

بررسی فعالیت زمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی و GIS در

حوضه‌های ناحیه مراغه (آذربایجان خاوری، شمال‌باختر ایران)

سحر بابایی؛ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

منوچهر قرشی*؛ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

محسن پور کرمانی؛ استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

حسن حاجی حسینلو؛ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوی، آذربایجان غربی، ایران

سپه‌یلا بوذری؛ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵

چکیده

مورفوتکتونیک، یکی از شاخه‌های اصلی زمین‌شناسی، که با ارزیابی لندفرم‌های موجود در سطح زمین به نیروها و عوامل توسعه آن‌ها می‌پردازد، در بسیاری از انواع تحقیقات مورد بحث قرار گرفته است. از آنجا که لندفرم‌ها به طور کلی با آخرین حرکات پوسته زمین در ارتباطند، مطالعه آن‌ها می‌تواند به موضوعات مربوط به زمین‌شناسی جنبه کمک شایانی کند. از طرف دیگر، اشکال و شکل‌های سطح زمین فقط محصول عوامل و نیروهای داخلی نیستند. عوامل خارجی نیز باعث ایجاد تغییر شکل در اشکال و اشکال ناشی از نیروهای داخلی زمین می‌شوند و در زمینه‌های ژئومورفولوژی مورد بررسی قرار می‌گیرند و تأثیر آن‌ها نیز باید در مطالعات مورفوتکتونیک مورد توجه قرار گیرد. با توجه به رابطه نزدیک تکتونیک و ژئومورفولوژی، موضوعی به نام ژئومورفولوژی تکتونیک مطرح شده است که به تأثیر متقابل این عوامل می‌پردازد. همه اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین را می‌توان با توجه به اندازه، ارتفاع، و شیب آن‌ها توصیف و سپس با پارامترهای کمی مقایسه کرد. درحالی‌که اندازه‌گیری کمی از این فرم‌ها امکان محاسبه خصوصیات ویژه یک منطقه، مانند سطح فعالیت تکتونیک آن‌ها، را علاوه بر مقایسه دقیق‌تر شاخص‌ها و پارامترهای ژئومورفولوژیکی مهم‌ترین هدف استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک و اندازه‌گیری‌های مورفومتریک در ژئومورفولوژی که کسب و بررسی فرم‌ها و ناهمواری‌های سطح زمین از یک کیفیت و توصیفی به عددی می‌باشد را در بر می‌گیرد. مورفومتري یعنی اندازه‌گیری کمی شکل مناظر یا چشم‌اندازها که در این مقاله به عنوان روش اساسی تعیین زمین‌ساخت نسبی جنبای ناحیه مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، مورفومتري یکی از راه‌های مهم برای تعیین نرخ فعالیت تکتونیک منطقه در نظر گرفته می‌شود. در سطح ساده‌تر شکل‌های زمین‌ساختی می‌توانند در اندازه و ارتفاع (حداقل، متوسط، حداکثر) مشخص شوند. اندازه‌گیری‌های کمی توسط ژئومورفولوژیست‌ها برای شکل‌های مختلف زمین‌ساختی انجام شده است و کمتر به صورت پارامترهای مستقیم تعیین گردیده‌اند. این موضوع ممکن است جهت تشخیص ویژگی‌های مشخص‌کننده سطح فعالیت‌های تکتونیک به کار گرفته شوند. بعضی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی به عنوان یک ابزار اکتشافی توسعه یافته‌اند تا در مناطق مختلف به طور تجربی سرعت تغییر شکل تکتونیک را مشخص نمایند. این اطلاعات برای طراحی‌های تحقیقاتی به کار می‌روند تا اطلاعاتی برای فعالیت‌های تکتونیک به دست آورند. شاخص‌های دیگر به صورت توصیف کیفی توسعه پیدا کرده‌اند. اما شاخص‌های کمی ژئومورفیک به‌ویژه در مطالعات تکتونیک مفید هستند. چون از آن‌ها می‌توان برای ارزیابی سریع مناطق بزرگ استفاده کرد

و اطلاعات مورد نیاز اغلب به طور ساده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی به دست می‌آیند. در بررسی‌های مورفومتری یا ریخت‌سنجی دو دسته شاخص‌های کیفی و کمی قابل بررسی هستند. بررسی این شاخص‌ها به ما کمک می‌کند در خصوص وضعیت تکتونیکی منطقه از لحاظ فعالیت یا عدم فعالیت اطلاعات دقیقی را به دست آوریم. به عبارتی مورف یا ریخت‌ها در منطقه انعکاسی از نرخ فعالیت‌های تکتونیکی در آن منطقه هستند. اهمیت مطالعه مورفوتکتونیکی به منظور دستیابی به نتایج اساسی و مهمی است که معمولاً از طریق مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی حاصل می‌شود. اندازه‌گیری کمی به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه می‌دهد که اشکال مختلف سطح زمین را به طور عینی با یکدیگر مقایسه کنند. یکی از مهم‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی میزان و نحوه عملکرد خطوط گسلی، ویژگی‌های ژئومورفیک عوارض پیرامون آن‌ها، و به‌ویژه مورفولوژی حوضه آبخیز و مخروط‌افکنه‌ها است. همچنین نیروهای درونی زمین در قالب فرایندهای تکتونیک موجب تشکیل ناهمواری‌های زمین و تشکیل فرم‌های اصلی را فراهم می‌آورند. اما تأثیر آن‌ها در تغییر چشم‌اندازهای ساختمانی و ژئومورفولوژیکی زمین در همه جا یکنواخت و یکسان نیست؛ بلکه همواره در تغییر و تحول و ایجاد شکل‌های جدید نقش اساسی دارند. شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در ارزیابی فعالیت تکتونیکی یکی از مهم‌ترین راه‌های شناخت این تغییرات‌اند. در علم مورفوتکتونیک برای بررسی نوع ارتباط بین گسل‌ها و لندفرم‌های حاصل از نقشه‌های خمیدگی به منظور تشخیص و توصیف خطوط گسل استفاده می‌شود. در این مقاله زمین‌ساخت فعال حوضه‌های ناحیه مراغه، که در شمال‌باختر واقع شده، بر پایه شاخص‌های زمین‌ریختی بررسی شده است. شاخص طول - شیب رودخانه (SI)، انتگرال فراسنجی (Hi)، شکل حوضه زهکشی (Bs)، نبود تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص سینوسیته پیشانی کوهستانی (Smf) محاسبه شدند. در پایان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شد که ترکیبی از شاخص‌های بالاست. با میانگین‌گیری از کلاس‌های به‌دست‌آمده (S/n)، منطقه مطالعه‌شده به سه پهنه زمین‌ساختی تقسیم شد. هدف تعیین سطح فعالیت تکتونیکی بود که به منظور تحلیل درست از ناحیه مطالعاتی مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با وزن‌های حاصله از ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و در نهایت لایه نهایی زمین‌ساخت فعال ناحیه تهیه شد. با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فعالیت نسبی زمین‌ساختی از ناحیه مورد مطالعه به دست آمد.

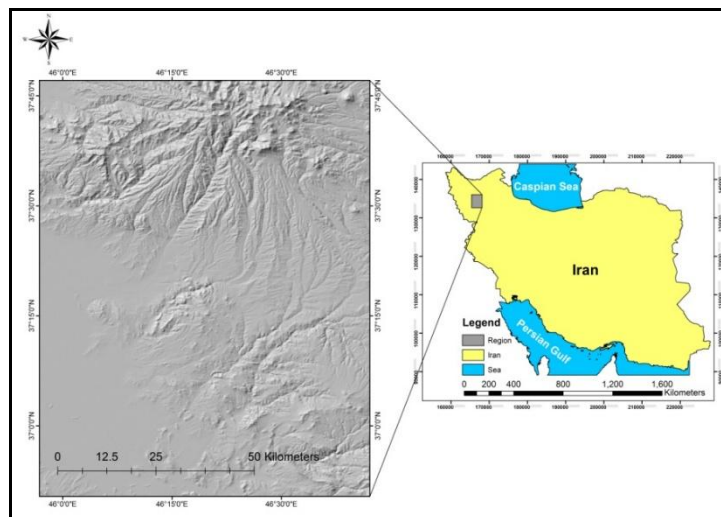
کلیدواژگان: تحلیل سلسله مراتبی، حوضه‌های ناحیه مراغه، زمین‌ساخت فعال، شاخص‌های ژئومورفیک.

مقدمه

آذربایجان بر اساس آخرین مرزبندی تکتونیکی در زون ساختار البرز باختری - آذربایجان قرار می‌گیرد. زون البرز - آذربایجان از شمال به بلوک فروافتاده کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. منطقه مورد مطالعه بنا بر تقسیم‌بندی نبوی (۱۳۵۵) در بخش البرز - آذربایجان، بنا بر تقسیم‌بندی اشتوکلین (۱۹۶۸) در حاشیه باختری بخش ایران مرکزی نزدیک به زون سنج - سیرجان، و بنا بر تقسیم‌بندی آقنابتی (۱۳۸۳) در زون ایران میانی قرار گرفته است و این زون بخش گسترده‌ای از ایران را، که میان دو زمین‌درز تئیس کهن (در شمال) و تئیس جوان (در جنوب) قرار دارد، شامل می‌شود. مهم‌ترین ساختار ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه توده آتشفشانی پلیوکواترنر سهند است. شیب ارتفاعات این توده آتشفشانی ابتدا تند است و به تدریج ملایم می‌شود. آبراه‌ها و رودخانه‌های منطقه در بخش ابتدایی خود به صورت شعاعی پیرامون این توده آتشفشانی را احاطه کرده و در ادامه تحت تأثیر تکتونیکی و عوامل زمین‌شناسی تغییر مسیر داده و در مسیری موازی به سمت سطح اساس محلی، که دریاچه ارومیه است، می‌روند.

رودخانه‌های صوفی‌چای و مردق‌چای، که از منابع مهم تغذیه‌کننده آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه‌اند، از ارتفاعات دامنه‌های جنوبی سهند سرچشمه می‌گیرند. راستای گسل‌خوردگی‌های اصلی ساختمان‌های زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه شمال‌باختر - جنوب‌خاور است. همچنین، گسل‌های با جهت تقریباً شمالی - جنوبی نیز در منطقه به چشم می‌خورند. در جنوب شهر مراغه، بناب، و ملکان مجموعه‌ای از واحدهای رسوبی و ولکانیک با سن کرتاسه رخمون یافته‌اند که توسط مجموعه‌ای از گسل‌ها با روند شمال‌باختر - جنوب‌خاور بریده شده‌اند. بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین گسل در این مجموعه در فاصله بین روستاهای شیخ‌بابا و علی‌آباد قشلاق قرار دارد.

تلفیق مطالعات مورفوتکتونیک و بررسی‌های ساختاری در بارزسازی فعالیت‌های تکتونیک و تکامل ساختاری منطقه نقش به‌سزایی دارد. منطقه مورد مطالعه با مختصات $37^{\circ} 37' - 36^{\circ} 52'$ طول خاوری و $45^{\circ} 55' - 46^{\circ} 39'$ عرض شمالی (شکل ۱) شمال‌باختری ایران و شهر مراغه و حومه‌های آن را در بر می‌گیرد؛ به طوری که در بخش‌های جنوبی (حدود ۱۳۸ کیلومتری استان آذربایجان خاوری) واقع شده است. این شهرستان از شمال‌خاور به شهرستان بستان‌آباد، از خاور به شهرستان هشترود و رشته کوه‌های خاوری، با حداکثر ارتفاع ۲۵۰۰ متر، از جنوب به شهرستان ملکان و جلگه دریاچه ارومیه و کوه‌های کم‌ارتفاع، با حداکثر ۱۵۰۰ متر، از جنوب‌خاور به شهرستان چاراویماق، از باختر به دریاچه ارومیه، با ارتفاع تقریبی ۱۲۷۵ متر از سطح دریا، و از شمال‌غرب به شهرستان عجب‌شیر و اسکو محدود است.



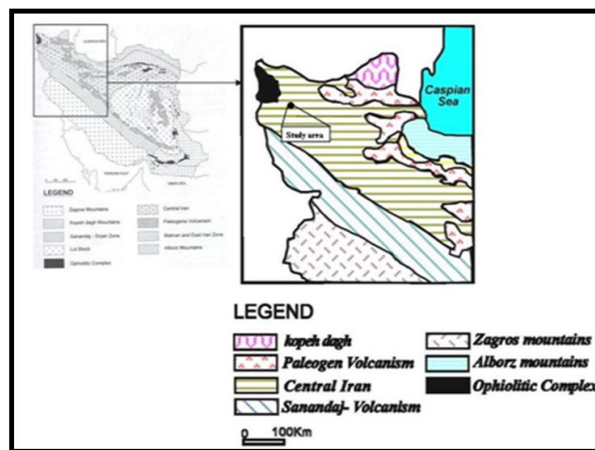
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جایگاه زمین‌شناسی

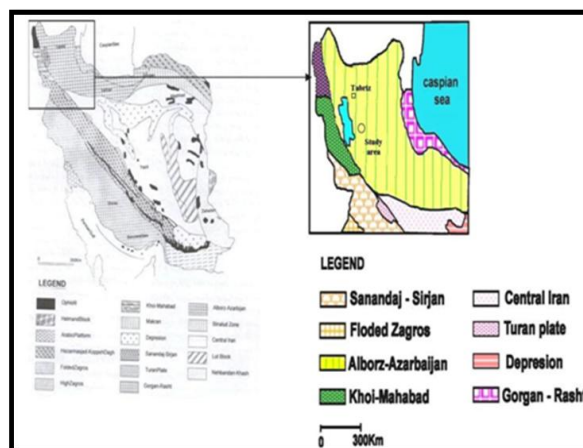
کشور ایران، به لحاظ قرارگیری در کمربند زلزله‌خیز آلپ - هیمالیا، از نظر فعالیت‌های زمین‌ساختی از نواحی بسیار فعال جهان است (Berberian 1995). منطقه مورد مطالعه در شمال‌باختری ایران قرار دارد و سازندهای ناحیه به وسیله امتداد شاخه‌های گسل اوربات و سهند، بوکت، مراغه، و قطار قطع شده‌اند. بر اساس اولویت تأثیرگذاری هر یک از ساختارهای

تکتونیکي جنبا در ناحیه و با توجه به پراکندگی رومرکز داده‌های یک سال اخیر و مطالعات میدانی و صحرایی، داده‌های رستری در نرم‌افزار ArcGIS به منظور برآورد پهنه‌های پرمخاطره تهیه شد.

آذربایجان بر اساس آخرین مرزبندی تکتونیکي در زون ساختار البرز باختری - آذربایجان قرار می‌گیرد. زون البرز - آذربایجان از شمال به بلوک فروافتاده کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. طبق تقسیم‌بندی اشتوکلین (۱۹۶۸)، موقعیت محدوده مورد پژوهش در زون ایران مرکزی است (شکل ۲). اشتوکلین (۱۹۶۸) بخش اعظم آذربایجان را جزئی از ایران مرکزی به شمار آورده و فقط حاشیه شمال‌خاوری آن را جزء زون البرز و بخش جنوب‌باختری آن را جزء زون سندج - سیرجان می‌داند. ایران را، به لحاظ زمین‌شناسی، نبوی در سال ۱۳۵۵ (شکل ۳) و افتخارنژاد در سال ۱۳۵۹ و بربریان و کینگ در سال ۱۳۷۴ تقسیم‌بندی کردند. طبق تقسیم‌بندی نبوی (۱۳۵۵) محدوده مورد مطالعه در زون البرز - آذربایجان واقع شده است (شکل ۳).



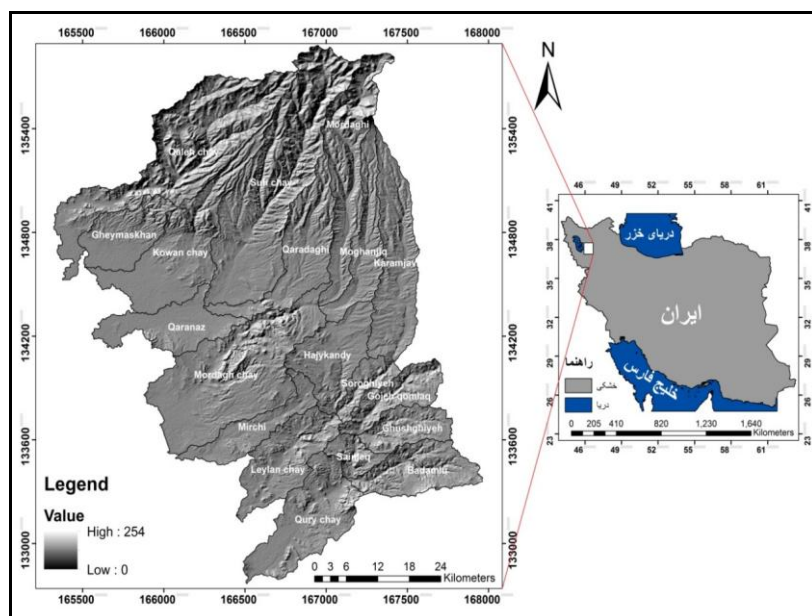
شکل ۲. تقسیم‌بندی ساختاری زمین‌شناسی ایران (Stocklin 1968)



شکل ۳. موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران (نبوی ۱۳۵۵)

ارزیابی شاخص‌های ریخت‌سنجی

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی برای شناسایی خصوصیات خاص یک ناحیه، مثلاً برای تعیین سطح فعالیت‌های زمین‌ساختی، مفیدند. این شاخص‌ها برای شناسایی مناطقی که تغییر شکل سریع زمین‌ساختی داشته‌اند مفیدند. هر یک از شاخص‌ها ارائه‌دهنده یک طبقه‌بندی نسبی از میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی است. وقتی چند شاخص برای یک ناحیه استفاده می‌شود، نسبت به به‌کارگیری یک شاخص، نتایج بامعناتری به دست می‌آید (Keller & Pinter 2002). رودخانه‌ها عناصر اصلی ریخت‌سنجی حوضه‌های آبریزند که تغییرات آن‌ها قبل و بعد از بالآمدگی و حرکت گسل‌ها در زیر لایه‌های زمین می‌تواند ریخت‌سنجی رودخانه‌ها را تغییر دهد؛ حتی رودخانه‌ها تغییر مسیری ناگهانی داشته باشند. شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی در نواحی مختلف دنیا را دانشمندان متعدد تأیید کرده‌اند؛ مثلاً سواحل اقیانوس آرام در کاستاریکا (Wells et al 1988)، سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا (Silva et al 2003)، و همچنین جنوب کوهستان سیرانوادای کالیفرنیا (Figuera & Knott 2010). زمین‌ریخت‌شناسی ابزاری ارزشمند در بررسی زمین‌ساخت جنبا است. توصیف اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین با روابطی از اندازه، ارتفاع (حداکثر، حداقل، میانگین)، و شیب آن‌ها به دست می‌آید. در این پژوهش هفت شاخص مرتبط با تغییرات کانال رود و حوضه‌های آبریز بررسی شد و با استفاده از یک شاخص منفرد (Iat)، که نتیجه محاسبات هفت شاخص ریخت‌سنجی است، به ارزیابی فعالیت زمین‌ساخت نسبی ناحیه پرداخته شد (El. Hamdouni et al 2008). در نهایت، با توجه به اولویت تأثیر هر یک از شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه و دادن وزن کارشناسی با ضرایب همبستگی به هر یک از شاخص‌های ریخت‌سنجی و اجرای مدل AHP نرم‌افزار Expert Choice میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی برای هر حوضه به طور جداگانه محاسبه شد. در شکل ۴ حوضه‌های آبریز گستره مورد پژوهش روی نقشه ایران دیده می‌شود.



شکل ۴. حوضه‌های آبریز گستره مورد پژوهش

روش بررسی

ابتدا حوضه‌های آبریز ناحیه از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) توسط نرم‌افزار GIS با افزونه Arc Hydro استخراج شد. هفت شاخص مورفومتری برای زیرحوضه‌های ناحیه (با دارا بودن پارامترهای هر شاخص، مانند گسل‌های ناحیه و رودخانه‌های اصلی و نقشه کنتورهای توپوگرافی و ...) با روابط کلر و پینتر (۲۰۰۲) به دست آمد و توسط نرم‌افزار GIS محدوده‌بندی رده‌های فعالیت (حمدونی و همکاران ۲۰۰۸) برای هر حوضه آبریز انجام گرفت و با تفکیک کلاس‌ها به هر شاخص نمایش داده شد؛ که به طور کامل در ادامه به آن پرداخته می‌شود. جدول Iat (شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساختی) برای حوضه‌های ناحیه به دست آمد و چون همه شاخص‌ها در روش حمدونی و همکارانش (۲۰۰۸) با نسبت تأثیر هر شاخص به طور یکسان به دست می‌آید تأثیر هر شاخص برای تغییر صحیح رده‌های فعالیت در ناحیه به دست آمد. برای این منظور از روش تحلیل سلسله مراتبی با اعمال مقادیر هر شاخص استفاده شد؛ به طوری که ماتریسی بین مقادیر محاسبه شاخص‌ها برقرار شد و با نرم‌افزار Excell بین مقادیر هر شاخص با شاخص دیگر معادله شیب خط برقرار شد و پس از به دست آمدن ضریب تبیین و جذر آن ضرایب همبستگی بین هر شاخص محاسبه شد و با اعمال ضرایب همبستگی در نرم‌افزار تخصصی تحلیل سلسله مراتبی Expert choice ضرایب تأثیر هر شاخص با روش AHP (به صورت خودکار با وارد کردن مقادیر و ساختن ماتریس‌ها در نرم‌افزار محاسبه می‌گردد) به دست آمد و در نهایت با وارد کردن مقادیر در نرم‌افزار GIS با دستور Raster calculator و ادغام کردن لایه‌های اطلاعاتی با دستور Fuzzy Overlay تغییرات رده‌های فعالیت نسبی زمین‌ساختی حاصل شد.

یافته‌های پژوهش

در منطقه مورد مطالعه هفت شاخص مورفومتری برای ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی گستره تعیین شد که در ادامه آمده است.

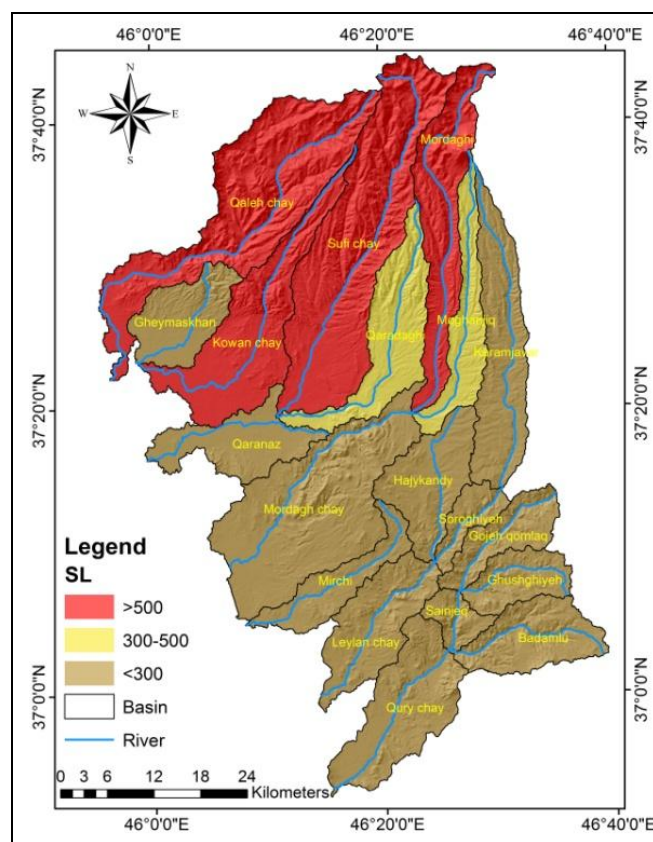
شاخص طول - شیب آبراهه (SI)

تغییرات شیب کانال رود که عامل تغییر شیب سطح آب است متأثر از جنس سنگ‌ها و فعالیت‌های زمین‌ساختی است (Keller & Pinter 2002). شاخص SI نمایانگر موازنه میان فرایندهای فرسایشی، همانند جریان‌های رودخانه‌ای و جنبش‌های زمین‌ساختی، است (Hack 1957, 1973, 1982) که با رابطه ۱ تعریف می‌شود (Hack 1973).

$$\Delta l / SL = (\Delta h) \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، I طول کانال رود از بالادست تا نقطه‌ای است که برای آن شاخص محاسبه می‌شود و $\Delta h / \Delta l$ شیب بخشی از کانال رود است. این شاخص متأثر از میزان بالآمدگی در یک ناحیه است. بنابراین مؤلفه‌های حرکتی با جابه‌جایی‌های افقی، همانند گسل‌های امتدادلغز، تأثیر چندانی در این شاخص ندارند. مقادیر این شاخص در ناحیه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد که با نتایج اندازه‌گیری مقادیر این شاخص به سه دسته طبقه‌بندی شدند: $SL < 300$, $300 \leq SL < 500$, $SL \geq 500$. آستانه‌های این شاخص آبراهه‌های متأثر از حرکات تکتونیکی را با مقادیر SL بیش از ۵۰۰ متر نشان می‌دهد و مقادیر کمتر از ۳۰۰ متر هم بیانگر

حوضه‌هایی هستند که رودخانه بیشتر از فرایندهای فرسایشی متأثر شده است (شکل ۵). این شاخص به شدت تحت تأثیر لیتولوژی قرار دارد؛ به طوری که مقادیر بالای شاخص SI مرتبط با لیتولوژی سخت، مانند توف ضخیم‌لایه، است، در حالی که لیتولوژی نرم با مقادیر پایین متأثر از رسوبات نرم، مانند رسوبات رودخانه‌ای، است. این در حالی است که تحلیل فوق، اگر بالعکس شود، ساختارهای تکتونیکی در آن نقاط فعال معرفی می‌شوند. پس از بررسی مقادیر این شاخص در نقاط اندازه‌گیری شده برای هر حوضه آبریز مشخص شد ساختارهای تکتونیکی نقش اصلی را در کنترل فعالیت نسبی زمین‌ساختی در ناحیه دارد و نقش لیتولوژی کمتر است.

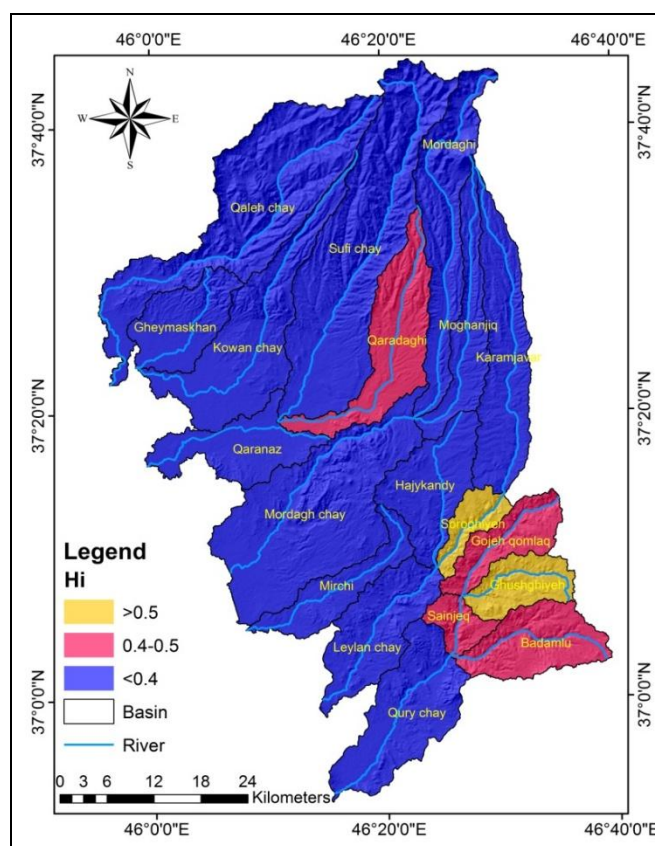


شکل ۵. توزیع فضایی از مقادیر شاخص SI

انتگرال فرازسنجی (Hi)

انتگرال فرازسنجی پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد. منحنی فرازسنجی، که شامل رسم نسبت ارتفاعی در برابر نسبت مساحت و محاسبه مساحت زیر منحنی است، مستقل از اندازه حوضه و برآمدگی است (Strahler 1952). استفاده مفید از منحنی فرازسنجی این است که حوضه‌های زهکشی با اندازه‌های مختلف را می‌توان با یکدیگر مقایسه کرد (Pike & Wilson 1971; Mayer 1990; Keller & Pinter 2002). انتگرال فرازسنجی به طور مستقیم با زمین‌ساخت فعال ارتباط ندارد. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده نواحی فعال و جوان است و مقادیر پایین آن با

نواحی قدیمی که فرایند فرسایش بر آنها حاکم است و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت جنبای منطقه قرار دارد مرتبط است (El. Hamdouni et al 2008). در منطقه مورد مطالعه با رسم منحنی از روی مدل ارتفاعی رقومی و محاسبه مساحت سطح زیر آن، که نشان‌دهنده مقدار شاخص انتگرال فراسنجی است، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و Excel، این شاخص بررسی شد. مقادیر این شاخص به سه دسته طبقه‌بندی شدند: $Hi < 0.4$ ، $0.5 < Hi < 0.5$ ، $Hi > 0.5$. با توجه به محاسبه شاخص Hi حوضه‌های سوروقیه و قوشقیه در جنوب‌باختر ناحیه در رده ۱ تکتونیک و بقیه حوضه‌ها در رده ۲ تا ۳ تکتونیک جای دارند (شکل ۶).



شکل ۶. توزیع فضایی از مقادیر شاخص Hi

عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

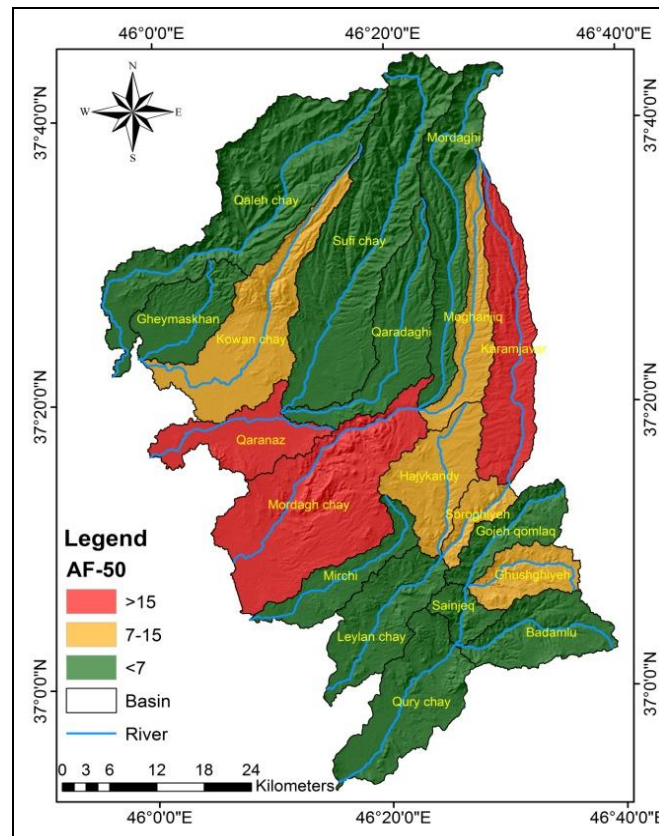
طول آبراهه و زهکشی‌های فرعی در دو سوی آبراهه اصلی نیز می‌توانند برای ارزیابی بالآمدگی فعال استفاده شوند. این شاخص با رابطه ۲ تعریف می‌شود (Keller & Pinter 2002).

$$At/Af=100(Ar)$$

رابطه ۲

در رابطه ۲، Af شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها، Ar مساحت حوضه دربرگیرنده زهکشی‌های فرعی در سمت راست آبراهه اصلی (دید به سمت پایین آبراهه اصلی)، و At مساحت کل حوضه دربرگیرنده زهکشی‌های فرعی در سمت چپ و

راست آبراهه اصلی‌اند. مقادیر عددی Af، در حدود ۵۰، بیانگر وجود تقارن زهکش‌ها و در نتیجه عدم کج‌شدگی بر اثر بالآمدگی و مقادیر عددی بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه است که می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی باشد. با استفاده از ArcGIS میزان این شاخص برای حوضه‌ها اندازه‌گیری شد. مقادیر این شاخص به سه دسته طبقه‌بندی شدند: $AF-50 > 15$, $15 > AF-50 > 7$, $AF-50 > 7$. حوضه قوری‌چای با مقدار ۴۹/۶۲ دارای بیشترین تقارن است و حوضه‌های قره‌ناز و مرداغ‌چای، به علت رانندگی و چین‌خوردگی، دارای بیشترین کج‌شدگی هستند که می‌تواند مربوط به ساختارهای تکتونیکی فعال منطقه باشد. دو حوضه گوجه‌مقلق و ساینجگ دارای کمترین کج‌شدگی‌اند که هر دو به سمت شمال جریان دارند و اولی به سمت باختر و دومی به سمت خاور کج‌شدگی کمی را نشان می‌دهند (شکل ۷).



شکل ۷. توزیع فضایی از مقادیر شاخص Af

شکل حوضه (Bs)

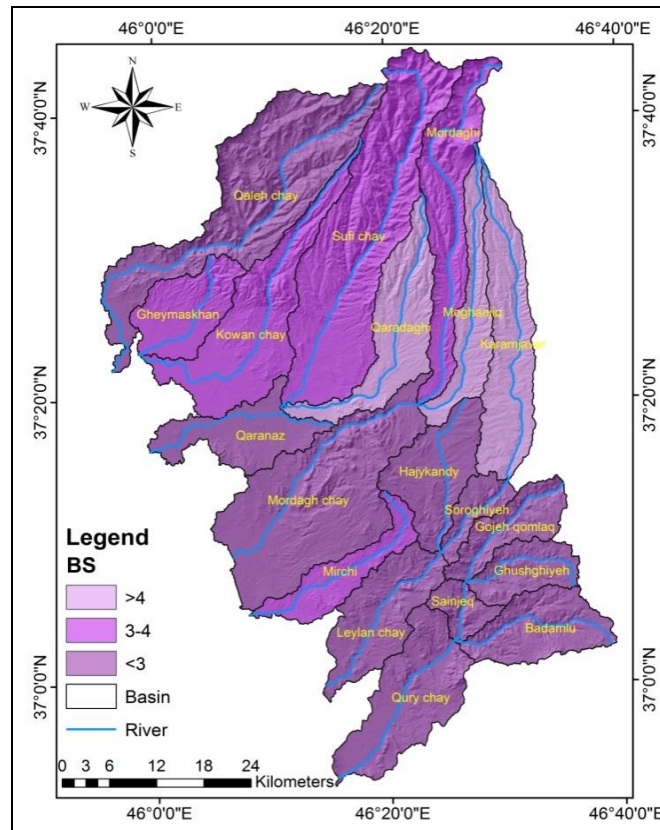
این شاخص با رابطه ۳ بیان می‌شود (Cannon 1976; Ramirez – Herrera 1998).

$$BW / BS = B1$$

رابطه ۳

در رابطه ۳، B1 طول حوضه و فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن و BW عرض حوضه است که

در عریض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود. میزان بالای این شاخص بیانگر حوضه‌های کشیده است که بیشتر در نواحی جوان‌تر حوضه و مرتبط با پیشانی‌های کوهستانی جلویی^۱ به علت بالآمدگی سریع مرتبط با این ساختارها دیده می‌شود (Bull 2007). مقادیر این شاخص به سه دسته طبقه‌بندی شدند: $BS < 3$, $4 > BS > 3$, $BS > 4$. میزان این شاخص برای همه حوضه‌ها محاسبه شد (شکل ۸).



شکل ۸. توزیع فضایی از مقادیر شاخص BS

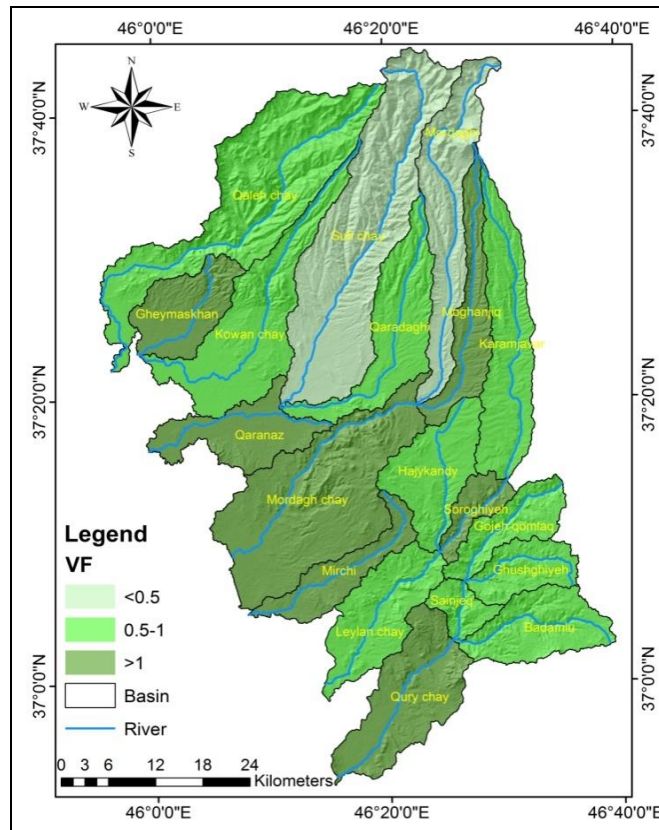
نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)

این نسبت نشان‌دهنده رابطه‌ای میان میزان فعالیت زمین‌ساختی در منطقه و تشکیل دره‌هاست که با رابطه ۴ تعریف می‌شود.

$$Vf = 2 Vfw / (Ald + Ard - 2Asc) \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه ۴، Vfw عرض کف دره، Ald ارتفاع سمت چپ دره، Ard ارتفاع سمت راست دره در محل اندازه‌گیری، و Asc ارتفاع کف دره است. دره‌های V شکل و باریک مرتبط با پیشانی‌های کوهستانی فعال و نشان‌دهنده بالآمدگی سریع و حفر بستر رود در امتداد مسیر آن هستند. با کاهش فعالیت زمین‌ساختی عوامل فرسایشی موجب افزایش پهنای کف دره و تشکیل دره‌های U شکل می‌شوند (Keller & Pinter 2002). از دیدگاه سیلوا و همکارانش (۲۰۰۳) این

شاخص باید در فاصله مشخصی از پیشانی کوهستان (۱/۵ - ۱ کیلومتر) اندازه‌گیری شود. در منطقه مورد مطالعه میزان این شاخص برای دره‌های اصلی، که پیشانی گسلی را قطع می‌کنند، محاسبه شد. میزان پایین شاخص V_f نشان‌دهنده سطح بالآمدگی بیشتر است (Keller & Pinter 2002). مقادیر این شاخص به سه دسته طبقه‌بندی شدند: $V_f \leq 0.5$, $0.5 < V_f < 1$ (شکل ۹).



شکل ۹. توزیع فضایی از مقادیر شاخص V_f

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (S_{mf})

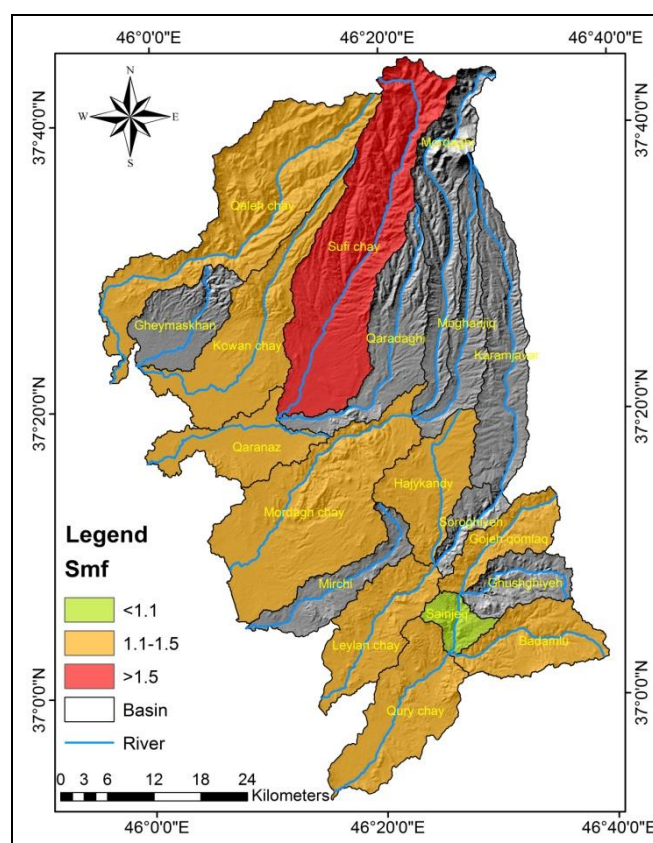
این شاخص با رابطه ۵ تعریف می‌شود (Bull & Mcfadden 1977; Bull 2007).

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s$$

رابطه ۵

در رابطه ۵، S_{mf} نسبت پیچ و خم یا سینوسیته پیشانی کوهستانی، L_{mf} طول پیشانی کوهستان در حد میان کوهستان و کوهپایه، و L_s طول مستقیم پیشانی کوهستان است. شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان بازتاب تعادل میان تمایل رودخانه‌ها برای ایجاد یک پیشانی نامنظم و فعالیت زمین‌ساختی قائم است که تمایل به ایجاد پیشانی مستقیم و برجسته دارد (Bull & Mcfadden 1977). بنابراین، نیروهای زمین‌ساختی تمایل دارند که یک پیشانی کوهستانی صاف و مستقیم، منطبق با یک مرز گسل فعال، بسازند؛ درحالی‌که فرایندهای فرسایشی باعث می‌شوند پیشانی کوهستان به شکل غیرمستقیم درآید. این شاخص به سه رده تقسیم شده است (El. Hamdouni et al 2008): رده ۱

($Smf \leq 1.1$)، رده ۲ ($1.1 < Smf < 1.5$)، و رده ۳ ($1.5 \leq Smf$) در منطقه مطالعاتی محاسبه پیچ و خم پیشانی کوهستان با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ در سامانه اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد سیزده قطعه در ناحیه مورد مطالعه با مقدار شاخص Smf یک قرار دارند که نشان‌دهنده گسل‌های پیشانی کوهستانی بسیار فعال در این نقاط است و با جبهه‌های کوهستانی جنباً مشخص می‌شوند. فعال‌ترین جبهه‌های کوهستانی مربوط به حوضه‌های قلعه‌چای، مرداغ‌چای، ساینجگ، قوری‌چای، و لیلان‌چای در کل ناحیه‌اند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. توزیع فضایی از مقادیر شاخص Smf

تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)

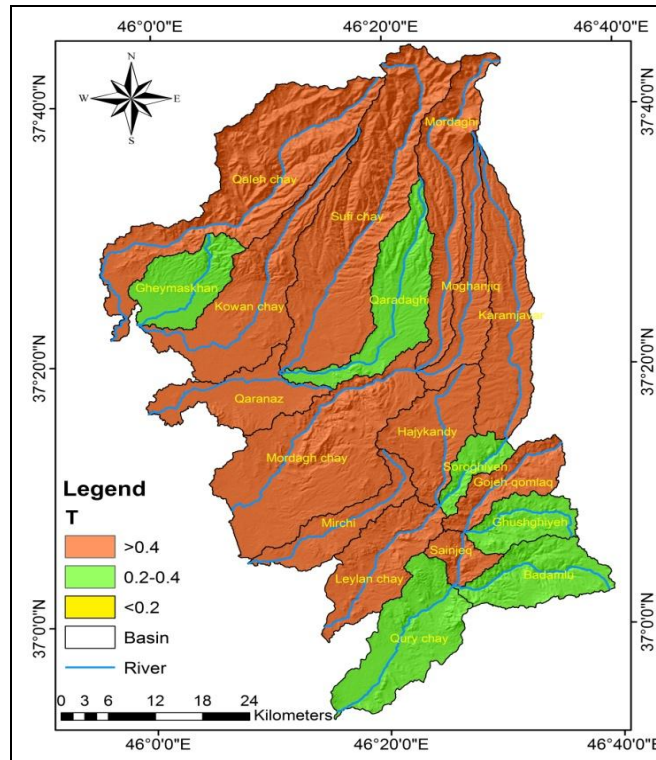
محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره است و با رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$T = Da/Dd$$

رابطه ۶

در رابطه ۶، Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مانداری حوضه (مسیر رود اصلی) و Dd فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب است. هر چه مقدار این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد عدم تقارن بیشتر و زمین‌ساخت فعال‌تر است. در حوضه‌های کاملاً متقارن $T=0$ است (Keller & Pinter 2002). این شاخص به سه رده تقسیم شده است: رده ۱ ($T \geq 0.4$)، رده ۲ ($0.2 < T < 0.4$)، و رده ۳ ($T \leq 0.2$). مقادیر محاسبه‌شده برای این شاخص به خوبی

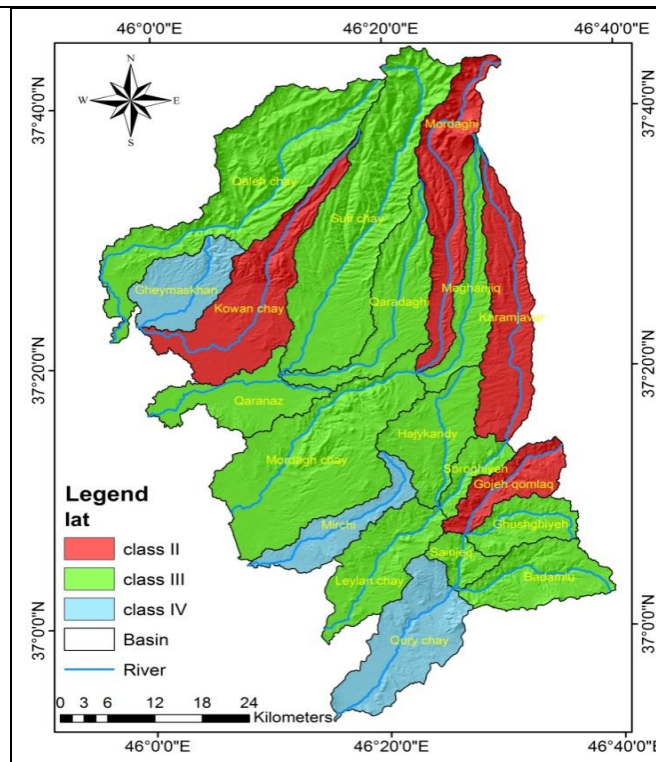
مقادیر شاخص AF را تأیید می‌کند. به عبارت دیگر، کج‌شدگی‌ها و تقارن‌های توپوگرافی عرضی رودخانه‌ها را در بیشتر حوضه‌های منطقه نشان می‌دهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. توزیع فضایی از مقادیر شاخص T

رده‌بندی نسبی جنبایی زمین‌ساختی (Iat)

در این پژوهش سعی شد، با استفاده از متغیرهای ریخت‌زمین‌ساختی، فعالیت نسبی تکتونیکی در یک منطقه ارزیابی شود. از میانگین‌گیری رده‌های مختلف شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی جنبایی نسبی زمین‌ساختی (Iat) به دست می‌آید که برای ارزیابی توزیع فعالیت نسبی زمین‌ساختی در منطقه مطالعاتی استفاده می‌شود و می‌توان آن را به چهار رده تقسیم کرد (El Hamdouni et al 2008): رده ۱ از دید فعالیت زمین‌ساختی خیلی فعال (Very high) است با $1 < Iat \leq 1.5$ ، رده ۲ از دید فعالیت زمین‌ساختی فعال (high) است با $1.5 < Iat \leq 2$ ، رده ۳ از دید فعالیت زمین‌ساختی متوسط (Moderate) است با $2 < Iat < 2.5$ ، و رده ۴ از دید فعالیت زمین‌ساختی کم (Low) است با $2.5 \leq Iat$. کلاس‌های فعالیت زمین‌ساختی نسبی (Iat) با گردآوری همه هفت شاخص ژئومورفولوژی در ناحیه مطالعاتی به دست آمد. بر اساس ارزش هر یک از کلاس‌های به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفولوژی برای هر حوضه و میانگین‌گیری از آن‌ها (S/n) منطقه مورد مطالعه به سه پهنه زمین‌ساختی تقسیم شده است (شکل ۱۲).

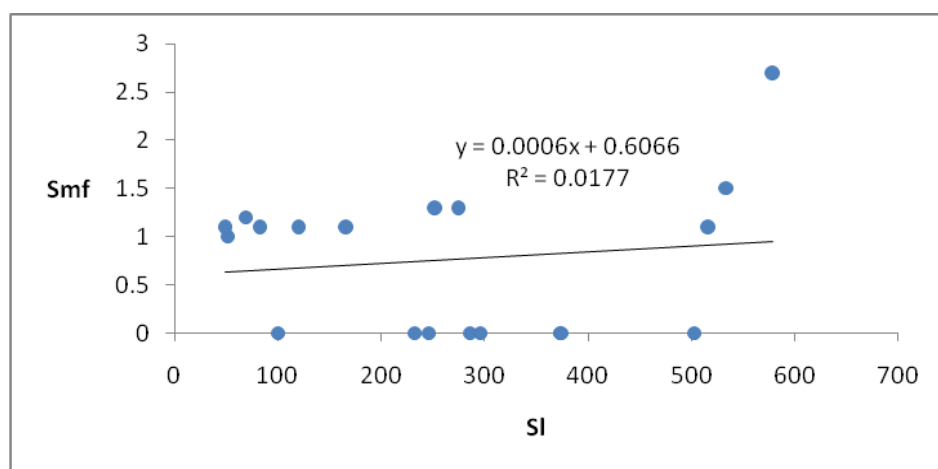


شکل ۱۲. رده‌بندی تکتونیک فعال نسبی منطقه مورد مطالعه (Iat) به تفکیک رنگ

بحث

AHP مخفف Analytical Hierarchy Process به معنی فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از فنون معروف تصمیم‌گیری چندمنظوره است. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است و تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم می‌گیرد و سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌شود. در نهایت منطق فرایند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌کند که تصمیم بهینه حاصل آید (Saaty 1977). به نظر می‌رسد می‌توان با بررسی عوامل تأثیرگذار بر هر شاخص و با استفاده از اطلاعات و نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها به تعیین وزن و اولویت هر یک از لایه‌های شاخص‌های فوق دست پیدا کرد تا، به جای اتکای صرف به میانگین هر شاخص در روش Iat، وزن و اهمیت هر شاخص در مقایسه با شاخص‌های دیگر اساس کار در تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی محدوده مورد مطالعه قرار گیرد. شاخص Iat بر اساس وزن‌دهی به شاخص‌ها صورت نگرفته است و در محاسبه آن همه شاخص‌ها با نسبت اهمیت برابر در نظر گرفته شده‌اند. بر این اساس با توجه به اینکه برخی شاخص‌ها به طور مستقیم و برخی دیگر به طور غیرمستقیم با فعالیت تکتونیکی منطقه مرتبط‌اند، منطقی به نظر می‌رسد که بعضی از شاخص‌ها نسبت به شاخص‌های دیگر دارای وزن بیشتری باشند. در این زمینه، به منظور تحلیل این سیستم، نقشه‌های حاصل از رده‌بندی شاخص‌ها را در قالب لایه‌های رستری و ارزش‌گذاری شده در محیط GIS تهیه کرده‌ایم و برای شناسایی اولویت‌ها و ادغام نقشه‌ها، شاخص‌های ژئومورفیک را با

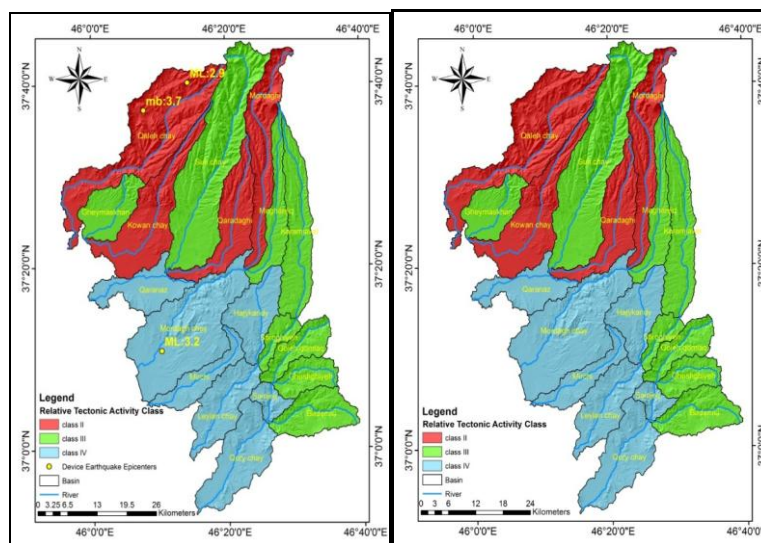
توجه به ضریب تبیین و ضریب همبستگی اولویت‌بندی کرده‌ایم. (شکل ۱۳)، از جذر گرفتن ضریب تبیین، ضرایب همبستگی به دست آمده است. مقادیر شاخص‌ها در جدول ۱ دیده می‌شود. در نهایت به کمک نرم‌افزار ArcGIS ضرایب تأثیر با دستور Raster Calculator اعمال شد و رستر خروجی به دست آمد و با دستور Fuzzy Overlay فازی شد و به چهار کلاس فعالیت زمین‌ساختی نسبی نهایی تقسیم شد (شکل ۱۴). سپس لایه نهایی زمین‌ساخت نسبی جنبای همپوشانی شده با اعمال ضرایب تهیه شد که بر اساس آن حوضه‌های قلعه‌چای، کوان‌چای، قره‌داغی، و مرداغی در رده کلاس ۲ (حمدونی ۲۰۰۸) با فعالیت نسبی زمین‌ساختی بالا قرار گرفت و حوضه‌های قیمن‌خان، صوفی‌چای، مغانجیگ، کرم‌جوار، سوروقیه، گوجه‌قملق، باداملو، و قوشقیه در رده کلاس ۳ با فعالیت نسبی زمین‌ساختی متوسط جای گرفت و در نهایت هفت حوضه قره‌ناز، مرداغ‌چای، حاجی‌کندی، میرچی، لیلان‌چای، ساینجق، و قوری‌چای در رده کلاس ۴ با فعالیت زمین‌ساختی پایین قرار گرفت. با توجه به وجود ساختارهای تکتونیکی جنبا در این هفت حوضه آبریز، مانند گسل‌های فراوان اصلی، معادلات (El. Hamdouni et al 2008) با نسبت تأثیر شاخص‌ها به صورت یکسان انجام شد. زیرا، با توجه به کارهای میدانی و محاسباتی و پیشینه لرزه‌خیزی ساختارهای جنبا در این هفت حوضه، لایه نهایی در محیط Arc GIS نباید در رده با فعالیت پایین قرار گیرد. این نکته نشان می‌دهد نقشه رومرکز زمین‌لرزه‌های صد و ده سال اخیر (شکل ۱۵) تمرکز تنش را در بخش‌های شمالی ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان اذعان کرد شمال منطقه مورد بررسی در مرحله پیش‌لرزه است و همه حوضه‌های فعال زمین‌ساختی از روند گسل‌های منطقه تبعیت می‌کنند. با توجه به هر دو شکل ۱۶ و ۱۷ (نقشه پراکندگی رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی تا سال ۲۰۱۹ و گسل‌های گسترده مورد پژوهش روی لایه نهایی در شکل ۱۶ و نقشه گسل‌های جنبای گسترده مورد پژوهش در شکل ۱۷ نشان داده شده است) مشاهده می‌شود که حوضه‌های با فعالیت بالا و پایین هر دو ساختارهای تکتونیکی جنبایی دارند که به ترتیب یکی در حال آزادسازی انرژی (با توجه به رومرکز زمین‌لرزه‌ها) و دیگری در حال تجمع تنش است.



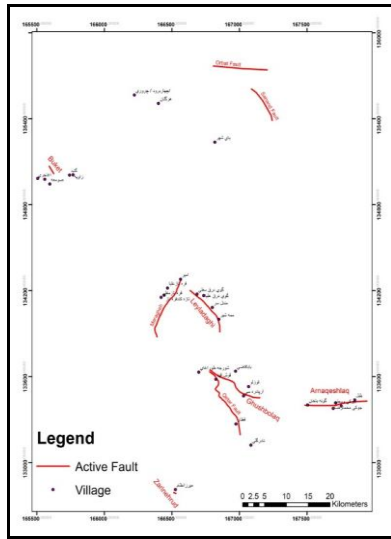
شکل ۱۳. نمونه‌ای از رابطه خطی و مقدار ضریب تبیین بین شاخص‌های Smf, SL در حوضه‌های گسترده مورد بررسی (اقتباس از مقاله بهرامی و همکاران ۱۳۹۲)

جدول ۱. مقادیر ضرایب همبستگی برای شاخص‌های گستره مورد بررسی

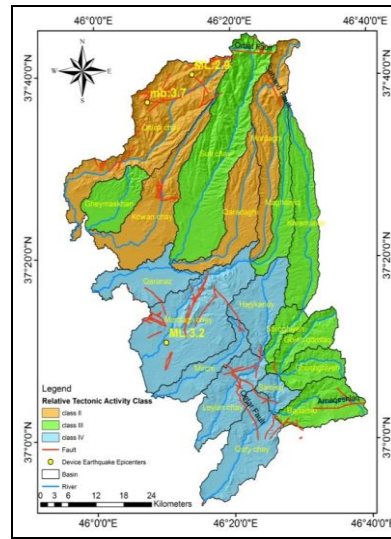
NAME	AF	T	Bs	Sl	Hi	VF	Smf
Sufi chay	4.13	0.52	3.47	578.14	0.37	0.39	2.7
Qaleh chay	6.92	0.5	1.59	515.89	0.19	0.6	1.1
Mordaghi	5.69	0.55	3.4	502.58	0.39	0.37	0
Kowan chay	8.59	0.61	3.63	533.08	0.24	0.61	1.5
Gheymaskhan	6.33	0.37	3.42	246.11	0.28	1.53	0
Karamjavar	15.11	0.46	6.2	285.58	0.14	0.66	0
Moghanjiq	11.21	0.46	7.04	372.99	0.16	1.54	0
Qaradaghi	5.25	0.4	5.91	373.64	0.4	0.63	0
Qaranaz	22.02	0.81	2.42	69.07	0.22	4.5	1.2
Mordagh chay	22.18	0.67	2.12	274.96	0.28	5.32	1.3
Soroghiyeh	7.56	0.32	1.9	100.15	0.53	1.03	0
Hajykandy	11.89	0.64	2.31	165.79	0.37	0.79	1.1
Gojeh qomlaq	3.89	0.52	2.56	120.26	0.4	0.98	1.1
Ghushghiyeh	11.1	0.31	1.69	295.96	0.61	0.96	0
Sainjeq	1.66	0.47	2.09	51.74	0.45	0.53	1
Badamlu	5.05	0.29	0.85	251.72	0.47	0.53	1.3
Mirchi	6.79	0.46	3.02	232.43	0.36	4.15	0
Qury chay	0.38	0.23	2.39	48.91	0.19	2.28	1.1
Leylan chay	4.11	0.46	2.11	82.55	0.31	0.66	1.1
R							
AF		0.639	0.116	0.006	0.279	0.622	0.056
T			0.042	0.134	0.332	0.396	0.352
Bs				0.342	0.463	0.115	0.382
Sl					0.146	0.302	0.133
Hi						0.261	0.114
VF							0.003
Smf							



شکل ۱۴. رده‌های فعالیت نسبی تکتونیکی با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) دستگاهی تا سال ۲۰۱۹ در گستره مورد پژوهش
 شکل ۱۵. نقشه پراکندهی رومرکز زمین لرزه‌های



شکل ۱۷. نقشه گسل‌های جنبای گستره مورد پژوهش



شکل ۱۶. نقشه پراکندگی رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی تا سال ۲۰۱۹ و گسل‌های گستره مورد پژوهش

نتیجه

شاخص‌های زمین‌ریختی روشی مفید را برای بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی فراهم می‌آورند. مطالعه عوارض ریخت‌سنجی، محاسبات شاخص‌ها، و رده جنبایی زمین‌ساخت نسبی همخوانی خوبی با ساختارهای شاخص ناحیه دارند. پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی و محاسبه آن‌ها در منطقه مورد مطالعه، ناحیه با سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا (رده ۲) با مساحت ۱۰۰۴/۳۲ کیلومتر مربع، متوسط (رده ۳) با مساحت ۱۲۱۵/۳۰۷ کیلومتر مربع، و پایین (رده ۴) با مساحت ۱۱۲۹/۳۸۹ کیلومتر مربع شناسایی شد.

منطقه مورد مطالعه با توجه به شاخص‌های محاسبه‌شده به سه گروه تقسیم شد؛ گروه اول با فعالیت زمین‌ساختی بالا با مقادیر $S/n \leq 1.5 > 1$ ، گروه دوم با فعالیت زمین‌ساختی متوسط با مقادیر $S/n \leq 2 > 1.5$ ، و گروه سوم با فعالیت زمین‌ساختی پایین با مقادیر $S/n \geq 2$. با توجه به جدول Iat و نیز محاسبه تحلیل سلسله مراتبی AHP با روش اعمال ضرایب همبستگی شاخص‌ها حوضه‌های قلعه‌چای، کوان‌چای، قره‌داغی، و مرداغی در رده کلاس ۲ (حمدونی ۲۰۰۸) با فعالیت نسبی زمین‌ساختی بالا قرار گرفتند که توسط گسل‌ها کنترل می‌شوند (شکل ۱۵). حوضه‌های قیسمسخان، صوفی‌چای، مغانجیگ، کرم‌جوار، سوروقیه، گوجه‌قملق، باداملو، و قوشقیه در رده کلاس ۳ با فعالیت نسبی زمین‌ساختی متوسط جای گرفتند. و هفت حوضه قره‌ناز، مرداغ‌چای، حاجی‌کندی، میرچی، لیلان‌چای، ساینجق، و قوری‌چای در رده کلاس ۴ با فعالیت زمین‌ساختی پایین قرار گرفتند. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده، می‌توان گفت منطقه مورد پژوهش در مرحله پیش‌لرزه قرار دارد. پادگانه‌های آبرفتی منطقه مورد مطالعه از نوع پادگانه‌های زمین‌ساختی‌اند که چندین سطح دارند و تغییر شکل به‌دست‌آمده از کج‌شدگی و گسلش را در آن‌ها می‌توان یافت. اغلب مناطق با رده فعالیت نسبی تکتونیکی بالا در مناطقی هستند که رسوبات سنگی در این مناطق دارای شکستگی‌های زیاد و عمیق است و

چین خوردگی‌های مهمی را در مسیر خود ایجاد کرده است. با مشاهدات صحرایی از گسل‌ها و عوارض زمین‌ساختی وجود دره‌های تنگ در این مناطق تأیید شد که مصداقی از فعالیت تکتونیک و بالآمدگی در منطقه است.

فعال‌ترین جبهه‌های کوهستانی مربوط به حوضه‌های قلعه‌چای، مرداغ‌چای، ساینجگ، قوری‌چای، و لیلان‌چای در کل ناحیه است و همچنین گسل قطار گسلی جوان و راستالغز در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌شود. با توجه به مقادیر داده‌های لرزه‌ای صد و ده سال اخیر می‌توان چنین تحلیل کرد که با توجه به بالا بودن مقادیر رومرکز زمین‌لرزه‌های رخ داده در شمال‌باختر و جنوب‌باختر ناحیه، یک تجمع تنش در ناحیه‌ای وسیع در جهت عمود بر گسل‌های اصلی و فعال قطار، اوربات، قوش‌بولاق، و آرناقشلاق با روند شمال‌خاور - جنوب‌خاور مشهود است. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از داده‌های لرزه‌ای و نیز بررسی لیتولوژی ناحیه، جنوب‌باختر منطقه مورد پژوهش در مرحله پیش‌لرزه قرار دارد و احتمال دارد شاخه‌هایی از گسل‌های فعال در این نواحی به صورت مدفون در رسوبات جای گرفته باشند.

منابع

آقانباتی، ع. (۱۳۸۵). *زمین‌شناسی ایران*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ISBN-964-617813-8-619، ص ۶۱۰ بهرامی، ش.، معتمدی‌راد، م.، اکبری، الف. (۱۳۹۲). «بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، س ۳، ش ۱۲، صص ۸۵ - ۱۰۲.

سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی IIEES، www.iiees.ac.ir

- Aghanabi, AS (2006). *Geology of Iran*, Geological Survey of Iran (in persian Bahrami, Sh., Motamedirad, M., Akbari, A. (2013). "Investigation of Tectonic Impact on Quantitative Characteristics of Drainage Network (Case Study: Four Drainage Basins in the Northeast of the Country), Geographical Studies of Arid Regions, S 3, S 12, pp. 5;
- Berberian, M. (1995). "Master blind thrust fault hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics," *Tectonophysics*, Vol. 241, pp. 193-224.
- Bull, W. B. (2007). "Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleogeomorphology California". Blackwell, Malden, 350 Main Street.
- Bull, W. B. & McFadden, L. D. (1977). "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D. O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium". State University of New York, Binghamton, pp. 115-138.
- Cannon, P. J. (1976). "Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin". *Okla. Geol. Notes* 36 (1), pp. 3-16.
- El. Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E. A. (2008). "Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain)". *Geomorphology* 96, pp. 150-173.
- Figuerola, A. M. & Knott, J. R. (2010). "Tectonic geomorphology of the Southern Sierra Nevada Mountains (California)", *Geomorphology*. 123: pp. 34-45.
- Hack, J. T. (1957). "Studies of longitudinal stream-profiles in Virginia and Maryland", U.S. Geological Survey Professional Paper 294B, pp. 45-97.
- Hack, J. T. (1973). *Stream-profile analysis and stream-gradient index*. J. Res. U. S. Geol.
- Hack, J. T. (1982). "Physiographic division and differential uplift in the piedmont and Blue Ridge". U.S. Geological Survey Professional Paper 1265, pp. 1-49.
- Keller, E. A. & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*, Second ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Mayer, L. (1990). *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Pike, R. J. & Wilson, S. E. (1971). "Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-

- altitude analysis". Geol. Soc. Am. Bull. 82, pp. 1079–1084.
- Ramírez-Herrera, M. T. (1998). "Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt". Earth Surf. Process. Landf. 23, pp. 317–332.
- Stocklin, J. (1968). "Structural History and Tectonic of Iran: A Review". American Association of Petroleum Geologists Bulletin, USA, 52, 1229-1258.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C., Bardajm, T. (2003). "Fault generated mountain fronts in south-east Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity". Geomorphology 250, pp. 203–226.
- Stocklin, J. (1968) Structural History and Tectonic of Iran: A Review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, USA, 52, 1229-1258.
- Strahler, A. N. (1952). "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography". Geological Society of America Bulletin, 63, pp. 1117-1142.
- Saaty, T. L. (1977). "A scaling method for priorities in hierarchical structures". J. Math. Psychol. 15, pp. 231–281.
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, T. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B., Wesling, J. R. (1988). "Regional variations in tectonic geomorphology along segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica". Geomorphology 1, pp. 239–265.

Aghana

IIIES ·www.iiies.ac.ir