاسبه شد (Kia, ۲۰۰۰). برای سال‌های ۱۹۹۳ الی ۲۰۱۵ (۲۳ ساله) متوسط دبی رواناب ۱/۵۳ متر مکعب بر ثانیه و دبی رسوب ۲۰۹/۷۹ تن در روز به دست آمد. برای سال‌های ۱۹۸۳ الی ۲۰۱۶ (۳۳ ساله برای رواناب و ۳۴ سال برای رسوب) با استفاده از میانگین‌گیری، مقدار دبی رواناب ۱/۸ متر مکعب بر ثانیه (۳۳ ساله) و دبی رسوب ۱۹۴/۰۶ تن در روز (۳۴ ساله) محاسبه شد.

جدول ۱- مقیاس سلسله مراتبی تحلیل برای مطالعات اراضی و خاک (Hoosbeek, ۱۹۹۸)

مقیاس	سطح مطالعه
I + 6	جهان
I + 5	قاره
I + 4	ناحیه
I + 3	حوضه
I + 2	کاتنا
I + 1	پلی پدان
I	پدان
I - 1	افق خاک
I - 2	ساختمان خاک
I - 3	ساختمان پایه
I - 4	تأثیر متقابل مولکولی



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی حوزه‌های آبخیز استان همدان و زیرحوضه بهادریبگ

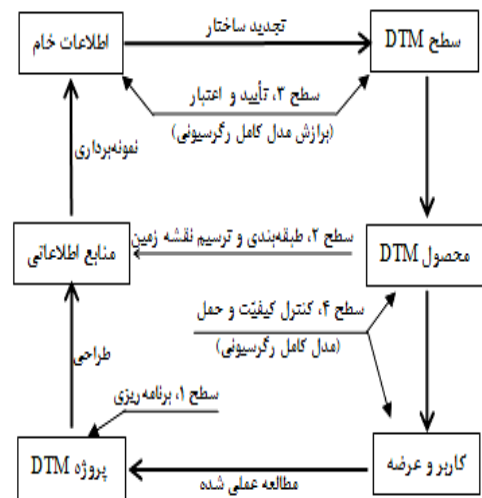
سطح دو (طبقه‌بندی و ترسیم نقشه‌های مربوطه): نقشه DEM و توپوگرافی حوضه مورد مطالعه با قدرت تفکیک مکانی مطلوب (۱۰ متر) از

از نظر شدت فرسایش‌پذیری به کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شود (Kia, ۲۰۰۰). با توجه به مساحت $(216/69 \text{ km}^2)$ و محیط $(69/430.7 \text{ km})$ حوضه در رابطه (۴)، ضریب کشیدگی^۱ برابر ۱/۳۲ بوده که بیان‌گر کشیده بودن حوضه است (Movahhed, Danesh, ۱۹۹۴).

$$Kc = 0.28P / \sqrt{A} \quad (4)$$

که در آن، Kc ضریب کشیدگی، P محیط و A مساحت حوضه است.

در حوضه بهادریبگ به‌طور متوسط ۳۷۰/۵ میلی‌متر نزولات جوی می‌بارد که بیشتر به‌صورت برف بوده، این بارش عمدتاً به‌صورت هرزآب‌های سطحی جریان یافته، قسمت ناچیزی از آن صرف نفوذ در لایه‌های زمین می‌شود (Bureau of Watershed Management Studies and Technical Services Administration Hamedan Province, ۱۹۹۹).



شکل ۱- فلوجارت فرایند مدل‌سازی DTM (Li, ۱۹۹۰, ۲۰۰۵)

داده‌های آماری دبی رسوب و دبی رواناب ایستگاه حوضه بهادریبگ که در طول سال‌های ۱۹۸۳ الی ۲۰۱۶ به‌وسیله سازمان امور آب استان همدان به روش اندازه‌گیری مستقیم تهیه شده بود، در دسترس قرار گرفت (Najmaei, ۱۹۹۰). برای حوزه آبخیز بهادریبگ از سال ۱۹۸۳ الی ۱۹۹۲ (۱۰ ساله)، متوسط دبی رواناب ۲/۱۰ متر مکعب بر ثانیه و دبی

^۱ Gravillius

دبی رواناب و رسوب ایستگاه هیدرومتری (سال ۱۹۸۳ الی ۲۰۱۶، جدول ۲) در شاخص قدرت رود (SPI_{ij}) و انتقال رسوب (STI_{ij})، دو متغیر مستقل و ترکیبی دبی رواناب جزیی^۸ (PRD_{ij}) و رسوب جزیی^۹ (PSD_{ij}) برای ۳۰ نقطه تمرکز به وسیله رابطه (۶) محاسبه شد (جدول ۳).

$$PRD_{ij} = SPI_{ij} \times SRD \quad (۶)$$

$$PSD_{ij} = STI_{ij} \times SSD$$

که در آن، دو نماد SRD و SSD به ترتیب میانگین دبی رواناب و رسوب ایستگاه هیدرومتری بهادریگ است (جدول ۲). ارقام تخمینی PRD و PSD که به وسیله مدل DTM به دست آمده است (جدول ۳)، نسبت به میانگین اندازه گیری شده در ایستگاه هیدرومتری (جدول ۲)، می تواند تخمین قابل قبولی برای دبی رواناب و رسوب جزیی حوزه آبخیز بهادریگ باشد (سال ۲۰۰۶ در جدول ۲، یک سال استثنایی است).

سطح چهار (کنترل کیفیت و ارایه مدل): پس از تخمین دبی رواناب و رسوب جزیی، برای دستیابی به هدف دوم پژوهش، ابتدا داده های حاصل از نقشه شاخص رسوب و عوامل ژئومورفومتریک (SPI_{ij} ، WI_{ij} ، STI_{ij} و LC_{ij})^{۱۰} به صورت لگاریتم اعشاری نرمال شد و سپس، روابط بین این دو به وسیله مدل کامل رگرسیونی در نرم افزار سس (۲۰۰۸) بر مبنای مقدار کمینه $|t| > pr$ و بیشینه آزمون t-value، تعیین شد (Wittink، ۱۹۸۸؛ Lichtenberg و Simsek، ۲۰۱۶).

نتایج و بحث

نقشه رقومی DEM برای حوزه بهادریگ به همراه آبراهه های سطحی و زیرسطحی بر اساس سامانه مختصات UTM ترسیم شد (شکل ۳) و پس از رتبه بندی در DTM و دریافت مقادیر WI_{ij} ، SPI_{ij} ، STI_{ij} و LC_{ij} ، مدل کامل رگرسیونی بین شاخص رسوب و عوامل ژئومورفومتریک برای شناخت اثرات بین این دو، برازش شد. در مدل کامل رگرسیونی فقط بین شاخص رسوب (متغیر وابسته) و برخی

سازمان نقشه برداری استان همدان تهیه و پس از ژئورفرنس، نقشه های رقومی SPI، STI و WI با رتبه بندی آبراهه (روش Strahler) به وسیله DTM ترسیم شد. نقشه برخی از عوامل ژئومورفومتریک همچون شیب کل آبراهه^۱، طول کل آبراهه^۲، شیب و طول آبراهه مستقیم^۳، ضریب افت آبراهه^۴، پیچ و خم آبراهه^۵، ارتفاع پایین دست آبراهه^۶ نیز با استفاده از روش میانگین متحرک (آمار گسسته) با رتبه بندی آبراهه در نرم افزار ILWIS نسخه ۳/۳ (Shrestha، ۲۰۰۵؛ Retsios، ۲۰۰۷، ۲۰۱۵) ترسیم شد (۱۰۸۰ مشاهده). به دلیل کاهش حجم مقاله، نقشه های عوامل ژئومورفومتریک در هر رتبه حذف شده است. رتبه بندی ($i = 1, 2, 3, 4$) بر اساس کمینه طول آبراهه (۳۵۰ متر) تعیین شد. تعداد ۳۰ نقطه تمرکز رسوب ($j = 1, 2, \dots, 30$) به صورت یک آرایه ریاضی در نظر گرفته شد (رابطه ۵).

$$R = \{LC_{ij}\} = \begin{matrix} LC_{11} & LC_{12} & \dots & LC_{130} \\ LC_{21} & LC_{22} & \dots & LC_{230} \\ LC_{31} & LC_{32} & \dots & LC_{330} \end{matrix} \quad (۵)$$

که در آن، LC خصوصیت زمین است (عوامل ژئومورفومتریک).

سطح سه (برازش مدل کامل رگرسیونی):

مدل های رگرسیونی (آمار پیوسته) نقش مهمی در شناخت و بررسی عوامل مؤثر بر فرایندها در یک حوزه آبخیز دارد (Roman و همکاران، ۲۰۱۲؛ Lichtenberg و Simsek، ۲۰۱۶؛ Jalalian و همکاران، ۲۰۱۵؛ Naderi Khorasgani و Karimi، ۲۰۰۷). برازش مدل رگرسیونی ($y = \beta X$) با آرایه های دو بعدی شاخص رسوب ($y = SPI_{ij}, STI_{ij}, WI_{ij}$) و X به عنوان برخی عوامل ژئومورفومتریک (LC) حاصل از نقشه های تک خصوصیتی که به وسیله نرم افزار SAS نسخه ۹،۲ (۲۰۰۸) انجام گرفت. برای افزایش حدود اطمینان مدل کامل رگرسیونی^۷، با ترکیب میانگین

¹ Slope Along Drainage (SAD)

² Total Length (TL)

³ Slope Drainage Straight (SDS) and Straight Length (SL)

⁴ Elevation Difference (ED)

⁵ Sinuosity, Sinuous

⁶ Down Stream Elevation (DSE)

⁷ Full regression model

⁸ Partial Run off Discharge (PRD)

⁹ Partial Sediment Discharge (PSD)

¹⁰ Land Characteristic (LC)

سه، ورود متغیر دبی رسوب جزئی (PSD) با رابطه مستقیم در مدل ارجحیت پیدا کرد (جدول ۴). برای رتبه چهار پس از PSD با رابطه مستقیم، SAD با رابطه معکوس، ارجحیت ورود به مدل را پیدا کرد (جدول ۴).

شاخص رسوب STI برای رتبه‌های یک، دو و سه فقط با دبی رواناب جزئی (PRD) با رابطه مستقیم و معنی‌داری در سطح آماری یک درصد وارد مدل شد، حال آن که در رتبه چهار، پس از PRD، SAD با رابطه مستقیم، پیچ و خم آبراهه (Sinuous) با رابطه معکوس اهمیت و اولویت ورود به مدل را پیدا کرد (جدول ۴).

عوامل ژئومورفومتریک به همراه دبی رواناب و رسوب جزئی (متغیر مستقل)، روابط آماری معنی‌داری به- دست آمد (جدول ۴).

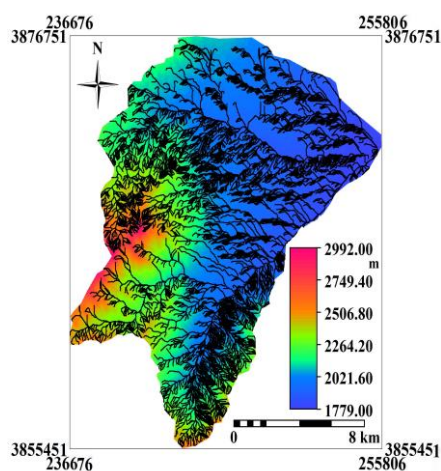
جدول ۴ نشان می‌دهد که شاخص قدرت رود (SPI) در چهار رتبه آبراهه، نتایج متفاوتی داشت. شاخص SPI برای رتبه یک، دو و چهار در سطح آماری یک درصد و رتبه سه در سطح آماری دو و نیم درصد، معنی‌دار شد. در رتبه یک پس از ورود دبی رسوب جزئی (PSD) با رابطه مستقیم به مدل، به- ترتیب اهمیت، شیب آبراهه مستقیم (SDS) با رابطه مستقیم، شیب کل آبراهه (SAD) با رابطه معکوس و طول آبراهه مستقیم (SL) با رابطه مستقیم در اولویت بعدی قرار گرفت. حال آن که برای رتبه دو و

جدول ۲- میانگین دبی سالیانه رواناب (SRD) و رسوب (SSD) ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز بهادریبگ

سال*	دبی رواناب ($m^3 s^{-1}$)	دبی رسوب ($ton day^{-1}$)
۱۹۹۳	۲/۶۲	۱/۳۸
۱۹۹۴	۵/۴۰	۲۸۹/۱۳
۱۹۹۵	۳/۳۵	۵۷۶/۹۲
۱۹۹۶	۰/۸۰	۲۳/۶۵
۱۹۹۷	۱/۵۸	۸۶/۶۷
۱۹۹۸	۰/۳۵	۲/۳۰
۱۹۹۹	۰/۲۲	۹۷/۸۸
۲۰۰۰	۰/۳۲	۲۲۰/۹۷
۲۰۰۱	۱/۰۰	۸۱/۴۶
۲۰۰۲	۱/۹۰	۶/۳۲
۲۰۰۳	۱/۷۸	۱۰۵/۹۳
۲۰۰۴	۱/۹۶	۴۷/۶۵
۲۰۰۵	۲/۲۵	۲۵۲/۱۱
۲۰۰۶	۲/۷۹	۲۳۵۵/۸۹
۲۰۰۷	۰/۷۲	۷/۳۲
۲۰۰۸	۰/۲۹	۶/۳۰
۲۰۰۹	۱/۷۲	۲۶/۴۴
۲۰۱۰	۱/۰۴	۱۳/۸۹
۲۰۱۱	۱/۹۶	۰/۱۰
۲۰۱۲	۰/۲۸	۰/۸۴
۲۰۱۳	۱/۴	۱۵/۳۲
۲۰۱۴	۰/۳۲	۱/۴۲
۲۰۱۵	۱/۱۲	۲۱۸/۵۲
۲۰۱۶	-	۳۸۷/۰۴

جدول ۳- تخمین دبی رواناب جزئی (PRD_{ij}) بر حسب m³s⁻¹ و دبی رسوب جزئی (PSD_{ij}) بر حسب ton day⁻¹ حوزه آبخیز بهادریگ

Rank _{ij}	PRD1	PSD1	Rank _{2j}	PRD2	PSD2	Rank _{3j}	PRD3	PSD3	Rank _{4j}	PRD4	PSD4
۱.۱	۸/۹	۵۱۰/۲	۲.۱	۳/۱	۱۵۰	۳.۱	۷/۲	۱۴۹/۹	۱.۴	۴/۱	۷۸/۵
۱.۲	۱۳/۴	۷۶۶/۶	۲.۲	۳/۴	۱۲۵/۸	۳.۲	۱/۱	۱/۲	۲.۴	۲/۷	۱۰۰/۴
۱.۳	۵/۴	۶۶/۳	۲.۳	۷/۴	۱۵۹/۸	۳.۳	۳/۰	۱۳۱/۹	۳.۴	۲/۷	۱۰۰/۴
۱.۴	۱/۱	۱/۲	۲.۴	۹/۹	۵۸۶/۱	۳.۴	۹/۹	۵۳۰/۴	۴.۴	۵/۸	۱۹۸/۵
۱.۵	۱/۹	۵/۳	۲.۵	۸/۵	۴۰۶/۱	۳.۵	۳/۹	۱۴۶/۷	۵.۴	۶/۳	۲۶۳/۳
۱.۶	۷/۹	۳۷۶/۱	۲.۶	۴/۶	۱۷۴/۹	۳.۶	۱/۷	۴/۵	۶.۴	۳/۷	۲۱۷/۰
۱.۷	۴/۰	۲۵۳/۵	۲.۷	۲/۸	۱۰۶/۸	۳.۷	۲/۷	۹۴/۳	۷.۴	۱/۰	۳/۶
۱.۸	۲/۹	۸۵/۳	۲.۸	۹/۸	۵۶۰/۰	۳.۸	۲/۴	۶۵/۹	۸.۴	۶/۵	۲۴۱/۳
۱.۹	۲/۳	۵۴/۱	۲.۹	۳/۱	۱۴۱/۱	۳.۹	۲/۴	۶۹/۳	۹.۴	۹/۶	۳۹۳/۲
۱.۱۰	۴/۷	۲۸۸/۹	۲.۱۰	۳/۳	۱۵۹/۴	۳.۱۰	۲/۸	۱۰۰/۴	۱۰.۴	۶/۹	۳۲۶/۶
۱.۱۱	۳/۵	۱۸۴/۳	۲.۱۱	۷/۹	۱۸۹/۳	۳.۱۱	۲/۸	۱۰۶/۸	۱۱.۴	۳/۶	۲۰۲/۹
۱.۱۲	۴/۳	۱۸۲/۴	۲.۱۲	۹/۵	۵۷۷/۵	۳.۱۲	۳/۰	۱۲۹/۵	۱۲.۴	۵/۹	۲۶۵/۴
۱.۱۳	۱۱/۵	۷۰۷/۸	۲.۱۳	۳/۵	۱۵۸/۱	۳.۱۳	۹/۴	۴۸۶/۳	۱۳.۴	۹/۴	۳۷۹/۹
۱.۱۴	۶/۲	۳۷۰/۲	۲.۱۴	۴/۹	۲۵۰/۹	۳.۱۴	۳/۲	۱۴۸/۹	۱۴.۴	۶/۳	۳۴۴/۳
۱.۱۵	۶/۰	۲۲۹/۹	۲.۱۵	۲/۰	۶/۳	۳.۱۵	۳/۳	۱۶۲/۵	۱۵.۴	۳/۹	۲۰۴/۹
۱.۱۶	۷/۶	۲۶۹/۶	۲.۱۶	۱/۹	۲۸/۷	۳.۱۶	۴/۳	۲۲۳/۱	۱۶.۴	۲/۷	۱۰۰/۴
۱.۱۷	۸/۷	۵۲۶/۱	۲.۱۷	۶/۷	۲۷۱/۱	۳.۱۷	۱/۱	۱/۲	۱۷.۴	۳/۶	۱۷۲/۴
۱.۱۸	۱/۲	۱/۹	۲.۱۸	۵/۹	۲۷۰/۱	۳.۱۸	۷/۴	۳۸۸/۹	۱۸.۴	۳/۴	۹۰/۲
۱.۱۹	۳/۲	۱۴۹/۱	۲.۱۹	۸/۷	۴۷۰/۳	۳.۱۹	۳/۵	۱۸۸/۲	۱۹.۴	۲/۹	۱۲۸/۸
۱.۲۰	۷/۶	۴۹۰/۳	۲.۲۰	۷/۴	۳۸۱/۰	۳.۲۰	۱۰/۲	۵۲۹/۰	۲۰.۴	۲/۶	۹۴/۳
۱.۲۱	۲/۸	۱۰۶/۸	۲.۲۱	۱۰/۱	۵۳۳/۸	۳.۲۱	۴/۵	۱۹۶/۵	۲۱.۴	۲/۷	۱۰۰/۴
۱.۲۲	۷/۷	۴۶۳/۵	۲.۲۲	۷/۸	۴۰۱/۴	۳.۲۲	۶/۵	۴۰۴/۲	۲۲.۴	۵/۴	۳۳۹/۶
۱.۲۳	۷/۸	۴۵۲/۶	۲.۲۳	۵/۲	۳۳۱/۶	۳.۲۳	۳/۹	۱۲۵/۸	۲۳.۴	۱۱/۰	۶۰۹/۶
۱.۲۴	۴/۳	۱۴۷/۴	۲.۲۴	۵/۶	۲۳۶/۶	۳.۲۴	۳/۴	۱۰۴/۵	۲۴.۴	۱/۳	۱۷/۰
۱.۲۵	۵/۴	۲۶۵/۱	۲.۲۵	۳/۳	۱۵۸/۸	۳.۲۵	۹/۸	۵۲۳/۳	۲۵.۴	۳/۳	۱۶۴/۱
۱.۲۶	۹/۹	۵۷۶/۴	۲.۲۶	۷/۵	۳۶۱/۲	۳.۲۶	۹/۴	۵۰۴/۷	۲۶.۴	۵/۹	۳۷۴/۷
۱.۲۷	۶/۸	۲۱۶/۱	۲.۲۷	۱/۵	۱۱/۲	۳.۲۷	۲/۵	۹/۴	۲۷.۴	۱۳/۰	۷۵۴/۸
۱.۲۸	۲/۵	۷۵/۹	۲.۲۸	۹/۹	۵۸۵/۲	۳.۲۸	۵/۲	۲۸۸/۶	۲۸.۴	۲/۷	۱۰۰/۴
۱.۲۹	۳/۰	۹۹/۵	۲.۲۹	۹/۲	۲۶۴/۸	۳.۲۹	۴/۳	۲۸۱/۹	۲۹.۴	۲/۶	۹۴/۳
۱.۳۰	۴/۸	۲۲۰/۴	۲.۳۰	۴/۶	۲۷۴/۸	۳.۳۰	۳/۴	۱۷۳/۶	۳۰.۴	۱۲/۶	۷۱۱/۵



شکل ۳- نقشه DEM حوزه آبخیز بهادریگ به همراه رتبه آبراهه‌های سطحی و زیرسطحی

شاخص رطوبت WI برای چهار رتبه آبراهه، نشان داد که از بین متغیرهای مستقل، فقط دو عامل PRD (رابطه مستقیم) و PSD (رابطه معکوس) به ترتیب، تفاوت بسیار معنی‌داری بر WI داشت، حال آن که در رتبه یک و چهار پس از PRD و PSD، به ترتیب عامل ژئومورفومتریک DSE و SAD با رابطه معکوس ارجحیت پیدا کرد (جدول ۴). به طور کلی، در روابط پیوسته آماری، دو متغیر ترکیبی دبی رواناب و رسوب جزئی PRD و PSD اثر بسیار معنی‌داری بر شاخص‌های رسوب داشت و سطح احتمال مدل را به شدت افزایش داد (جدول ۴).

جدول ۴- مدل کامل رگرسیونی حاصل از عوامل ژئومورفومتریک و شاخص‌های رسوب برای ۳۰ تکرار در چهار رتبه آبراهه

شاخص رسوب	مدل رگرسیون (مدل کامل)	ضریب تشخیص R ²	آزمون F
SPI ₁	$SPI1 = -28/25 + 2/0.8PSD + 17/0.SDS - 18/6SAD + 22/7SL$	۰/۷۴۲۵	۷/۵۷***
SPI ₂	$SPI2 = 16/5 + 2/2PSD$	۰/۷۷۳۹	۸/۹۹***
SPI ₃	$SPI3 = -863/1 + 1/8 PSD$	۰/۶۶۲۴	۵/۱۵**
SPI ₄	$SPI4 = -526/5 + 2/8PSD - 9/1SAD$	۰/۷۳۶۴	۷/۳۳***
STI ₁	$STI1 = -79/0 + 2/1 PRD$	۰/۸۳۹۲	۱۳/۷***
STI ₂	$STI2 = 14/6 + 3/6PRD$	۰/۷۷۷۶	۹/۱۸***
STI ₃	$STI3 = 40/1 + 2/0PRD$	۰/۹۱۹۸	۳۰/۱***
STI ₄	$STI4 = -166/0 + 3/2PRD + 645/5SAD - 646/1Sinuos$	۰/۸۳۴۱	۱۳/۲***
WI ₁	$WI1 = 4/1 + 1/16PRD - 0/37PSD - 0/75DSE$	۰/۹۵۵۵	۴۷/۷۶***
WI ₂	$WI2 = -0/62 + 1/3PRD - 0/45PSD$	۰/۹۵۴۷	۴۶/۹۱***
WI ₃	$WI3 = 27/6 + 1/2PRD - 0/38PSD$	۰/۹۶۹۶	۷۰/۹۴***
WI ₄	$WI4 = -7/2 + 1/4PRD - 0/62PSD - 0/42SAD$	۰/۹۶۶۷	۶۴/۵۹***

مدل کامل رگرسیونی بر اساس مقادیر کمینه $|t| > pt$ و بیشینه آزمون t value برازش شده و متغیرها بر حسب لگاریتم اعشاری به دست آمده است. WI شاخص رطوبت؛ SPI شاخص قدرت رود؛ STI شاخص انتقال رسوب؛ PRD دبی رواناب جزئی (m^3s^{-1})؛ PSD دبی رسوب ($tonday^{-1}$)؛ SDS شیب آبراهه مستقیم (%); SAD شیب کل آبراهه (%); DSE ارتفاع پایین دست آبراهه (m). SL طول آبراهه مستقیم؛ Sinuous پیچ و خم آبراهه. * و ** و *** به ترتیب در سطح آماری ۱/۵ و ۱ و درصد معنی دار است.

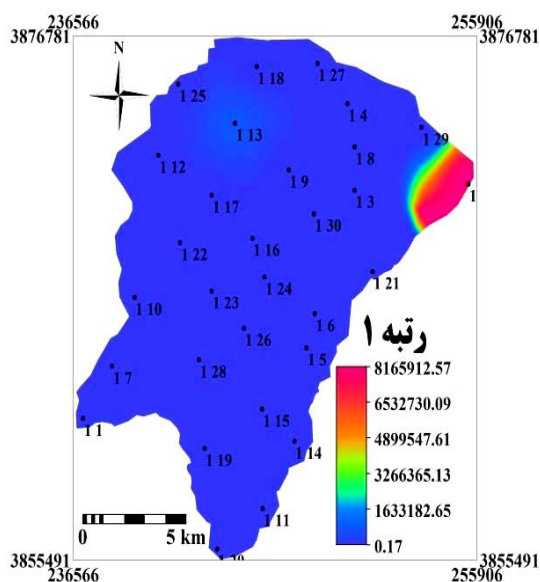
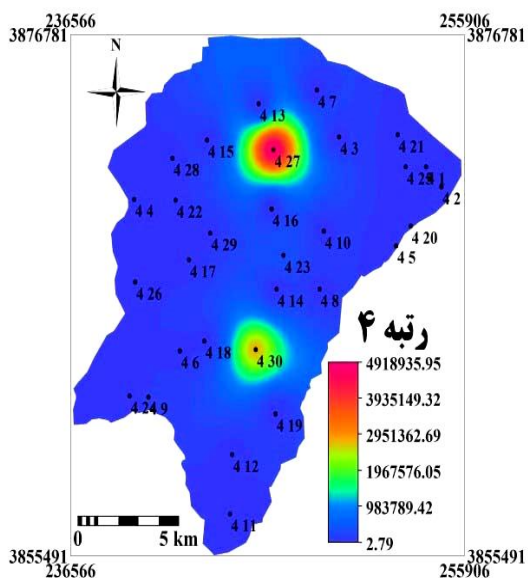
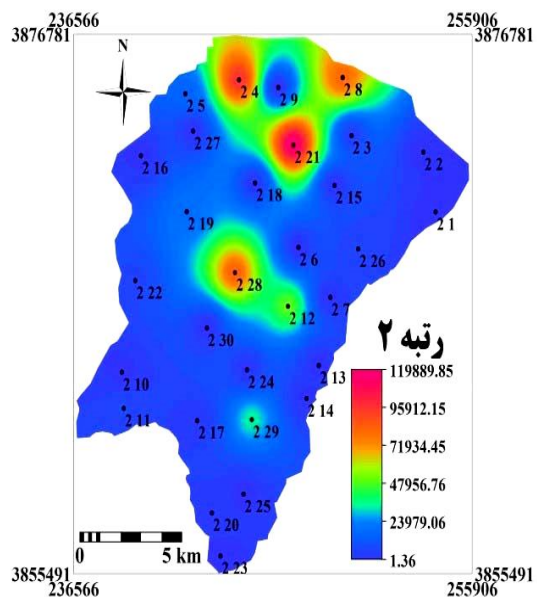
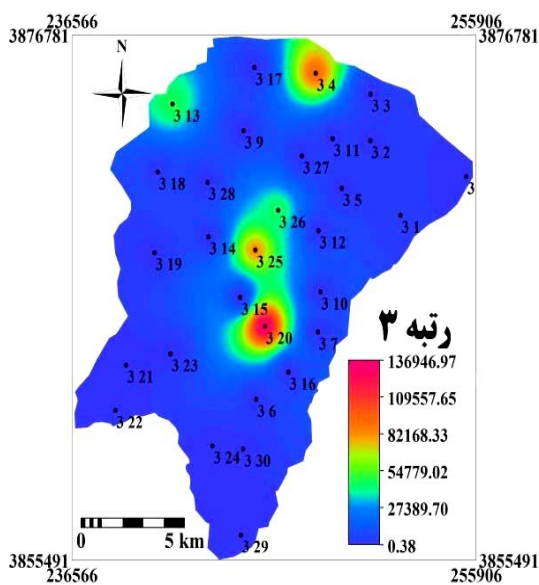
سرعت رواناب افزایش یافته و بنابراین، حجم رواناب کاهش می‌یابد. در نواحی پست به علت کم شدن شیب و جنس سنگ با درجه رسوب‌زایی متوسط تا زیاد موجب افزایش سطح مقطع آبراهه شده و سرعت رواناب کاهش می‌یابد و بنابراین، حجم رواناب زیاد می‌شود.

نقشه‌های رقومی شاخص STI در شکل ۵ به نمایش گذاشته شده است. نقشه‌های رقومی شاخص STI، مشابه SPI به دست آمد (شکل ۵- الف و ب). در واقع در حوضه بهادریگ شاخص انتقال رسوب (STI) از شاخص قدرت رود (SPI) پیروی کرد، با این تفاوت که برای رتبه یک آبراهه، میزان STI علاوه بر این که در نزدیکی ایستگاه هیدرومتری که بالاترین شدت را داشت، در نزدیکی شمال غرب نیز با شدت نسبتاً قابل قبولی به دست آمد (شکل ۴ و ۵- الف). شاخص STI نیز تابع تشکیلات زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه بوده، مشابه شاخص SPI در شرایطی که سرعت رواناب در نواحی کوهستانی حوضه زیاد می‌شود، میزان انتقال رسوب کاهش یافته، هنگامی که سرعت رواناب در نواحی هموار حوضه کم می‌شود، میزان انتقال رسوب افزایش می‌یابد.

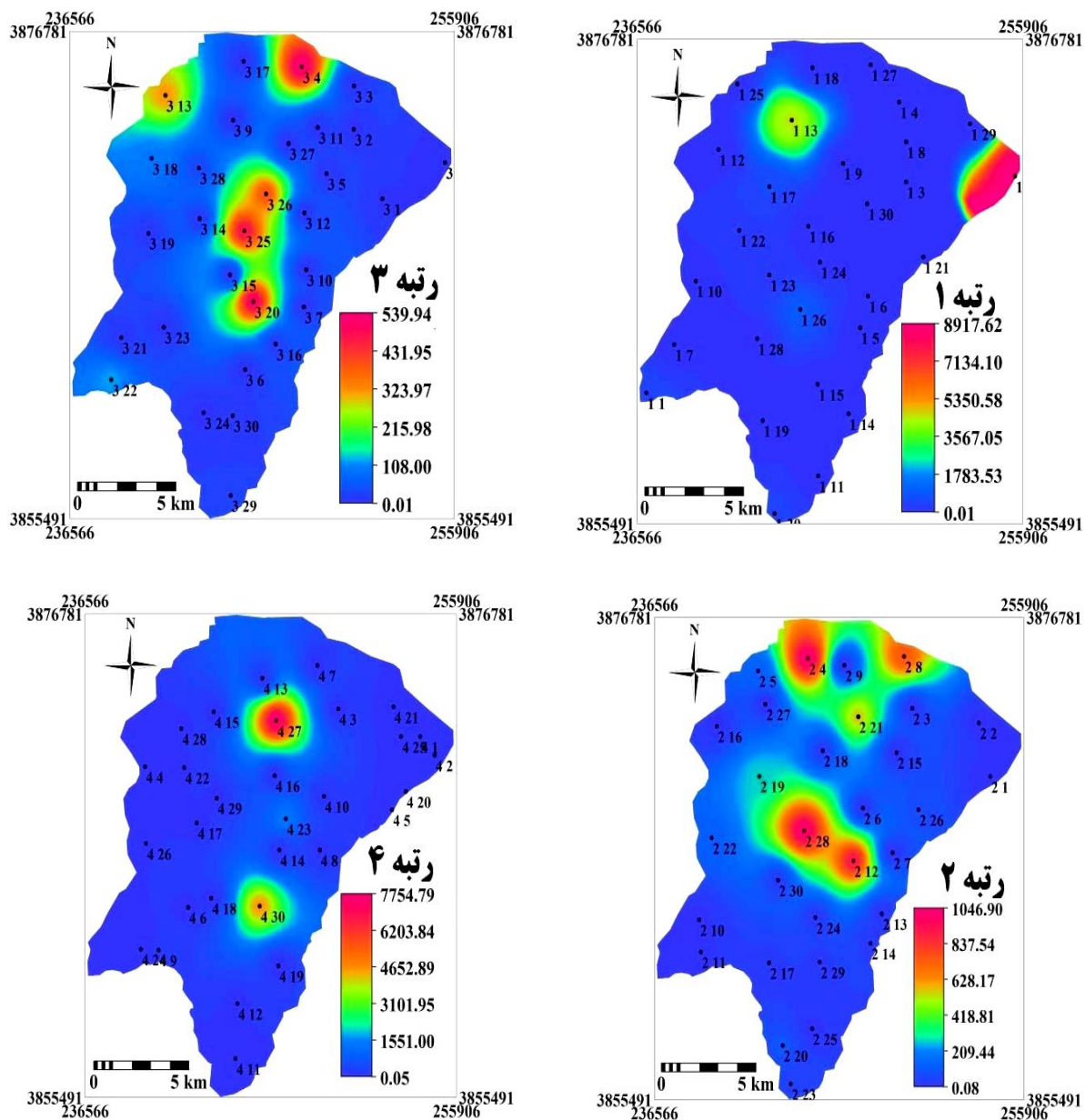
پس از نتایج پیوسته آماری، نقشه رقومی شاخص رسوب SPI، STI، WI و عوامل ژئومورفومتریک به وسیله روش میانگین متحرک با فاصله معکوس ترسیم شد. نقشه‌های رقومی شاخص SPI در شکل ۴- الف و ب نشان داد که شاخص قدرت رود (SPI) برای رتبه یک آبراهه در خروجی حوضه نزدیک ایستگاه هیدرومتری، بیشترین شدت را داشت (شمال شرق حوضه با شدت ۸۱۶۵۹۱۲/۵۷)، حال آن که برای رتبه دو بالاترین میزان SPI به مرکز و شمال حوضه منتهی می‌شود (شکل ۴- الف با شدت ۱۱۹۸۸۹/۸۵). رتبه سه نیز مشابه رتبه دو، میزان SPI در مرکز و شمال حوضه و همچنین، میزان کمتری در شمال غرب مشاهده شد (شکل ۴- ب با شدت ۱۳۶۹۴۶/۹۷). برای رتبه چهار، میزان SPI در نواحی بالا و پایین مرکز حوضه مشاهده شد (شکل ۴- ب با شدت ۷۷۵۴/۷۹). بنابراین، میزان SPI در نواحی پست‌تر حوضه بهادریگ اوج بیشتری دارد (شکل ۴- الف و ب). احتمالاً تشکیلات زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه می‌تواند بر این میزان شدت اثرگذار باشد. در نواحی کوهستانی حوضه به علت شیب زیاد و جنس سنگ با درجه رسوب‌زایی کم تا متوسط سبب کاهش سطح مقطع آبراهه شده و

بیشترین شدت WI به ترتیب در رتبه یک (خروجی حوضه یا ایستگاه هیدرومتری) و رتبه دو مشاهده شد (شکل ۵-الف). به هر حال، شاخص رطوبت (WI) از شرایط یا روند خاصی برای چهار رتبه در حوضه بهادریگ تبعیت نکرد و احتمالاً تابع تشکیلات زمین‌شناسی و نفوذپذیری است. (شکل ۵-الف و ب).

نقشه‌های رقوم‌ی شاخص رطوبت WI در شکل ۶ نشان داده شده است. اساساً شاخص WI در سرتاسر حوضه تابع خصوصیات ژئومورفومتریک و تشکیلات زمین‌شناسی آن با شدت‌های کم و بیش می‌باشد (شکل ۵-الف و ب). شاخص WI برای رتبه دو آبراهه، بیشترین وسعت و برای رتبه چهار، کمترین مساحت را در حوضه پوشش داد و همچنین،



شکل ۴- نقشه شاخص SPI، الف) رتبه‌های یک و دو و ب) رتبه‌های سه و چهار



شکل ۵- نقشه شاخص STI، الف) رتبه‌های یک و دو و ب) رتبه‌های سه و چهار

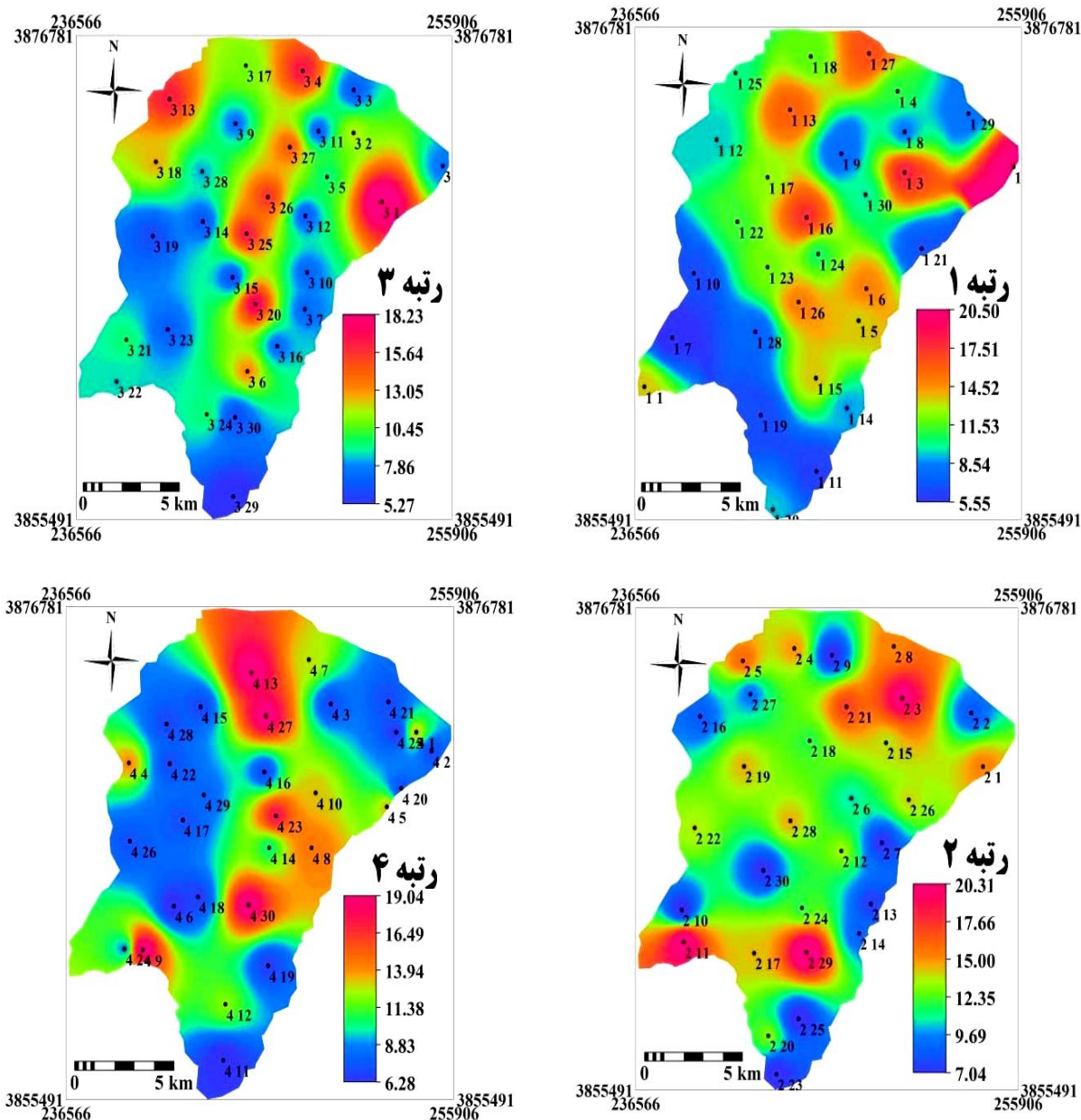
ژئومورفومتریک و شاخص رسوب می‌باشد. حال آن‌که در مقاله، Arab و همکاران (۲۰۰۹) مطالعه بین برخی از سطوح ژئومورفیک با خاک از طریق مدل‌سازی DTM و شاخص رسوب، انجام گرفته است.

مدل کامل رگرسیونی و همچنین، نقشه‌های رقمی شاخص رسوب در این پژوهش، نشان داد که میزان دبی رواناب و رسوب جزئی نقش بسزایی در معنی‌دار شدن مدل برای حوزه آبخیز بهادریگ داشت و سپس، عوامل ژئومورفومتریک همچون شیب آبراهه مستقیم، شیب کل آبراهه، طول آبراهه مستقیم، پیچ و خم و ارتفاع پایین‌دست آبراهه در اولویت بعدی قرار

نتایج کلی این بخش با نتایج Arabkhedri و Zargar (۱۹۹۶)، Florinsky (۲۰۱۲)، Wilson (۲۰۱۱)، Hengel و Reuter (۲۰۰۹) و Pike و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. همچنین، نتایج کلی به‌دست آمده از مدل‌های رگرسیونی با مقالات Jalalian و همکاران (۲۰۱۵)، Naderi Khorasgani و Arab (۲۰۰۸) و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت، لیکن بحثی در ارتباط با تخمین رسوب وجود ندارد. نتایج مقالات Jalalian و همکاران (۲۰۱۵) و Naderi Khorasgani و Karimi (۲۰۰۸) نیز بیشتر معطوف به بررسی رابطه بین خصوصیات خاک با برخی از عوامل

ترسیم شد (شکل ۷). نتایج این دو نمودار نشان داد که روند تغییرات دبی رواناب در حوضه با یک شیب تندی رو به کاهش بوده، در حالی که روند دبی رسوب با وجود افزایش ناگهانی سال ۲۰۰۶، از دبی رواناب پیروی نمی کند و احتمالاً یک روند ثابتی دارد (شکل ۷).

گرفت. نتایج Kia (۲۰۰۰) نیز در ارتباط با تخمین رسوب به وسیله معادلات رگرسیون در حوضه سیمینه- رود همدان با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در انتها، روند تغییرات دبی رواناب و رسوب حوزه آبخیز بهادریگ (جدول ۲) تابع یک سری زمانی طی سال‌های ۱۹۹۳ الی ۲۰۱۶ (۲۴ سال) به صورت نمودار



شکل ۶- الف) نقشه شاخص WI، رتبه‌های یک و دو و ب) رتبه‌های سه و چهار

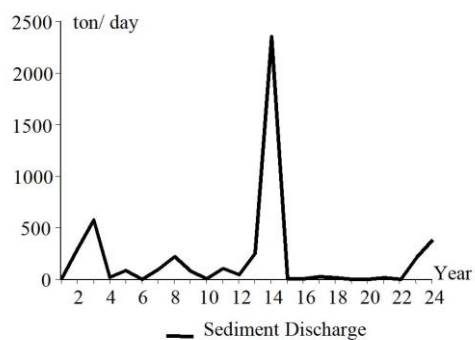
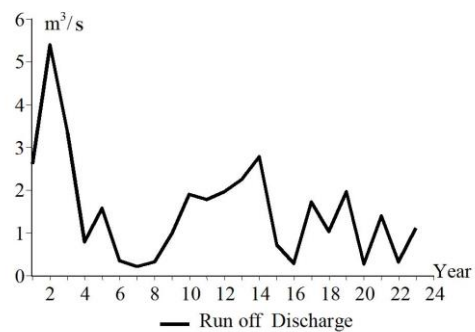
و باغات، سبب علت عدم تطابق روند تغییرات دبی رواناب با دبی رسوب به حساب آید، در هر حال احتمالاً عملیات آبخیزداری در حوضه سبب شده تا

با توجه به کاهش میزان دبی رواناب در حوزه آبخیز بهادریگ، شاید مسئله فعالیت انسانی همچون شخم موازی شیب، ایجاد بندهای خاکی، سنگی و انحراف آب برای مصارف جویبارهای کوچک در مزارع

ژئومورفومتریک همچون شیب کل آبراهه (SAD)، شیب آبراهه مستقیم (SDS)، ارتفاع پایین دست آبراهه (DSE)، طول آبراهه مستقیم (SL) و پیچ و خم آبراهه (sinuous) از مهمترین عوامل مؤثر بر شاخص‌های رسوب شناخته شد. با ترکیب میزان شاخص رسوب حاصل از مدل رقومی زمین با میانگین دبی رواناب و رسوب حاصل از ایستگاه هیدرومتری، می‌توان یک تخمین‌گر نقطه‌ای از دبی رواناب (PRD) و رسوب (PSD) در حوضه به دست آورد که در بررسی روند تغییرات روابط بین عوامل ژئومورفومتریک و شاخص رسوب قابل استفاده باشد. پایش نقشه‌های رقومی نشان داد که در مجموع، از ارتفاعات به سمت نواحی پست (خروجی حوضه یا ایستگاه هیدرومتری در شمال شرقی، شمال، شمال غرب و مرکز حوضه آبخیز بهادریگ) شاخص قدرت رود و انتقال رسوب افزایش می‌یابد، به نحوی که در نواحی کوهستانی که شیب افزایش می‌یابد، سرعت رواناب زیاد شده و در نتیجه حجم رواناب و میزان انتقال رسوب کاهش می‌یابد، برخلاف نواحی مرتفع، در مناطق پست و هموار با کاهش شیب، سرعت رواناب کم شده و در نتیجه حجم رواناب و میزان انتقال رسوب افزایش می‌یابد. رطوبت زمین که تابع ترکیب پستی و بلندی زمین می‌باشد، بسته به خصوصیات زمین‌شناسی اراضی از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. تخمین دبی رواناب و رسوب جزئی با استفاده از مدل رقومی زمین (WI و STI, SPI) مقادیر نسبتاً قابل قبولی برای ۳۰ نقطه تمرکز در هر رتبه پیش‌بینی کرد، به نحوی که بتوان دبی رواناب و رسوب جزئی هر نقطه از حوضه را با استفاده از مدل رقومی زمین تخمین زد.

در خاتمه، با استفاده از اطلاعات ۲۳ و ۲۴ ساله ایستگاه هیدرومتری نشان داده شد که روند تغییرات دبی رسوب از دبی رواناب تبعیت نمی‌کند و شاید علت عدم تطابق این دو مربوط به عوامل دیگری همچون فعالیت نامتعارف انسان در مدیریت حوضه مرتبط باشد که بعد از سال ۲۰۰۶، به وسیله عملیات مطلوب آبخیزداری میزان دبی رسوب به شدت کاهش پیدا کرده است.

در سال ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۴ نسبت به سال‌های قبل به شدت دبی رسوب کاهش پیدا کند (Takom, ۲۰۰۲).



شکل ۷- نرخ دبی رواناب (۱۹۹۳ الی ۲۰۱۵، ۲۳ سال) و دبی رسوب حوضه آبخیز بهادریگ (۱۹۹۳ الی ۲۰۱۶، ۲۴ سال)

نتیجه‌گیری

از نظر نگرش سیستمی، وقتی مطالعات اراضی و خاک در سطح مقیاس حوضه و بر اساس AHP باشد، نتایج پژوهش واقع‌گرا خواهد شد. حوضه آبخیز بهادریگ شامل مناطق کوهستانی، تپه‌ای، پای-کوهی^۱ و دشت است. با توجه به شکل کشیده حوضه و متوسط ۳۷۰/۵ میلی‌متر نزولات جوی که به صورت برف می‌باشد، جریان آب عمدتاً به صورت هرزآب‌های سطحی جریان یافته و قسمت ناچیزی از آن صرف نفوذ در لایه‌های زمین می‌شود. در این راستا مدل رقومی زمین توانایی بالایی در پایش^۲ و بررسی برخی عوامل ژئومورفومتریک با شاخص رسوب حوضه را دارد.

در حوضه آبخیز بهادریگ برخی عوامل

¹ Piedmont

² Monitoring

پیشنهادهات

معنی‌داری دارد و بنابراین، توصیه می‌شود، پژوهشگران کاربرد این مدل را برای حوزه‌های آبخیز دیگر در کشور آزمون کنند.

این پژوهش نشان داد که مدل رقومی زمین در تخمین دبی رواناب و رسوب جزئی و بررسی برخی از عوامل ژئومورفومتریک بر شاخص رسوب توانایی

منابع مورد استفاده

1. Arab, S. 2016. Theoretical foundations of conventional land evaluation for undergraduate and graduate students in agricultural and natural resources. Publication of Light Emission, 375 pages (in Persian).
2. Arab, S. 2012. The Relationship between soil and land forms and land suitability evaluation Jooneghan Chaharmahal and Bakhtiari Province for rainfed wheat using different methods and predicting its potential. PhD Thesis, University of Shahrekord, 242 pages (in Persian).
3. Arab, S., M. Naderi Khorasgani and J. Givi. 2009. Analysis landscape and digital terrain modeling using geomorphic surfaces in the central part of the Zagros Mountain. Agricultural Research: Water, Soil and Plants, 2: 89-75 (in Persian).
4. Arab Khedri, M. and A. Zargar. 1996. Regression model estimation of watershed sediment in Northern Alborz. Proceedings of National Seminar on Erosion and Sediment, Department of Watershed Management, Jihad Sazandegi, 3: 418-403 (in Persian).
5. Bureau of Watershed Management Studies and Technical Services Administration Hamedan Province. 1999. Executive project studies Taji-Abad Basin (Bahadorbeyg). Jihad Organization of Hamedan Province, 335 pages (in Persian).
6. Chen, C-Y. and F.C. Yu. 2011. Morphometric analysis of debris flows and their source area using GIS. Geomorphology, 129: 387-397.
7. Esmaili, R. and R. Shokati. 2015. Using logistic regression to evaluate the sensitivity of gully erosion in the Salavat Basin of Kurdistan. 20: 91-104 (in Persian).
8. Florinsky, I.V. 2012. Digital terrain analysis in soil science and geology. Academic Press, 375 pages.
9. Hengel, T., S. Gruber and D.P. Shrestha. 2003. Digital terrain analysis in ILWIS. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 56 pages.
10. Hengel, T. and H.I. Reuter. 2009. Geomorphometry: concepts, software, applications. Amsterdam: Elsevier, 33: 775-795.
11. Phillips, J.D. 1998. On the relation between complex systems and the factorial model of soil formation. Geoderma, 86: 27-30.
12. Huggett, R.J. 2007. Fundamental of geomorphology (3th Ed). Routledge Taylor and Francis Group, London and New York, 466 pages.
13. Huggett, R.J. 1998. On the relation between complex systems and the factorial model of soil formation. Geoderma, 86: 23-25.
14. Jalalian, A., Sh. Ayobi and A. Mehnatkesh. 2015. Forecast of sulom using topographical features in the part of hilly land of Koohrang in the Zagros. Quarterly Journal of Soil and Water Resources Conservation, 4: 980- 990 (in Persian).
15. Kia, P. 2000. Morphological examination of the effects on sediment discharge basin, a case study of Hamedan Siminehrood Basin. MSc Thesis, Razi University of Kermanshah, 89 pages (in Persian).
16. Lichtenberg, J.M. and O. Simsek. 2016. Simple regression models. Proceedings of Machine Learning Research, 58: 13-25.
17. Li, Z. 1990. Sampling strategy and accuracy assessment for digital terrain modeling. PhD Thesis, The University of Glasgow, 168 pages.
18. Li, Z. 2005. Digital terrain modeling: principles and methodology. CRC Press, 324 Pages.
19. Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning, 62: 3-65.
20. Martinoni, D. 2002. Methods and experiments for quality handling in digital terrain modeling. PhD Thesis, University of Zurich, 189 pages.
21. Moameni, A. 1994. Assessment of the prevailing irrigation practices and their relation to soil, using remote sensing and GIS in the Hamadan area (Iran). MSc Thesis, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC),. Enschede, The Netherlands, 137 pages.
22. Movahhed Danesh, A.A. 1994. Iran's hydrology of surface waters. The Study and Compilation of Humanities Books in Universities (Samt), 378 pages (in Persian).

23. Naderi Khorasgani, M. and A. Karimi. 2008. Geomorphological characteristics of claypans and their impacts on land degradation using GIS techniques, a case study: Rodasht area, Esfahan, Iran, 42: 551-563 (in Persian).
24. Naderi Khorasgani, M. and M. De Dapper. 2009. Evaluation of the capability of Landsat MSS Data for mapping landforms in arid regions, a case study in the centre of Iran. *Journal of Agriculture Science Technology*, 11: 67-80.
25. Najmaee, M. 1990. *Engineering hydrology*. Volume II, first edition, published by the University of Science and Technology, 378 pages (in Persian).
26. Pike, R.J. 1995. *Geomorphometry: progress, practice and prospect*. *Zeitschrift fur Geomorphologie NF Supplement Band*, 101: 221-238.
27. Roman, D., R.M. Vogel and E. Gregory Schwarz. 2012. Regional regression models of watershed suspended-sediment discharge for the eastern United States. *Journal of Hydrology*, 472: 53-62.
28. Rossiter, D.G. 1996. A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*, 6: 165-190.
29. Shary, P.A., L.S. Sharaya and A.V. Mitusov. 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 107: 1-32.
30. Shayan, S., A. Ahmadabadi, M. Yamani, M. Farajzadeasl and E. Kabir. 2012. Geomorphometric performance evaluation criteria by Wood in the classification of landforms in arid regions, case study: the desert region Maranjan. *Journal of Arid Regions Geographics Studies*, 1: 105-120 (in Persian).
31. Takom, Development of Appropriate Agricultural Technology Consulting Engineers. 2002. Executive comparative studies Bahar Hamkasee Watershed (Bahadorbeig). Volume II: Pedology and land resource evaluation, geology and geomorphology, erosion and sedimentation. Hamedan Province, Watershed Management, 202 pages (in Persian).
32. Wilson J.P. 2011. Digital terrain modeling. *Geomorphology*, 137: 107-121.
33. Wittink, D.R. 1988. *The application of regression analysis*. Cornell University, Needham Heights, Massachusetts, 324 pages.
34. Zinck, J.A. 1989. *Physiography and soil*. Lecture notes for K6 course. Soils Division, ITC, The Netherlands, 156 pages.