

ارزیابی فعالیت‌های مورفوتکتونیک حوضه‌های آبریز ساحلی واحد ژئومورفولوژیکی تالش (ایران - آذربایجان) با استفاده از شاخص‌های مورفومتری

زهرا بشکنی^۱، علیرضا صالحی پور میلانی^{۱*}

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱/۱۸

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۶/۱۹

چکیده

منطقه مورد مطالعه حوضه ساحلی تالش که از دره سفیدرود تا کشور جمهوری آذربایجان امتداد یافته است، از جمله مناطقی است که از لحاظ تکتونیک به دلیل حضور گسل‌های متعدد در این منطقه، در معرض تحولات شدید تکتونیک قرار دارد. از این رو تعیین میزان فعالیت‌های تکتونیک این حوضه‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف این پژوهش بررسی میزان تکتونیک فعال، براساس بررسی‌های مورفوتکتونیک و مورفومتری حوضه‌های آبریز مسلط به دریای خزر در واحد تالش است. برای دستیابی به اهداف این مطالعه با استفاده مدل ارتفاعی رقومی Alos-Polsar و با کمک نرم‌افزار HEC-GeoHMS محدوده مورد مطالعه به ۳۷ حوضه آبریز تقسیم و شبکه زهکشی و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. با استفاده از شاخص‌های مورفومتری، محاسبه و تحلیل مورفوتکتونیک منطقه در نرم‌افزارهای ARCGIS10.2 و Saga2.1.2 انجام گرفت. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، نسبت شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها (Af)، منحنی شاخص هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص سینوسیته رودخانه (S)، شاخص تقارن توپوگرافی (T). به منظور ارزیابی و طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز مورد مطالعه از لحاظ فعالیت‌های تکتونیک از یک شاخص واحد به نام شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک (IAT)^۱ استفاده و نتایج به دست آمده با داده‌های لرزه‌نگاری منطقه مورد مطالعه اعتبار سنجی گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد علی‌رغم قرار گرفتن گسل‌های متعدد در این منطقه تنها ۳۸ درصد از حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه از لحاظ تکتونیک در طبقه‌بندی فعال قرار گرفته و سایر حوضه‌ها از فعالیت تکتونیک متوسط تا کم برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: تکتونیک فعال، شاخص‌های مورفومتری، مورفوتکتونیک، واحد تالش.

مقدمه

سرزمین ایران به‌عنوان بخشی از زون فعال زمین ساختی آلپ- هیمالیا، طرح پیچیده‌ای از مجموعه‌ی پوسته‌ها، قطعات زمین‌ساخت و زون‌های متفاوت زمین ساختی است که از نگاه نو زمین ساختی و لرزه‌زمین‌ساخت، ویژگی‌های خاصی دارد. ارزیابی و بررسی فرایندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زلزله برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سدها، تأسیسات صنعتی و... از اهمیت بالایی برخوردار است، در این راستا روش‌های میدانی و استفاده از ابزارهای لرزه‌نگاری جهت تعیین تکتونیک فعال در یک منطقه به خصوص زمانی که از وسعت بسیار زیادی برخوردار باشد، هزینه بسیار زیادی در بر خواهد داشت. از این رو استفاده از روش‌های جایگزین از جمله شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین و تشخیص تکتونیک فعال می‌تواند بسیار سودمند باشند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۳). این شاخص‌های ژئومورفیک قادر به کشف واکنش لندفرم‌ها نسبت به تکتونیک هستند و به‌طور گسترده در ژئومورفولوژی تکتونیک^۲ مورد بررسی قرار می‌گیرند (Keller and Pinter, 2002). با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک می‌توان نواحی که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته‌اند را به راحتی شناسایی کرد (Ramírez-Herrera et al, 1998). شاخص‌های ژئومورفیک زیادی مانند سطوح مثلثی شکل، تسطیح شدگی جبهه کوهستان، تقعر نیمرخ رودخانه، الگو و تراکم زهکشی، گرادیان طولی رودخانه، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، عدم تقارن حوضه زهکشی، سینوسیته جبهه کوهستان، انتگرال هیپسومتری، به‌عنوان

ابزارهای اساسی جهت تشخیص تکتونیک‌های فعال و تغییرات زمین ساختی توسط محققین استفاده شده است. در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در ارتباط با کاربرد شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای ارزیابی تکتونیک فعال مناطق مختلف دنیا و ایران صورت گرفته است. آنکیت و همکاران (۲۰۱۸) جهت بررسی تکتونیک در رودخانه شیر خد هندوستان، از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک استفاده کردند (Ankit et al, 2018). نتایج حاکی از آن است که حوضه رودخانه موردنظر به سمت شرق انحراف دارد و به علت فعال بودن گسل، به شکل شکافی نمایان است. لون (۲۰۱۷) حوضه جیوستس فرور پور کشمیر هیمالیا را با استفاده از شاخص‌های تکتونیکی مورد بررسی قرار داد، نتایج بررسی نشان داد که این منطقه، از نظر تکتونیکی جزو مناطق فعال محسوب می‌شود (Lone, 2017). کوکینو و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی کوه جیوستس در کرت مرکزی یونان، با توجه به مورفولوژی ناسازگار رگه‌های نامتقارن با شیب تند غربی نسبت به شیب شرقی که به‌وضوح مشخص بود و با محاسبه شاخص‌های تکتونیکی، دریافتند که منطقه از نظر تکتونیکی، در کلاس تکتونیک فعال قرار دارد و این نسبت فعالیت به سمت شمال، به‌خصوص شمال شرقی افزایش پیدا می‌کند (Kokinou et al, 2015). جایپا و ناراجو (۲۰۱۲) فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه آبریز والاپاتانام هند را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و شاخص‌های ژئومورفیک مطالعه نمودند. نتایج نشان می‌دهد بخش جنوبی منطقه از بخش شمال آن بسیار فعال‌تر است (Jayappa and Narajo, 2012). آنوپ و همکاران (۲۰۱۱) با محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک نشان دادند که تکتونیک

فرعی منشعب از گسل اصلی زاگرس دارای تکتونیک بسیار فعال است. گورابی (۱۳۸۶) به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه پرداخت و نتایج وی گویای فعال بودن این حوضه می‌باشد. مطالعه واحدهای ساختمانی به صورت یکپارچه می‌تواند اطلاعات جامعی را از لحاظ ژئومورفولوژیکی در اختیار محققین قرار دهد. تحقیق حاضر به بررسی تکتونیک فعال در حوضه‌های ساحلی تالش با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی پرداخته است.

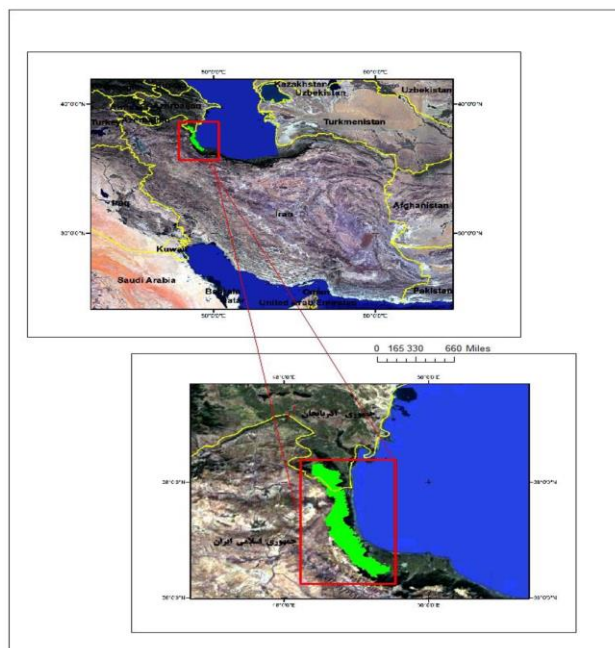
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واحد ساحلی تالش که از دره سفیدرود تا حوضه آبریز لنکران در کشور جمهوری آذربایجان امتداد یافته است که از طول جغرافیایی $48^{\circ} 22' 46''$ تا $49^{\circ} 23' 21''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 52' 27''$ شمالی تا $25^{\circ} 51' 38''$ شمالی امتداد یافته است. رشته تالش به کوه‌های به هم پیوسته و ممتدی گفته می‌شود که از دره سفیدرود تا زمین‌های پست مغان کشیده شده است. یک خط شکستگی بزرگ به نام گسل آستارا (گسل تالش) آن را از چاله خزر جدا کرده است. گسل آستارا در واقع فلات آذربایجان را در مقابل فرورفتگی خزر قرار داده است. گسل آستارا روند جنوبی- شمالی دارد و امتداد آن وارد خاک جمهوری آذربایجان می‌شود. به تبعیت از این خط شکستگی، روند تالش صرف نظر از پیچ‌وخم‌های محلی در مجموع شمالی- جنوبی است. جابجایی زمین در امتداد گسل آستارا، عاملی بوده تا کوه‌های تالش نامتقارن شوند با شیب بسیار تند به سمت دریای خزر و شیب ملایم به طرف فلات آذربایجان. نیمه شمالی تالش از گردنه حیران به بعد خاک جمهوری آذربایجان واقع شده و در آنجا

فعال از عوامل مهم حاکم بر چشم‌انداز دره اسپیتی در شمال شرق هیمالیاست (Anoop et al, 2011). گانیری و پیروتا (۲۰۰۸) جهت بررسی تکتونیک در چهار حوضه زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و شاخص انشعابات، استفاده کرده و دریافتند که تکتونیک‌های فعال نظم شبکه زهکشی را بر هم می‌زنند و حوضه‌هایی که از لحاظ تکتونیک فعالیت بیشتری دارند مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی بیشتر است (Guarnieri et al, 2008). سیلوا و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی تحت عنوان پیدایش گسل پیشانی کوهستان در جنوب شرق اسپانیا، به بررسی و ارزیابی ژئومورفولوژیکی فعالیت‌های تکتونیک و زمین‌لرزه‌ای پرداختند (Silva et al, 2003). کرزبسکوویسکی و همکاران (۲۰۰۰) تشکیل پادگانه‌های یخچالی رود نیساکودزکای، لهستانو لاترویس و آلسورانی رسوب‌گذاری در قسمت‌های جنوب غربی رودخانه آمازون را ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیک ارزیابی نمودند (Krzyzkowski et al, 2000). بهرامی (۱۳۹۲) حوضه‌های آبخیز زاگرس را مورد بررسی قرار داد، نتایج حاکی از آن است که کج شدگی حوضه‌ها علاوه بر اینکه تحت تأثیر خصوصیات چین‌های زاگرس هستند، تکتونیک هم می‌تواند عامل تعیین‌کننده در مقدار کج شدگی حوضه‌ها باشد. جباری و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه مورفوتکتونیک حوضه آبخیز حصارک با استفاده از شاخص‌های موفومتريک نشان دادند که این منطقه از نظر تکتونیک جزو مناطق فعال هست. خسروی و همکاران (۱۳۸۹) تکتونیک فعال را در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاکی از آن است که گسل‌های

گسل آستارا با راستای شمالی جنوبی به همراه سازوکار چیره راستبر و گسل تالش با راستای شمال، شمال باختری و سازوکار چیره فشاری راستبر تبدیل می‌گردد (پژوهشکده علوم زمین، ۱۳۸۹). گسله تالش در پایانه شمالی خود به گسل ارس پیوند می‌خورد. شیب این گسل با توجه به فیزیوگرافی عمومی ناحیه و سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها (Berberian (1983 به‌سوی باختر و به زیر بلندی‌های البرز است این گسل با زمین‌لرزه‌هایی در ژرفای بین ۱۵-۲۱ کیلومتر همراه بوده است (Jackson et al, 2002) که سازوکار کانونی آن‌ها نشانگر شیب بسیار کمی به‌سوی باختر می‌باشد. خطواره مغناطیسی F-270، (Yousefi and Friedberg, 1978) با محل گسل آستارا مطابقت دارد. زمین‌لرزه‌های سال‌های ۱۷۰۹ و ۱۷۱۳ میلادی رشت احتمالاً با عملکرد بخش جنوبی گسل آستارا پیوند داشته است (شکل ۱).

یک سری چین‌هایی را می‌سازند که در آن فرم زمین در تبعیت از ساختمان آن می‌باشد. اما نیمه جنوبی در خاک ایران، ساختمان چین‌خورده و به‌شدت شکسته دارد. چین‌خوردگی تالش خیلی فشرده است. گسل‌های زیادی در امتداد طولی، چین‌ها را شکافته و دیواره‌های باریک در آن ایجاد کرده است. همین ویژگی همراه با محور شمالی-جنوبی، تالش را به‌طور بارزی از البرز متمایز ساخته است (طالقانی، ۱۳۸۱). در سوی باختر دشت گیلان و مرز بین کوه و دشت کشیده می‌شود که با تغییر روند، راستای آن از خاوری-باختری به شمالی-جنوبی تبدیل می‌شود. درازای این گسله از انتهای خاوری آن در باختر تالاب انزلی (شمال ضیابر) تا مرز ایران و آذربایجان نزدیک به ۱۲۰ کیلومتر است اما به‌سوی شمال، این گسل تا کیلومترها با راستای شمال-شمال باختری ادامه دارد و درازای کل آن به تا حدود ۴۰۰ کیلومتر برآورد شده است. در نزدیکی‌های جنوب شهر آستارا این سامانه گسلی به دوشاخه



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

فعالیت گسل‌ها و اثرات حاصله را می‌توان از طریق بررسی شواهد تاریخی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، ژئودزی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تعیین کرد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). در این پژوهش با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی-Alos-Polsar با توان تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و نرم‌افزار HEC-GeoHMS محدوده حوضه آبریز، شبکه زهکشی و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. با توجه به وسعت بسیار زیاد محدوده مورد مطالعه حوضه‌ی موردنظر به ۳۷ زیر حوضه تقسیم شده و مورد بررسی قرار گرفته است. محاسبه شاخص‌های مورفومتری حوضه در نرم‌افزار ArcGis انجام گرفت و علاوه بر این منحنی هیپسومتری حوضه نیز با استفاده از نرم‌افزار Saga2.1.2 تهیه گردید. به‌منظور بررسی میزان فعالیت تکتونیکی حوضه، شاخص‌های مورفومتری نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، نسبت شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها (Af)، منحنی شاخص هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص سینوسیته رودخانه (S)، شاخص تقارن توپوگرافی (T) و در آخر از ترکیب نتایج شاخص‌های مورد بررسی از یک شاخص واحد به نام شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) جهت آنالیز نهایی فعالیت تکتونیکی منطقه استفاده شد و میزان فعالیت تکتونیکی هر حوضه در سه کلاس فعالیت تکتونیکی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی گردید. به‌منظور صحت سنجی نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی تکتونیکی در حوضه‌های مورد مطالعه

از داده‌های لرزه‌نگاری با بزرگای بیش از ۲/۵ ریشتر از سال ۲۰۱۸-۱۹۸۰ موسسه ژئوفیزیک تهران استفاده شد. باهم پوشانی نقشه Iat و پراکندگی داده‌های لرزه‌ای نسبت به توجیه فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه اقدام شد.

بحث و نتایج

به‌منظور بررسی میزان فعالیت تکتونیکی حوضه، شاخص‌های مورفومتری: (Vf)، (Bs)، (Af)، (Hi)، (S)، (T) مورد بررسی قرار گرفت و میزان فعالیت تکتونیکی هر حوضه از دیدگاه هر یک از این شاخص‌ها تحلیل گردید، و نتایج آن به شرح ذیل ارائه می‌گردد.

۱-۴ شاخص سینوسیته رودخانه (S)

برای ارزیابی شاخص پیچ و خم رودخانه از رابطه ۱ استفاده می‌شود (آدامز و همکاران، ۱۹۹۹).

رابطه ۱)

$$S = \frac{C}{V}$$

در رابطه ۱، C طول رودخانه، V طول دره به خط مستقیم است. هر چه مقادیر عددی به دست آمده از این شاخص بیشتر باشد، حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چه کمتر باشد، دلیل فعال بودن تکتونیک در منطقه است. بر اساس نتایج به دست آمده در جدول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که، تمامی حوضه‌ها براساس این شاخص در کلاس ۳، یعنی فعالیت تکتونیکی کم قرار می‌گیرند.

جدول ۱: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیک مناطق براساس میزان شاخص (S)

رده	فعالیت زمین ساختی	Hi
۱	فعالیت تکتونیک زیاد	$S < 0.5$
۲	فعالیت تکتونیک متوسط	$0.7 > S \geq 0.5$
۳	فعالیت تکتونیک کم	$S > 0.7$

جدول ۲: نتایج حاصل از شاخص سینوسیته رودخانه (S)

شماره حوضه	نام رودخانه	S	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	S	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	S	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	S	کلاس
1	ابراهیم اسامزاده	4.73	3	11	چاف رود	2.25	3	21	شیرآباد	2.22	3	31	ملأ هادی	1.15	3
2	پاسی خان	7.08	3	12	خوشیر	2.09	3	22	زمرد	2.77	3	32	آستارا چای	2.66	3
3	قلعه رود خان	6.11	3	13	شفا رود	4.04	3	23	حویق	1.69	3	33	هاریکان	1.93	3
4	کشت رود خان	2.03	3	14	لومیر	3.00	3	24	چوبر	2.71	3	34	سیپاپارت	1.74	3
5	چاپول	1.68	3	15	خال سرا	1.71	3	25	پلاسی	1.56	3	35	سیاکو	1.92	3
6	ماسوله	3.20	3	16	سنسر	2.85	3	26	لامیر	3.44	3	36	واشارو	2.44	3
7	آسیان	1.79	3	17	طول رود	1.27	3	27	وندی چای	1.68	3	37	لنکران	1.71	3
8	جیرده	2.43	3	18	گرگانرود	9.51	3	28	لوندویل	3.28	3				
9	چلسی	3.63	3	19	لیسار	3.84	3	29	قاری چای	2.29	3				
10	کرکش	2.38	3	20	خطبه سرا	1.93	3	30	کاترود	3.86	3				

۲-۴ شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره

(Vf)

نسبت عرض کف بستر به ارتفاع دره (Vf) یا نسبت پهنای دره به عمق از رابطه زیر (همدونی، ۲۰۰۸) محاسبه می‌گردد:

رابطه ۲)

$$VF = 2 VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

در رابطه ۲، Vf نسبت عرض به ارتفاع دره، Vfw پهنای (عرض) دره، Eld و Erd به ترتیب، ارتفاع خط تقسیم آب در قسمت راست و چپ دره، Esc ارتفاع کف بستر دره می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده در جدول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که، تمامی حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیک در کلاس ۱، یعنی فعالیت تکتونیک بالا قرار می‌گیرند.

۳-۴ شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)

شاخص نسبت شکل حوضه از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (شارما، ۲۰۱۸).

رابطه ۳)

$$Bs = \frac{Bi}{Bw}$$

BS شاخص شکل حوضه، Bi طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن، Bw عرض حوضه، در عرض‌ترین بخش آن. حوضه‌های با نسبت کشیدگی بالا، فعالیت تکتونیک بیشتری دارند. درحالی که حوضه‌هایی با نسبت کشیدگی کمتر، دارای شکل دایره‌ای و از نظر تکتونیک نیز کمتر فعال‌اند. بالاراندگی شدید و ناگهانی موجب ایجاد حوضه‌های کشیده و با شیب زیاد می‌شود و با کاهش یا توقف فعالیت تکتونیک، پهن‌شدگی حوضه از رأس حوضه شروع می‌شود (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس نتایج به دست آمده در جدول ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که ۷۰ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۱ با

تکتونیک بالا و ۲۵ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۲ با تکتونیک کم قرار می‌گیرند (جدول ۳ با تکتونیک متوسط و ۵ درصد از حوضه‌ها در تا ۶).

جدول ۳: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص (Vf)

Vf	فعالیت زمین ساختی	رده
$Vf < 0/5$	فعالیت تکتونیکی زیاد	۱
$0/5 < Vf < 1$	فعالیت تکتونیکی متوسط	۲
$Vf > 1$	فعالیت تکتونیکی کم	۳

جدول ۴: نتایج حاصل از شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)

شماره حوضه	نام رودخانه	Vf	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	Vf	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	Vf	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	Vf	کلاس
1	امام زاده ابراهیم	0.14	1	11	چاف رود	0.03	1	21	شیرآباد	0.09	1	31	ملاهادی	0.11	1
2	پاسی خان	0.02	1	12	خوشبر	0.03	1	22	زمرد	0.08	1	32	آستارا چای	0.05	1
3	قلعه رود خان	0.11	1	13	شفا رود	0.07	1	23	حویق	0.07	1	33	هاریکان	0.06	1
4	کشت رود خان	0.8	1	14	لومیر	0.05	1	24	چوبر	0.011	1	34	سپاپارت	0.05	1
5	چاپول	0.71	1	15	خال سرا	0.12	1	25	پلاسی	0.05	1	35	سیاکو	0.14	1
6	ماسوله	0.06	1	16	سنسر	0.03	1	26	لامیر	0.06	1	36	واشارو	0.05	1
7	آسیان	0.45	1	17	طول رود	0.11	1	27	وندی چای	0.05	1	37	لنکران	0.06	1
8	جیرده	0.21	1	18	گرگانرود	0.14	1	28	لوندویل	0.05	1				
9	چلسی	0.19	1	19	لیسار	0.05	1	29	قاری چای	0.09	1				
10	کرکش	0.04	1	20	خطبه سرا	0.07	1	30	کانرود	0.05	1				

جدول ۵: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص (Bs)

Bs	فعالیت زمین ساختی	رده
$Bs > 1.76$	فعالیت تکتونیکی زیاد	۱
$1.11 > Bs > 1.76$	فعالیت تکتونیکی متوسط	۲
$Bs < 1.11$	فعالیت تکتونیکی کم	۳

جدول ۶: نتایج حاصل از شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)

شماره حوضه	نام رودخانه	bs	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	bs	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	bs	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	bs	کلاس
1	امام زاده ابراهیم	1.91	3	11	چاف رود	3.23	2	21	شیرآباد	4.93	1	31	ملاهادی	2.91	3
2	پاسی خان	2.78	3	12	خوشبر	2.01	3	22	زمرد	2.17	3	32	آستارا چای	1.49	3
3	قلعه رود خان	2.19	3	13	شفا رود	2.34	3	23	حویق	6.19	1	33	هاریکان	2.45	3
4	کشت رود خان	3.33	2	14	لومیر	3.95	2	24	چوبر	3.45	2	34	سپاپارت	2.71	3
5	چاپول	1.87	3	15	خال سرا	1.81	3	25	پلاسی	3.66	2	35	سیاکو	2.11	3
6	ماسوله	1.86	3	16	سنسر	2.31	3	26	لامیر	2.92	3	36	واشارو	3.74	2
7	آسیان	1.89	3	17	طول رود	1.46	3	27	وندی چای	4.76	1	37	لنکران	1.04	3
8	جیرده	1.45	3	18	گرگانرود	0.87	3	28	لوندویل	3.63	2				
9	چلسی	1.53	3	19	لیسار	2.37	3	29	قاری چای	3.27	2				
10	کرکش	2.16	3	20	خطبه سرا	2.06	3	30	کانرود	1.98	3				

Af: شاخص عدم تقارن، At: مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع)، At: مساحت حوضه‌های دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت چپ و راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع). براساس نتایج به دست آمده در جدول ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که، ۱۹ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۱ با فعالیت تکتونیک بالا، ۵۱ درصد حوضه‌ها در کلاس ۲ با فعالیت تکتونیک متوسط، و ۳۰ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۳ با فعالیت تکتونیک کم قرار می‌گیرند.

۴-۴ شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز (Af) در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل‌های زمین ساختی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی می‌باشد. شاخص (Af) به صورت رابطه ۴ تعریف شده است (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

$$Af = 100 \times \frac{Ar}{At}$$

جدول ۷: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیک مناطق براساس میزان شاخص (Af)

رده	فعالیت زمین ساختی	Af
۱	فعالیت تکتونیک زیاد	Af-50>15
۲	فعالیت تکتونیک متوسط	7<Af-50<15
۳	فعالیت تکتونیک کم	Af-50<7

جدول ۸: نتایج حاصل از شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز (Af)

شماره حوضه	نام رودخانه	Af	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	Af	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	Af	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	Af	کلاس
1	امام زاده ابراهیم	58	2	11	چاف رود	52.3	3	21	شیر آباد	36.6	2	31	ملاهادی	62	2
2	پاسی خان	37.3	2	12	خوشبیر	50	3	22	زمره	65.7	1	32	آستارا چای	57.5	2
3	قلعه رود خان	62.4	2	13	شفا رود	58.1	2	23	حوق	44.1	3	33	هاریکان	50.8	3
4	کشت رود خان	54.4	3	14	لومیر	40.9	2	24	چوبیر	31.1	1	34	سیه‌پارت	40.2	2
5	چاپول	50	3	15	خال سرا	61.4	2	25	پلاسی	65.6	1	35	سیاکو	13.9	1
6	ماسوله	61.7	2	16	سنسر	45.8	3	26	لامیر	42	2	36	واشارو	67.4	1
7	آسیان	62.3	2	17	طول رود	45.2	3	27	وندی چای	61.9	2	37	لنکران	80.7	1
8	چیرده	30.5	1	18	گرگانرود	53.2	3	28	لوندویل	64.4	2				
9	چلسی	46.9	3	19	لیسار	49.2	3	29	قاری چای	55.3	3				
10	کرکش	75	1	20	خطبه سرا	49.3	3	30	کانرود	46.5	3				

زیر منحنی هیپسومتریک مشخص می‌شود. یک‌راه برای برآورد سریع انتگرال هیپسومتریک رابطه ۵ می‌باشد:

$$Hi = \frac{(\text{average elev} - \text{min elev})}{(\text{max elev} - \text{min elev})}$$

۴-۵ شاخص منحنی هیپسومتری و شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi) یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای توصیف شکل منحنی هیپسومتریک یک حوضه زهکشی مشخص، محاسبه انتگرال هیپسومتریک آن حوضه می‌باشد. انتگرال هیپسومتریک حوضه به وسیله مساحت

بسیار زیاد (بیش از ۰/۷)، فعالیت متوسط (بین ۰/۷ تا ۰/۴) و فعالیت کم (کمتر از ۰/۴) تقسیم‌بندی نمودند. براساس نتایج به دست آمده در جدول ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود که، ۱۲ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی متوسط، ۸۸ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۱ با فعالیت تکتونیکی بالا قرار می‌گیرند.

۷-۴ شاخص Iat

شاخص Iat به‌وسیله میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک (S/n) به دست می‌آید و براساس مقدار به دست آمده از (S/n) به سه کلاس تقسیم می‌شود (جدول ۱۴) که در این تقسیم‌بندی کلاس ۱ با فعالیت تکتونیکی زیاد، کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی متوسط، کلاس ۳ با فعالیت تکتونیکی کم مشخص می‌شوند. نتایج حاصل از مطالعه حوضه‌های آبریز از لحاظ فعالیت تکتونیکی در جدول ۱۵ و شکل ۲ ارائه گردیده است.

۸-۴ ارزیابی نتایج Iat با استفاده از داده‌های

لرزه‌ای

به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج به دست آمده از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) با واقعیت‌های زمینی نقشه حاصل Iat با داده‌های لرزه‌ای بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ مقایسه گردید (شکل، ۳). همان‌طور که در جدول ۱۸ مشاهده می‌شود، از بین ۳۳۵ داده لرزه‌ای ثبت شده در منطقه مورد مطالعه ۱۹۹ (۵۹/۴ درصد) داده لرزه‌ای با بزرگای بین ۲ تا ۳، ۱۱۶ (۳۴/۶ درصد) داده لرزه‌ای با بزرگای بین ۳ تا ۴، ۱۵ (۴/۵ درصد) داده لرزه‌ای با بزرگای بین ۴ تا ۵، ۲ (۱/۲ درصد) از داده‌های لرزه‌ای با بزرگای بین ۵-۶ و ۱ داده لرزه‌ای (۱ درصد) مربوط به مناطقی هستند که Iat آن‌ها با فعالیت تکتونیکی زیاد

ارتفاع بیشینه و کمینه و متوسط به‌طور مستقیم از نقشه توپوگرافی و مدل ارتفاعی رقومی به دست می‌آید. مقادیر بالای شاخص ($Hi \geq 0.5$) دلالت بر وجود پستی و بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی-همچون سطوح بالا آمده و فلاتی که به‌وسیله رودها بریده شده‌اند و مقادیر متوسط (0.4-0.5) مقادیر کم شاخص هیپسومتری ($Hi < 0.4$) حاکی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر می‌باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۷). براساس نتایج به دست آمده در جدول ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود که، ۵۰ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۳ با فعالیت تکتونیکی کم، و ۴۰ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی متوسط و ۱۰ درصد از حوضه‌ها در کلاس ۱ با فعالیت تکتونیکی بالا قرار می‌گیرند (جدول ۱۱).

۶-۴ شاخص تقارن توپوگرافی (T)

مقدار این شاخص بیانگر یک بردار با مقدار عددی بین ۰ و ۱ است. در این شاخص مقدار عددی نزدیک به یک بیانگر تکتونیک فعال است (گورابی، ۱۹۹۷). شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه‌ها (T) از طریق رابطه معادله ۶ قابل محاسبه است (Cox, ۱۹۹۴).

$$\text{رابطه ۶} \\ T = \frac{Da}{Dd}$$

در این معادله Da فاصله از خط وسط حوضه‌ی آبریز به کمربند مئاندر فعال و Dd فاصله از خط وسط حوضه به خط تقسیم آب است. در حوضه‌های کاملاً متقارن مقدار عددی شاخص (T) صفر می‌باشد. با کاهش تقارن حوضه، مقدار عددی (T) افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود. (شوگلا و همکاران، ۲۰۱۴) میزان فعالیت حوضه را از دیدگاه این شاخص به سه طبقه با فعالیت

شناخته شده است. این آمار برای حوضه‌های با فعالیت‌های تکتونیک متوسط در منطقه مورد مطالعه معادل ۸۶ (۱/۳۰ درصد) داده لرزه‌ای با بزرگای بین ۲ تا ۳، ۳۷ (۲۴ درصد) داده لرزه‌ای بزرگای بین ۳ تا ۴، ۵ (۲۵ درصد) داده لرزه‌ای با بزرگای بین ۴ تا ۵، ۳ (۶۰ درصد) از داده‌های لرزه‌ای با بزرگای بین ۵-۶ و ۱ داده لرزه‌ای (۵۰ درصد) هستند (جدول ۹ تا ۱۶).

جدول ۹: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیک مناطق براساس میزان شاخص (Hi)

رده	فعالیت زمین ساختی	Hi
۱	فعالیت تکتونیک زیاد	$Hi \geq 0.5$
۲	فعالیت تکتونیک متوسط	$0.5 > Hi \geq 0.4$
۳	فعالیت تکتونیک کم	$Hi < 0.4$

جدول ۱۰: نتایج حاصل از شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)

شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس
1	امام زاده ابراهیم	0.26	۳	11	چاف رود	0.35	3	21	شیر آباد	0.46	2	31	ملا هادی	0.31	3
2	پاسی خان	0.43	3	12	خوشبیر	0.42	3	22	زمرد	0.45	2	32	آستارا چای	0.37	3
3	قلعه رود خان	0.32	3	13	شفا رود	0.92	1	23	حویق	0.35	3	33	هاریکان	0.32	3
4	کشت رود خان	0.46	2	14	لومیر	0.41	3	24	چوبر	0.37	3	34	سیپاپارت	0.38	3
5	چاپول	0.19	3	15	خال سرا	0.35	3	25	پلاسی	0.41	3	35	سیاکو	0.33	3
6	ماسوله	0.38	3	16	سنسر	0.43	3	26	لامیر	0.33	3	36	واشارو	0.39	3
7	آسیان	0.18	3	17	طول رود	0.25	3	27	وندی چای	0.31	3	37	لنکران	0.46	2
8	جیرده	0.34	3	18	گرگانرود	0.47	2	28	لوندویل	0.39	3				
9	چلسی	0.36	3	19	لیسار	0.52	2	29	قاری چای	0.33	3				
10	کرکش	0.40	3	20	خطبه سرا	0.31	3	30	کاترود	0.27	3				

جدول ۱۱: نتایج حاصل از شاخص منحنی هیپسومتری (Hi)

شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	HI	کلاس
1	امام زاده ابراهیم	۸۲.۲	۳	11	چاف رود	۳۶.۵	۳	21	شیر آباد	۴۲.۹	۳	31	ملا هادی	۳۸.۲	۳
2	پاسی خان	۳۷.۶	۲	12	خوشبیر	۵۸.۹	۲	22	زمرد	۶۲.۴	۲	32	آستارا چای	۴۷.۹	۲
3	قلعه رود خان	۳۳.۹	۲	13	شفا رود	۴۵.۷	۳	23	حویق	۶۲.۵	۲	33	هاریکان	۳۰.۹	۲
4	کشت رود خان	۲۸.۲	۲	14	لومیر	۵۱.۸	۲	24	چوبر	۵۴.۵	۲	34	سیپاپارت	۲۸.۷	۲
5	چاپول	۲۲.۵	۳	15	خال سرا	۵۰.۹	۳	25	پلاسی	۵۶.۸	۲	35	سیاکو	۳۹	۲
6	ماسوله	۴۵.۷	۲	16	سنسر	۵۹.۵	۲	26	لامیر	۶۶.۲	۳	36	واشارو	۲۶.۷	۲
7	آسیان	۲۸.۴	۳	17	طول رود	۴۰.۰	۲	27	وندی چای	۵۲.۷	۳	37	لنکران	۴۵.۳	۲
8	جیرده	۴۴.۲	۲	18	گرگانرود	۶۷.۶	۳	28	لوندویل	۳۸.۷	۲				
9	چلسی	۵۴.۴	۲	19	لیسار	۶۳.۹	۲	29	قاری چای	۶۱.۳	۲				
10	کرکش	۴۷.۳	۲	20	خطبه سرا	۵۴.۴	۲	30	کاترود	۵۶.۱	۳				

جدول ۱۲: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص (T)

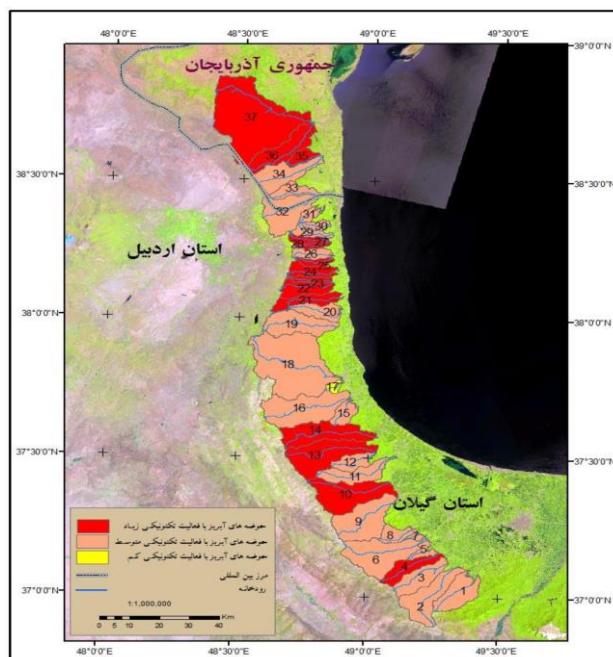
رده	فعالیت زمین ساختی	T
۱	فعالیت تکتونیکی زیاد	≥ 0.7
۲	فعالیت تکتونیکی متوسط	0.4-0.7
۳	فعالیت تکتونیکی کم	≤ 0.4

جدول ۱۳: نتایج حاصل از شاخص تقارن توپوگرافی (T)

شماره حوضه	نام رودخانه	T	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	T	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	T	کلاس	شماره حوضه	نام رودخانه	T	کلاس
1	امام زاده ابراهیم	0.28	1	11	چاف رود	0.23	1	21	شیر آباد	0.46	2	31	ملا هادی	0.18	1
2	پاسی خان	0.41	2	12	خوشبر	0.31	1	22	زمرد	0.21	1	32	آستانرا چای	0.17	1
3	قلعه رود خان	0.34	1	13	شفا رود	0.32	1	23	حویق	0.24	1	33	هاریکان	0.23	1
4	گشت رود خان	0.33	1	14	لومیر	0.34	1	24	چوبیر	0.45	2	34	سپاپارت	0.31	1
5	چاپول	0.38	1	15	خال سرا	0.22	1	25	پلاسی	0.21	1	35	سیاکو	0.36	1
6	ماسوله	0.17	1	16	سنسر	0.26	1	26	لامیر	0.14	1	36	واشارو	0.35	1
7	آسمان	0.16	1	17	طول رود	0.44	2	27	وندی چای	0.38	1	37	لنکران	0.25	1
8	جیرده	0.46	2	18	گرگانرود	0.24	1	28	لوندویل	0.36	1				
9	چلسی	0.34	1	19	لیسار	0.36	1	29	قاری چای	0.31	1				
10	کرکش	0.21	1	20	خطبه سرا	0.34	1	30	کانرود	0.37	1				

جدول ۱۴: تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص (Iat)

رده	فعالیت زمین ساختی	S/n
۱	فعالیت تکتونیکی زیاد	۱.۵-۲
۲	فعالیت تکتونیکی متوسط	۲-۲.۵
۳	فعالیت تکتونیکی کم	>۲.۵



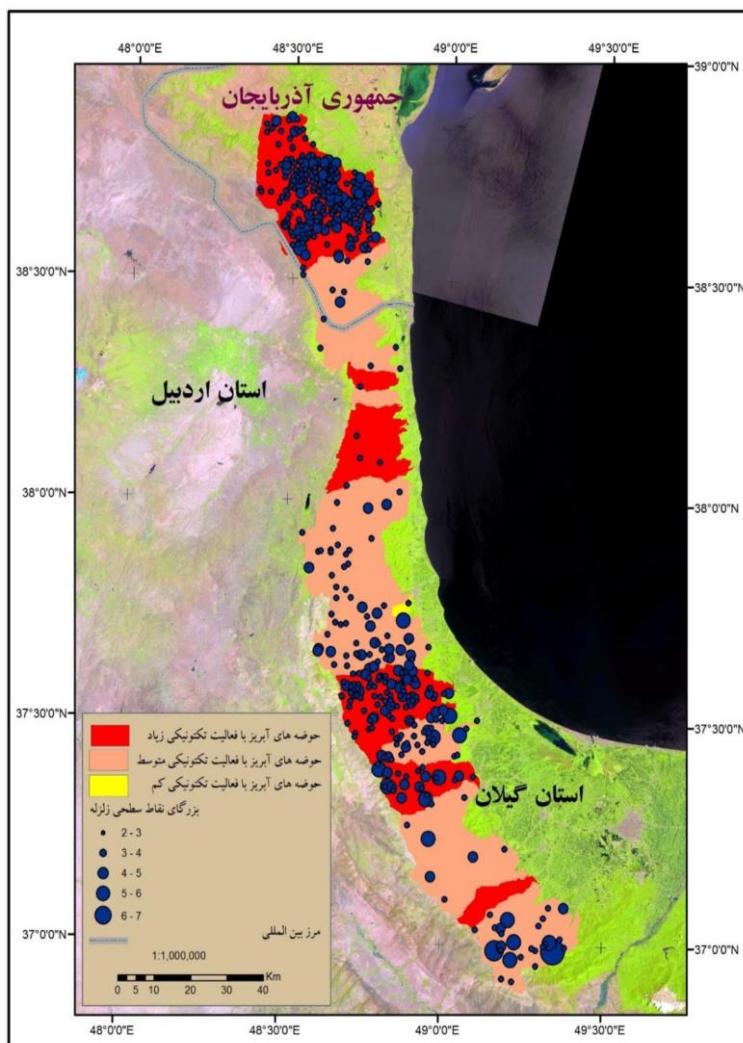
شکل ۲: نقشه فعالیت تکتونیکی در محدوده مورد مطالعه براساس نتایج حاصل از شاخص Iat

جدول ۱۵: مقادیر محاسبه‌شده کلاس‌های تکتونیکی هر شاخص برای محاسبه شاخص (Iat)

شماره حوضه	نام رودخانه	S	HI1	HI2	AF	BS	VF	T	Iat
1	امامزاده ابراهیم	3	3	3	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
2	پاسی خان	3	3	2	۲	۳	۱	۲	فعالیت تکتونیکی متوسط
3	قلعه رود خان	3	3	2	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
4	کشت رود خان	3	2	2	۳	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
5	چاپول	3	3	3	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
6	ماسوله	3	3	2	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
7	آسیان	3	3	3	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
8	جیرده	3	3	2	۱	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
9	چلسی	3	3	2	۳	۳	۱	۲	فعالیت تکتونیکی متوسط
10	کرکش	3	3	2	۱	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
11	چاف رود	3	3	3	۳	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
12	خوشبر	3	1	2	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
13	شفا رود	3	3	3	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
14	لومیر	3	3	2	۲	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
15	خال سرا	3	3	3	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
16	سنسر	3	3	2	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
17	طول رود	3	3	3	۳	۳	۱	۲	فعالیت تکتونیک کم
18	گرگانرود	3	2	2	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
19	لیسار	3	2	2	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
20	خطبه سرا	3	3	3	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
21	شیر آباد	3	2	3	۲	۱	۱	۲	فعالیت تکتونیکی زیاد
22	زمرد	3	2	2	۱	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
23	حویق	3	3	2	۳	۱	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
24	چوبر	3	3	2	۳	۲	۱	۲	فعالیت تکتونیکی زیاد
25	پلاسی	3	3	2	۱	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
26	لامیر	3	3	3	۱	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
27	وندی چای	3	3	3	۲	۱	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
28	لوندویل	3	3	2	۲	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
29	قاری چای	3	3	2	۲	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
30	کانرود	3	3	3	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
31	ملا هادی	3	3	2	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
32	آستارا چای	3	3	2	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
33	هاریکان	3	3	3	۳	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
34	سیپاپارت	3	3	2	۲	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی متوسط
35	سیاکو	3	3	2	۱	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
36	وارشارو	3	3	2	۱	۲	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد
37	لنکران	3	2	2	۱	۳	۱	۱	فعالیت تکتونیکی زیاد

جدول ۱۶: مقادیر محاسبه شده از هم پوشانی بزرگای زلزله و عملکرد تکتونیکی (IAT)

H	M	L	بزرگای زلزله
۱۹۹	۸۶	۱	۲-۳
۱۱۶	۳۷	۱	۳-۴
۱۵	۵	*	۴-۵
۲	۳	*	۵-۶
۱	۱	*	۶-۷



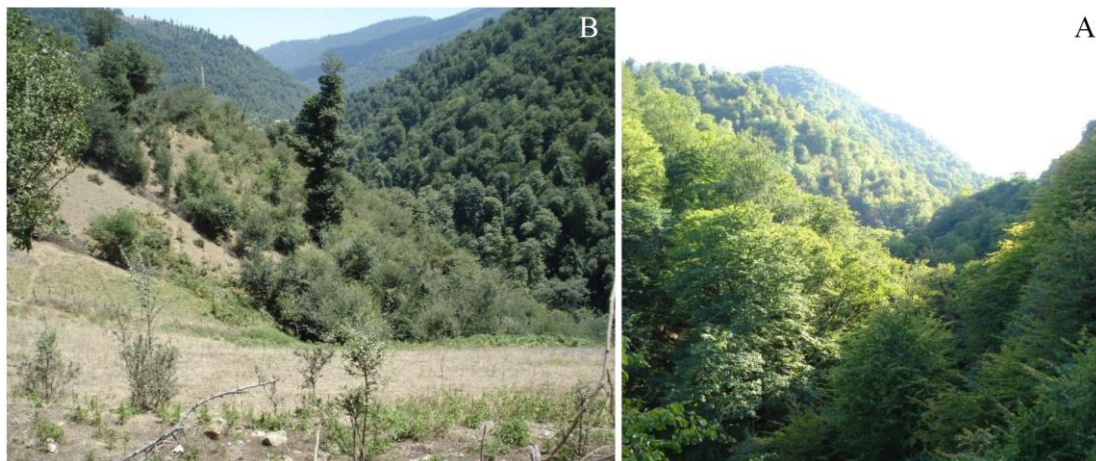
شکل ۳: نقشه هم پوشانی بزرگای سطحی زلزله و عملکرد فعالیت تکتونیکی (IAT) حوضه ساحلی تالش

زیادی از مسیر رودخانه شفا رود دره‌های موجود به صورت V شکل بوده و اختلاف بین کف دره و ستیغ‌های سمت چپ و راست دره و همچنین اختلاف ارتفاع بین کمینه و بیشینه ارتفاعی حوضه

همان‌طور که در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود دره شفا رود از لحاظ تکتونیکی در رده بسیار فعال تعیین شده است. مطالعات میدانی انجام شده در این منطقه نیز گویای این امر می‌باشد. در بخش‌های

پهنای بیشتر کف دره نسبت به حوضه آبریز شفارود (فعالیت تکتونیکی بالا) است. مقایسه مطالعات میدانی این دو حوضه از لحاظ مورفولوژیکی با پارامترهای مورفومتری صحت نتایج به دست آمده از این مطالعه را تأیید می‌نماید.

زیاد است که نشان‌دهنده جوان بودن این حوضه آبریز، غلبه فرایندهای فرسایشی و فعال بودن آن از لحاظ تکتونیکی است (شکل ۴A). حوضه چافرود (شکل ۴B) از لحاظ فعالیت تکتونیکی متوسط است. مورفولوژیکی این حوضه متشکل از دره‌های عریض‌تر، اختلاف ارتفاع کمتر ستیغ‌ها با کف دره و



شکل ۴: (A) دره رودخانه شفارود، (B) دره رودخانه چافرود

یک منطقه ارائه دهند و برای بررسی میزان فعالیت تکتونیکی در یک منطقه مفید است، استفاده از داده‌های لرزه‌ای دقت مطالعات را به میزان زیادی افزایش داده است و بهره‌برداری هم‌زمان از شاخص‌های موفوتکتونیکی و لرزه‌ای می‌تواند رویکرد مناسب برای بررسی موفوتکتونیک مناطق مورد مطالعه باشد. علاوه بر آن تطابق نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها با واقعیت‌های زمینی و داده‌های لرزه زمین‌ساخت می‌تواند بر کارایی این شاخص‌ها بیافزاید. از این‌رو در این تحقیق سعی شد با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی فعالیت نسبی تکتونیکی در این مناطق مورد ارزیابی قرار گیرد. از این‌رو منطقه مورد مطالعه با طول بیش از ۲۵۰ کیلومتر و وسعتی بالغ بر ۵۰۵۷ کیلومترمربع در قالب ۳۷ حوضه آبریز از لحاظ شاخص‌های مورفومتری،

نتیجه‌گیری

مطالعه واحدهای ساختمانی به صورت یکپارچه می‌تواند اطلاعات جامعی را از لحاظ ژئومورفولوژیکی در اختیار محققین علوم زمین قرار دهد. امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی تحت عنوان شاخص‌های ارزیابی تکتونیک فعال در برآورد وضعیت تکتونیکی در حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود به این نتیجه رسیدند که شاخص فعالیت تکتونیکی (IaT) منطقه در کلاس متوسط قرار دارد. زون ساختاری تالش به‌عنوان یکی از واحدهای زمین-ساختی و لرزه زمین‌ساختی ایران و در پهنه ساختاری آذربایجان قرار گرفته است و از اهمیت فراوانی در مطالعات مورفوتکتونیکی برخوردار است. شاخص‌های مورفوتکتونیک می‌توانند طبقه‌بندی نسبی را از فعالیت‌های تکتونیکی در

حوضه‌های آبریز با فعالیت تکتونیکی زیاد در منطقه (۲۰۵۹ کیلومتر مربع و ۴۰/۷ درصد از منطقه مورد مطالعه) در حدود ۷۱ درصد از داده‌های لرزه‌های ثبت شده با بزرگای ۲ تا ۷ در این منطقه قرا گرفته است و این امر نشان دهنده عملکرد مناسب شاخص‌های در تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی حوضه مورد مطالعه به شمار می‌آید. (شهماری، ۱۳۹۶) در مطالعه‌ای در ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی در ۴ حوضه از ۳۷ حوضه آبخیز غرب استان گیلان (کرگانرو، دیناچال، چوبر و لمیر) شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و مورفوتکتونیکی را مورد بررسی قرار داده است نتایج حاکی از آن بود که حوضه‌های مورد مطالعه دارای فعالیت شدید تکتونیکی می‌باشد و فقط از نظر شاخص Af در وضعیت غیرفعال قرار دارند. نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد که این چهار حوضه از لحاظ شاخص Af در وضعیت غیر فعال تا فعالیت متوسط قرار دارند و نتایج مطالعه فوق را تأیید می‌نماید. ولی محاسبات حوضه‌های چوبر و لمیر با توجه شاخص Iat در وضعیت با فعالیت تکتونیکی بسیار زیاد قرار دارد که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد ولی برای حوضه‌های کرگانرو و دیناچال نتایج این تحقیق نشان دهنده فعالیت تکتونیک متوسط در این حوضه‌ها است.

نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، نسبت شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن آبراهه-ها (Af)، منحنی شاخص هیپسومتري و انتگرال هیپسومتري (Hi)، شاخص سینوسیته رودخانه (S)، شاخص تقارن توپوگرافی (T) و در آخر از ترکیب نتایج شاخص‌های مورد بررسی از یک شاخص واحد به نام شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) جهت آنالیز نهایی فعالیت تکتونیکی منطقه استفاده شد و میزان فعالیت تکتونیکی هر حوضه در سه کلاس فعالیت تکتونیکی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی گردید. از بین ۳۷ حوضه مورد مطالعه ۱۴ حوضه آبریز با مساحتی بالغ بر ۲۰۵۹ کیلومتر مربع (۴۰/۷ درصد از منطقه مورد مطالعه) به‌عنوان حوضه‌های با فعالیت تکتونیکی زیاد، ۲۲ حوضه با مساحتی بالغ بر ۲۹۷۹ (۵۸/۵ درصد از منطقه مورد مطالعه) کیلومتر مربع و تنها یک حوضه با مساحت حدود ۱۹/۵ کیلومتر مربع (حدود ۰/۳۸ درصد از منطقه مورد مطالعه با فعالیت کم قرار دارد. با توجه به شاخص IAT بیشترین فعالیت تکتونیکی در ایران مربوط به حوضه‌های آبریز چلاسی و زمرد در ایران با و وارشارو و لنکران در جمهوری آذربایجان است. هم‌پوشانی داده‌های لرزه‌ای با نتایج به دست آمده از این تحقیق همبستگی خوبی را نشان می‌دهد به‌گونه‌ای که با وجود مساحت کمتر

پانویس

1-Index of Relative Active Tectonic

2-Tectonic Geomorphology

منابع

برآورد وضعیت تکتونیکی در حوضه‌ی آبخیز حبله رود، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، ص ۱۶۱-۱۸۴.

-امیر احمدی، ا.، ابراهیمی، م. و پور هاشمی، س.، ۱۳۹۴. شاخص‌های ارزیابی تکتونیک فعال در

- بهرامی، ش.، ۱۳۹۲. تحلیل کمی ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک، مطالعه موردی ۱۰ حوضه آبخیز زاگرس، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۱، ص ۱۵-۳۴.
- بهرامی، ش.، اکبری، ا. و معتمد راد، م.، ۱۳۹۲. تحلیل ژئومتری حوضه‌های زهکشی با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی صدخرو، کلاته سادات، فاروبرومان و گلیان)، فصلنامه علمی- پژوهش فضایی جغرافیا، شماره ۱۸، ص ۱۹۹-۲۲۲.
- پژوهشکده علوم زمین، ۱۳۸۹. طرح تهیه نقشه تحلیل خطرات لرزه‌ای کشور.
- جباری، ن.، ثروتی، م. و حسین‌زاده، م.، ۱۳۹۱. "مطالعه‌ی مورفوتکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز حصارک (شمال غرب تهران) با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک"، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، ص ۱۷-۳۴.
- Adams, K.D., Wesnousky, S.G. and Bills, B.G., 1999. Isostatic rebound, active faulting, and potential geomorphic effects in the Lake Lahontan basin, Nevada and California: GSA Bulletin, v. 111 (12), p. 1739-1756.
- Ankit, s., Praveen, k. and Prafull, s., 1999. Morphotectonic analysis of Sheer Khadd River basin using geo-spatial tools: Spatial Information research, v. 26(4), p. 405-414.
- Anoop, A., Prasad, S., Basavaiah, N., Brauer, A., Shahzad, F. and Deenadayalan, K., 2011. Tectonic Versus Climate Influence on Landscape Evolution: A Case Study from The Upper Spite Valley, NW Himalaya: Geomorphology, v. 145-146, p. 32-44.
- Berberian, M., 1983. The southern Caspian: A compression depression floored by a trapped, modified oceanic crust: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p. 163-183.
- Cox, R.T., 1994. Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt block tectonics: an example from the Mississippi embayment: Geological Society of America Bulletin, v. 106, p. 571-581.
- EL Hamdouni R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. and Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain): Geomorphology, v. 96(1-2), p. 150-173.
- Guarnieri, P. and Pirrotta, C., 2007. The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE
- خسروی، ق.، ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، رساله دکتری دانشگاه اصفهان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، ص ۱۲۵-۱۴۶.
- شهماری، ر.، ۱۳۹۶. ارزیابی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت در حوضه‌های آبخیز غرب استان گیلان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۲، ص ۱۴۸-۱۶۵.
- طالقانی، م.، ۱۳۸۱. ژئومورفولوژی ایران، چاپ اول، انتشارات قومس، ص ۱۲۶-۱۲۷.
- گورابی، ا. و نوحه‌گر، ا.، ۱۳۹۲. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال در حوضه آبخیز درکه، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۲۴، ص ۱۷۷-۱۹۶.
- مقصودی، خ. و مختار کشکی، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی براساس مورفولوژی مخروطه‌افکنه‌ها، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ص ۱-۱۰.

- Sicily): *Geomorphology*, v. 95, p. 260-273.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin: *Geophysical Journal International*, v. 148, p. 214-245.
- Jayappa, K.S. and Nagaraju, M., 2012. Identification of Geomorphic Signatures of Neotectonic Activity Using DEM in the Precambrian Terrain of Western Ghats, India, *International Archives of the Photogrammetry: Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V. XXX. IX. B8, p. 215-221.
- Keller, E.A. and Pinter, N., 2008. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape* (ndEd), Prentice Hall, New Jersey, 87 p.
- Keller, E.A. and Pinter, N., 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*: Prentice-Hall, 362 p.
- Maroukian, H., Gaki-Papanastassiou, K., Karymbalis, E., Vouvalidis, K., Pavlopoulos, K., Papanastassiou, D. and Albanakis, K., 2008. Morphotectonic control on drainage network evolution in the Perachora Peninsula, Greece: *Geomorphology*, v. 102, p. 81-92.
- Kokinou, E., Skilodimou, H., Bathrellos, G. and Kamperis, E., 2015. Morphotectonic analysis, structural evolution/pattern of a contractional ridge: Giouchtas Mt., Central Crete, Greece, 1 p.
- Krzyszowski, D., Przybylski, B. and Badura, J., 2000. The Role of Neotectonics and Glaciation on Terrace Formation Along the Nysa Kozzka River in The Sudeten Mountains (Southwestern Poland): *Geomorphology*, v. 33(3-4), p.149-166.
- Lone, A., 2017. Morphometric and Morphotectonic Analysis of Ferozpur Drainage Basin Left Bank Tributary of River Jhelum of Kashmir Valley, NW Himalayas, *Journal of Geography and Natural Disasters in India*, v. 7, p. 1-17.
- Ramírez-Herrera, M.T., Summerfield, M.A. and Ortiz-Pérez, M.A., 1994. Tectonic geomorphology of the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt': *Zeitschrift fur Geomorphologie NF*, v. 38(2), p. 151-168.
- Ramsey, L.A., Walker, R.T. and Jackson, J., 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran: *Basin Research*, v. 20, p. 23-48.
- Sharm, G.P., 2018. Morphotectonic analysis and GNSS observations for assessment of relative tectonic activity in Alaknanda basin of Garhwal Himalaya, India: *Geomorphology*, v. 301. p. 108-120.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. and Bardajm, T., 2003. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity: *Geomorphology*, v. 50, p. 203-225.
- Shukla, D.P., Dubey, C.S., Ningreichon, A.S., Singh, R.P., Mishra, B.K. and Singh, S. K., 2014. GIS based morpho-tectonic studies of Alaknanda river basin: a precursor for hazard zonation: *Nat. Hazards*, v. 71, p. 1433-1452.
- Yousefi, E. and Friedberg, J.L., 1978. Aeromagnetic map of Gorgan Aom, Babol and Qazvin quadrangles (1:250000), Geological survey of Iran, No. H4.