نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

صفحات ٧٩ – ٩٨

تحلیل فضایی شاخص های مورفوتکتونیک بر اساس کانون زلزله ها و عملکرد گسل های ایران

غلام حسن جعفری[1]؛ دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

زینب کریمی؛ کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۲/۰۸/۰۵ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۳۰

چکیده

زمین لرزه مسئول آزاد شدن انرژی درونی زمین، به صورت نقطه ای است. انرژی آزاد شده در کانون زلزله ها به صورت سطحی گسترش می یابد و سطوح ارضی را متأثر می‌سازد. در علوم زمین برای بررسی اثرپذیری سطوح ارضی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی، از شاخص‌های مورفوتکتونیکی استفاده می‌شود. در این مقاله برای سنجش وضعیت فعالیت‌های نئوتکتونیکی سطوح ارضی ایران، در قالب زون‌های مورفوتکتونیکی، علاوه بر استفاده از حوضه هایی که بر اساس شاخص‌های مورفوتکتونیکی در مورد وضعیت تکتونیکی آن ها قضاوت شده است، از انرژی ثبت شده در کانون زلزله‌های ۲۰۰۹-۱۹۰۰ و همچنین وضعیت قرارگیری حوضه نسبت به گسل‌ها استفاده شده است؛ به این منظور ابتدا داده‌های زمین لرزه‌ای ۱۱۰ ساله ایران، طی فرایند برنامه‌نویسی در متلب، ابتدا از حالت نقطه‌ای به حالت سطحی و سپس به رستری تبدیل گردید. علاوه‌بر آن با توجه به منابع اسنادی گسل‌های اصلی ایران در سه نوع تقسیم و تحلیل گردید. اسناد حوضه‌ای مربوط به شاخص‌های مورفوتکتونیکی ایران در غالب واحدهای مورفوتکتونیکی تحلیل و تفسیر گردید. نتایج دال بر این است که الف) مقدار انرژی آزاد شده از زمین لرزه‌ها نمی‌تواند در ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیکی حوضه‌ها نقش زیادی داشته باشد. ب) قرارگرفتن حوضه در حریم گسل‌های کواترنری و لرزه‌ای جوان، تأثیر بسیار زیادی در منعکس شدن فعالیت های تکتونیکی در شاخص های مورفوتکتونیکی حوضه داشته است. ج) مجاورت حوضه‌های نیمه فعال با حوضه‌های فعال، یا مجاورت حوضه‌های غیرفعال با حوضه‌های نیمه فعال می‌تواند ناشی از حد آستانه شاخص‌هایی باشد که برای برآورد وضعیت فعالیت تکتونیکی حوضه‌ها استفاده می‌شود.

واژه های کلیدی: زلزله، گسل، کواترنری، انرژی، مورفوتکتونیک.

[1] .نویسنده مسئول: Email:jafarihas@yahoo.com

مقدمه

عملکرد متقابل و مداوم فرایندهای تکتونیکی به عنوان عامل ایجاد توپوگرافی و فرایندهای سطحی به عنوان عوامل فرسایشی، اساس ژئومورفولوژی تکتونیک را تشکیل می‌دهند (مختاری، ۱۳۸۴). فلات ایران که جزئی از منطقه چین خورده آلپ- هیمالیا است، از هر طرف تحت فشار بوده و حرکات زمین ساختی هنوز در آن ادامه دارد. واقع شدن کانون اکثر زمین لرزه‌های ثبت شده در امتداد دو کمربند چین خورده و جوان حاشیه شمالی و جنوبی ایران (البرز و زاگرس) به خوبی این ارتباط را نشان می‌دهد (رضائی مقدم و خیری زاده آروق، ۱۳۹۳). شاخص‌های مورفوتکتونیک یکی از ابزارهایی است که می‌تواند در برآورد وضعیت فعالیت نئوتکتونیکی هر منطقه، کمک بسیار زیادی کند؛ به شرط آن که عواملی مانند: لیتولوژی، اقلیم و حتی اقلیم محلی و تغییرات میکروکلیمای مکان، نادیده گرفته شود (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ جعفری و نوروزی، ۱۳۹۶). در صورتی که شاخص‌های مورفوتکتونیکی به مقاومت سنگها، تغییرات اقلیمی و فرایندهای تکتونیکی حساس هستند (بهات و همکاران، ۲۰۱۳)، چرا که مقادیر حاصل از بکارگیری شاخص-های ژئومورفیک به طور مستقیم و غیر مستقیم بیانگر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها نیز می‌باشد (گوارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸). هرچند گیلبرت (۱۸۷۷) و مکگی (۱۸۹۶) مورفولوژی مخروط‌های افکنه را به عنوان شاخصی از فعالیت‌های تکتونیکی در نظر گرفته بودند، ولی مطالعات جهانی در مورد شاخص‌های مورفوتکتونیک، عملاً از اوایل قرن بیستم با انتشار مقالاتی در رابطه با نقش درز و شکاف‌ها با زمین ساخت جی سویچ، (۱۹۲۶) آغاز شد (میلانویچ، ۱۹۸۱). هاک (۱۹۷۳) به منظور کمی نمودن نیمرخ طولی بدنه اصلی رودخانه‌ها، شاخص طولی-گرادیان رودخانه (SL) را ابداع کرد. استفاده از شاخص‌های مورفومتری در مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی به وسیله بال و مکفادن[۱] (۱۹۷۷)، آغاز شد؛ استفاده از شاخص‌های VF، Smf و BS ابتدا در مطالعات بال و مکفادن (۲۰۲۰)، سپس در مطالعات کلر و پینتر (۱۹۸۶) و رامیرز-هررا (۱۹۹۸) دیده می‌شود؛ البته بسیاری از شاخص‌ها بعد از مطالعات کلر و ینتر (۱۹۸۶) گسترش یافت (S، Af، T، HI و Hc). همدونی و همکاران[۲] (۲۰۰۸)، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص IAT به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال را مشخص نمودند. آلتین و آلتین[۳] (۲۰۱۱)، مورفومتری شبکه زهکشی در زمین‌های آتشفشانی آنتالیای ترکیه را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند گسل و مقاومت سنگ در توسعه شبکه زهکشی تأثیر دارد. محمود و همکاران[۴] (۲۰۱۴)، به بررسی تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه آبریز کشمیر (پاکستان) پرداخته و به این نتیجه رسیدند که فعالیت گسل باعث ناتعادلی دره‌ها و دامنه‌های این منطقه شده است. ژیبرت و همکاران[۵] (۲۰۱۷)، در ارزیابی جنبش-های تکتونیکی مسیر رودخانه ها با استفاده از مدل‌های دیجیتالی با وضوح بالا، نرم افزار ArcGIS و سایر نرم افزارهای مدلسازی زمین، از یک روش جدید (GLA) برای تشخیص مناطق فعال استفاده کرده‌اند. نگاپنا و همکاران[۶] (۲۰۱۸)، در بررسی شاخص‌های ژئومورفیک (تقارن حوضه، انتگرال هیپسومتری، شاخص انشعاب و پروفیل طولی رود)،

---

۱. BulI & Mcfadden
۲ . Hamdouni et al.
۳. Altin & Altin
۴. Mahmood & et aI.
۵. Zibret & et aI.
۶. Nggapana & et aI.

تکتونیک، سنگ شناسی و کنترل کننده‌های اقلیمی حوضه کامرون (آفریقا)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (SRTM)، نرم افزار ArcGIS و بازدید میدانی، مناطق تحت تأثیر فعالیت‌های نئوتکتونیکی را تجزیه و تحلیل نمودند.

بررسی‌های تکتونیکی در ایران عملاً با پایان‌نامه آقانباتی (۱۳۴۹) و حمزه‌پور (۱۳۴۹) آغاز شد. گام بعدی مطالعات نئوتکتونیک با بررسی نئوتکتونیک مخروط افکنه‌های کرمان توسط عباس نژاد (۱۳۷۶) بوده است و سلیمانی (۱۳۷۸) در کتاب رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان، به بررسی و نحوه‌ی انجام شاخص‌های تکتونیکی (شاخص‌های گرادیان طولی، تسطیح شدگی جبهه کوهستان، سینوسیته کوهستان، نسبت V، نسبت پهنای کف دره به عمق، وسعت مخروط افکنه، تقارن توپوگرافی، عدم تقارن توپوگرافی آبراهه‌ها در حوضه آبریز و منحنی فرازنما و انتگرال فرازنما) پرداخته است. از آن پس مطالعات بسیاری در زمینه وضعیت تکتونیکی مناطق با استفاده از شاخص‌های تکتونیکی انجام شده است: مختاری (۱۳۸۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴) به بررسی فعالیت گسل شمالی میشو و گسلهای مجاور آن پرداخته و از شاخص‌های SMF،VF و BS استفاده نموده است. مددی و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از شاخص-های نکتونیکی SL، SMf، S و Vf به بررسی فعالیت‌های تکتونیکی دامنه‌های شمالغربی تالش پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که منطقه مورد بررسی از لحاظ تکتونیکی فعال هست. استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی بیشتر، در مطالعات گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶) دیده می‌شود که با استفاده از هفت شاخص تکتونیکی (SL, V, T, SMF, VF, Af, Hc, Hi)، فرایندهای پویا و دینامیک موثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود حوضه آبخیز درکه را بررسی نمودند؛ براساس این شاخص‌ها حوضه از لحاظ تکتونیکی فعال ارزیابی گردید. شاخصp یا تراکم زهکشی حوضه برای اولین بار در مطالعات تکتونیکی عباسی و علمی‌زاده (۱۳۸۹) در حوضه انجیران دیده می‌شود؛ براساس این شاخص، منطقه هنوز به حالت تعادل نرسیده است.

مطالعه شاخص‌های تکتونیکی، تا سال ۱۳۸۷ شمسی، توسط Bull & Mcfaddan ۱۹۷۷، Ramirez-Herrara ۱۹۹۸، Keller & Pinter ۱۹۹۶ و Silva et al., ۲۰۰۳ انجام شده است. اکثر مقالات بعد از سال ۱۳۸۷ با استفاده از شاخص‌های ارائه شده به وسیله همدونی و همکاران (۲۰۰۸) تدوین شده است. شاخص IAT (همدونی و همکاران ۲۰۰۸)، با جمع کلیه شاخص‌های تکتونیکی برآورد می‌گردد؛ از جمله بررسی‌های صورت گرفته با استفاده از شاخص IAT، می‌توان به کارهای سیف و خسروی (۱۳۸۹) بر روی منطقه فارسان، رجبی و سلیمانی (۱۳۹۲) مورفوتکتونیک و نئوتکتونیک دامنه جنوبی کوهستان سبلان، مقامی مقیم (۱۳۹۵) تکتونیک رودخانه روئین در شمال شرق ایران، عزتی و همکاران (۱۳۹۷) تکتونیک شمال بیرجند، عابدینی و همکاران (۱۳۹۹) مخاطرات ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز زنوزچای، شفیعی بافتی و همکاران (۱۳۹۹) زمین ساخت فعال حوضه آبخیز دشت بیرجند و عابدینی و همکاران (۱۴۰۰) اثرات ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال بر منطقه نمین، آستارا و تالش، اشاره نمود. در این مقاله وضعیت نئوتکتونیکی ارزیابی شده حوضه‌های ایران، در قالب زون‌های مورفوتکتونیکی، با توجه به مقدار انرژی آزاد شده طی ۱۱۰ سال (۲۰۰۹-۱۹۰۰) و موقعیت حوضه‌ها نسبت به انواع گسل، بررسی می‌گردد.

کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا متنوع‌ترین ناحیه قاره تکتونیکی فعال است. این کمربند از غرب اروپا شروع می‌شود و از طریق ترکیه وارد ایران می‌شود و از شرق تا هیمالیا امتداد می‌یابد. فلات ایران تقریباً در وسط کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا و در ناحیه مرزی یا کمربند همگرا بین دو صفحه آفریقا و اوراسیا قرار دارد و بین این دو سکوی قدیمی فشرده شده و گسل‌های متعددی در آن ایجاد شده است (رجبی و بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰). قرار گرفتن ایران بر روی این

کمربند باعث شده است که بخش بزرگی از این فلات دارای تکتونیک فعال باشد. ارتفاعات ایران تکه تکه شده و هر قسمت به نامی خاص شناخته می‌شود؛ البرز، زاگرس، ایران مرکزی، کپه داغ، سنندج-سیرجان، بلوک لوت و طبس و دشت خوزستان. در قسمت داخلی هر یک از این قسمت‌ها، حوضچه‌های کوچک و بزرگ متعددی تشکیل شده است که با ارتفاعات داخلی و محلی هم‌مرز شده اند (جداری عیوضی، ۱۳۸۷؛ زمردیان، ۱۳۹۲).

تکتونیک نقش بسیار مهمی در تکامل مورفولوژیکی مناطق دارد و بوسیله پارامترهای مورفوتکتونیکی، آبرفتی و ساختاری ارزیابی می‌شود. برای ارزیابی فعال تکتونیکی حوضه ها از شاخص‌های ژئومورفیک استفاده می‌شود. این شاخص‌ها به مقاومت سنگها، تغییرات اقلیمی و فرایندهای تکتونیکی واکنش نشان می‌دهند. مسائل اساسی که در این مقاله تعقیب می شود عبارتند از: آیا آستانه های آماری در نظر گرفته شده برای شاخص های مرفوتکتونیک از منطق ریاضی تبعیت می کنند یا از منطق فازی؟ همچنین آیا فقط حضور گسل در حوضه می تواند تأیید کننده فعالیت های نئوتکتونیکی حوضه باشد، یا باید نوع آن نیز در نظر گرفت؟ بالاخره آیا حوضه های فعال از نظر تکتونیکی در محدوده زلزله های ثبت شده واقع شده اند و آیا هرجا زلزله ای ثبت شده می توان انتظار تأیید فعالیت های تکتونیکی را به واسطه شاخص های مورفوتکتونیکی داشت؟ این مقاله با رویکردی چندجانبه در پی پاسخگویی به این سوالات است. از طرفی وضعیت تکتونیکی هر منطقه ای از جمله عواملی است که بر مقدار رسوب، تعادل سطوح ارضی، انواع ریزش ها و مخاطرات محیطی اثر می گذارد. لازمه هر گونه برنامه ریزی محیطی آگاهی از وضعیت تکتونیکی منطقه است از این رو این مقاله به تحلیل مخاطره نئوتکتونیک در فضای جغرافیایی ایران پرداخته است. شناخت وضعیت تکتونیکی کشور نقش بسیار زیادی در آمایش سرزمین و مدیریت مناطق مسکونی دارد؛ هر چه ارزیابی مورفوتکتونیکی مکان، دقیق تر باشد با اعتماد بیشتری می توان برنامه های آن مکان را عملیاتی نمود و از وقوع بحران های مختلف زیست محیطی جلوگیری نمود و یا خسارات ناشی از آن ها را کاهش داد. تا کنون در زمان ارزیابی وضعیت تکتونیکی حوضه ها بر اساس شاخص های مورفوتکتونیکی، به موقعیت حوضه نسبت به گسل (و انواع آن)، میزان انرژی آزاد شده توسط زلزله های ثبت شده، مجاورت زیرحوضه های مختلف از نظر تکتونیکی و لیتولوژی توجه کمتری شده است.

داده ها و روش‌کار

برای شاخص‌های مورفوتکتونیکی بال و مکفادن (۱۹۷۷)، راک ول و همکاران (۱۹۸۵)، کلر و پینتر (۱۹۹۶)، سیلوا و همکاران (۲۰۰۳) و همدونی و همکاران (۲۰۰۸) آستانه‌ها ارائه داده‌اند که با اعمال شاخص‌ها در هر حوضه و مقایسه داده‌های برآورد شده با آستانه‌های ارائه شده، می‌توان وضعیت فعالیت نئوتکتونیکی حوضه را مشخص نمود (جدول ۱).

جدول (۱). شاخص‌های مورفوتکتونیکی و آستانه‌های مورفوتکتونیکی محققین مختلف

ارائه دهندگان	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
همدونی و همکاران ۲۰۰۸	Smf <۱,۱	Smf= ۱,۱-۱,۵	Smf >۱,۵
	Vf < ۰,۵	Vf= ۰,۵-۱	Vf > ۱
	Bs > ٤	Bs= ٤-۳	Bs < ۳
	(Af -۵۰) > ۱۵	(AF-۵۰)= ۷-۱۵	(Af -۵۰) <۷
	ناهنجاری‌های بالا SL=	ناهنجاری‌های کم SL=	نبود ناهنجاری SL=

سیلوا و همکاران ۲۰۰۳	Smf < ۱,۵۳	Smf = ۱,۸- ۲,۳	Smf= ۲,۸- ۳.۵
	Vf < ۰,٦۰	Vf= ۰,۳-۰,۸	Vf= ۰,۸-۱,۲
کلر و پینتر ۱۹۹۶	Smf= ۱-۱,٦	Smf= ۱,٦-۳	Smf < ۳
راک ول و همکاران ۱۹۸۵	Smf <۱,٤	سرعت بالا آمدن ۰.۰۵-۰.۵ متر بر کیلومتر	Smf >۱,٤
	Vf <۱		Vf > ۱
بال و مکفادن ۱۹۷۷	Smf= ۱,۲ -۱,٦	Smf= ۱,۸-۳,٤	Smf= ۲-۷
	Vf= ۰,۰۵۵-۰,۵	Vf= ۰,۵-۳,٦	Vf= ۲-٤۷

گسل‌های ایران به ۳ نوع لرزه‌ای جوان، کواترنری و پیش از کواترنری تقسیم‌بندی شده‌اند. گسل‌های لرزه‌ای جوان بر دو نوع هستند: گسل‌های زمین لرزه‌ای که طی ۵۰۰ سال اخیر با گسیختگی‌های سطحی مستند در منطقه‌های مختلف ایران همراه بوده و بسیاری از این گسیختگی‌ها در امتداد گسل‌های فعالی اتفاق افتاده که در طول کواترنری، بارها جابه جا شده‌اند؛ شواهد موجود نشان می‌دهد امکان فعالیت دوباره‌ی این گسل‌ها در آینده وجود دارد. نوع دوم گسل‌های لرزه‌زا از نوع زیر زمینی هستند که توانایی ایجاد زمین لرزه بدون پدید آوردن گسیختگی سطحی را دارند. در بررسی لرزه خیزی یک منطقه، چنانچه گسلی در طول کواترنری (۲۵۸۰۰۰۰ سال اخیر) حرکت کرده باشد، گسل فعال (کواترنری) نامیده می‌شود (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). بسیاری از گسل‌های فعال، دارای ترکیبی از این دو حرکت با تغییرهایی از یک گسل به گسل دیگر در امتداد طولی و در بستر زمان هستند. گسل‌های پیش از کواترنری عمدتاً متعلق به جنبش‌های کوهزایی آلپین پسین هستند و برخی از آن‌ها مرز بین نهشته‌های کواترنری و سنگ‌های قدیمی‌تر را تشکیل می‌دهند (صمدزاده، ۱۳۹۸)

به منظور بررسی وضعیت فعالیت نئوتکتونیکی سطوح ارضی ایران در قالب واحدهای مورفوتکتونیکی ابتدا داده‌های زمین لرزه‌ای ۱۱۰ سال ایران (۲۰۰۹-۱۹۰۰)، از پایگاه داده‌های علوم زمین استخراج و طی برنامه‌ای در نرم‌افزار متلب از وضعیت نقطه‌ای- وکتوری به سطحی- رستری تبدیل گردید و پس از پردازش در محیط ArcGIS مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفت. برای این منظور در محیط متلب، یک شبکه نقطه‌ای بافاصله ده کیلومتری طراحی گردید و تمام انرژی آزادشده برحسب ریشتر، تا فاصله صد کیلومتری به نقطه‌ها نسبت داده شد. در برآورد انرژی، فاصله از کانون زمین لرزه، نقش مهمی بر عهده داشت؛ به این صورت که چنین فرض شد که هر زلزله، تا فاصله صد کیلومتری از کانون زمین لرزه، سطوح ارضی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ مقدار انرژی اثرگذار بافاصله رابطه عکس دارد؛ به‌گونه‌ای که در کانون زلزله، انرژی آزادشده همان اعداد ثبت‌شده در نظر گرفته شد؛ با فاصله گرفتن از کانون زلزله مقدار انرژی کاهش می‌یابد تا در فاصله صد کیلومتری به صفر می رسد. با استفاده از منابع اسنادی (نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰) گسل‌های اصلی استخراج و وضعیت فعالیت آن‌ها مشخص گردید. از گسل‌های موجود در ایران با توجه به وضعیت فعالیت آن‌ها در شرایط کنونی حریم‌هایی ترسیم شد و حوضه‌های واقع تا حریم صد کیلومتری آن‌ها، با بازه ۲۰ کیلومتری، تجزیه و تحلیل گردید. با توجه به قدمت استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی در ایران، نتایج بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک ۱۴۲ حوضه، جمع آوری گردید؛ برای واحدهای مورفوتکتونیکی که شاخص‌های مورفوتکتونیکی بررسی شده وجود نداشت و یا در صورت وجود مطالعه، توزیع حوضه‌های مطالعه شده در

واحدهای مورفوتکتونیکی نامتعادل بود، زیرحوضه‌هایی استخراج و شاخص‌های مورفوتکتونیکی آن‌ها برآورد گردید؛ و برای تجزیه و تحلیل وضعیت نئوتکتونیکی واحدهای مورفوتکتونیکی ایران استفاده شد. با بر روی‌هم قرار دادن لایه‌ها در محیط ArcGIS سطوح ارضی ایران باتوجه به مقدار انرژی آزادشده برحسب ریشتر به شش منطقه تقسیم گردید و براساس زون‌های تکتونیکی ایران: البرز، زاگرس، ایران مرکزی، کپه داغ، سنندج- سیرجان، مکران-شرق ایران، بلوک لوت – طبس و دشت خوزستان-پلاتفرم عربی، وضعیت تکتونیکی، بر اساس انرژی آزادشده زلزله‌ها و وضعیت گسل‌ها تبیین گردید.

شرح و تفسیر نتایج

تکتونیک نقش بسیار مهمی در تکامل مورفولوژیکی مناطق دارد و بوسیله پارامترهای مورفوتکتونیکی، آبرفتی و ساختاری ارزیابی می‌شود. برای ارزیابی فعال تکتونیکی حوضه ها از شاخص‌های ژئومورفیک استفاده می‌شود؛ این شاخص‌ها به مقاومت سنگها، تغییرات اقلیمی و فرایندهای تکتونیکی واکنش نشان می‌دهند. در پژوهش حاضر ۱۴۲ حوضه مورد بررسی قرار گرفته است؛ ۷ حوضه غیرفعال و ۴۱ حوضه نیمه‌فعال و ۹۴ حوضه فعال می‌باشد. حوضه‌های فعال به دو دسته انرژی کم و انرژی زیاد تقسیم شدند. میانگین انرژی حوضه‌های فعال در رده کم انرژی ۱۳تا ۱۴۸ ریشتر (۳۸ حوضه) برآورد شده و ۵۶ حوضه در محدوده انرژی زیاد بین ۱۵۲ تا ۸۸۲ ریشتر قرار دارند. لیتولوژی مقاوم حوضه، زمان پاسخ حوضه را به تحرکات تکتونیکی طولانی‌تر می‌نماید؛ حوضه‌هایی با لیتولوژی سست و نامقاوم، به دلیل فرسایش‌پذیری بیشتر، زمان پاسخ کوتاه‌تری خواهند داشت؛ یعنی در برابر تغییرات تکتونیکی سریع‌تر از حوضه‌های با لیتولوژی مقاوم، به تعادل جدید می‌رسند و سطوح ارضی حوضه را متعادل می‌نمایند.

زون تکتونیکی ایران مرکزی: زون تکتونیکی ایران مرکزی توسط گسل‌های لرزه‌ای جوان شمال زنجان، شمال تهران، دامغان، کاشان، درونه، باراجین، اسدآباد، خاور-نه، دهشیر-نائین و گسل‌های کواترنری شمال تبریز، زرینه‌رود، کاشان- قم، شمال باختری درونه، دشت بیاض، کلمرد و گسل‌های پیش از کواترنری سلطانیه، آوج، شمال البرز، مشاء-فشم، نائین احاطه‌شده است (شکل ۱). انرژی واردشده بر این زون در طول دوره آماری بین ۳ تا ۳۸۶ ریشتر متغیر است (شکل ۱). مقدار انرژی آزادشده در اطراف گسل‌های شمال زنجان، شمال تهران، کاشان، دامغان و شمال تبریز، کاشان- قم، دشت بیاض، سلطانیه و آوج بین ۶۳-۳۸۶ ریشتر بوده که بر اساس تقسیم‌بندی کلی این مناطق ازنظر تکتونیکی باید فعالیت متوسط تا بسیار زیاد داشته باشند؛ در سایر قسمت‌ها انرژی آزادشده بین ۳ تا ۶۲ ریشتر بوده که در کلاس فعالیت کم قرار می‌گیرد. با وجود گسل‌های لرزه‌ای جوان و گسل‌های کواترنری در زون تکتونیکی ایران مرکزی انرژی برآورد شده برای سالهای ۱۹۰۰-۲۰۰۹ کم است؛ از ۴۱ حوضه واقع در این زون، ۲۸ حوضه فعال است؛ ۵ حوضه آن در محدوده انرژی زیاد (۱۶۰تا ۲۶۵ ریشتر) و ۲۴ حوضه فعال در محدوده انرژی کم (۱۸تا ۱۴۸) قرار دارند؛ ۱۴ مورد از حوضه‌های فعال با انرژی کم در حریم گسل‌های کواترنری و ۱۰ مورد در حریم گسل‌های لرزه‌ای جوان قرار دارند. بررسی لیتولوژی ۲۴حوضه فعال با انرژی کم در زون تکتونیکی ایران مرکزی دال بر این است که لیتولوژی غالب ۹ حوضه مقاوم بود که هشت حوضه در حریم گسل کواترنری شمال تبریز و حوضه آبریز نطنز، در استان اصفهان، در حریم گسل لرزه‌ای کاشان و گسل کواترنری قم-کاشان قرار دارد. ۱۵ حوضه لیتولوژی نامقاوم و سست دارند که بیشتر آنها در حریم گسل لرزه‌ای جوان هستند. انرژی آزاد شده در ۱۱ حوضه نیمه فعال این زون

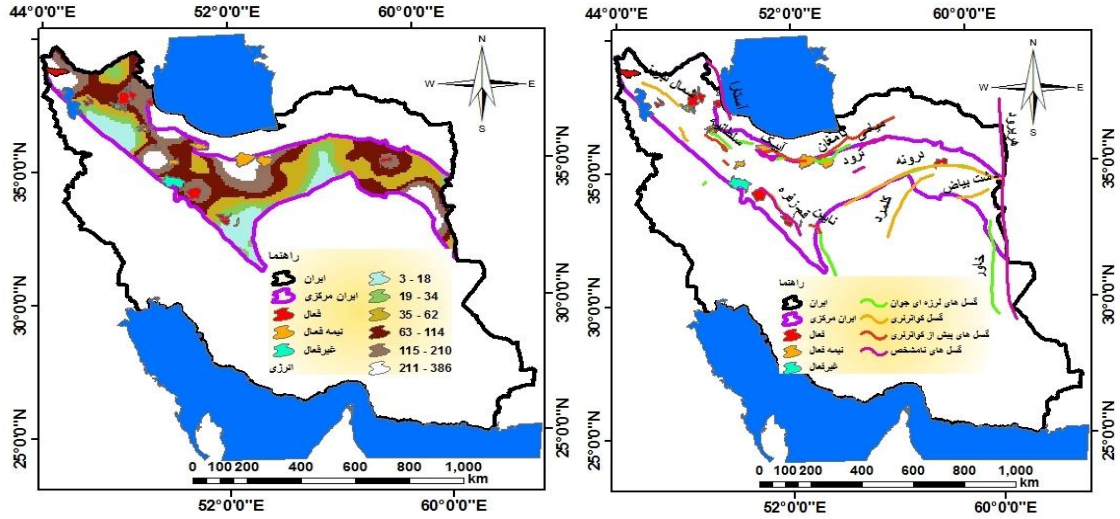
تکتونیکی، بین ۱۰ تا ۳۱۱ریشتر است که اکثر آنها در حریم گسل لرزه‌ای جوان قرار دارند. شاخص IAT این حوضه‌ها نیمه فعال ارزیابی شده‌اند (جدول ۲).

جدول (۲). شاخص IATزیرحوضه‌های زون تکتونیکی ایران مرکزی

حوضه	انرژی	مقادیر IAT	حوضه	انرژی	مقادیر IAT
صومعه چای	۷۱	۲/۲۵	زره باش	۱۶۱	۲
بولانیق چای	۷۰	۲/۲۵	حاجی عرب	۱۳۴	۲/۲
ترکمان چای	۷۱	۲/۳	اردستان	۱۰	۲/۱۶
قره چمن چای	۶۸	۲/۲۵	دره طالقان	۱۹۸	۲/۲۵
سارمساقلو	۶۲	۲	حبله رود	۳۱۱	۲/۴
قره چریان	۵۱	۲/۲۵			

با توجه به جدول (۲) شاخص IAT بین ۲ تا ۲/۴ برآورد شده است. برای حوضه‌های زره باش و سارمساقلو شاخص IAT برابر ۲ برآورد شده است که عددمرزی برای تعیین فعالیت نئوتکتونیکی است و می‌توان فعال درنظر گرفته شود؛ انرژی برآورد شده حوضه زره باش، متوسط و حوضه سارمساقلو، کم است. حوضه‌های شیخ احمدچای (۶۹ ریشتر) و تفرش (۷۲ ریشتر) در زون تکتونیکی ایران مرکزی غیرفعال ارزیابی شده‌اند که شاخص IAT برای حوضه تفرش برابر ۳ و شیخ احمدچای ۲/۶۶ می‌باشد و انرژی وارد شده به هر دو حوضه کم ارزیابی شده است. حوضه تفرش در حریم گسل لرزه‌ای و حوضه شیخ احمدچای در حریم گسل کواترنری قرار دارند. حوضه‌های اطراف شیخ احمدچای ۴ مورد نیمه فعال و ۳ حوضه فعال می‌باشد که میانگین انرژی وارد شده به همه حوضه‌ها کم است و در حریم گسل کواترنری شمال تبریز قرار دارند. حوضه‌های اطراف حوضه تفرش علی‌رغم میانگین انرژی کم، فعال ارزیابی شده‌اند. انرژی واردشده بر حوضه‌های زون تکتونیکی ایران مرکزی بین ۱۰ تا ۳۱۱ ریشتر می‌باشد؛ کمترین انرژی واردشده بر حوضه اردستان ۱۰ ریشتر و بیشترین آن بر حوضه حبله‌رود ۳۱۱ ریشتر می‌باشد و هر دو حوضه نیمه فعال ارزیابی‌شده‌اند؛ اردستان در حریم خطر ۴ گسل کاشان، دهشیر-نائین، نائین و قم-زفره قرار دارد؛ و حوضه حبله‌رود، بر روی گسل دامغان قرار گرفته است.

حوضه‌های اطراف گسل‌های لرزه‌ای جوان این زون، فعال و نیمه فعال بوده و حوضه‌های غیرفعال (تفرش و شیخ احمدچای) در حریم گسل‌های کواترنری قم-کاشان و شمال تبریز واقع‌شده و علیرغم قرارگیری در حریم خطر گسل‌ها (حریم ۱۰۰ کیلومتری)، غیرفعال ارزیابی‌شده‌اند. بعضی از حوضه‌ها باتوجه به قرارگیری بر روی گسل‌ها، نیمه فعال می‌باشند، همانند؛ حوضه‌های حبله‌رود بر روی گسل لرزه‌ای جوان دامغان (انرژی وارده بر حوضه ۳۱۱ ریشتر) و حوضه دره طالقان بر روی گسل پیش از کواترنری طالقان (انرژی وارده بر حوضه ۱۹۸ ریشتر).



شکل (۱). زون تکتونیکی ایران مرکزی

براساس تقسیم‌بندی انجام‌شده (جدول ۳) در بخش اعظم زون تکتونیکی ایران مرکزی انرژی آزادشده بین ۶۳ تا ۳۸۶ ریشتر می‌باشد که در رده انرژی متوسط تا بسیار زیاد قرار می‌گیرد. باتوجه‌به شکل (۱) برخی از حوضه‌های نیمه فعال در محدوده‌ای قرار دارند که انرژی آزاد شده ۱۱۵ تا ۳۸۶ ریشتر (فعالیت زیاد تا بسیار زیاد) است و حوضه‌های غیرفعال در محدوده‌ای قرار دارند که دارای انرژی متوسط هست.

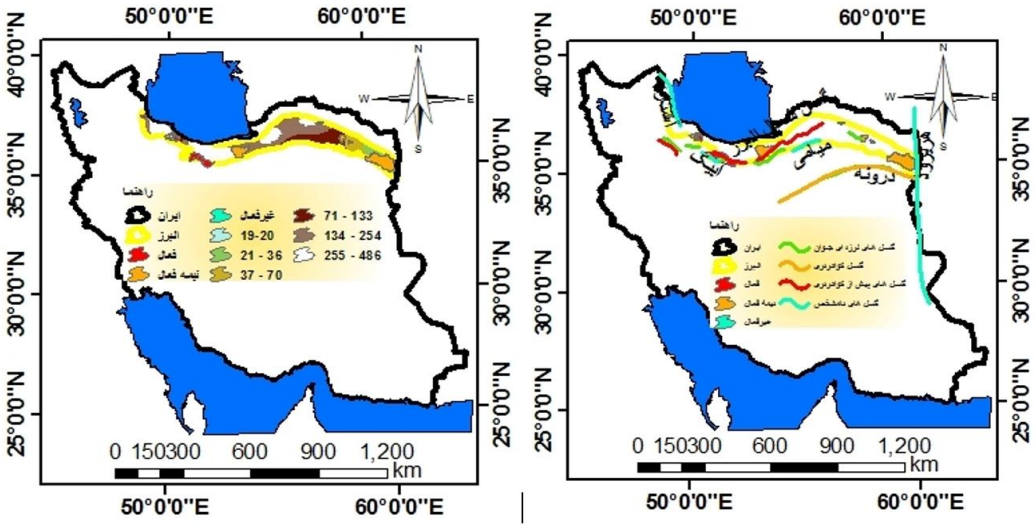
جدول (۳). تقسیم‌بندی انرژی زون ایران مرکزی

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۳-۱۸	غیرفعال	۶۳-۱۱۴	فعالیت متوسط
۱۹-۳۴	فعالیت بسیار کم	۱۱۵-۲۱۰	فعالیت زیاد
۳۵-۶۲	فعالیت کم	۲۱۱-۳۸۶	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی البرز: زون تکتونیکی البرز که به‌واسطه رشته‌کوه‌های البرز شناخته می‌شود؛ که یک پهنه‌ی پرخطر لرزه‌ای در رشته‌کوه‌های جوان ایران است. زلزله‌های بسیاری با ریشترهای بالا در این منطقه رخداده که گهگاه خسارت-های جانی و مالی بسیاری در پی داشته است. باتوجه‌به انرژی آزادشده، زون تکتونیکی البرز یک منطقه پرخطر محسوب می‌شود؛ انرژی آزادشده این زون بین ۱۹ تا ۴۸۶ ریشتر متغیر است (شکل ۲). گسل‌های این منطقه شامل گسل‌های لرزه‌ای جوان عباس‌آباد، دامغان و شمال تهران، باراجین، درونه، شمال زنجان و گسل کواترنری شمال باختری درونه و گسل‌های پیش از کواترنری شمال البرز، مشاء-فشم، طالقان، سلطانیه هست، همچنین گسل‌های میامی، آبیک، فیروزکوه و آستارا و گسل هریرود، این پهنه را تهدید می‌کنند (شکل ۲). در بخش شرقی فعالیت گسل‌ها کمتر می‌شود که بنا به شرایط، انرژی کمتری نیز به این محیط واردشده است. از ۱۹ حوضه بررسی شده در این زون، ۳ حوضه غیرفعال، ۵ حوضه نیمه فعال و ۱۱ حوضه فعال بودند. براساس شاخص‌های مورفوتکتونیکی ۵ حوضه در زون تکتونیکی البرز نیمه فعال برآورد شده که در حریم گسل‌های لرزه‌ای قرار دارند؛ حوضه‌های چالک رود و جیرکل در نزدیکی حوضه‌های غیرفعال این منطقه می‌باشند. حوضه‌های تربت جام و فاضل آباد در شرق زون البرز قراردارند و انرژی وارد شده به آنها کم است. شاخص IAT برای حوضه‌های کیاسر ۲/۲۶، تربت جام ۲/۲ و فاضل آباد، ۲/۳۳

محاسبه شده است که از آستانه فاصله دارد و برای حوضه‌های چالک‌رود و جیرکل این شاخص محاسبه نشده است. از ۱۱ حوضه فعال در زون تکتونیکی البرز، یک حوضه در محدوده انرژی کم و ۱۰ حوضه در انرژی زیاد (۱۸۴تا ۲۸۱ ریشتر) قرار گرفته‌اند. حوضه آبریز عیش آباد در شرق زون تکتونیکی البرز با میانگین انرژی ۵۵ ریشتر فعال ارزیابی شده است و در حریم گسل لرزه‌ای عباس آباد قرار دارد. لیتولوژی حوضه ماسه سنگ دگرگونی، مارن ژیپس‌دار، سنگ آهک و کنگلومرا می‌باشد؛ شمال حوضه لیتولوژی مقاوم و جنوب آن در بخش خروجی حوضه، لیتولوژی نامقاوم است. حتی حوضه‌های واقع در لیتولوژی مقاوم، کم بودن انرژی نمی‌تواند دال بر غیرفعال بودن حوضه باشد؛ چه بسا حوضه فعال در لیتولوژی مقاوم قرار داشته باشد. انرژی وارد شده به حوضه‌های غیرفعال (برشو، ایرمحله و سه موش) زیاد است و در اطراف آنها حوضه‌های نیمه فعال و فعال قرار دارند؛ هر سه حوضه در حریم گسل لرزه‌ای باراجین، در غرب زون تکتونیکی البرز واقع شده‌اند.

میانگین انرژی واردشده بر حوضه‌های این زون بین ۳۷ تا ۳۰۸ ریشتر می‌باشد. بیشترین انرژی در حوضه آبریز چالک‌رود (۳۰۸ ریشتر)، یک حوضه نیمه فعال، در حریم گسل‌های لرزه‌ای جوان شمال زنجان، باراجین و گسل‌های پیش از کواترنری طالقان، مشاء-فشم و گسل آستارا برآورد شده است؛ و کمترین انرژی در حوضه نیمه فعال تربت‌جام (۳۷ ریشتر)، در بخش شرقی زون البرز برآورد شده که در حریم گسل لرزه‌ای جوان درونه و گسل کواترنری شمال باختری درونه و گسل هریرود (۲۰km) قرار دارد.



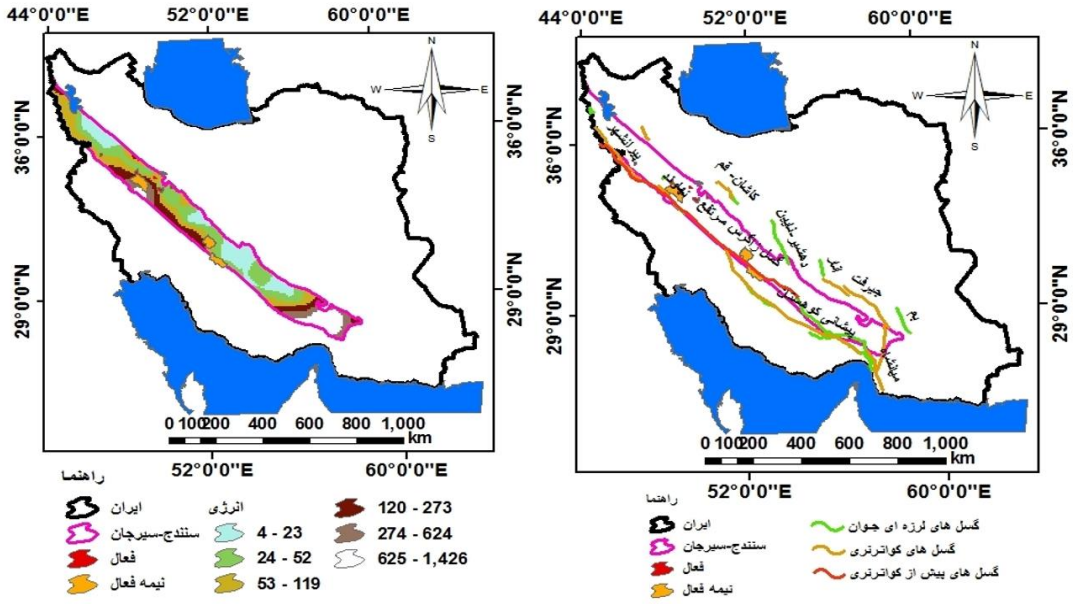
شکل (۲). زون تکتونیکی البرز

براساس بررسی‌های انجام‌شده بیشترین وسعت زون تکتونیکی البرز دارای انرژی زیاد تا بسیار زیاد است (جدول ۴)؛ این مناطق در حریم گسل‌های لرزه‌ای جوان و گسل‌های پیش از کواترنری قرار دارند. در بخش شرقی این زون، انرژی کمتر شده و بین ۲۱ تا ۷۰ ریشتر است. براساس شکل (۲)، حوضه‌های غیرفعال موردمطالعه در بخش انرژی بسیار زیاد قرار می‌گیرند؛ و یک حوضه فعال در بخشی قرار دارد که انرژی آزادشده کم می‌باشد؛ و حوضه‌های نیمه فعال در محدوده انرژی آزاده شده متوسط تا بسیار زیاد قرار دارند.

جدول (۴). تقسیم‌بندی انرژی زون تکتونیکی البرز

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۱۹-۲۰	غیرفعال	۷۱-۱۳۳	فعالیت متوسط
۲۱-۳۶	فعالیت بسیار کم	۱۳۴-۲۵۴	فعالیت زیاد
۳۷-۷۰	فعالیت کم	۲۵۵-۴۸۶	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی سنندج-سیرجان: زون تکتونیکی سنندج –سیرجان یک واحد ناآرام ماگماتیسمی و دگرگونی در پهنه ایران است که در طول دوره‌های زمین‌شناسی شرایط مختلفی را پشت سر گذاشته است. این محدوده توسط گسل‌های لرزه‌ای جوان دو رود، بختگان، اسدآباد، ارومیه، انار، کاشان، چاه شیرین، کازرون، بم، دهشیر-نائین و گسل-های کواترنری پیرانشهر، نهاوند، میناب-زندان، زرینه‌رود، جیرفت، پیشانی کوهستان، میان شاه، رفسنجان، مروارید، کاشان-قم و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع که هم در محدوده و اطراف این زون تکتونیکی قرار دارند، احاطه‌شده است (شکل ۳). میزان انرژی آزادشده در زون تکتونیکی سنندج-سیرجان بین ۴ تا ۱۴۲۶ ریشتر است؛ که در بخش جنوبی این زون باتوجه به تمرکز گسل‌های لرزه‌ای و گسل‌های کواترنری، میزان انرژی آزادشده در بیشترین حد قرار می‌گیرد.



شکل (۳). زون تکتونیکی سنندج-سیرجان

در محدوده مطالعاتی ۱۱ حوضه آبریز موردبررسی قرارگرفت که ۴ مورد نیمه فعال و ۷ مورد فعال می‌باشند؛ انرژی ۷ حوضه فعال زون تکتونیکی سنندج-سیرجان، بین ۳۲ تا ۱۰۵ ریشتر می‌باشد که در رده انرژی کم قرار دارند؛ و در حریم گسل‌های لرزه‌ای جوان، کواترنری و پیش از کواترنری می‌باشند. ۳ مورد از حوضه‌ها دارای لیتولوژی مقاوم و ۴ مورد لیتولوژی نامقاوم دارند. لیتولوژی غالب حوضه‌های نامقاوم پادگانه آبرفتی و شیل آهکی است و آهک توده‌ای ضخیم و سنگ‌های دگرگونی، لیتولوژی‌های مقاوم در نظر گرفته شده‌اند. از ۴ حوضه نیمه فعال در این زون، حوضه آبریز ملایر انرژی زیادی و بقیه حوضه‌ها انرژی کمی داشته و در حریم گسل لرزه‌ای قرار دارند. حوضه ملایر با وجود

انرژی زیاد، نیمه فعال ارزیابی شده ولی حوضه‌های اطراف ملایر با وجود انرژی بسیار کم، فعال ارزیابی شده‌اند. شاخص IAT برای همه حوضه‌ها ۲/۳ برآورد شده است. میانگین انرژی واردشده به حوضه‌ها در زون تکتونیکی سنندج-سیرجان بین ۳۲ تا ۵۲۱ ریشتر متفاوت است. انرژی آزادشده حوضه‌های زون تکتونیکی سنندج-سیرجان اکثراً بین ۳۲ تا ۱۰۵ ریشتر و یک مورد در ۵۲۱ ریشتر می‌باشد. میانگین کمترین انرژی آزادشده در یکی از زیرحوضه‌های میقان است که در حریم ۱۰۰ کیلومتری گسل کواترنری کاشان-قم و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع واقع شده است؛ در صورتی که یک حوضه فعال ارزیابی‌شده است. حوضه ملایر با میانگین انرژی ۵۲۱ ریشتر، نیمه فعال ارزیابی‌شده و در حریم خطر گسل لرزه‌ای دو رود، گسل کواترنری نهاوند و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارد. باوجود اینکه میانگین انرژی واردشده به حوضه‌های زون سنندج-سیرجان کم است (فاصله از گسل‌ها بین ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتر) ولی فعال ارزیابی‌شده‌اند. حوضه‌های همانند حسین‌آباد، شهرضا باانرژی کم حوضه نیمه فعال ارزیابی‌شده‌اند ولی بر روی گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع واقع شده‌اند. بیشترین وسعت زون سنندج-سیرجان انرژی بین ۴ تا ۲۷۳ ریشتر داشته است که در کلاس فعالیت غیرفعال تا فعالیت متوسط قرار می‌گیرند و وسعت بسیار کمی انرژی بین ۲۷۴ تا ۱۴۲۶ ریشتر دارد (جدول۵).

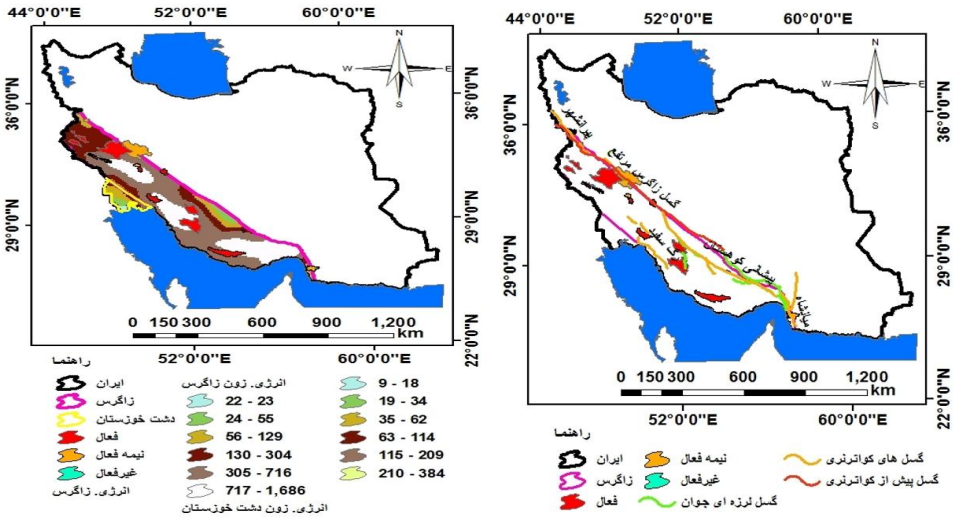
جدول (۵). تقسیم‌بندی انرژی زون تکتونیکی سنندج-سیرجان

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۴-۲۳	غیرفعال	۱۲۱-۲۷۳	فعالیت متوسط
۲۴-۵۲	فعالیت بسیار کم	۲۷۴-۶۲۴	فعالیت زیاد
۵۳-۱۲۰	فعالیت کم	۶۲۵-۱۴۲۶	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی زاگرس: زون تکتونیکی زاگرس یکی از مناطق زلزله‌خیز ایران است که توسط رشته‌کوه‌های زاگرس احاطه شده است. در این محدوده از ایران، سالیانه زلزله‌های فراوانی رخ می‌دهد. این زون تکتونیکی تحت تأثیر گسل-های لرزه‌ای جوان کازرون، دشت ارژن، بختگان، چاه شیرین، دو رود، اسدآباد و گسل‌های کواترنری میان‌شاه، رگ سفید، سروستان، پیشانی کوهستان، مارون، رامهرمز، مروارید، پیرانشهر، نهاوند، میناب- زندان و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارد (شکل ۴). میزان انرژی آزادشده توسط زلزله‌ها در این محدوده بین ۲۲ تا ۱۶۸۶ ریشتر برآورد شده است (شکل ۴)؛ در بخش جنوبی زون، یک بخش بسیار کوچک، باانرژی ۲۲ ریشتر وجود دارد. محدوده‌های اطراف گسل‌های لرزه‌ای و گسل‌های کواترنری، بخصوص گسل‌های لرزه‌ای جوان چاه شیرین، میان‌شاه و دشت ارژن و گسل‌های کواترنری رگ سفید، مارون و پیشانی کوهستان، بیشترین حد انرژی آزادشده (۷۱۷ تا ۱۶۸۶ ریشتر) را به خود اختصاص داده‌اند. تمرکز گسل‌ها در بخش مرکزی زون زاگرس بیشتر از سایر قسمت‌هاست. میانگین انرژی واردشده به حوضه‌های این زون بین ۹۷ تا ۸۸۲ ریشتر متغیر است. حوضه آبریز انجیران (فعال) با میانگین انرژی ۹۷ ریشتر در حریم خطر گسل‌های کواترنری پیرانشهر و مروارید و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارد. حوضه آبریز داراب (فعال) با میانگین انرژی ۸۸۲ ریشتر، بیشترین مقدار انرژی را در این محدوده به خود اختصاص داده است که در حریم گسل‌های لرزه‌ای دشت ارژن و کازرون و گسل‌ها کواترنری رگ سفید و پیشانی کوهستان قرار دارد.

ازنظر فعالیت نئوتکتونیکی، در محدوده زون زاگرس، ۴۶ حوضه آبریز، مطالعه شده است؛ ۲ حوضه غیرفعال، ۸ حوضه نیمه فعال و ۳۶ حوضه فعال می‌باشند. بیشتر حوضه‌های زون زاگرس فعال ارزیابی‌شده‌اند که با مقدار انرژی

آزادشده در این زون همخوانی دارد. این حوضه‌ها در حریم گسل‌های لرزه‌ای و کواترنری قرار دارند. حوضه‌های غیرفعال (براساس شاخص‌های تکتونیکی) سراب نقل (۶۵۴ ریشتر) و حوضه میمه (۳۱۷ ریشتر) می‌باشند که در حریم خطر گسلی قرار ندارند و در بهترین شرایط در حریم ۱۴۰ کیلومتری گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع واقع‌شده‌اند. در اطراف حوضه‌های غیرفعال حوضه‌های نیمه فعال و فعال با انرژی بسیار زیاد و در اطراف حوضه‌های نیمه فعال، حوضه-های فعال قرار دارند. انرژی ۸ حوضه نیمه فعال این زون، به غیر از حوضه رودخانه گز، زیاد است. حوضه رودخانه گز در جنوب زون تکتونیکی زاگرس و در حریم گسل لرزه‌ای قرار گرفته است. شاخص IAT برای حوضه‌های نیمه فعال بین ۲/۱ تا ۲/۵ است (جدول ۶). حوضه‌های دره آبینه، دورود و گز در حریم گسل‌های لرزه‌ای جوان و حوضه‌های دره شهر، سیکان، آب انار و سراب آبدانان در حریم ۱۴۰ کیلومتری گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع واقع شده‌اند. انرژی۳۳ حوضه از ۳۷ حوضه فعال زون تکتونیکی زاگرس زیاد است (۱۵۲ تا ۸۸۲ ریشتر). ۳ حوضه با انرژی۹۷ تا ۱۰۲ ریشتر در شمال این زون تکتونیکی، در حریم گسل‌های کواترنری و پیش از کواترنری قرار دارند. لیتولوژی هر سه حوضه (گاگل، دره وران و انجیران) نامقاوم است.



شکل (۴). زون تکتونیکی زاگرس

جدول (۶). شاخص IATزیرحوضه‌های زون زاگرس

حوضه	انرژی	شاخص IAT	حوضه	انرژی	شاخص IAT
دره آبینه	۵۲۴	۲/۲	سراب آبدانان	۴۶۶	۲/۴۳
دره شهر	۴۱۷	۲/۱۴	دورود	۵۴۱	۲/۵
سیکان	۴۰۰	۲/۴۲	رودخانه گز	۹۰	-
آب انار	۶۹۸	۲/۳	بیساران	۹۷	۲/۱

حوضه آبریز گاگل با میانگین انرژی ۱۰۰ ریشتر و حوضه آبریز دره وران با میانگین انرژی ۱۰۲ ریشتر بر روی گسل کواترنری پیرانشهر، حوضه‌های فعال تکتونیکی هستند؛ ولی حوضه‌هایی مانند آب انار (۶۹۸ ریشتر)، سراب آبدانان (۴۶۶ ریشتر) دره شهر (۴۱۷ ریشتر) و سیکان (۴۰۰ ریشتر) فدک (۳۲۶ ریشتر) نیمه فعال ارزیابی‌شده و در حریم ۱۴۰ تا ۱۶۰ کیلومتری گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارند. حوضه آبریز دره آبینه با میانگین انرژی ۵۲۴

ریشتر نیمه فعال بوده و در حریم ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتری گسل لرزه‌ای دو رود و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارد.

حوضه‌های بیساران (۹۷ ریشتر انرژی و نیمه فعال)، فارسان (۲۶۷ ریشتر انرژی و فعال)، دو رود (۵۴۱ ریشتر انرژی و نیمه فعال) در مرز مشترک دو زون تکتونیکی زاگرس و سنندج-سیرجان قرار دارند؛ که حوضه آبریز بیساران بر روی گسل کواترنری پیرانشهر و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارد ولی نیمه فعال ارزیابی‌شده و حوضه آبریز دو رود بر روی گسل لرزه‌ای دو رود و نهاوند و گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع قرار دارد و نیمه فعال می‌باشد؛ حوضه فارسان بر روی گسل پیش از کواترنری زاگرس مرتفع واقع می‌باشد و یک حوضه فعال ارزیابی‌شده است و حوضه آبریز رودخانه گز در جنوب زون تکنونیکی زاگرس قرار دارد که میانگین انرژی واردشده به حوضه، ۹۰ ریشتر است و حوضه نیمه فعال ارزیابی‌شده ولی در یک منطقه خطر قرار دارد چنانچه که در حریم گسل‌های لرزه‌ای چاه شیرین، بختگان و گسل‌های کواترنری میناب_زندان و میان‌شاه قرار دارد؛ و در مرز مشترک بین زون‌های تکتونیکی زاگرس و مکران واقع‌شده است.

طبق شکل (۴) و جدول (۷) بیشترین انرژی واردشده بر زون تکتونیکی زاگرس بین ۳۰۶ تا ۱۶۸۶ ریشتر می‌باشد و این مناطق در حریم گسل‌ها قرار دارند و کلاس فعالیتی که برای این محدوده تعریف‌شده است فعالیت زیاد تا بسیار زیاد می‌باشد (جدول ۷). حوضه‌های فعال زون تکتونیکی زاگرس نیز در این محدود (۳۰۶ تا ۱۶۸۶ ریشتر) قرار دارند.

جدول (۷). تقسیم‌بندی انرژی زون تکتونیکی زاگرس

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۲۲-۲۳	غیرفعال	۱۳۱-۳۰۵	فعالیت متوسط
۲۴-۵۵	فعالیت بسیار کم	۳۰۶-۷۱۶	فعالیت زیاد
۵۶-۱۳۰	فعالیت کم	۷۱۷-۱۶۸۶	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی دشت خوزستان: میزان انرژی واردشده بر زون دشت خوزستان بین ۹ تا ۳۸۴ ریشتر است (شکل۴) ولی بیشترین بخش این محدوده در رده فعالیت کم قرار دارد (جدول۱۱) گسلی در محدوده موردنظر وجود ندارد و فعالیت تکتونیکی هیچ حوضه‌ای بررسی نشده است (به دلیل تسلط سطوح هموار).

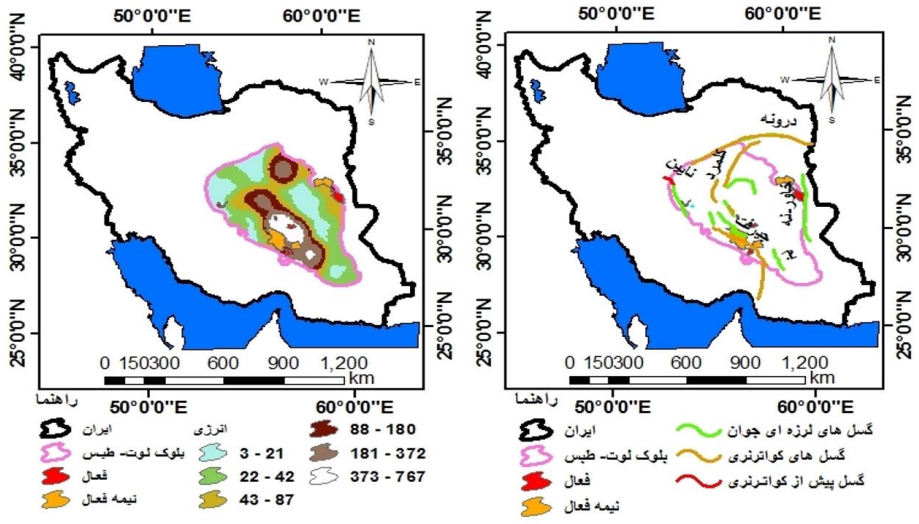
جدول (۸). تقسیم‌بندی انرژی زون دشت خوزستان

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۹-۱۸	غیرفعال	۶۳-۱۱۴	فعالیت متوسط
۱۹-۳۴	فعالیت بسیار کم	۱۱۵-۲۰۹	فعالیت زیاد
۳۵-۶۲	فعالیت کم	۲۱۰-۳۸۴	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی بلوک لوت_طبس: زون تکتونیکی بلوک لوت- طبس توسط گسل‌های لرزه‌ای جوان احاطه‌شده و یک زون پرخطر محسوب می‌شود. انرژی واردشده به این زون بین ۳ تا ۷۶۷ ریشتر هست که در رده مناطق باانرژی کم تا بسیار زیاد قرار می‌گیرد (جدول ۹). در شمال زون مذکور، گسل لرزه‌ای درونه و گسل کواترنری کلمرد، در شمال باختری گسل درونه، در شرق این زون، گسل لرزه‌ای جوان خاور-نه، در جنوب، گسل لرزه‌ای بم، گسل کواترنری جیرفت، گوک و در غرب زون، گسل لرزه‌ای انار، دهشیر- نائین، گسل کواترنری رفسنجان و گسل پیش از کواترنری نائین قرار دارد. در مرکز این زون پرخطر گسل‌های لرزه‌ای نایبند، چشم رستم، کوه بنان، جرجافک و رفسنجان و

گسل‌های کواترنری پشت بادام و کوه بنان قرار دارد (شکل ۵). مرکزیت این زون دارای انرژی بین ۸۸ تا ۷۶۷ ریشتر است که در حریم گسل‌های لرزه‌ای جرجافک، کوه بنان و رفسنجان و گسل‌های کواترنری جیرفت، کوه بنان و رفسنجان قرار دارد؛ این منطقه در رده انرژی بسیار بالا قرار می‌گیرد. در حریم گسل‌ها، مقدار انرژی آزادشده زیاد است ولی استثنائاتی نیز وجود دارد؛ گسل‌هایی که از مرکزیت زون فاصله‌دارند باوجودی که جزئی از گسل‌های لرزه‌ای جوان و یا گسل‌های کواترنری هستند ولی براساس انرژی آزادشده در طی دوره آماری، جزئی از مناطق باانرژی بسیار کم محسوب می‌شوند.

وضعیت تکتونیکی ۹ حوضه در زون تکتونیکی بلوک لوت- طبس برآورد گردیده است؛ ۴ حوضه نیمه فعال و ۵ حوضه فعال. میانگین انرژی آزادشده از حوضه‌های موردمطالعه در این زون بین ۱۳ تا ۵۸۷ ریشتر متفاوت است. در حوضه آبریز صدرآباد ۱۳ ریشتر انرژی آزادشده و حوضه‌ای فعال در حریم گسل‌های لرزه‌ای دهشیر –نائین (۰ تا ۲۰ کیلومتری) و گسل دهشیر است. این حوضه بر روی گسل و در شرق گسل قرار دارد ولی مقدار انرژی واردشده بر حوضه بسیار کم است. حوضه آبریز شهداد به‌عنوان یک حوضه نیمه فعال، با میانگین انرژی ۵۸۷ ریشتر در محدوده بیشترین مقداری انرژی، در حریم ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتری گسل‌های لرزه‌ای رفسنجان، جرجافک و گسل کواترنری جیرفت، قرار دارد. حوضه‌های نیمه فعال در حریم گسل‌های لرزه‌ای و کواترنری قرار دارند. میانگین انرژی وارد شده به حوضه‌های نیمه فعال، به جز حوضه اسلامیه، متوسط تا زیاد است. حوضه اسلامیه (با شاخص IAT ۲/۲) در حریم گسل لرزه‌ای قرار دارد. در اطراف حوضه آبریز اسلامیه حوضه‌های فعال قرار دارند ولی میانگین انرژی آنها نیز کم هست. از ۵ حوضه فعال زون تکتونیکی بلوک لوت-طبس، سه مورد انرژی زیاد (۱۵۸، ۴۸۲ و ۵۸۷ ریشتر) و دو مورد از آنها انرژی کمی (۱۳ و ۲۰ ریشتر) دارند و در حریم گسل لرزه‌ای قرار گرفته اند، لیتولوژی هر دو حوضه نامقاوم و سست می‌باشد. وضعیت تکتونیکی حوضه هلیل‌رود با میانگین انرژی ۱۵۸ ریشتر، فعال ارزیابی شده و در حریم گسل لرزه‌ای قرار دارد و لیتولوژی غالب آن نامقاوم است. دو حوضه آبریز اسماعیل‌آباد (۸۱ ریشتر) و بیرجند (۱۲۱ ریشتر) در مرز مشترک دو زون تکتونیکی مکران و بلوک لوت- طبس قرار دارد که اسماعیل‌آباد حوضه فعالی می‌باشد در محدوده انرژی کم قرار می‌گیرد و حوضه بیرجند در محدوده انرژی متوسط قرار دارد و نیمه فعال ارزیابی‌شده است؛ و هر دو حوضه در غرب گسل لرزه‌ای خاور-نه قرار دارند.



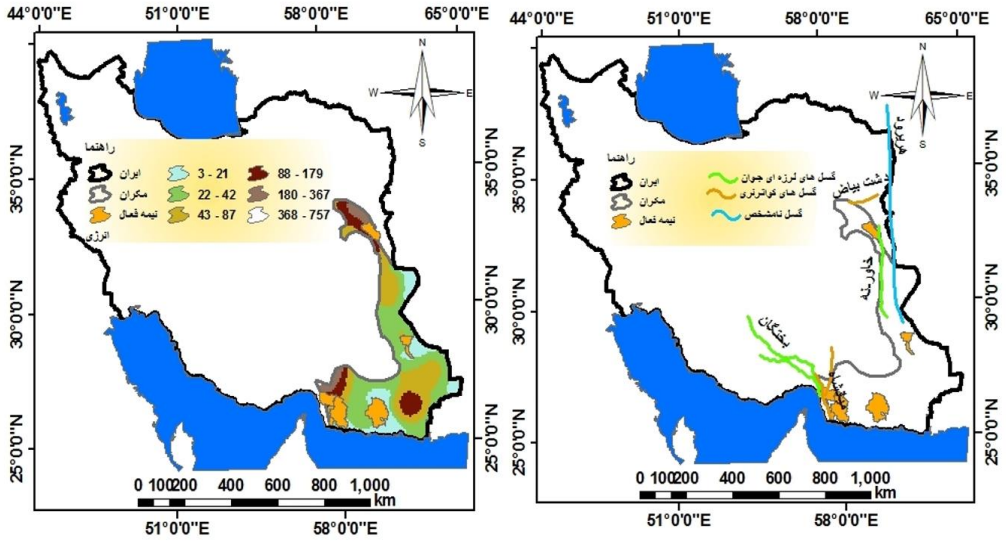
شکل (۵). زون تکتونیکی بلوک لوت-طبس

بررسی‌های انجام‌شده در این زون تکتونیکی بیانگر فعالیت‌های زیاد تا بسیار زیاد در مرکز است؛ حوضه‌های مطالعه شده اکثراً در این منطقه واقع‌شده‌اند که باوجود قرار گرفتن در محدوده فعالیت زیاد تا بسیار زیاد، نیمه فعال ارزیابی‌شده‌اند (شکل ۳). انرژی آزاد شده در مرکز این زون تکتونیکی بین ۸۸ تا ۷۶۷ ریشتر می‌باشد که در رده انرژی متوسط تا بسیار زیاد قرار می‌گیرد (جدول ۹).

جدول (۹). تقسیم‌بندی انرژی زون بلوک لوت-طبس

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۳-۲۱	غیرفعال	۸۸-۱۸۰	فعالیت متوسط
۲۲-۴۲	فعالیت بسیار کم	۱۸۱-۳۷۲	فعالیت زیاد
۴۳-۸۷	فعالیت کم	۳۷۳-۷۶۷	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی مکران: زون تکتونیکی مکران توسط گسل‌های لرزه‌ای خاور-نه، بختگان، چاه شیرین و گسل‌های کواترنری میناب –زندان، میان‌شاه و گسل هریرود تهدید می‌شود. میزان انرژی آزادشده در این محدوده بین ۲ تا ۷۵۷ ریشتر است که در قسمت اعظم این زون مقدار انرژی کم است (بین ۳ تا ۸۷ ریشتر) (شکل ۶). در زون تکتونیکی مکران ۷ حوضه آبریز موردبررسی قرارگرفته است که هر ۷ حوضه نیمه فعال ارزیابی‌شده‌اند. میانگین انرژی واردشده بر این حوضه‌ها بین ۲۱ تا ۱۸۲ ریشتر متفاوت است که در رده غیرفعال تا متوسط قرار می‌گیرند. حوضه فنوج با میانگین انرژی ۲۱ ریشتر حوضه نیمه فعالی است که در حریم هیچ‌کدام از گسل‌های منطقه قرار ندارد. حوضه آبریز دستگرد با میانگین انرژی ۱۸۲ ریشتر نیمه فعال ارزیابی‌شده و بر روی گسل لرزه‌ای خاور-نه قرار دارد. حوضه آبریز کوتک قلات باوجود قرارگیری بر روی گسل‌های لرزه‌ای بختگان، چاه شیرین و گسل‌های کواترنری میناب-زندان و میان‌شاه نیمه فعال ارزیابی‌شده و میانگین انرژی واردشده بر حوضه معادل ۱۲۹ ریشتر است. شاخص IAT برای ۴ حوضه نیمه فعال این زون بین ۲/۲ تا ۲/۴ است. انرژی واردشده به زون تکتونیکی مکران کم و یا در حد متوسط می‌باشد؛ و بخش کمی دارای انرژی زیاد می‌باشد. حوضه‌های بررسی شده منطقه، نیمه فعال بوده و در بخش‌هایی واقع‌شده‌اند که دارای انرژی آزادشده کم تا متوسط هست (جدول ۱۰).

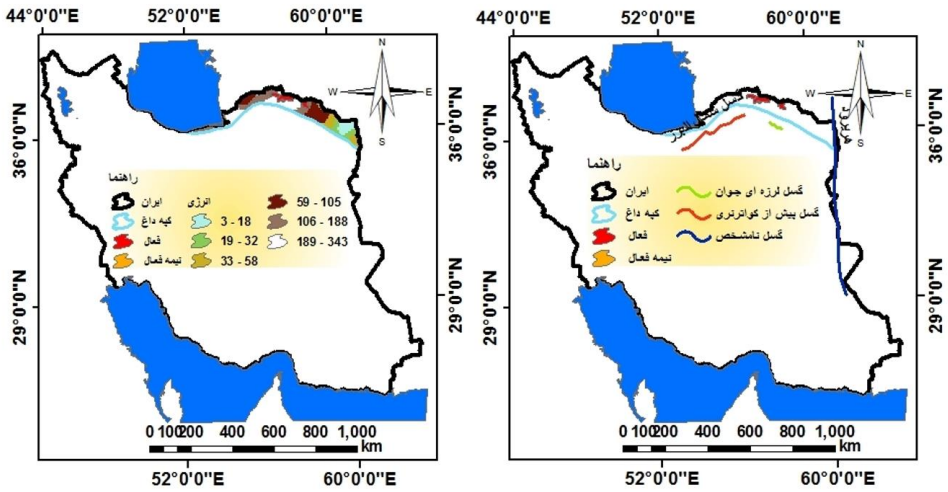


شکل (۶). زون تکتونیکی مکران

جدول (۱۰). تقسیم‌بندی انرژی زون تکتونیکی مکران

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۳-۲۱	غیرفعال	۸۸-۱۷۹	فعالیت متوسط
۲۲-۴۲	فعالیت بسیار کم	۱۸۰-۳۶۷	فعالیت زیاد
۴۳-۸۷	فعالیت کم	۳۶۸-۷۵۷	فعالیت بسیار زیاد

زون تکتونیکی کپه داغ: مقدار انرژی واردشده بر زون تکتونیکی کپه داغ بین ۳ تا ۳۴۲ ریشتر است که بخش عظیمی از آن دارای انرژی ۵۹ تا ۳۴۲ ریشتر است (شکل ۷). در بخش شرقی این زون گسل هریرود قرار دارد ولی در اطراف این گسل میزان انرژی بسیار کم شده است (شکل ۶). وضعیت تکتونیکی ۵ حوضه در زون کپه داغ موردبررسی قرارگرفت؛ که ۱ مورد نیمه فعال و ۴ مورد فعال می‌باشند. میانگین انرژی واردشده بر حوضه‌های این زون تکتونیکی بین ۱۹۴ تا ۲۹۳ ریشتر متغیر است. حوضه آبریز درونگر با میانگین انرژی ۱۹۴ ریشتر فعال ارزیابی‌شده و در حریم خطر گسل لرزه‌ای عباس‌آباد قرار دارد و حوضه آبریز سولوکلو (۱) نیمه فعال ارزیابی‌شده و میانگین انرژی وارده بر حوضه برابر ۲۹۳ ریشتر است و در حریم ۱۰۰ کیلومتری گسل پیش از کواترنری شمال البرز قرار دارد و حوضه‌های اطراف آن فعال و دارای انرژی زیاد هستند. لیتولوژی غالب آنها سنگ آهک می‌باشد که یک لیتولوژی مقاوم است. براساس بررسی‌های انجام‌شده حوضه‌های موردمطالعه در زون تکتونیکی کپه داغ در کلاس فعالیت بسیار زیاد قرار دارند (شکل ۷ و جدول ۱۱)؛ و باتوجه‌به انرژی وارد شده بر حوضه‌ها (۱۹۴ تا ۲۹۳) می‌توان گفت که انرژی بسیاری زیادی بر حوضه‌ها تحمیل‌شده است.



شکل (۷). زون تکتونیکی کپه داغ

جدول (۱۱). تقسیم‌بندی انرژی زون تکتونیکی کپه داغ

انرژی	کلاس فعالیت	انرژی	کلاس فعالیت
۳-۱۸	غیرفعال	۵۹-۱۰۵	فعالیت متوسط
۱۹-۳۲	فعالیت بسیار کم	۱۰۶-۱۸۸	فعالیت زیاد
۳۳-۵۸	فعالیت کم	۱۸۹-۳۴۳	فعالیت بسیار زیاد

از بررسی حوضه ای وضعیت شاخص های مورفوتکتونیکی در واحدهای مختلف مورفوتکتونیک ایران چنین بر می آید که مقدار انرژی آزاد شده در طی سالهای ۲۰۰۹-۱۹۰۰ در ارزیابی شاخص های مورفوتکتونیکی حوضه ها نمی تواند نقش زیادی داشته باشد؛ ۸۵٪ از حوضه‌های فعال زون ایران مرکزی، نسبت به سایر قسمت‌های این زون، در مناطق کم انرژی واقع شده‌اند؛ حوضه های غیرفعال زون البرز، در مناطق با انرژی زیاد واقع شده‌اند؛ برخی از حوضه-های فعال در بلوک لوت و طبس، در جوار حوضه‌های نیمه فعالی هستند که انرژی وارد شده به آن‌ها بیشتر از حوضه-های فعال است. حوضه‌های فعال با انرژی زیاد، بیشتر در زون‌های زاگرس، البرز، لوت-طبس و کپه داغ و حوضه‌های فعال با انرژی کم، بیشتر در زون ایران مرکزی و سنندج – سیرجان قرار دارند که اکثر حوضه‌های گروه دوم، در حریم گسل‌های لرزه‌ای جوان و در لیتولوژی حساس در مقابل فرسایش واقع شده‌اند. موقعیت حوضه‌های نیمه فعال و غیر فعال در زون ایران مرکزی با انرژی آزاد شده انطباق مطلوبی دارند؛ به گونه‌ای که حوضه‌های نیمه فعال این زون نسبت به حوضه‌های غیرفعال، در پهنه‌ای با انرژی بیشتر، واقع شده‌اند. قرارگیری حوضه‌ها در حریم گسل‌های کواترنری و لرزه‌ای جوان ارزش بسیار زیادی در ارزیابی شاخص مورفوتکتونیک حوضه‌ها داشته است؛ صددرصد حوضه‌های فعال با انرژی کم در زون ایران مرکزی و سندج-سیرجان، در حریم چنین گسل‌هایی واقع شده‌اند؛ این وضعیت در مورد حوضه‌های نیمه فعال زون‌های البرز و زاگرس، نیز صادق است. در زاگرس سه حوضه فعال، با انرژی کم در حریم گسل‌های کواترنری و پیش از کواترنری قرار دارند. حوضه‌های زون ایران مرکزی، بلوک لوت و طبس، زون سنندج – سیرجان و زون مکران نیز در موقعیتی هستند که انرژی آزاد شده آن‌ها نسبت به بقیه قسمت‌ها کم است ولی با توجه به قرارگیری در حریم گسل‌های کواترنری، وضعیت تکتونیکی آن‌ها نیمه فعال ارزیابی شده است. دو حوضه غیرفعال زون زاگرس در حریم هیچ کدام از گسل‌ها قرار ندارند. قرارگیری در حریم گسل‌ها به حدی اثرگذار است که می‌تواند اثر لیتولوژی حساس در مقابل فرسایش را نیز خنثی نماید به گونه ای که ۶۲٪ از حوضه‌های فعال در حریم گسل‌های زون ایران مرکزی، لیتولوژی حساسی در مقابل فرسایش دارند؛ در زون البرز حوضه‌هایی فعالی وجود دارند که با انرژی کم، لیتولوژی مقاومی در مقابل فرسایش دارند که می‌تواند علاوه بر حریم گسل بودن بر ارزیابی فعال حوضه‌های این زون اثرگذار باشد. شاخص IAT در حوضه‌های نیمه فعال زون ایران مرکزی تا گروه فعال تفاوت چندانی ندارند؛ در دو حوضه نیمه فعال از ایران مرکزی این شاخص در مرز آستانه قرار گرفته و با کمی اغماض یا اختلاف سلیقه، این حوضه-ها در گروه فعال قرار می‌گیرند. حوضه‌های نیمه‌فعال زون زاگرس، یک حوضه نیمه‌فعال زون کپه داغ (همجوار ۴ حوضه فعال)، حوضه‌های نیمه‌فعال بلوک لوت و طبس، سه حوضه غیرفعال زون ایران‌مرکزی، سه حوضه غیرفعال زون البرز، حوضه نیمه‌فعال زون سنندج- سیرجان با انرژی زیاد، توسط حوضه‌های فعال، با انرژی کمتر، محصور شده اند.

نتیجه‌گیری

لیتولوژی حساس به فرسایش، آثار ناشی از فعالیت های نئوتکتونیکی در مقایسه با لیتولوژی مقاوم، سریع تر از بین می رود. در صورتی که در لیتولوژی مقاوم تغییر تدریجی و طولی مدت فرم زمین منجر به برآورد اشتباه شاخص مورفوتکتونیکی به سمت فعال بودن می شود. این موضوع بخصوص در ایران مرکزی که زیرحوضه های فعال از نظر مورفوتکتونیکی در مناطقی واقع شده اند که انرژی کمی در آن زیرحوضه ها بر اثر زلزله آزاد شده است می تواند صادق باشد. این گونه حوضه ها با داشتن لیتولوژی مقاوم که منجر به ایجاد دره های عمیق و تنگ همراه با کنیک های مشخص کوهستان در آن ها شده است موجب برآورد فعالیت تکتونیکی زیاد در آن ها شده است. در مطالعات

نئوتکتونیکی به صورت حوضه‌ای، مرز انواع مختلف مناطق تکتونیکی (فعال، غیر فعال، متوسط، فعالیت کم و...) به صورت ریاضی در نظر گرفته می شود. در حالی که برای ارائه نظر نهایی از وضعیت تکتونیکی حوضه های مختلف، بر اساس شاخص های مورفوتکتونیکی، لازم است به فاکتورهای مورد بحث در این مقاله توجه خاصی شود و نسبت به وضعیت تکتونیکی منطقه فقط بر اساس اعداد ارزیابی شده اظهار نظر ننمود. چنین نگرشی منجر به ارائه مرزهایی برای مناطق مورفوتکتونیکی خواهد شد که از منطق فازی تبعیت خواهد نمود. موقعیت حوضه‌های نیمه فعال در جوار حوضه‌های فعال، یا موقعیت حوضه‌های غیرفعال در جوار حوضه‌های فعال و نیمه فعال نیز دلیلی دیگری است که می‌تواند متأثر شدن شاخص‌های مورفوتکتونیکی را از ویژگی‌های محیطی مورد تأیید قرار دهد. آستانه‌هایی که برای برآورد وضعیت فعالیت تکتونیکی حوضه‌ها بکار می‌رود نیز یکی از دلایلی است که می‌تواند در برآورد فعالیت تکتونیکی حوضه‌ها اثرگذارد. چگونه می توان پذیرفت حوضه ای در مجاورت حوضه های فعال، نیمه فعای یا عیر فعال تشخیص داده شود آن هم با تغییری در دهگان اعشاری اعدادی که بر اساس آنها وضعیت تکتونیکی حوضه ها اظهار نظر می شود؟ در چنین شرایطی باید اذعان نمود که ویژگی‌های محیطی و محلی که معمولاً در ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک حوضه‌ها مد نظر قرار نمی گیرند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ جعفری و نوروزی، ۱۳۹۶) در ارزیابی نهایی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه ها عملاً اثرگذار بوده‌اند (ویژگی‌هایی همچون نوع لیتولوژی، تفاوت‌های اقلیمی و حتی اقلیم محلی، پوشش گیاهی و غیره)؛ این نتیجه در راستای یافته های آلتین و آلتین (۲۰۱۱) و محمود و همکاران (۲۰۱۴) است. بر این اساس و با توجه به اهمیت نئوتکتونیک در آمایش سرزمین، می توان چنین نتیجه گرفت که در زمان ارزیابی وضعیت تکتونیکی مناطق مختلف لازم است علاوه بر محاسبه شاخص های موفوتکتونیکی، موقعیت حوضه نسبت به گسل (و انواع آن)، حساسیت لیتولوژی به فرسایش، اقلیم و میکرواقلیم زیرحوضه و مقدار انرژی آزاد شده از زمین لرزه ها نیز توجه کافی شود.

منابع

آقانباتی، علی. ۱۳۴۹. *زمین شناسی مطقه عباس آباد و فرومد*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته زمین شناسی. دانشکده علوم. دانشگاه تهران.

جعفری، غلامحسن و محمدرضا نوروزی. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک در حوضه قانقلی‌چای، *فصلنامه جغرافیا وآمایش شهری-منطقه‌ای*، **۲۲**: ۱۱۷-۱۳۲

جداری عیوضی، جمشید. ۱۳۸۷. *ژئومورفولوژی ایران*، چاپ نهم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

حمزه‌پور، بزرگمهر. ۱۳۴۹. *زمین شناسی منطقه کلور*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۱۳۴۹

رجبی، معصومه و مریم بیاتی خطیبی. ۱۳۹۰. *ژئومورفولوژی شمال غرب ایران*، چاپ اول، دانشگاه تبریز، تبریز.

رجبی، معصومه و ابوالفضل سلیمانی. ۱۳۹۲. تحلیل و ارزیابی ویژگی‌های مورفوتکتونیکی و نئوتکتونیکی دامنه چنوبی کوهستان سبلان، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۴۵**: ۱۲۰-۹۷

رضاپور، علی. ۱۳۹۰. *تأثیر تکتونیک فعال بر تحول اشکال ژئومورفولوژی حوضه‌ی ریجاب*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی.

رضایی مقدم، محمد حسین و منصور خیری زاده آروق. ۱۳۹۳. ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های کمی ژئومورفیک (منطقه مورد مطالعه، بخش از البرز شرقی در شمال استان سمنان)، *فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، **۱۸**: ۱۹-۳۶

زمردیان، محمد جعفر. ۱۳۹۲. *ژئومورفولوژی ایران (فرایندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی)*، چاپ هفتم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

سلیمانی، شهریار. ۱۳۷۸. *رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی*، چاپ اول، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

سیف، عبداله و قاسم خسروی. ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۷۴**: ۱۲۵-۱۴۶

شفیعی بافتی، آرزو، زینب عباسی، سید محمد تاج بخش، سید مرتضی موسوی و هادی معماریان. ۱۳۹۹. بررسی زمین ساخت فعال در شمال حوزه آبخیز دشت بیرجند با استفاده از فاکتورهای مورفومتریک، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، **۹**: ۱۱۷-۱۳۳

صمدزاده، رسول. ۱۳۹۸. *ژئومورفولوژی ایران*، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.

عابدینی، موسی، ویدا ایرانی و فریبا اسفندیاری درآبادی. ۱۴۰۰. اثرات ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال و پهنه‌بندی خطر زمین لرزه با تاکید بر توان لرزه‌ای گسل‌ها (مطالعه موردی: نمین، آستارا، تالش)، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۸۲**: ۱۴۵-۱۶۰

عابدینی، موسی، بیوک فتحعلی‌زاد و معصومه رجبی. ۱۳۹۹. ارزیابی مخاطرات ژئومورفولئزیکی حوضه آبریز زنوز چای، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، **۷۷**: ۱۳۱-۱۴۸

عابدینی، موسی، محمد حسین فتحی و ابراهیم بهشید جاوید. ۱۳۹۴. تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه آبریز، گنچی دره سی، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، *نشریه فضای جغرافیایی*، **۵۲**: ۲۲۳-۲۴۹

عباس نژاد، احمد. ۱۳۷۶. بررسی نو زمین ساختی مخروط افکنه‌های ناحیه کرمان. *علوم زمین*. **۲۵-۲۶**: ۲۶-۲۵

عباسی، علیرضا و هیوا علمی‌زاده. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی و رفتار شبکه زهکشی (مطالعه موردی: حوضه انجیران)، *فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، **۱**: ۵۷-۷۵

عزتی، مریم، ابراهیم غلامی و سیدمرتضی موسوی. ۱۳۹۷. بررسی بالا آمدگی تکتونیکی در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند (خراسان جنوبی) با استفاده از شواهد ریخت زمین ساختی، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، **۷**: ۱۸۱-۱۹۵

گورابی، ابوالقاسم و احمد نوحه‌گر. ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی*، **۶۰**: ۱۷۷-۱۹۶

مختاری، داود. ۱۳۸۰. گسل شمالی میشو و نقش آن در مورفولوژی دامنه شمالی میشوداغ (آذربایجان- ایران)، *زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران*. **۵۹**: ۷۰-۸۳.

مختاری، داود. ۱۳۸۱. نقش فعالیت‌های تکتونیکی در تکامل مخروط افکنه‌های دامنه‌ی شمال میشو داغ، شمال غرب ایران، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، **۵**: ۶۳-۹۰

مختاری، داود. ۱۳۸۴. نقش نوزمین ساخت در تکامل سامانه‌های رودخانه‌ای در کواترنر مطالعه موردی رودخانه‌های دامنه شمالی میشوداغ، *فصلنامه علوم زمین*، **۵۷**: ۶۴-۷۷

مددی، عقیل، محمدحسین رضایی مقدم، و عبدالحمید رجایی. ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغروداغ)، *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی*، **۴۸**: ۱۲۳-۱۳۸

مقامی مقیم، غلامرضا. ۱۳۹۵. تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در ریخت‌شناسی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی روئین در شمال شرق ایران، *مجله جغرافیا و توسعه*، **۴۳**: ۷۱-۸۹.

Altin, T.B, and B. N. Altin. ۲۰۱۱. Development and morphmetry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey. *Geomorphology*, **۱۲۵:** ٤٨٥-٥٠٣

Bhat, F. A.; I. M. Bhat, H. Sana, m. Iqbal, and A. R. Mir. ۲۰۱۳. Identification of Geomorphic signatures of active tectonics in the west lidder watershed, Kashmir Himalayas: Using remote sensing and GIS, *international Journal of Geomatics and Geosciences*, ۱: ١٦٤-١٧٦

Berberian, M., & King, G. C. P. (۱۹۸۱). Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, *18*(۲), ۲۱۰–۲٦٥. https://doi.org/۱۰,۱۱۳۹/e۸۱-۰۱۹

Bull W.B., and L.D. Mcfadden. ۱۹۷۷,"Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring", D.O. (Ed.), *Geomorphology in arid regions. Proceedings of the 8th Annual Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton, ۸: ۱۱٥-۱۳۸.

Bull, W. B., and L. D. McFadden. ۲۰۲۰. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. *In Geomorphology in arid regions* (pp. ۱۱٥-۱۳۸). Routledge.

Gilbert, G. K. ۱۸۷۷. *Report on the Geology of the Henry Mountains*. US Government Printing Office.

Guarnieri, P., and C. Pirrotta. ۲۰۰۸. The response of Drainnage Basins to the late Quaternary Tectoincs in The Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily), *Geomorphology*, **۹٥**:٢٦٠-٢٧٣

Hack, J. T. ۱۹۷۳. Stream profile analysis and steram-gradient index**.** *Jornal of Research of the U.S. Geological Survey.* ۱: ٤٢١-٤٢٩

Hamdouni, R.E.; C. Irigaray, T. Fernandez, J. Chancon, and E. A. Keller. ۲۰۰۸. Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, ۹٦: ۱٥۰-۱۷۳

KeIIer, E.A., and N. Pinter, ۱۹۹٦. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landforms Prentice Hall*, New Jersey

Keller, E. A. ۱۹۸٦**.** Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. In Wallace, R. E. (Ed), Active tectonics, Studies in geophysics. *National Academy Press, Washington, DC*, ۱: ١٣٦-١٤٧

Mahmood, S. A.; Z. Waheed, H. Batool, S. Ghazi, A. M. Mirza, S. M. H. Akhtar, S, Reza, and R. M. A. Khan. ۲۰۱٤. Remote Sensing & Morphotectonic Analysis in Hazara Kashmir Syntaxis Using River Longitudinal profil. *Geodynamics, Research, International Bulletin*. ۲: ۱۰-۱۱

McGee, W. J. (۱۸۹٦). Sheetflood erosion. *Bulletin of the Geological Society of America*, *8*(۱), ۸۷-۱۱۲.

Milanović, P. T. (۱۹۸۱). Karst hydrogeology. *(No Title)*.

Ngapna, M. N., S. Owona, F. M. Owono, J. E. Mpesse, D. Youmen, J. Lissom ... and G. E. Ekodeck. ۲۰۱۸. Tectonics, lithology and climate controls of morphometric parameters of the Edea-Eseka region (SW Cameroon, Central Africa): Implications on equatorial rivers and landforms. *Journal of African Earth Sciences*, **۱۳۸:** ۲۱۹-۲۳۲.

Ramirrez-Herrera, M.T. ۱۹۹۸. Geomorghic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt. *Erath Surface process and landforms*. ۲۳: ۳۱۷-۳۳۲

Rockwell, T. K.; E. A, Keller, and D. L. Johnson. ۱۹۸٥, tectonic Geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed) Tectonic Geomorphology. *Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin Publishers, Boston, MA. Pp ۱۸۳-۲۰۷.

Silva, P. G, J. I. goy, C. zezo, and T. baradaji. ۲۰۰۳. Fault-generated mountain front in southeast Spain, geomorphologic assessnent of tectonic and seismec activity. *Geomorphology.* **٥۰**: ۲۰۳-۲۲٥

Zibret. G., and L. Zibrat. ۲۰۱۷. River gradient anomalies reveal recent tectonic movements when assuming an exponential gradient decrease along a river course. *Geomorphology.* ۲۸۱:٤٣-٥٢. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.geomorph.۲۰۱٦,۱۲,۰۱۷