

کاربرد منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد در ارزیابی فرسایش و رسوب‌گذاری. مطالعه موردی: حوضه نچی در استان کردستان

هیوا علمیزاده^{۱*}، آرزو سلیمانی^۲

^۱استادیار ژئومورفولوژی، گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

^۲کارشناس ارشد محیط‌زیست دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۷

چکیده

خصوصیات فیزیکی حوضه‌ها از جمله ارتفاع و توپوگرافی، به صورت مستقیم و غیرمستقیم اثرات بسیار زیادی بر فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری دارند. از بین رفتن خاک به وسیله فرسایش و مسایل مرتبط به آن در حوضه‌های رودخانه‌ای از مسایل بسیار مهم محیطی اخیر به شمار می‌رود. در این پژوهش با هدف انتخاب یک مدل برای بررسی تکامل حوضه نچی در شمال شهرستان مریوان، از منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد به عنوان یک شاخص سنجش مفید در ارزیابی فرسایش و رسوب‌گذاری استفاده گردید. این منحنی‌ها در نرم‌افزار Grapher با ترسیم ارتفاع کل در مقابل مساحت کل حوضه، توزیع سطوح ارتفاعی حوضه را از سطح آب‌های آزاد ارزیابی و توصیف می‌نمایند. منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی و تئوریک، از جمله روش‌هایی است که امکان تحلیل سه‌بعدی از منطقه را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. به منظور تجزیه و تحلیل وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری و شناخت وضعیت تکاملی حوضه‌ها با دید مقایسه‌ای، در سطح حوضه نچی و زیرحوضه‌های آن جداول و منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد محاسبه، ترسیم و مقایسه شده‌اند. بر اساس نحوه قرارگیری این منحنی‌ها نسبت به هم، موقعیت و مکان نقاط دارای فرسایش و رسوب زیرحوضه‌ها و در نهایت، مساحت آن مشخص گردید. نتایج مقایسه سه زیرحوضه انجیران، دره‌وران و گاگل نشان داد که زیرحوضه انجیران را می‌توان در ردیف حوضه‌های در حال تعادل نسبی قرار داد. زیرحوضه گاگل نسبت به حالت تعادل در مقایسه با دو زیرحوضه دیگر فاصله بیشتری دارد و می‌توان گفت که نسبت به دو زیرحوضه دیگر جوان‌تر است. همچنین تقعر در منحنی بی‌بعد زیرحوضه دره‌وران بیانگر غلبه فعالیت‌های فرسایشی بر فعالیت نو زمین‌ساختی حوضه است. با مشاهده منحنی‌های تئوریک و واقعی حوضه نچی متوجه می‌شویم که کل حوضه تا اندازه‌ای جوان است و تا حالت تعادل فاصله نسبتاً کمی دارد.

واژه‌های کلیدی: منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد، حوضه نچی، فرسایش، رسوب‌گذاری.

مقدمه

کمتر از چند میلیمتر در هر قرن صورت می‌گیرد ولی فرسایش خاک بسیار سریع عمل می‌نماید؛ به طوری که در یک طوفان سیلابی ممکن است چندین سانتیمتر خاک و یا بیشتر فرسایش یابد. این عدم تعادل بین میزان تشکیل خاک و نرخ‌های فرسایش آن سبب شده است تا خاک یک ماده حساس و گرانبها تلقی شود. علاوه بر فرسایش خاک؛ یکی دیگر از نتایج حاصل از آن رسوب‌گذاری است. رسوب‌گذاری هنگامی صورت می‌گیرد که مقدار مواد منتقل شده به وسیله جریان آب بیش از توان حمل آن باشد که در این

خاک، یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشوری خاک می‌باشد، به طوری که فرسوده شدن آن از خطرات اساسی و معضلات انسان متمدن امروزی به‌شمار می‌رود. از بین رفتن خاک به وسیله فرسایش و مسایل مرتبط به آن در حوضه‌های رودخانه‌ای از مسایل بسیار مهم محیطی اخیر به شمار می‌رود (Lim et al., 2005). تشکیل خاک بسیار آرام و به طور متوسط با نرخ 62.

ته‌نشین خواهند شد و دانه‌های کوچکتر به‌راحتی توسط امواج و جریان‌ها دور می‌شوند و فرسایش می‌یابند. سوف^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶) الگوهای زمانی و مکانی فرسایش خاک و رسوبات را در حوضه رودخانه مکونگ^{۱۲} مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند؛ همچنین هارگوین^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۷) ارزیابی ریسک جامع فرسایش خاک برای استفاده بهتر از زمین در حوضه رودخانه نیل را انجام دادند. بیاتی خطیسی و حیدرزادگان (۱۳۸۴) تعیین مراحل ژئومورفولوژیکی دره‌های نواحی کوهستانی با روش‌های کلاسیک و ریاضی را در یازده حوضه و دره اصلی توده کوهستانی سهند را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در بخشی از این مطالعه با ترسیم منحنی‌های هیپسومتری مراحل تحول حوضه‌ها را تعیین و مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. سالاری و مرادی نیز (۱۳۸۸) کاربرد منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد در ارزیابی مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری در حوضه بانه را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که حوضه بانه ضمن فرسایش و رسوب‌گذاری، نسبت به حالت تعادل فاصله نسبتاً بیشتری داشته و جوان‌تر است.

بخشی از ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌ها از جمله ارتفاع و توپوگرافی، اثرات مستقیم و غیرمستقیم بسیار زیادی بر فرایند فرسایش می‌گذارند. ارتفاع حوضه در آب و هوای منطقه و به همراه آن در تشکیل و توسعه خاک و نوع و تراکم پوشش گیاهی اثر دارد و به همین دلیل آگاهی از ویژگی‌های توپوگرافیک و ارتفاعی حوضه‌ها به ویژه نحوه توزیع سطح با ارتفاع و غیره در شناخت ساز و کارهای حوضه حائز اهمیت فراوان است (Wood ward, 1997: 354). منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی و تئوریک، از جمله روش‌هایی است که مانند معادله‌های ریاضی قابل تفسیر بوده و امکان تحلیل سه‌بعدی از منطقه را در اختیار کاربر قرار می‌دهد (Zavoianu, 1985: 185). بر اساس نحوه قرارگیری این منحنی‌ها نسبت به هم، موقعیت و مکان نقاط دارای فرسایش و رسوب و نهایتاً مساحت آن

صورت مازاد آن رسوب می‌نماید. باید در نظر داشت که نمی‌توان عاملی مشخص و معین را به‌عنوان عامل اصلی فرسایش در یک منطقه معرفی نمود؛ بلکه شرایط فرسایشی موجود در منطقه را باید معلول تاثیرات متقابل مجموعه عوامل موثر در ایجاد فرسایش دانست (نخعی و قنواتی، ۱۳۸۵: ۶۵). استرالر^۱ (۱۹۶۴) روش منحنی هیپسومتری بی‌بعد را ارائه کرد که در بین محققین بعدی روش پرکاربردی شده است. تاکنون تحقیقات مختلفی در رابطه با هیپسومتری در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است. پرادهان و سنایاتی^۲ (۲۰۰۲) در پژوهشی تجزیه و تحلیل هیپسومتری یک برخی از حوضه‌های انتخاب شده از حوضه آبریز هیراکوند^۳ را بررسی کردند. چن^۴ و همکاران (۲۰۰۳) تغییرات مورفوتکتونیک در دامنه‌های غربی تایوان را بر اساس تجزیه و تحلیل هیپسومتری و جریان‌گرادیان مورد مطالعه قرار دادند؛ همچنین چن (۲۰۰۴) طی پژوهشی ویژگی‌های مورفوتکتونیک کمر بند کوه تایوان بر اساس انتگرال هیپسومتری، فراکتال توپوگرافی و شاخص SL را ارزیابی کرد. لائو^۵ (۱۹۹۸) و پاندی^۶ و همکاران (۲۰۰۴) آنالیز هیپسومتری حوضه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را مورد بررسی قرار دادند. ساینق^۷ و همکاران (۲۰۰۹) روش‌های برآورد انتگرال هیپسومتری و ارتباط آن روی وضعیت روند فرسایش آبخیز شمال غربی هیمالیا را مورد ارزیابی قرار دادند. هالر^۸ (۲۰۱۲) تغییرات هیپسومتری و تغییرات زمین‌های شهری و روستایی در مرکز پرو را مورد بررسی قرار داد. آمر^۹ و همکاران (۲۰۱۵) شناسایی مشکل ساحلی و پیش‌بینی فرسایش رسوب ساحلی در جنوب جزیره سولاوسی^{۱۰} را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ذرات با اندازه نسبتاً بزرگ

1. Strahler
2. Pradhan and Senapati
3. Hirakund
4. Chen
5. Luo
6. Pandey
7. Singh
8. Haller
9. Umar
10. Sulawesi

11. Suif

12. Mekong

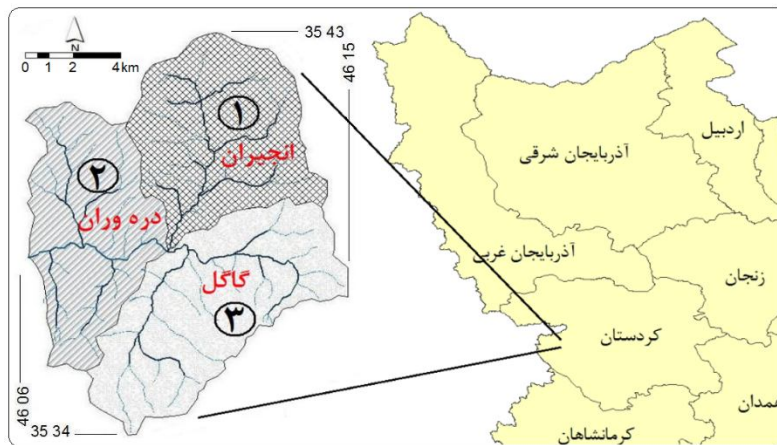
13. Haregeweyn

جغرافیایی $35^{\circ}43'30''$ و $46^{\circ}15'11''$ شمالی واقع شده و 144 کیلومتر مربع مساحت دارد (شکل ۱). متوسط ارتفاع حوضه 1670 متر، پائین‌ترین نقطه ارتفاعی آن 1320 متر در نقطه خروجی حوضه و بالاترین نقطه ارتفاعی در شمال شرقی آن 2502 متر از سطح دریا ارتفاع داشته که متعلق به کوه چاله‌پان می‌باشد. شیب متوسط حوضه $31/18$ درصد و جهت شیب عمومی حوضه روبه غرب می‌باشد. از نظر اقلیمی در منطقه سرد و مرطوب واقع شده، 100 روز سال یخبندان اتفاق می‌افتد. میانگین بارش 997 میلی‌متر و میانگین دمای سالانه $13/8$ درجه سانتی‌گراد است (سازمان هواشناسی کشور، 1392).

مشخص می‌شود. در این پژوهش، سعی بر آن شده است که وضعیت فرسایش و رسوب در سطح حوضه نچی و زیرحوضه‌های آن، مورد ارزیابی قرار گیرد که بدین منظور جداول و منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی و تئوریک محاسبه و ترسیم شده‌اند و از طریق آنها به ارزیابی و تحلیل وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در سطح حوضه پرداخته می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه نچی در استان کردستان، مرز ایران و عراق و 11 کیلومتری شمال شهرستان مریوان و در طول جغرافیایی $46^{\circ}07'00''$ و $46^{\circ}15'55''$ شرقی و عرض



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و زیر حوضه‌های آن

تغییرات X, Y همواره بین صفر و یک نوسان خواهد داشت (موحد دانش، 1392). شایان ذکر است نمودار به‌دست آمده هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی قابل تفسیر است. اما به لحاظ شناخت دقیق‌تر پهنه‌های فرسایش و رسوب‌گذاری در سطح حوضه منحنی هیپسومتری بی‌بعد تئوریک نیز ترسیم شده است. برای ترسیم آن از مقادیر X و مقادیر Y_c استفاده شده که $X=A/a$ و Y_c (ارتفاع محاسبه شده از نظر تئوری) نیز از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Y_c = u^2 \rightarrow u = \frac{d-(x+a)}{(x+a)} \times a \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن a فاصله از مبدا است که آن را به طور اختیاری $0/2$ در نظر می‌گیرند، و $d=1+a$ که برابر

مواد و روش‌ها

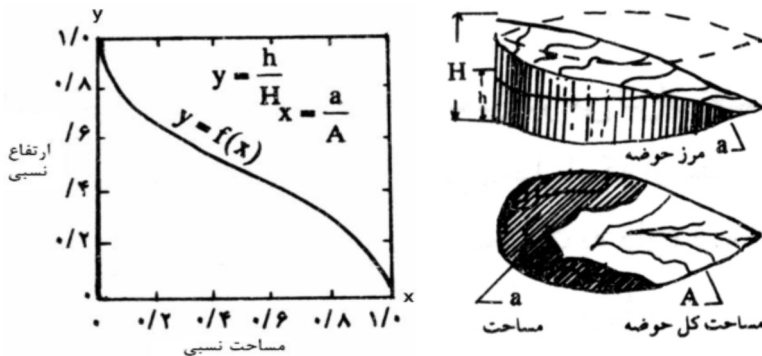
منحنی‌های هیپسومتری، توزیع سطوح ارتفاعی یک حوضه را از سطح آب‌های آزاد می‌توانند ارزیابی و توصیف نمایند. این منحنی‌ها با ترسیم ارتفاع کل در مقابل مساحت کل حوضه ترسیم می‌گردند. با تقسیم مساحت و ارتفاع منحنی هیپسومتری بر مساحت کل حوضه و حداکثر ارتفاع حوضه، می‌توان آن را به صورت بی‌بعد نشان داد. در منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی از تقسیم مساحت جزئی تجمعی (a) به مساحت کل حوضه (A)، مقادیر $X (X=A/a)$ و از تقسیم اختلاف ارتفاع جزئی تجمعی (h) به اختلاف ارتفاع کل حوضه (H) مقادیر $Y (Y=h/H)$ حاصل می‌گردد که در دو محور نمودار جای می‌گیرند. بدیهی است که دامنه

شکل (۲) اجزاء منحنی هیپسومتری بی بعد را نشان می دهد (Ritter et al., 2002).

۱/۲ خواهد بود. مقدار z را نیز می توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$Z = \frac{\sum \log y}{\sum \log u}$$

رابطه ۲:

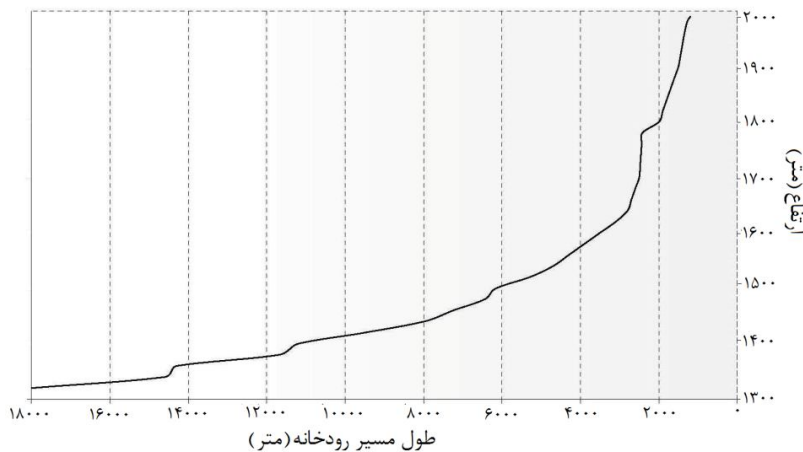


شکل ۲: منحنی هیپسومتری بی بعد

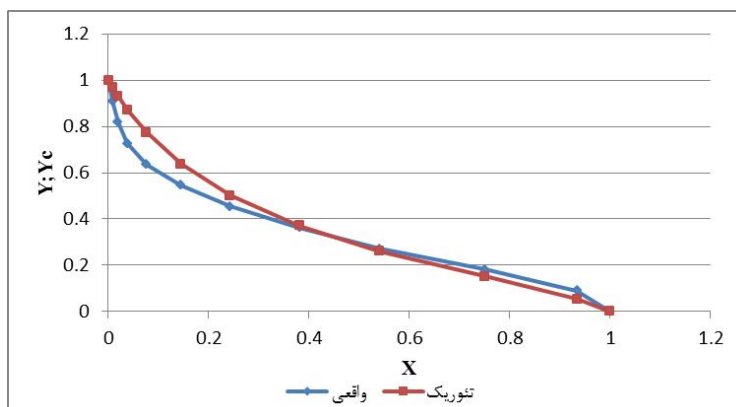
و تا ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر ادامه دارد که در این حد ارتفاعی دو منحنی به هم نزدیک می شوند و حالت تعادل ایجاد می شود؛ بنابراین در این منطقه مکانیسم فرسایش و رسوب در تعادل می باشد. در ادامه منحنی تئوریک در پایین منحنی واقعی قرار گرفته است که نشانگر رسوبگذاری در بستر است. این حالت از ارتفاع ۱۶۰۰ متر به پایین، به عبارتی تا نزدیکی خروجی حوضه در ارتفاع ۱۳۲۰ متری به صورت مشخصی وجود دارد. در (جدول ۱) محاسبات مربوط به منحنی بی بعد حوضه نچی آورده شده است.

یافته های تحقیق

بررسی پروفیل طولی رودخانه قزلچه سو نشان می دهد که بیشترین شیب رودخانه اصلی حوضه بین منحنی میزان ۲۰۰۰-۱۷۰۰ و کمترین آن بین ۱۳۰۰-۱۵۰۰ متر می باشد (شکل ۳)؛ همچنین منحنی های تئوریک و واقعی ترسیم شده برای حوضه نچی (شکل ۴) نشان می دهد که در بالادست، منحنی تئوریک به صورت مشخصی در بالای منحنی واقعی قرار گرفته که نشانگر فرسایش در این قسمت از حوضه است. این روند از ارتفاع ۲۵۰۲ متر شروع شده



شکل ۳: پروفیل طولی رودخانه قزلچه سو در حوضه مورد مطالعه



شکل ۴: منحنی هیپسومتریک بی بعد واقعی و تئوریک در حوضه مورد مطالعه

جدول ۱: محاسبات مربوط به منحنی بی بعد حوضه مورد مطالعه

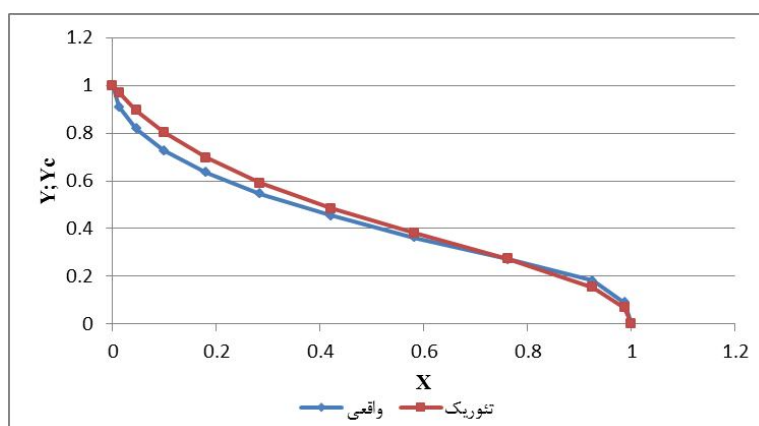
طبقات ارتفاعی	Area	X	Y	Log Y	U	Log U	Y_c
۱۳۲۰-۱۴۰۰	۹,۶۲	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	-	۰,۰۰۰	-	۰,۰۰۰
۱۴۰۰-۱۵۰۰	۲۶,۳۷	۰,۹۳۴	۰,۰۹۰	-۱,۰۴۵	۰,۰۱۱	-۱,۹۵۸	۰,۰۵۵
۱۵۰۰-۱۶۰۰	۲۹,۹۱	۰,۷۵۱	۰,۱۸۱	-۰,۷۴۲	۰,۰۵۲	-۱,۲۸۳	۰,۱۵۱
۱۶۰۰-۱۷۰۰	۲۳,۱۴	۰,۵۴۱	۰,۲۷۲	-۰,۵۶۵	۰,۱۲۳	-۰,۹۱۰	۰,۲۶۱
۱۷۰۰-۱۸۰۰	۱۹,۷۱	۰,۳۸۱	۰,۳۶۳	-۰,۴۴۰	۰,۲۱۳	-۰,۶۷۱	۰,۳۷۱
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۱۴,۱۸	۰,۲۴۳	۰,۴۵۴	-۰,۳۴۲	۰,۳۴۱	-۰,۴۶۷	۰,۵۰۲
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۱۰,۳۱	۰,۱۴۵	۰,۵۴۵	-۰,۲۶۳	۰,۴۹۵	-۰,۳۰۸	۰,۶۳۷
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۵,۳۸	۰,۰۷۶	۰,۶۳۶	-۰,۱۹۶	۰,۶۶۹	-۰,۱۷۴	۰,۷۷۳
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۲,۷۵	۰,۰۳۸	۰,۷۲۷	-۰,۱۳۸	۰,۸۰۸	-۰,۰۹۲	۰,۸۷۲
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۱,۶۱	۰,۰۱۹	۰,۸۱۸	-۰,۰۸۷	۰,۸۹۵	-۰,۰۴۸	۰,۹۳۱
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۱,۰۱	۰,۰۰۸	۰,۹۰۲۹	-۰,۰۴۱	۰,۹۵۳	-۰,۰۲۰	۰,۹۷۰
۲۴۰۰-۲۵۰۲	۰,۲۱	۰,۰۰۱	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۹۹۴	-۰,۰۰۲	۱

معرض فرسایش قرار دارد. فاصله کم دو منحنی نشان دهنده کاهش شدت فرسایش و گرایش به تعادل است. از ارتفاع ۱۷۰۰ متر تا حدوداً ۱۶۰۰ متر تقریباً دو منحنی واقعی و تئوریک بر همدیگر منطبق بوده و حالت تعادل نسبتاً کامل برقرار است. بنابراین در این منطقه مکانیسم فرسایش و رسوب در تعادل می‌باشد. از ارتفاع ۱۶۰۰ متر تا ارتفاع تقریباً ۱۴۰۰ متری منحنی تئوریک در پایین منحنی واقعی قرار گرفته است و در این منطقه امکان رسوبگذاری در بستر وجود دارد. از این ارتفاع تا خروجی حوضه دو منحنی بر همدیگر منطبق است.

مساحت زیرحوضه انجیران ۴۷,۱۷ کیلومترمربع و محیط آن ۳۰,۹۰ کیلومتر است. بیشترین و کمترین ارتفاع به ترتیب ۲۵۰۲ و ۱۳۳۹ متر و متوسط ارتفاع حوضه ۱۷۹۷ متر است. برای تحلیل فرسایش بر اساس روابط ریاضی در زیر حوضه انجیران مقادیر (جدول ۲) محاسبه و منحنی هیپسومتری بی‌بعد آن در (شکل ۵) ترسیم شده است. با توجه به منحنی هیپسومتری بی‌بعد انجیران، حدود ۵۸ درصد از مساحت بالادست، منطقه‌ای را شامل می‌شود که در آن منحنی تئوریک در بالای منحنی واقعی قرار گرفته است؛ بنابراین ۵۸ درصد مساحت بالادست حوضه در

جدول ۲: محاسبات مربوط به منحنی بی بعد زیر حوضه انجیران

طبقات ارتفاعی	Area	X	Y	Log Y	U	Log U	Y _c
۱۳۲۰-۱۴۰۰	۰,۶۵	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	-	۰,۰۰۰	-	۰,۰۰۰
۱۴۰۰-۱۵۰۰	۲,۹۱	۰,۹۸۷	۰,۰۹۰	-۱,۰۴۵	۰,۰۰۲	-۲,۶۹۸	۰,۰۶۹
۱۵۰۰-۱۶۰۰	۷,۶۹	۰,۹۲۵	۰,۱۸۱	-۰,۷۴۲	۰,۰۱۳	-۱,۸۸۶	۰,۱۵۴
۱۶۰۰-۱۷۰۰	۸,۵۰	۰,۷۶۲	۰,۲۷۲	-۰,۵۶۵	۰,۰۴۹	-۱,۳۰۹	۰,۲۷۳
۱۷۰۰-۱۸۰۰	۷,۶۱	۰,۵۸۱	۰,۳۶۳	-۰,۴۴۰	۰,۱۰۷	-۰,۹۷۰	۰,۳۸۲
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۶,۴۲	۰,۴۲۱	۰,۴۵۴	-۰,۳۴۲	۰,۱۸۶	-۰,۷۳۰	۰,۴۸۵
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۴,۸۸	۰,۲۸۴	۰,۵۴۵	-۰,۲۶۳	۰,۲۹۵	-۰,۵۳۰	۰,۵۹۱
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۳,۸۱	۰,۱۸۰	۰,۶۳۶	-۰,۱۹۶	۰,۴۳۱	-۰,۳۶۵	۰,۶۹۶
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۲,۵۴	۰,۰۹۹	۰,۷۲۷	-۰,۱۳۸	۰,۶۰۲	-۰,۲۲۰	۰,۸۰۳
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۱,۵۷	۰,۰۴۶	۰,۸۱۸	-۰,۰۸۷	۰,۷۷۵	-۰,۱۱۰	۰,۸۹۶
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۱,۰۰	۰,۰۱۲	۰,۹۰۹	-۰,۰۴۱	۰,۹۳۲	-۰,۰۳۰	۰,۹۷۰
۲۴۰۰-۲۵۰۲	۰,۲۱	۰,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۱,۰۰۰



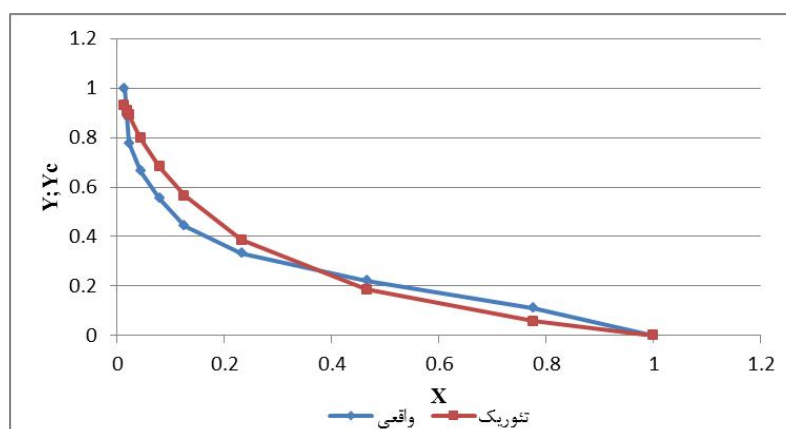
شکل ۵: منحنی هیپسومتریک بی بعد واقعی و تئوریک در زیر حوضه انجیران

ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر ادامه دارد که در این حد ارتفاعی دو منحنی به هم نزدیک می‌شوند و حالت تعادل ایجاد می‌شود. در ادامه منحنی تئوریک در پایین منحنی واقعی قرار گرفته که نشانگر رسوبگذاری در بستر است. این حالت از ارتفاع ۱۶۰۰ متر به پایین، به صورت مشخصی وجود دارد. به طور کلی می‌توان گفت که تقعر در منحنی بی‌بعد زیر حوضه دره‌وران بیانگر غلبه فعالیت‌های فرسایشی بر فعالیت نو زمین‌ساختی حوضه است.

مساحت زیر حوضه دره‌وران ۵۴,۰۸ کیلومترمربع و محیط آن ۳۲,۵۴ کیلومتر است. بیشترین و کمترین ارتفاع به ترتیب ۲۲۹۰ و ۱۳۲۰ متر و متوسط ارتفاع حوضه ۱۵۳۰ متر است (جدول ۳). با نگاه به منحنی‌های تئوریک و واقعی ترسیم شده برای زیر حوضه دره‌وران (شکل ۶) متوجه می‌شویم که در بالادست، منحنی تئوریک به صورت مشخصی در بالای منحنی واقعی قرار گرفته است که نشانگر فرسایش است. این روند از ارتفاع ۲۲۹۰ متر شروع شده و تا

جدول ۳: محاسبات مربوط به منحنی بی بعد زیر حوضه دره‌وران

طبقات ارتفاعی	Area	X	Y	Log Y	U	Log U	Y _c
۱۳۲۰-۱۴۰۰	۹۵۸	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	—	۰,۰۰۰	—	۰,۰۰۰
۱۴۰۰-۱۵۰۰	۱۳۲۳	۰,۷۷۶	۰,۱۱۱	-۰,۹۵۴	۰,۰۴۵	-۱,۳۴۶	۰,۰۵۸
۱۵۰۰-۱۶۰۰	۱۰,۱۸	۰,۴۶۵	۰,۲۲۲	-۰,۶۵۳	۰,۱۶۰	-۰,۷۹۵	۰,۱۸۵
۱۶۰۰-۱۷۰۰	۴۵۵	۰,۲۳۲	۰,۳۳۳	-۰,۴۷۷	۰,۳۵۵	-۰,۴۴۹	۰,۳۸۶
۱۷۰۰-۱۸۰۰	۲,۰۱	۰,۱۲۵	۰,۴۴۴	-۰,۳۵۲	۰,۵۳۸	-۰,۲۶۹	۰,۵۶۵
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۱,۵۲	۰,۰۷۹	۰,۵۵۵	-۰,۲۵۵	۰,۶۶۰	-۰,۱۸۰	۰,۶۸۲
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۰,۹۲	۰,۰۴۴	۰,۶۶۶	-۰,۱۷۶	۰,۷۸۳	-۰,۱۰۶	۰,۷۹۸
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۰,۷۳	۰,۰۲۲	۰,۷۷۷	-۰,۱۰۹	۰,۸۸۱	-۰,۰۵۵	۰,۸۹۰
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۰,۲۱	۰,۰۱۸	۰,۸۸۸	-۰,۰۵۱	۰,۹۰۰	-۰,۰۴۵	۰,۹۰۸
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۰,۰۳	۰,۰۱۳	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۹۲۶	-۰,۰۳۳	۰,۹۳۲



شکل ۶: منحنی هیپسومتریک بی بعد واقعی و تئوریک در زیر حوضه دره‌وران

جدول ۴: محاسبات مربوط به منحنی بی بعد زیر حوضه گاگل

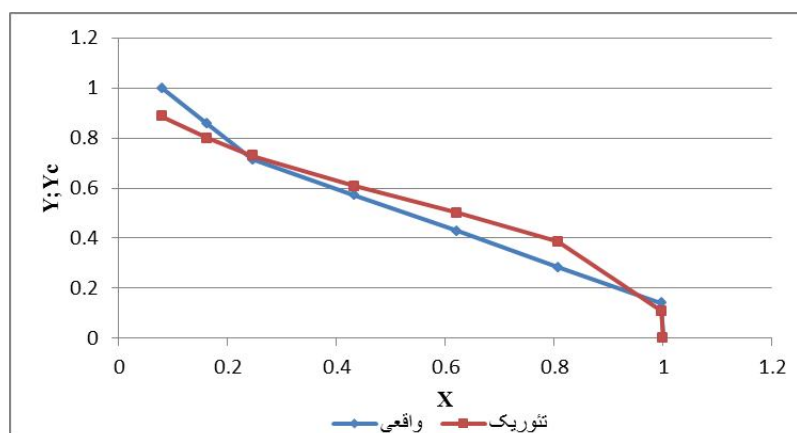
طبقات ارتفاعی	Area	X	Y	Log Y	U	Log U	Y _c
۱۳۲۰-۱۴۰۰	۰,۲۱	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	—	۰,۰۰۰	—	۰,۰۰۰
۱۴۰۰-۱۵۰۰	۱۰,۲۳	۰,۹۹۷	۰,۱۴۲	-۰,۸۴۷	۰,۰۰۰۵	-۳,۳۰۱	۰,۱۱۰
۱۵۰۰-۱۶۰۰	۱۲,۰۴	۰,۸۰۷	۰,۲۸۵	-۰,۵۴۵	۰,۰۳۸	-۱,۴۲۰	۰,۳۸۷
۱۶۰۰-۱۷۰۰	۱۰,۰۹	۰,۶۲۱	۰,۴۲۸	-۰,۳۶۸	۰,۰۹۲	-۱,۰۳۶	۰,۵۰۱
۱۷۰۰-۱۸۰۰	۱۰,۰۸	۰,۴۳۳	۰,۵۷۱	-۰,۲۴۳	۰,۱۷۹	-۰,۷۴۷	۰,۶۰۷
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۶,۳۳	۰,۲۴۶	۰,۷۱۴	-۰,۱۴۶	۰,۳۳۸	-۰,۴۷۱	۰,۷۳۰
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۴,۵۱	۰,۱۶۲	۰,۸۵۷	-۰,۰۶۷	۰,۴۶۲	-۰,۳۳۵	۰,۷۹۹
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۰,۸۴	۰,۰۷۹	۱,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۶۶۰	-۰,۱۸۰	۰,۸۸۶

(شکل ۷) ترسیم شده است. منحنی نمودار نشان می‌دهد که در بالادست حوضه منحنی واقعی در بالای منحنی تئوریک قرار گرفته است که نشانگر رسوبگذاری در این قسمت از حوضه است. این روند از ارتفاع ۲۱۰۰ متر تا ارتفاع حدود ۱۹۰۰ متر ادامه دارد. در ادامه منحنی تئوریک در بالای منحنی واقعی قرار

مساحت زیرحوضه گاگل ۴۲,۹۷ کیلومترمربع و محیط آن ۳۵,۳۰ کیلومتر است. بیشترین و کمترین ارتفاع به ترتیب ۲۹۰۲ و ۱۳۹۸ متر و متوسط ارتفاع حوضه ۱۶۷۱ متر است. برای ارزیابی و تحلیل وضعیت فرسایش در زیرحوضه گاگل نیز (جدول ۴) محاسبه و منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی و تئوریک آن

دارد که در این حد ارتفاعی دو منحنی به هم نزدیک می‌شود و حالت تعادل ایجاد می‌شود.

گرفته که بیانگر وضعیت فرسایشی برای این قسمت از حوضه است. این روند تا ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر ادامه



شکل ۷: منحنی هیپسومتریک بی بعد واقعی و تئوریک در زیر حوضه گاگل

قرار گرفته که نشانگر فرسایش در این قسمت از حوضه است. این روند از ارتفاع ۲۵۰۲ متر شروع شده و تا ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر ادامه دارد که در این حد ارتفاعی دو منحنی به هم نزدیک می‌شوند و حالت تعادل ایجاد می‌شود، بنابراین در این منطقه مکانیسم فرسایش و رسوب در تعادل می‌باشد. در ادامه منحنی تئوریک در پایین منحنی واقعی قرار گرفته که نشانگر رسوبگذاری در بستر است. این حالت از ارتفاع ۱۶۰۰ متر تا نزدیکی خروجی حوضه در ارتفاع ۱۳۲۰ متری به صورت مشخصی وجود دارد.

در زیرحوضه انجیران، از ارتفاع ۱۷۰۰ متر تا حدود ۱۶۰۰ متر تقریباً دو منحنی واقعی و تئوریک بر همدیگر منطبق بوده و حالت تعادل نسبتاً کامل برقرار است؛ بنابراین در این منطقه مکانیسم فرسایش و رسوب در تعادل می‌باشد. از ارتفاع ۱۶۰۰ متر تا ارتفاع تقریباً ۱۴۰۰ متری منحنی تئوریک در پایین منحنی واقعی قرار گرفته است و در این منطقه امکان رسوبگذاری در بستر وجود دارد. از این ارتفاع تا خروجی حوضه دو منحنی بر همدیگر منطبق است. در بالادست زیرحوضه دره‌وران، منحنی تئوریک به صورت مشخصی در بالای منحنی واقعی قرار گرفته که نشانگر فرسایش است. این روند از ارتفاع ۲۲۹۰ متر شروع شده و تا ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متر ادامه دارد که در این حد ارتفاعی دو منحنی به هم نزدیک می‌شوند

نتیجه‌گیری

منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی و تئوریک، امکان تحلیل سه‌بعدی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این منحنی‌ها مانند معادله‌های ریاضی قابل تفسیر بوده و از طریق آنها به چگونگی و ارزیابی وضعیت فرسایش، رسوب‌گذاری و تکتونیک در سطح حوضه پرداخته می‌شود. حوضه نچی جزء کوچکی از قلمرو شمالی زون ساختمانی سنندج - سیرجان است. اسکلت اصلی ناهمواری‌های منطقه که از بخشی از سازندهای کرتاسه تحتانی و بالائی به صورت سنگ‌های شیلی و آهک‌های متبلور تشکیل شده است، تحت تأثیر حرکات زمین ساخت متعدد سنوزوئیک قرار گرفته و استخوان‌بندی ناهمواری‌های فعلی را تشکیل داده است. به طور کلی مورفولوژی کوهستان، حوضه نچی را احاطه کرده و سپس به طرف مرکز حوضه به تپه ماهورهای پرشیب و در انتهای حوضه به مورفولوژی دشت میدل می‌گردد. عناصر ساختاری شامل چین‌ها، گسل‌ها، درزه‌ها و ساختمان‌های حاصل از فعالیت‌های ماگمایی، عواملی هستند که در بخش‌های مختلف موجب تنوع مورفولوژی در منطقه شده‌اند.

منحنی‌های تئوریک و واقعی ترسیم شده برای حوضه نچی نشان می‌دهد که در بالادست، منحنی تئوریک به صورت مشخصی در بالای منحنی واقعی

۳. ذهاب ناظوری، سمیه؛ عمادالدین، سمیه و عباس‌نژاد، احمد. ۱۳۹۴. تحلیل ژئومورفومتری شبکه زهکشی در مخروط آتشفشان بیدخوان (واقع در استان کرمان). مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۵، شماره ۱۷، صفحه ۱۶۹-۱۷۸.
۴. سالاری، ممند؛ مرادی، امید ۱۳۸۸. کاربرد منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد در ارزیابی مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری در حوضه آبخیز بانه. مجله اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره هجدهم، شماره شصت و نهم. ۴۹-۵۱.
۵. شرفی، سیامک؛ شامی، ابوالفضل؛ یمانی، مجتبی. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه اترک در یک بازه زمانی ۲۰ ساله. مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۴، شماره ۱۴، صفحه ۱۲۹-۱۵۰.
۶. عزیزیان، اصغر و شکوهی، علیرضا، ۱۳۹۵. اثر منابع مختلف تهیه مدل‌های رقومی ارتفاعی بر شاخص توپوگرافی و نتایج حاصل از مدل نیمه توزیعی TOPMODEL. مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس. دوره شانزدهم، شماره دو، صص ۱۸۷-۲۰۱.
۷. قدیری معصوم، مجتبی و حجتی پور، محمد. ۱۳۹۵. آمایش اکولوژیکی مکان در راستای پیشبرد توسعه پایدار کشاورزی - مورد: کاشت پسته در شهرستان نهبندان. مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۶، شماره ۲۲، صفحه ۱۰۹-۱۲۴.
۸. کریمی، سمیه و شرفی، سیامک، ۱۳۹۵. بررسی تطبیقی شکل و تغییرات دامنه‌ها با استفاده از شاخص سینوسی در ناهمواری‌های کارستی استان کرمانشاه. مجله علوم جغرافیایی، شماره ۲۵، صص ۵۰-۷۰.
۹. گلی مختاری، لیلیا. ۱۳۹۴. بررسی اثر سیستم‌های شکل‌زا بر مورفولوژی حوضه‌های آبریز ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۶، پیاپی ۵۹، شماره ۳. صص ۲۳۸-۲۲۵.
۱۰. لرستانی، قاسم، اسماعیلی، رضا و اعتمادی، فاطمه. ۱۳۹۴. بررسی میزان تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مصب رودخانه‌ها (مطالعه موردی: مصب رودخانه‌های هراز، بابلرود و تالار). مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۵، شماره ۱۸، زمستان، صفحه ۱۲۳-۱۳۶.
۱۱. مقامی مقیم، غلامرضا. ۱۳۹۷. بررسی تأثیرگسل‌ها در ریخت‌شناسی حوضه آبریز در پرچین با استفاده از

و حالت تعادل ایجاد می‌شود. در ادامه، منحنی تئوریک در پایین منحنی واقعی قرار گرفته است که نشانگر رسوبگذاری در بستر است. این حالت از ارتفاع ۱۶۰۰ متر به پایین، به صورت مشخصی وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که تقعر در منحنی بی‌بعد زیرحوضه دره‌وران بیانگر غلبه فعالیت‌های فرسایشی بر فعالیت نو زمین‌ساختی حوضه است. ارزیابی و تحلیل وضعیت فرسایش در زیرحوضه گاگل نشان داد که در بالادست زیرحوضه منحنی واقعی در بالای منحنی تئوریک قرار گرفته که نشانگر رسوبگذاری در این قسمت از زیرحوضه است. این روند از ارتفاع ۲۱۰۰ متر تا ارتفاع حدود ۱۹۰۰ متر ادامه دارد. در ادامه منحنی تئوریک در بالای منحنی واقعی قرار گرفته که بیانگر وضعیت فرسایشی برای این قسمت از زیرحوضه است. این روند تا ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر ادامه دارد که در این حد ارتفاعی دو منحنی به هم نزدیک می‌شود و حالت تعادل ایجاد می‌شود. مقایسه سه زیرحوضه انجیران، دره‌وران و گاگل نشان داد که زیرحوضه انجیران را می‌توان در ردیف حوضه‌های در حال تعادل نسبی قرار داد. زیرحوضه گاگل نسبت به حالت تعادل در مقایسه با دو زیرحوضه دیگر فاصله بیشتری دارد و نسبت به دو زیرحوضه دیگر جوان‌تر است. بررسی و مقایسه منحنی‌های تئوریک و واقعی حوضه نچی نشان داد که کل حوضه تا اندازه‌ای جوان است و تا حالت تعادل فاصله نسبتاً کمی دارد.

منابع

۱. بیاتی خطیبی، مریم و حیدرزادگان، پروین، ۱۳۸۴. تعیین مراحل تحول ژئومورفولوژیکی دره‌های نواحی کوهستانی با روش‌های کلاسیک و ریاضی مطالعه موردی یازده حوضه و دره اصلی توده‌ی کوهستانی سه‌سهند. مجله جغرافیا و توسعه، ۱۱۰-۸۵.
۲. جهانی شکیب، فاطمه، اردکانی، طاهره و سلمان ماهینی، عبدالرسول. ۱۳۹۷. مقایسه و اعتبارسنجی دو رویکرد بهینه‌سازی کاربری‌ها در آمایش سرزمین شهرستان گرگان. مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۸، شماره ۲۹، پاییز، صفحه ۴۷-۶۰.

20. Lim, K.J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Zh, Choi, J., and Kim, Ki.S. 2005. GIS-based sediment assessment tool. *Catena*. 64: 61-80.
21. Luo, W. 1998. Hypsometric analysis with a geographic information system. *Computers & Geosciences*, 24 (8): 815-821.
22. Pandey, A., Chowdary, V.M., and Mal, B.C. 2004. Hypsometric analysis of watershed using geographic information system. *Soil Water Conserv India*. 3:123-127
23. Pradhan, K. and Senapati, P.C. 2002. Hypsometric analysis of some selected watersheds of Hirakund catchment. *Soil Water Conserv*. 30: 183-185.
24. Ritter, D.F., Kochel, R.C., and Miller, J.R. 2002. *Process geomorphology*. McGraw Hill, Boston
25. Singh, P.K., Kumar, V., Purohit, R.C., Kothari, M., and Dashora, P.K. 2009. Application of Principal Component Analysis in Grouping Geomorphic Parameters for Hydrologic Modeling. *Water Res. Manage.*, 23: 325-339.
26. Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks, section 4-11. In V.T. Chow (Editor), *Applied Hydrology*. McGraw Hill, New York.
27. Suif, Z., Fleifle, A., Yoshimura, C., and Saavedra, O. 2016. Spatio-temporal patterns of soil erosion and suspended sediment dynamics in the Mekong River Basin. *Science of the Total Environment*, 568: 933-945.
28. Umar, H., Rhman, S., and Klara, S. 2015. Identification of Coastal Problem and Prediction of Coastal Erosion Sedimentation in South Sulawesi. *Procedia Engineering*, 116:125-133.
29. Wood ward, J. 1997. Erosions and suspended sediment transfer in river catchments: Environmental controls. Process and problems. *Geography*, 82: 353-378.
30. Zavoianu, I. 1985. *Development in Water Science*, 20, Morphometry of Drainage Basins, Elsevier, New York.
- شاخص های مورفوتکتونیک. مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۸، شماره ۲۹، پاییز، صفحه ۱۹-۳۲
۱۲. مقصودی، م.، زمانزاده، س.م.، یمانی، م.، حاجی زاده، ع.، ۱۳۹۶. بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص های ژئومورفیک. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۳، صفحه ۵۹-۳۷
۱۳. موحد دانش، علی اصغر، ۱۳۹۲. هیدرولوژی آب های سطحی ایران. انتشارات سمت، ۳۷۸.
۱۴. موسوی، سیدحجت. ۱۳۹۶. برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز شاهرود - میامی با استفاده از مدل SLEMSA و تکنیک GIS. مجله آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۷، شماره ۲۴، صفحه ۱۵-۳۴.
۱۵. نخعی، محمد، قنواتی، عزت ا...، ۱۳۸۵. کاربرد منحنی های هیپسومتری بی بعد در تعیین مساحت های در حال فرسایش و رسوب گذاری حوضه خیرآباد استان. مجله زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره چهارم. ۶۵-۷۲.
16. Chen, Y.Ch, Sung, Q., and Cheng, K.Yu. 2003. Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. 56: 109-137.
17. Chen, Y. anjie, 2004. Morphotectonic features of taiwan mountain belt based on hypsometric integral, Topographic Fractals and SL Index. Taiwan: National Cheng Gong University. 57: 95-108
18. Haller, A. 2012. Vivid valleys, pallid peaks, Hypsometric variations and rural-urban land change in the Central Peruvian Andes. *Applied Geography*. 35: 439-447.
19. Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Poesen, J., Tsubo, M., Meshesha, D.T., Nyssen, J., and Adgo, E., 2017. Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: Case study of the Upper Blue Nile River. *Science of the Total Environment*, 574: 95-108