بررسی فعالیت زمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی در حوضه‌های آبریز حومه شمال شرق استان تهران با رویکرد مدیریت بحران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۹

حسین مرتازی[۱]، محسن پورکرمانی*[۲]، محمود الماسیان[۳]، سهیلا بوذری[٤]

۱- دانشجوی دکترای زمین‌شناسی - گرایش تکتونیک، گروه زمین‌شناسی ، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

۲- استاد، گروه زمین‌شناسی ، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران (Mohsen.pourkermani@gmail.com)

۳- استادیار، گروه زمین‌شناسی ، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

٤- دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

چکیده

مخاطرات زمین‌شناسی، ازجمله بلایای طبیعی است که بی‌توجهی به آن خسارات جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. همه‌ساله در کشور ما ایران، به علت موقعیت جغرافیایی و تکتونیک فعال آن، همواره شاهد مخاطرات زیاد با تلفات بالایی روبرو بوده و هستیم. در این مقاله، به بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه‌های آبریز جنوب شرقی البرز مرکزی از طریق تحلیل شاخص‌های مورفومتری پرداخته شد و نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها را به‌صورت شاخص نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) ارائه و برای برآورد تکتونیک فعال از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی و DEM استفاده شد. همچنین برای تشکیل حوضه‌ها بر روی منطقه موردمطالعه از نرم‌افزار Arc GIS بر پایه داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاعی استفاده‌شده است. نتایج بررسی این ویژگی‌ها باهم نشان می دهد سطح فعالیت نسبی تکتونیکی منطقه موردمطالعه به سه رده فعالیت نسبی تکتونیکی خیلی بالا، بالا و نسبتاً بالا تقسیم‌بندی شده است. هرچه به سمت خاور و نیز به سمت شمال باختر منطقه که ارتفاعات شهر تهران را شامل می‌شود، حرکت کنیم فعالیت تکتونیکی افزایش می‌یابد و نقشه پهنه‌بندی شده آبرفت‌های منطقه نشان می‌دهد که بالاآمدگی در عرض‌های بالا رخ‌داده و رسوبات را در بستر سنگ کف رودخانه به سمت عرض‌های پائین حرکت داده است و این امر ناشی از بالابود تکتونیک فعال نسبی در عرض‌های بالای منطقه است. ازاین‌رو تحلیل مخاطرات حوضه‌های آبریز در این ناحیه همواره لازم و ضروری است؛ زیرا بر اساس آن می‌توان در تصمیم‌گیری‌ها و اولویت‌بندی اقدامات مدیریت بحران، گام‌های اساسی را برداشت.

واژه‌های کلیدی: **شاخص‌های زمین ریختی، زمین‌ساخت فعال، حوضه زهکشی، عدم تقارن، البرز مرکزی**

Tectonic Activity Using Geomorphological Indicators in the Watersheds of Eastern Tehran with a Crisis Management Approach

Hossein Mortazi[1], Mohsen Pourkermani[*2], Mahmoud Almasian[3], Soheila Bouzari[4]

1. Ph.D. Candidate, Dept. of Geology, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Mohsen.pourkermani@gmail.com)
2. Prof., Dept. of Geology, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Assist. Prof., Dept. of Geology, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Geology, Faculty of Basic Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Geological hazards include natural disasters, the neglect of which will lead to irreparable damages. Every year in our country, Iran, due to its geographical location and active tectonics, we have always witnessed many hazards with high casualties.In this article, the investigation of the relative active tectonics of the southeast catchment basins of Central Alborz was done through the analysis of morphometric indicators and the results of these evaluations were presented in the form of the relative index of tectonic activities (Iat) and to estimate the active tectonics of Topographic maps, geological maps, and DEM were used, and Arc GIS software was used to form watersheds on the studied area based on the data obtained from the digital elevation model. The studied area is divided into three categories of relative tectonic activity: very high, high and relatively high.As we move towards the east and also towards the northwest of the region which includes the heights of Tehran city, the tectonic activity increases and the zoned map of alluvium in the region shows that the uplift occurred in high latitudes and deposited the sediments in the bed. The bedrock of the river has moved towards lower latitudes, and this is due to relatively high active tectonics in the upper latitudes of the region. Therefore, it is always necessary to analyze the risks of watersheds in this area. Because based on it, basic steps can be taken in making decisions and prioritizing crisis management actions.

Keywords: Geomorphic Indices of Active Tectonics, Drainage Basin, Asymmetry, Central Alborz.

۱- مقدمه

شهر تهران به‌ویژه منطقه موردمطالعه به سبب زمین‌شناسی پیچیده‌ای که پشت سر گذاشته، از گوناگونی فراوانی در سیمای ریخت‌شناسی برخوردار است. پهنه البرز نیز به‌عنوان یکی از ایالت‌های ساختاری ایران درگیر این پیچیدگی‌ها است. تاکنون پژوهشگران زمین‌شناس و لرزه‌شناس بسیاری درراه گشودن پیچیدگی‌ها تلاش کرده‌اند و در این گذر جنب‌های بسیاری از ویژگی‌های زمین‌شناختی و زمین‌ساختی البرز آشکارشده است. گستره موردمطالعه، یکی از پیچیده‌ترین بخش‌های کوه‌زاد البرز به شمار می‌رود، به‌گونه‌ای که جایگاه خمش ساختاری، تغییر در رفتار لرزه‌ای و حتی تغییر در فراز توپوگرافی البرز در این بخش از کوه‌زاد قرار رشته‌کوه البرز در حاشیه جنوبی حوضه کاسپین جنوبی با عرض ۱۰۰ کیلومتر و طول ۲۰۰۰ کیلومتر از قفقاز کوچک در شمال باختر تا رشته‌کوه‌های پاروپامیسوز در شمال افغانستان در خاور گسترده است و زمین‌ساخت فعالی را نشان می‌دهد [۱].

در مقیاس ناحیه‌ای، به دست آوردن نرخ زمین‌ساختی یا حتی دانستن اینکه در کدام ناحیه خاص، مطالعات کمی برای تعیین نرخ فعالیت صورت گیرد، مشکل است. در این مقاله، از یک روش کمی بر اساس شاخص‌های زمین ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی استفاده‌شده است. بربریان ۱ این شاخص‌ها در مطالعه زمین‌ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته‌شده‌اند. [۲]. بیشتر بررسی‌های شاخص‌های زمین ریختی به محاسبه شاخص‌های خاص در مقیاس منطقه‌ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه پرداخته‌اند. به‌جز شاخص طول-شیب آبراهه (SL)، بیشتر شاخص‌ها در مقیاس ناحیه‌ای بررسی نشده‌اند[۳].

سیلور و آذر (۲۰۰۳)، زمین‌ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب باختر اسپانیا، با محاسبه شاخص‌های Smf و Vf موردبررسی قرارداد اما در مطالعه خود از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استفاده نکرده‌اند. [۴، ۵ و ۶]، خاوری (۲۰۰۸)، با توجه به پویایی ناحیه بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیکی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های ارتفاعی رقومی (Dem) و سایر پارامترهای تکتونیک فعال، نظیر گسل‌های رو رانده ناحیه موردمطالعه که دارای ۵ حوضه آبریز با راستای شمالی-جنوبی بوده، مناطق دارای فعالیت تکتونیکی متفاوت مشخص‌شده است[۷].

۱-۱- مروری بر مطالعات پیشین

این منطقه تاکنون موردمطالعه اشخاص مختلف، از جنبه‌های متنوع قرارگرفته است. در این قسمت مروری بر پژوهش‌های انجام‌شده در ناحیه موردمطالعه داریم.

سربازی و همکاران [۸]، در سال ۱۳۹۵، به ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های حبله رود، حاجی عرب و جاجرود از طریق تحلیل‌های مورفومتری پرداخته و نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها را به‌صورت شاخص نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) ارائه نمودند. آن‌ها شاخص‌های فعالیت زمین‌ساختی منطقه را در چهار طبقه فعالیت کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد مشخص نمودند. برای برآورد تکتونیک فعال از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی و DEM استفاده نمودند و برای تشکیل حوضه‌ها بر روی منطقه موردمطالعه از نرم‌افزار Arc GIS بر پایه داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاعی استفاده نموده و پدیده‌هایی مانند پرتگاه‌های گسلی، مخروط افکنه‌های چند نسلی، دره‌های خطی که به‌وفور در حوضه‌های با فعالیت زیاد و متوسط تکتونیکی در سه حوضه مشاهده نمودند و به این نتیجه رسیدند که در حوضه‌های موردمطالعه،

حوضه جاجرود نسبت به دو حوضه دیگر بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی قرارگرفته است

شیرمحمدی و همکاران در سال ۱۳۹۵ به تحلیل ساختاری و جنبشی گستره بین گسل مشاء و گسل شمال تهران به مطالعه پرداخته و در مطالعات ساختاری خود، بین گستره گسل مشاء و گسل شمال تهران چهار رده تعیین نمودند؛ که آن چهار رده عبارت‌اند از: ۱) گسل‌های معکوس با چین‌های همراه با آن‌ها ۲) گسل‌های راستا لغز راست‌بر ۳) گسل‌های راندگی ۴) گسل‌های عادی. بیشترین ساختارهای گستره، چین‌ها و گسل‌های رده سوم این تقسیم‌بندی هستند که براثر ترافشارش چپ‌بر، در پی فشار به صفحه ایران مرکزی به وجود آمده‌اند. با بررسی عکس‌های ماهواره‌ای، بازدیدهای صحرایی و اطلاعات لرزه‌ای و ترکیب این داده‌ها با نتایج ریخت زمین‌ساختی، مدلی برای گستره ارائه نمودند که نشان می‌دهد براثر حرکت چپ‌بر گسل‌های مشاء، شمال تهران و دره اویشان، گستره بین این گسل‌ها دچار یک چرخش ساعت‌گرد شده است. این چرخش به‌روشنی درروند چین‌ها قابل‌شناسایی است[۹].

آسیا بر و همکاران (۱۳۹۵)، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی را در ناحیه سروستان البرز مرکزی موردبررسی قراردادند و این ناحیه را به لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی طبقه‌بندی نمودند و همچنین نتایج حاصل از مطالعه شاخص‌ها را با بررسی‌های صحرایی سازگار دانسته‌اند [۱۰].

اسکندری و همکاران در سال ۱۳۹۵ با ارائه‌ی مدلی به تحلیل خطر لرزه‌ای بر اساس خطر اصلی لرزش و شکست پرداختند و بیان داشتند که زمین‌بر این اساس با توجه به حجم وسیع داده‌های توصیفی و مکانی، سامانه‌ی نرم‌افزاری باقابلیت‌های تحلیل و استنتاج مکانی و بر مبنای سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) طراحی و توسعه‌یافته است. در مدل ارائه‌شده، به‌منظور تحلیل خطر لرزش زمین، از ۲ رابطه‌ی کاهندگی موجود برای کشور استفاده می‌شود که با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در وقوع زلزله (شامل اندازه‌ی بزرگی زلزله، عمق کانونی و موقعیت کانون زلزله)، این عملیات به‌صورت تصادفی در هر بار انجام تحلیل انتخاب می‌شود. خروجی‌ها شامل مقادیر بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان حداکثر زمین محاسبه می‌شود. در مدل ارائه‌شده، به‌منظور تحلیل خطر شکست زمین، بر اساس نوع منطقه و الگوریتم‌های ارائه‌شده، سه خطر ثانوی زلزله (روانگرایی، زمین‌لغزش و گسلش) مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مرحله با توجه به استعداد روانگرایی و استعداد زمین‌لغزش می‌توان تغییر مکان دائمی ناشی از خطرات روانگرایی و زمین‌لغزش را برای هر جزء و در هر تکرار شبیه‌سازی محاسبه نمود. تمامی این گام‌ها بر اساس شبیه‌سازی مونت‌کارلو، برای لحاظ نمودن عدم قطعی نهاده هزار بار تکرار می‌شوند و از خروجی‌های موجود در پایگاه داده، میانگین‌گیری می‌شود تا تمامی حالات خرابی در نظر گرفته شود. مدل موجود می‌تواند نقشه‌ی خطر لرزش زمین و شکست زمین را برای هر منطقه تهیه نماید[۱۱].

مفیدی و همکاران، در سال ۱۴۰۱ به رابطه بعدهای فرکتالی آبراهه با خصوصیات مورفومتری حوضه‌ها به مطالعه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از خصوصیات مورفومتری و خصوصیات آبراهه در مدیریت حوزه‌های آبخیز ازنظر سیل، فرسایش و حفاظت خاک، می‌توان از مدل‌های فرکتالی برای تصمیم‌گیری سریع و دقیق‌تر برای مدیریت آبراهه‌ها استفاده نمود[۱۲]. ضرانی در سال ۲۰۱۳ با توجه به اینکه استفاده از هندسه فرکتالی روشی نوین در بررسی خصوصیات شبکه آبراهه‌ها است، پیشنهاد دادند

که در مناطق مختلف با شرایط مورفومتری متفاوت‌تر، حوضه‌ها با تحلیل فرکتالی مورداستفاده قرار گیرند[۱۳].

آرا و همکاران در سال ۱۳۹۱ به ارزیابی دقت و صحت شاخص‌های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده‌های ژئودینامیکی در حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران و در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که فعالیت نو زمین‌ساخت در منطقه موردمطالعه در همه‌جا یکسان نبوده و در مناطق بالادست، حوضه‌ها فعال‌تر می‌باشند[۱۴].

محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۹ از روش تحلیلی و بازسازی زمانی تغییرات و فن کاربر مقایسه مورفومتری رودخانه‌ها و دامنه‌های مشرف‌به دره‌ها به سه روش: مقایسه ارتفاع و ضخامت رسوبات آبرفتی، تعیین حدود گسترش رسوبات رودخانه‌ای و دریاچه‌ای و بازیابی آخرین حد ارتفاعی گدازه‌های مشرف‌به دره‌ها پرداختند و بیان داشتند که رودخانه هراز به‌طور متوسط، ۴ کیلومتر، رودخانه دلیچای ۳ کیلومتر و رودخانه لار ۲ کیلومتر براثر گدازه‌های دماوند به‌مرور و طی فوران‌های متوالی تغییر مسیر داده‌اند. مسیر رودخانه‌ها عمدتاً پس از شکل‌گیری دریاچه‌ها براثر انسداد دره‌ها و شکسته شدن سد ایجادشده‌اند[۱۵].

پیروانی و همکاران در سال ۱۴۰۱ در پژوهش خود از فن شبیه‌سازی تصادفی چشمه گسل محدود، برای شبیه‌سازی جنبش‌های نیرومند زمین برای سناریوی محتمل زمین‌لرزه‌های تهران استفاده نمودند. علاوه بر آن برای شناسایی ویژگی‌های چشمه و مسیر انتشار گسیختگی پارامترهایی را انتخاب نمودند[۱۶].

فدوی و همکاران در سال ۱۳۹۶ در تحقیق خود، با تأکید بر روش‌های تحلیل هندسه فرکتال به‌منظور تشخیص خطواره‌های گسلی پنهان و بررسی پایانه‌های گسلی منسوب به رو راندگی مشاء قشم بر اساس داده‌های ژئوفیزیک هوایی و ۴۰ رویداد لرزه‌ای و استفاده از روش‌های متداول، خطوط پربندی رسم نمودند. پس از اعمال روش‌های تحلیلی برای به‌گزینی مکان هندسی خطواره‌های تاریخی استفاده نمودند. بدین ترتیب ارتباط مناطق زلزله‌خیز شمال شرق استان تهران با الگوی ساختمانی حاکم بر منطقه و با تأکید بر گسل مشا فشم بررسی و سامانه لرزه‌ای پنهان شناسایی نمودند[۱۷].

علوی و همکاران در سال ۱۳۸۶ در مطالعه لرزه‌خیزی منطقه شمال شرق تهران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و GIS عنوان نمودند که در خصوص زمین‌لرزه‌های پیش از سده بیستم و نیز رویدادهای لرزه‌ای ثبت‌شده دستگاهی در گستره، نقش بسزایی را در حفظ پایداری سازه‌های در حال احداث دارد. استفاده از ابزارهای جدید همانند داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی در مطالعات زمین‌ساختی و به‌کارگیری GIS در مراحل تلفیق و تفسیر داده‌ها نتایج را منطقی‌تر و دقیق‌تر ارائه می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که روند خطواره‌های شاخص به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای منطبق بر گسل‌هاست که نشان‌دهنده جنبا بودن گسل‌ها و لرزه‌خیزی بالای منطقه است. همچنین وجود گسل مهم و جنبای مشاء در این منطقه نیز تأکیدی دیگر بر توجه بیشتر در ساخت بناهای ضد زلزله در منطقه مورد مطالعه است.

۱-۲- روش مطالعه

در روش تحقیق از محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیکی و ابعاد فرکتالی گسل‌های لرزه‌ای و مقایسه و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای زیر استفاده شد:

Global Mapper, GIS Arc, ER Mapper

از مطالعات تلفیقی و تدوین نهایی تهیه نقشه توپوگرافی و داده‌های رقومی و ماهواره‌ای استفاده‌شد و برداشت‌های صحرائی از موقعیت

دقیق گسل‌ها و زمین‌لغزش‌ها و آبراهه‌ها انجام شد.

به‌طورکلی مهم‌ترین اهداف تحقیق به‌طور خلاصه به شرح زیر است:

نبود تحقیقات لازم مورفوتکتونیکی و هندسه فرکتالی گسل‌ها و کانون‌های لرزه‌ای در گستره موردمطالعه

مطالعه و بررسی اشکال و فرم‌های موجود مورفوتکتونیکی برای مطالعه نیروها و عوامل به وجود آورنده آنها

بررسی و ارزیابی زمین‌ساخت فعال و توسعه توپوگرافی گستره موردمطالعه با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی که فعالیت طولانی‌مدت پوسته زمین را در خود ثبت کرده‌اند.

شناخت گسل‌های فعال منطقه و ارتباط آن‌ها با مراکز سطحی لرزه‌ای در گستره موردمطالعه

بررسی ارتباط گسل‌های فعال و مراکز لرزه‌ای در هر حوضه با ناپایداری‌های شیبی در آن‌ها

بررسی شناخت زمین ریختی رودخانه‌های مرتبط با عملکرد گسل‌ها در گستره موردمطالعه

مطالعه تأثیر مختلف نیروهای زمین‌ساختی در لیتولوژی‌های مختلف در گستره موردمطالعه

انطباق نقشه‌های پهنه‌های تکتونیکی فعال با نقشه‌های هندسه فرکتالی گسل‌های لرزه‌ای

استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی تکتونیک فعال برای استفاده در مکان‌یابی و کاهش اثرات منفی حوادث غیرمترقبه در انجام پروژه‌های عمرانی، شهرسازی، اقتصادی، کنترل سیلاب و هدایت آب‌های سطحی

۱-۳- روش تحقیق

خطر عبارت است از پتانسیل تهدیدکننده‌ای که هرلحظه احتمال وقوع آن وجود دارد. این حادثه می‌تواند به‌صورت پدیده‌ای طبیعی باشد و یا توسط بشر ایجاد شود. در مدیریت سوانح، از خطر به‌منزله‌ی سانحه یاد می‌شود که شایع‌ترین سوانح طبیعی شامل زلزله، سیل، خشک‌سالی، زمین-لغزش و آتش‌سوزی است. لذا خسارت‌های وارده به اجزای سازه‌ها، ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی در اثر مخاطرات زمین‌شناسی متصور است. در این پژوهش سعی شده که با تکیه‌بر حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها در گستره پردیس (شرق تهران) و محیط پیرامون آن، ابعاد فرکتالی گسل‌ها و کانون‌های سطحی لرزه‌ای در محدوده‌های با درجه فعالیت تکتونیکی مختلف مشخص‌شده بر اساس شاخص‌های مورفوتکتونیکی موردبررسی قرار گیرد و درنهایت نقشه‌های هندسه فرکتالی گسل‌های لرزه‌ای را با نقشه‌های سطح‌بندی تکتونیک فعال گستره انطباق داده شود.

گستره موردپژوهش به ۲۵ زون ساختاری به ابعاد ۱۳ کیلومتر در ۱۳ کیلومتر انتخاب شد و برای محاسبه هندسه فرکتالی گسل‌های لرزه‌ای گستره در محیط GIS ابعاد فرکتالی برای هر زون مشخص و نتایج در لایه نهایی پهنه‌بندی زمین‌ساخت نسبی گستره ادغام شد. طبق محاسبات، پتانسیل حرکتی گسل در هر مقطع از گسل‌های ناحیه مشخص شد که گسل‌های مشاء، لتیان و نیاوران بیشترین پتانسیل حرکتی در مقایسه با دیگر قطعات گسلی است. نتایج محاسبه پتانسیل حرکت گسل‌ها در هر قطعه، تطابق خوبی را با فراوانی زمین‌لرزه‌های رخ‌داده نمایان می‌سازد، به‌طوری‌که بخش خاوری ناحیه موردمطالعه، دارای نرخ لرزه‌خیزی بیشتری نسبت به دیگر بخش‌های آن است و تمرکز زمین‌لرزه‌ها بیشتر در بخش جنوب خاوری گسل مشاء در ناحیه مشخص شده است؛ که می‌تواند در آینده دچار گسلش از نوع شکننده شود. به عبارتی می‌توان چنین استنباط کرد که گستره موردپژوهش در مرحله پیش‌لرزه قرار دارد. لذا با توجه به اینکه این منطقه در آینده محل سکونت

تعداد زیادی از جمعیت شهر تهران خواهد بود، به‌منظور کاهش خسارات، مستلزم توجه بیشتری است.

تغییر شکل غالب منطقه، به‌صورت بالاآمدگی همراه با حرکت چپ‌گرد است، اما تعیین اینکه کدام مناطق نرخ بالاآمدگی بیشتری نسبت به حرکت چپ‌گرد دارند، در بررسی‌های لرزه‌خیزی دارای اهمیت ویژه‌ای است. برای می‌بردن به نرخ فر آیش، میزان تأثیر آن در تغییر شکل و نیز یافتن مناطق فعال‌تر به لحاظ بالاآمدگی، شاخص‌های ریخت زمین ساختی منطقه موردبررسی قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، بررسی شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی در مقیاس‌های مختلف داده‌های DEM صورت می‌پذیرد، بنابراین اگر هندسه فرکتالی بر شاخص‌های ریخت زمین-ساختی مرتبط باشد، نتایج حاصل از تحلیل فرکتالی این شاخص‌ها می‌تواند به‌عنوان اولین بار موردبررسی و تحلیل دینامیکی در این ناحیه در مطالعات بعدی قرار گیرد.

۱-۴- چشم‌اندازها

یکی از مهم‌ترین چشم‌اندازهای این مقاله رودخانه‌ها هستند که به حرکات تکتونیکی بسیار حساس می‌باشند و برای ارزیابی تکتونیک فعال ناحیه، موردمطالعه قرار می‌گیرند، اندازه‌گیری‌ها بر اساس محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک و دیگر پارامترها و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و کارهای صحرایی صورت می‌گیرد.

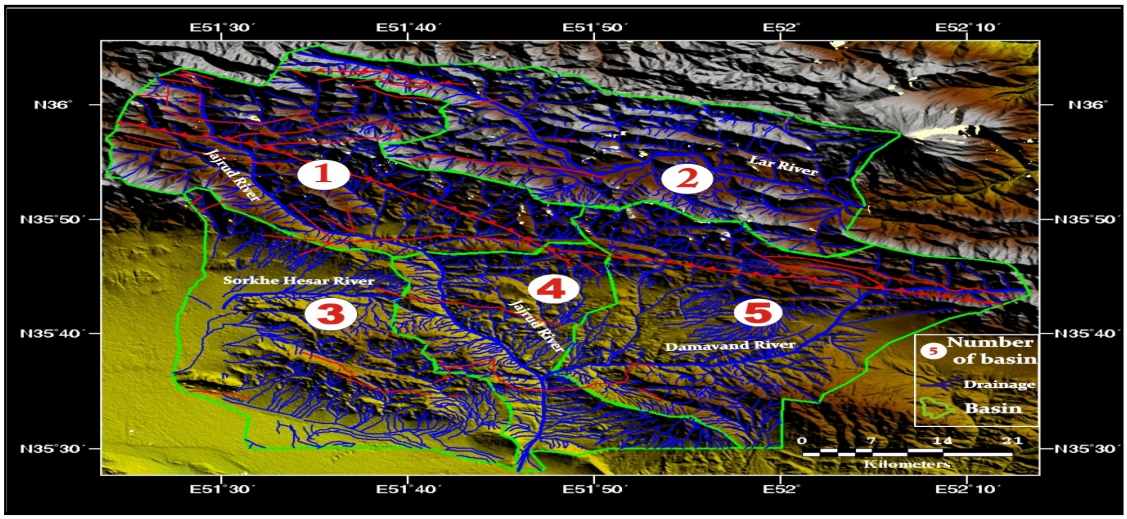
۲- ناحیه موردمطالعه

علوی، (۱۹۹۱)، حوضه‌های زهکشی گستره موردپژوهش دارای مساحتی حدود ۳۳۸۸/۱ کیلومترمربع با موقعیت جغرافیایی ′۲۳ ° ۵۱ تا′۱۳ °۵۲ طول خاوری و ′۲۸ ° ۳۵ تا′۰۵ °۳۶ عرض شمالی می‌باشند (شکل ۱). سنگ‌شناسی ناحیه، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی پرکامبرین، پالئوزوئیک و مزوزوئیک و ترشیاری و رخنمون‌های نامنظمی از سنگ‌های آذرین باسن نه‌چندان دقیق و ترکیب شیمیایی متفاوت است. علوی ساختار البرز مرکزی را یک ساختار دوبلکس مرکب پیچیده با یک هندسه تاق ریخت معرفی کرده است. در دامنه‌های شمالی و جنوبی با گسل‌های معکوس به ترتیب شیب به سمت جنوب و شمال می‌باشند [۱۸].

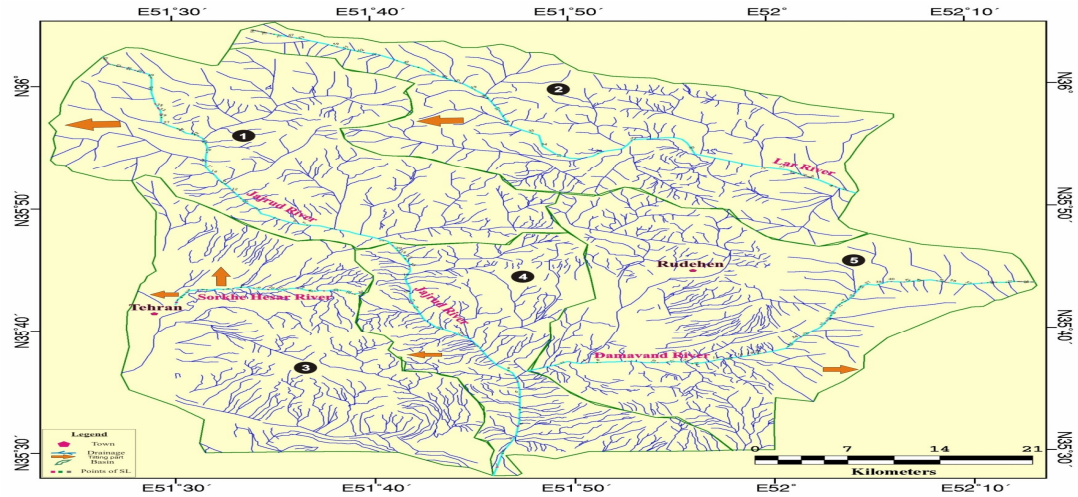
نظری (2006)، معتقد است که چین‌خوردگی از نوع جدایشی همراه با بالاآمدگی رخساره‌های پرکامبرین و پالئوزوئیک در البرز مرکزی روی‌داده است. رودخانه‌ها در عرض‌های بالای منطقه به دلیل بالاآمدگی، بیشترین بخش مسیر خود را بر روی بستر سنگی طی می‌کند و رسوبات آبرفتی را در عرض‌های پایین منطقه بر روی رودخانه‌ها بر جای می‌گذارد. این مسئله نشان می‌دهد که رودخانه‌های عرض‌های بالای ناحیه از نوع سنگ بستری است که در آن، نیروهای فرسایشی بیشتر از نیروهای مقاوم عمل کرده و بیشتر نهشته‌های تولیدشده به عرض‌های پایین منطقه منتقل‌شده است [۱۹].

۳- تعیین الگوی زهکشی حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی با استفاده از مدل ارتفاع رقومی ناحیه

با استفاده از توابع مدل‌سازی و مدل رقومی ارتفاعی (Dem)، در نرم‌افزارهای (Arc GIS) و (Global Mapper) و نیز امکان تعیین حوضه‌ها با استفاده از فایل Dgn منطقه، مساحت آن‌ها و همچنین شبکه آبراهه‌ها وجود دارد. برای این



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه و اساس تفکیک حوضه‌ها بر مبنای نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۳۰ و ۱۵ متر، SRTM(90 m)،IRS(5.5 m) و نقشه‌های زمین‌شناسی شرق تهران، تهران ـ مرزن‌آباد ـ بلده ـ دماوند در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰



شکل ۲- موقعیت حوضه‌های منطقه و قسمت‌های کج شده بر اساس شاخص AF

منظور، مدل رقومی ارتفاعی ناحیه موردمطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰، به شکل Raster تهیه شد که پس از تجزیه توسط نرم‌افزار، به ۵ حوضه با رودخانه‌های لار، دماوند، جاجرود، سرخه‌حصار به دست آمد. (شکل ۲)، الگوی زهکشی حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی را نشان می‌دهد.

۴- شاخص‌های زمین ریختی زمین‌ساخت فعال

همدانی (۲۰۰۸)، مجموعه چند شاخص زمین ریختی می‌تواند برای بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی مورداستفاده قرار گیرد. [۲۰] این شاخص‌ها می‌تواند به‌عنوان روش کمی برای مطالعه زمین ریختی مرتبط با فرایندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری در مجرای رودخانه، نیمرخ طولی و ریخت‌شناسی دره رود، یا سیماهای زمین‌ساختی مانند پرتگاه‌های گسلی به کار روند. شاخص‌های زمین‌ساختی قادر به تعیین پهنه‌های مختلفی که درنتیجه تغییر محلی فعالیت زمین ساختی ایجادشده‌اند، هستند. در این پژوهش، شش شاخص زمین ریختی در حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی مورد

بررسی قرار گرفت و نتایج مربوط به هر شاخص بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده برای آن شاخص با توجه به مطالعات (Hamdouni et al. 2008)) منطقه موردمطالعه به سه رده فعالیت زمین ریختی تقسیم شد. میانگین رده‌های تمام شاخص‌های مربوط به هر حوضه محاسبه‌شده و خود به دو رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد (جدول ۱) و نقشه رده‌بندی تکتونیک فعال نسبی (Iat) آن تهیه شد [۲۱].

۴-۱- شاخص طول-شیب رودخانه (SL)

هاک (۱۹۷۳) شاخص طول – شیب رودخانه توسط Hack (1973) [22]، به شکل زیر توصیف شد.

$$l * (\Delta h/\Delta l) = Sl$$

در این رابطه $\Delta h/\Delta l$ شیب بخشی از مجرا و l طول مجرا از بالادست تا نقطه‌ای که برای آن شاخص محاسبه می‌شود، است. این شاخص برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مفید است.[۲۲] زمانی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالاآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد، درحالی‌که وقتی جریان رودخانه به‌موازات ساختارهایی مانند دره‌های حاصل از گسل امتدادلغز صورت گیرد، میزان SL کاهش می‌یابد [۲۳]، کلر ۲، پتر، پینتر (Keller and Pinter,2002) مقادیر این شاخص در ناحیه موردمطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد. این شاخص مقادیر قابل اتکایی را در ناحیه موردمطالعه نشان نمی‌دهد. به دلیل ساختارهای موجود و مقاومت بالای سنگ‌های منطقه که بیشتر سنگ‌های آتشفشانی آندزیت، تراکی‌آندزیت و طوف‌های ضخیم لایه می‌باشند[۲۴] و مقادیر بالای شاخص (SL) به‌شدت تحت تأثیر لیتولوژی منطقه ازجمله سنگ‌های مخروط آتشفشانی دماوند قرارگرفته‌اند. نقشه پهنه‌بندی تکتونیک فعال نسبی بر اساس این شاخص نشان می‌دهد که عرض‌های بالای منطقه دارای فعالیت نسبی تکتونیکی بالا می‌باشند (شکل ۳).

۴-۲- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

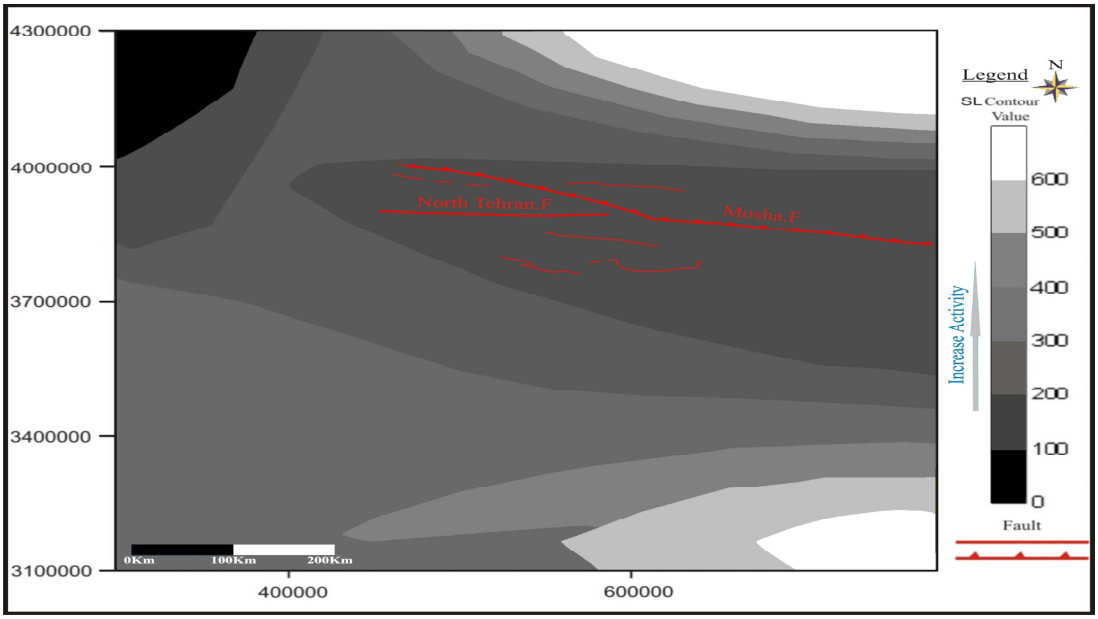
هیر ۳ (۲۰۰۳)، محاسبه این شاخص روشی برای تعیین میزان کج شدگی زمین‌ساختی در مقیاس حوضه زهکشی است این روش ممکن است برای نواحی به نسبت بزرگ استفاده شود (Hare et. al., 2002)، (Salvany, 2004)، شاخص Af بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

در این رابطه Ar مساحت سمت راست حوضه (دید به سمت پایین‌دست) و At مساحت کل حوضه است. اگر حوضه‌ای در شرایط پایدار بدون کج شدگی یا با مقدار کم باشد، شاخص Af برابر ۵۰ است. این شاخص به تغییر میزان کج شدگی در راستای عمود بر روند مجرا حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشان‌دهنده کج شدگی حوضه است که می‌تواند درنتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی باشد. نتایج نشان داده در جدول ۲ شامل مقادیر Af-۵۰ است که مقدار انحراف از حالت پایدار را نشان می‌دهد. مقادیر Af از پایین تا بالا برای ناحیه موردبررسی تغییر می‌کند. بیشترین مقدار این شاخص در بخش جنوب غربی حوضه به‌دست‌آمده است. این در حالی است که حوضه دو دارای بیشترین تقارن است. موقعیت حوضه‌های منطقه و قسمت‌های کج‌شده بر اساس این شاخص در شکل ۲ مشاهده می‌شود[۲۵].

جدول ۱- رده‌بندی **Iat**

assessment	Iat calss	S/n	Class of					Basin	Ref. No.
			mf	Vf	Hi	Af	SL		
High	۲	۱/۶۰	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۱
Moderate	۳	۲/۰۰	–	۳	۱	۳	۱	۱	۲
Modereate	۳	۲/۳۳	–	–	۳	۱	۳	۳	۳
Moderate	۳	۲/۰۰	۲	۳	۱	۱	۳	۳	۴
High	۲	۱/۶۰	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۵



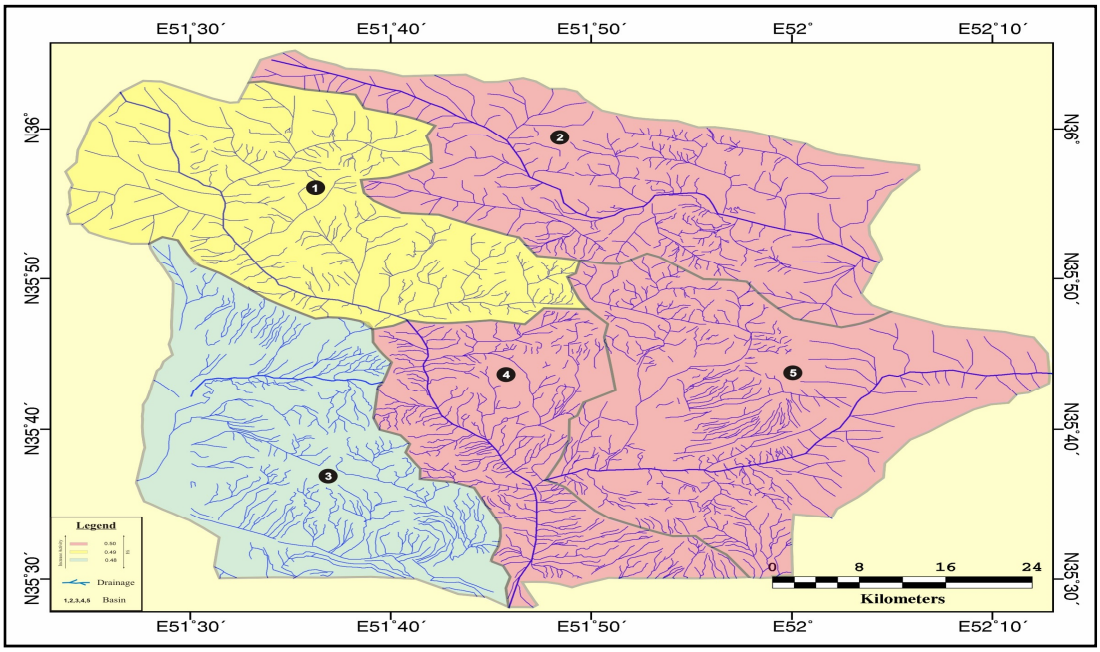
شکل ۳- پهنه‌بندی تکتونیک فعال نسبی بر اساس شاخص SL

۴-۳- انتگرال فراز سنجی (Hi)

همدانی (۲۰۰۸)، انتگرال فراز سنجی شاخصی است که پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد. به‌طورمعمول انتگرال برای یک حوضه زهکشی خاص محاسبه می‌شود و مستقل از مساحت آن حوضه است. رابطه ساده‌ای که برای محاسبه این شاخص استفاده می‌شود؛ که رابطه ویلسون ۴ به شکل زیر است.

Hi= (average elevation-min.elevation)/(max.elevation-min.elevation)

همدانی (۲۰۰۷)، داده‌های لازم برای محاسبه انتگرال فرازسنجی از مدل ارتفاعی-رقومی ناحیه تهیه می‌شود. ارتفاع میانگین از انتخاب ۵۰ نقطه ارتفاعی به‌طور تصادفی در حوضه به دست می‌آید. مقدار این شاخص برابر مساحت زیر سطح منحنی فراز سنجی است. انتگرال فراز سنجی به‌طور مستقیم با زمین فعال رابطه ندارد. مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین-ساختی است. درحالی‌که مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که دچار فرسایش زیاد شده و



شکل ۴- پهنه‌بندی تکتونیک فعال نسبی بر اساس شاخص Hi

کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال و جوان زمین‌ساخت قرارگرفته‌اند، مرتبط است (Hamdouni et al.2007) در منطقه موردبررسی، منحنی‌های فرازسنجی برای حوضه‌های منطقه موردمطالعه توسط نرم‌افزار excel رسم و مقادیر انتگرال فراز سنجی برای ۶ حوضه در ناحیه موردبررسی، با محاسبه مساحت زیر سطح منحنی‌های فراز سنجی به دست آمد، پهنه‌بندی تکتونیک فعال نسبی بر اساس این شاخص در شکل ۴ آورده شده است.

۴-۴- نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)

همدانی (۲۰۰۸)، سیلوا ۵ Vf به‌عنوان نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن به شکل زیر توصیف‌شده است:

$$Vf=2Vfw/[(Eld-Esc)]+(Erd-Esc)$$

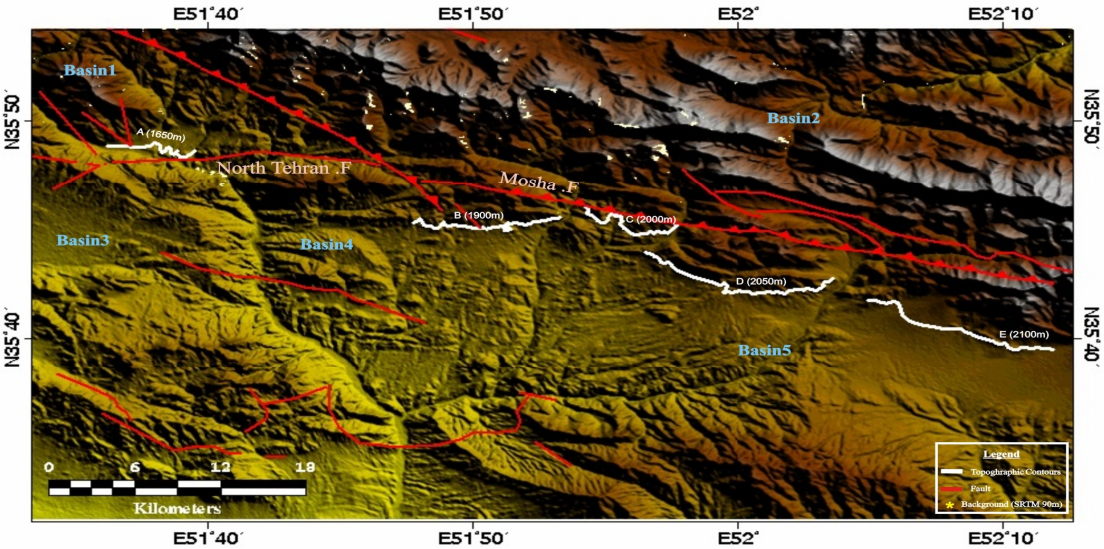
در این رابطه Vfw عرض کف دره، Eld ارتفاع دیواره سمت چپ دره، Erd ارتفاع دیواره سمت راست دره و Esc ارتفاع میانگین کف دره است. مقدار این شاخص برای دره‌های U شکل، بالا و برای دره‌های باریک و تند V شکل، پایین است.

با توجه به این‌که مقدار بالاآمدگی با میزان فرو کاوی دره مرتبط است[۲۶]، بناترین مقدار پایین Vf مربوط به نواحی با نرخ بالاآمدگی زیاد است. در ناحیه موردمطالعه در عرض‌های بالای حوضه‌ها دره‌های V شکل مشاهده می‌شود و میزان این شاخص برای دره‌های اصلی محاسبه شد[۲۷].

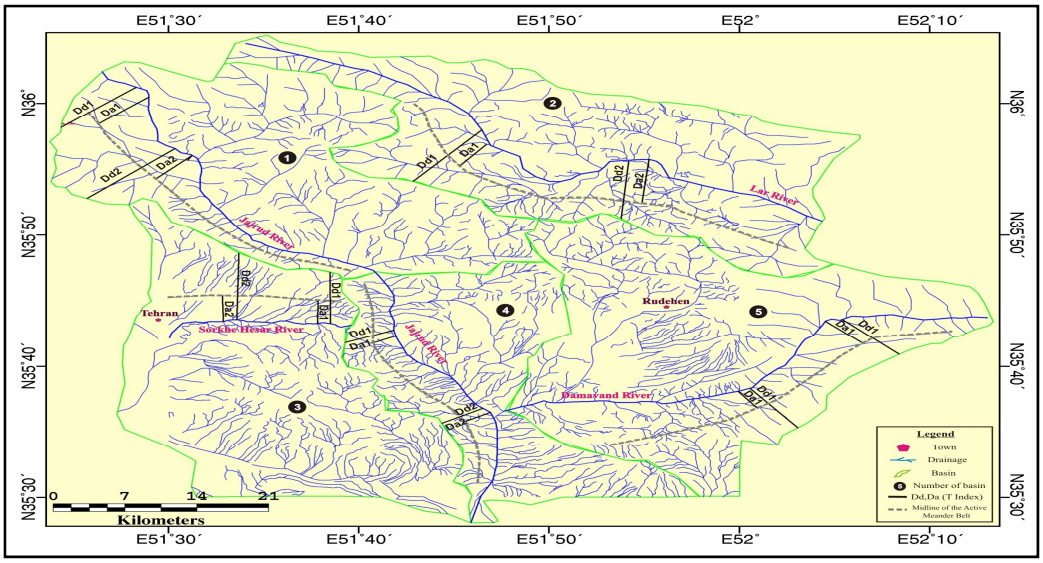
محاسبه Vf در فاصله مشخصی از پیشانی گسلی صورت می‌گیرد. در حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی این فاصله ۵۰۰m برای همه حوضه‌ها رعایت شده است (شکل ۵). تغییرات عددی این شاخص بین ۰/۰۶ در دره‌های منتهی به حوضه زهکشی رودخانه جاجرود در حوضه یک و ۲/۶۸ در جنوب رودخانه جاجرود در حوضه چهار به دست آمد. کم‌وبیش تمام ناحیه، به‌جز بخش جنوبی پایین‌دست حوضه و بخش جنوبی حوضه شمال باختر ناحیه، مقادیر Vf بالایی را نشان می‌دهند[۲۸].

۴-۵- پیچ‌وخم پیشانی کوه (Smf)

(بل ۶، مفادن ۱۹۷۸،۷)، شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوه بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.



شکل ۵- موقعیت مناطق برداشت Vf



شکل ۶- موقعیت نقاط E برداشت Smf

(Bull&McFadden,1977; Bull,1978)

Smf=Lmf/Ls

در این رابطه Lmf، طول پیشانی کوه در دامنه آن، یعنی جایی که شیب بین کوه و حوضه پیشانی تغییر می‌کند، است و Ls طول مستقیم پیشانی کوه است. مقادیر برابر ۱ این شاخص، خاص نواحی فعال زمین‌ساختی است، درحالی‌که اگر نرخ بالاآمدگی کاهش یابد و فرایندهای فرسایشی شروع به تشکیل یک پیشانی نامنظم کنند، مقدار Smf افزایش می‌یابد. مقادیر کمتر از ۱/۴ پیشانی‌های فعال زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. روسیول (Roclwell et al. 1985; Keller, 1986) درحالی‌که مقادیر بیشتر از ۳ به پیشانی‌های غیرفعال مربوط است که در آن‌ها پیشانی گسل بیش از ۱ کیلومتر دچار فرسایش شده است (Bull and McFadden,1977)

در این مقاله ۵ پیشانی گسلی موازی با روند رشته‌کوه البرز و گسل‌های اصلی و رو رانده مشاء و شمال تهران، موردبررسی قرار گرفتند (شکل ۶). نتایج به‌دست‌آمده بین ۱/۱۳ تا ۱/۶۲ تغییر

می‌کند. کمترین مقدار Smf به گسل مشاء در شرق و جنوب شرقی حوضه ۵ جنوب شرقی البرز در حالی است که چهار جبهه کوهستانی از این ۵ جبهه در رده یک تکتونیکی قرار دارند[۲۹].

۴-۶- شاخص تقارن توپوگرافیکی عرضی حوضه (T)

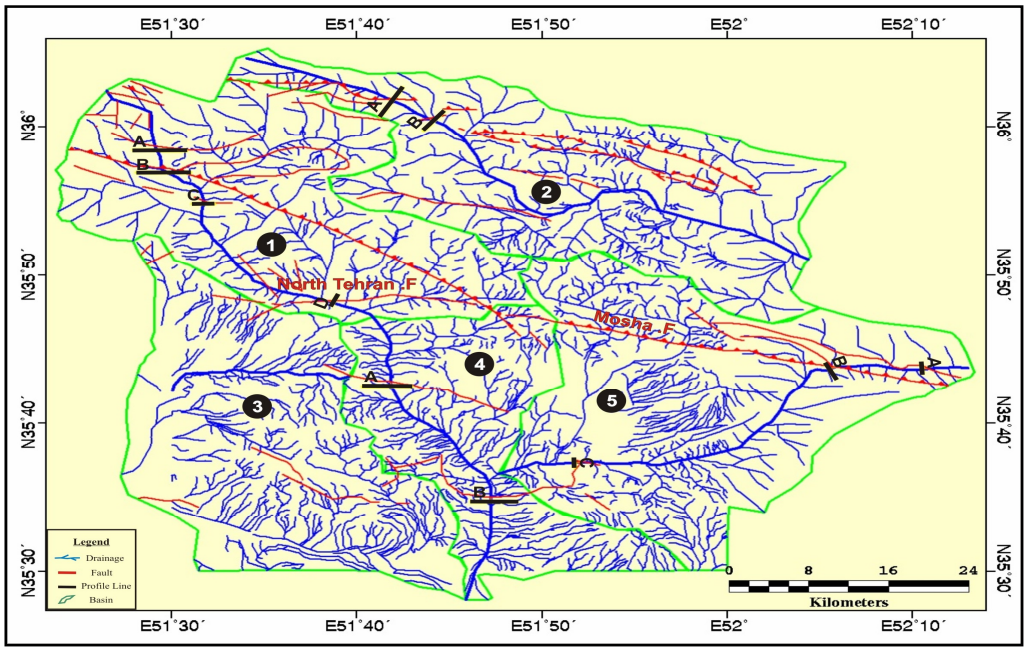
محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره است. خط میانی حوضه جایی است که رودخانه به‌صورت متقارن نسبت به دره قرارگرفته است و با توجه به طویل‌ترین محور حوضه رسم می‌شود. برای هر بخش رودخانه، عبارت از نسبت فاصله بین خط میانی تا رودخانه فعال (Da) به فاصله خط میانی تا مرز حوضه(Dd) است:

$$T=Da/Dd$$

مقدار این شاخص بین ۰ و ۱ متغیر است که کمترین و بیشترین عدم تقارن حوضه را نشان می‌دهد. محاسبه این شاخص در منطقه نشان می‌دهد که در اکثر قطعات، حوضه زهکشی دچار کج شدگی است و ازنظر مقدار T این مقدار از مرکزی مربوط است. همه جبهه‌های موجود در منطقه در رده جبهه‌های فعال قرار می‌گیرند، این ۰/۴۱ برای حوضه سه تا ۰/۵۹ برای حوضه‌های یک و چهار در تغییر است. محاسبه این شاخص در عرض‌های بالایی و پایینی ناحیه مقدار بالایی را نشان می‌دهد (شکل ۷).

۵- بحث

در این مطالعه رده‌بندی تکتونیک فعال نسبی که اولین بار توسط همدانی (Hamdouni et al. 2008) ارائه‌شده، برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی استفاده شد. شاخص‌های مختلف زمین ریختی که برای هر حوضه محاسبه‌شده‌اند، به ۳ رده تقسیم‌شده‌اند که رده ۱ فعالیت بالا و رده ۳ فعالیت پایین را نشان می‌دهد. شاخص‌های زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) با میانگین‌گیری از رده‌های شاخص‌های زمین ریختی در هر حوضه، (S/n)، محاسبه و خود به دو رده تقسیم شد که رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا با S/n بین ۱/۵ تا ۲؛ و رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط با S/n

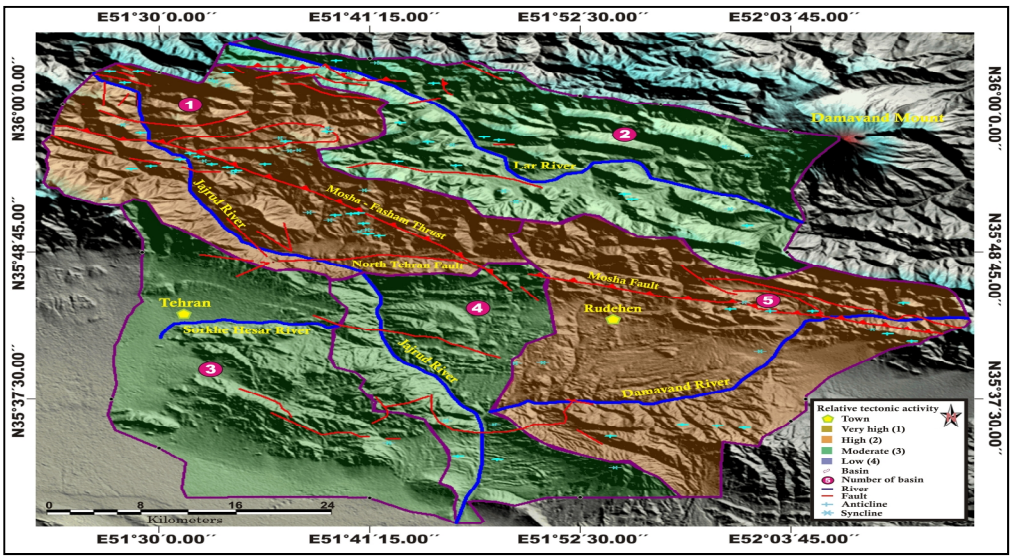


شکل ۷ - موقعیت مناطق برداشت شاخص T

بین ۲ تا ۲/۵؛ را نشان می‌دهد. (Hamdouni et al. 2008). میانگین شاخص‌های زمین ریختی (S/n) و مقادیر زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای پنج حوضه در ناحیه موردمطالعه در جدول ۱ آمده است و این نتایج به‌صورت مدلی از فعالیت زمین‌ساختی نسبی در شکل ۸ نشان داده‌شده است. پراکندگی شاخص‌های نواحی مرتبط با پیشانی‌های گسلی مختلف و درنتیجه نرخ‌های مختلف فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. بیش از نیمی از مساحت ناحیه موردمطالعه را پهنه‌های با فعالیت زمین‌ساختی نسبی متوسط تشکیل می‌دهند. بر اساس مدل ارائه‌شده، ۲ پهنه زمین‌ساختی در ناحیه موردمطالعه قابل‌تشخیص است.

۱- پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا: حوضه‌ها و ساختارهای موجود در این پهنه همگی روندی شمال باختر، جنوب خاور را دارا می‌باشند. از ساختارهای اصلی و موجود در این پهنه، گسل مشاء و گسل شمال تهران است که پیشانی‌های گسلی فعالی را با بیشترین میزان پیچ‌وخم تشکیل می‌دهند و همچنین مخروط افکنه‌هایی را در مجاورت پیشانی کوهستانی نشان می‌دهد، Iat مقادیر بالا را نشان می‌دهد که نمایانگر زمین‌ساخت فعال آن است. پیشانی‌های گسلی مستقیم و زهکش‌های فروکاونده ژرف به‌خوبی پرتگاه‌های با ارتفاع زیاد را مشخص می‌نمایند. بازدیدهای صحرایی نشانگر وجود دره‌هایی تنگ و باریک و تراکم شکستگی‌ها و وجود گسل‌های کوچک معکوس در نزدیکی روستاهای لواسان کوچک و بزرگ، برگ جهان، نیکنام ده، چهارباغ و علائین که شاخه‌هایی از گسل‌های اصلی شمال تهران و مشاء می‌باشند را نشان می‌دهد که شاهدی بر فعال بودن ناحیه است. فعالیت‌های لرزه‌ای مکرر در این ناحیه و مرکز کانونی این زلزله‌ها بر روی گسل مشاء شاهدی بر وجود منطقه‌ای با فعالیت زمین‌ساختی بالا است[۳۰].

۲- زون با فعالیت زمین‌ساختی متوسط: اغلب در بالادست حوضه‌های زهکشی نسبت به پایین‌دست آن‌ها تحت تأثیر فرسایش فعال و بالاآمدگی سریع سنگ‌ها قرار دارند. واریزه‌های جوان و مخروط افکنه‌ها و وجود فعالیت آتشفشانی، مخروط آتشفشانی دماوند و نیز گسل‌های کواترنری که طبقات نا مقاوم نهشته‌های سازند آبرفتی هزار دره را جابه‌جا کرده‌اند، به‌طور کامل فعالیتی متوسط را نشان می‌دهند. وجود مقادیر مختلف شاخص‌ها در این زون به‌شدت تحت تأثیر



شکل ۸ – نقشه پراکندگی شاخص زمین‌ساختی نسبی (Iat) در حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی

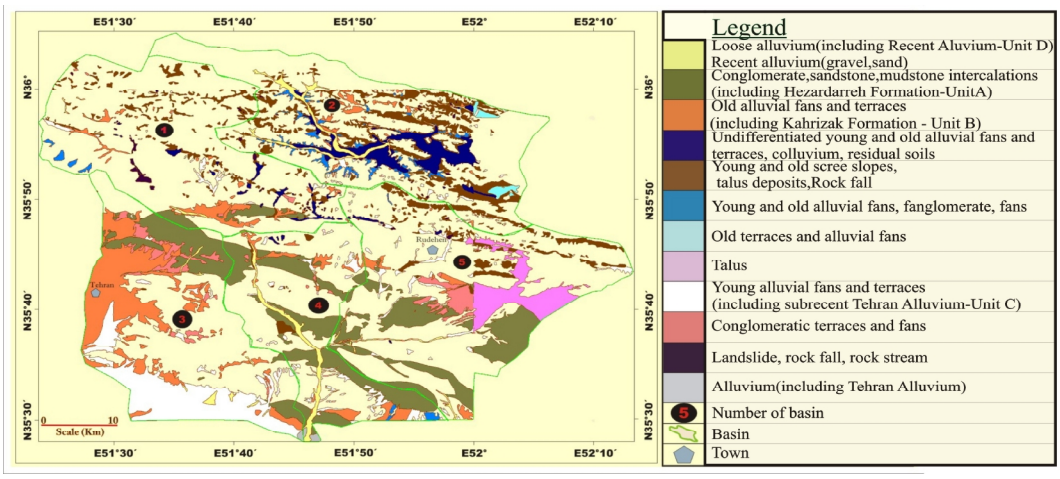
سنگ‌های آتشفشانی دماوند ازجمله تراکی‌آندزیت، آندزیت و طوف‌های ضخیم لایه قرارگرفته‌اند. همچنین حوضه جنوب باختر منطقه یک حوضه کامل ازلحاظ مورفومتری به‌حساب نمی‌آید؛ به دلیل آنکه تمام حوضه در دشت تهران واقع است و به دلیل ساخت‌وسازها و دست‌کاری‌های بشر آن را از حالت طبیعی خارج کرده است. میزان کج شدگی رودخانه‌ها در هر پهنه با مقدار فعالیت زمین‌ساختی نسبی و درنتیجه عملکرد گسل‌های آن بخش متناسب است. توصیف متوسط از سیماهای زمین‌ساختی ناحیه به‌خوبی با نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های زمین‌ساخت فعال نسبی منطبق است [۳۱].

شاهد دیگر برای مدل رده‌بندی زمین‌ساخت نسبی حوضه‌های جنوب شرقی البرز مرکزی، بردارهای عدم تقارن حوضه و جبهه‌های فعال کوهستانی و نیز مقادیر به‌دست‌آمده از رده‌بندی نسبی تکتونیک فعال (Iat) است و نیز جهت کج‌شدگی در بخش‌های مختلف حوضه‌ها است که اکثر حوضه‌ها به سمت باختر کج شده‌اند. به‌غیراز حوضه جنوب خاور ناحیه که به سمت خاور کج شدگی شدیدی را نشان می‌دهد. شاخه‌های حوضه جنوب باختر ناحیه به سمت N با توجه به شواهد ژئومورفیکی کج شدگی شدیدی را نشان می‌دهند و با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده به سمت W کج شده‌اند و درنهایت در پایانه رودخانه سرخه‌حصار وارد دشت تهران می‌شوند، میزان کج شدگی رودخانه‌ها در هر پهنه با مقدار فعالیت زمین‌ساختی نسبی و درنتیجه عملکرد گسل‌های آن بخش متناسب است. همچنین با توجه به شاخص هیپسومتری مشخص شد که فعالیت همه حوضه‌ها مقادیر حد وسطی را نشان می‌دهند، درعین‌حال حوضه‌هایی که به مخروط آتشفشانی دماوند نزدیک‌ترند ازلحاظ فعالیت تکتونیکی کمی بیش از حوضه‌هایی هستند که از آن به سمت باختر فاصله گرفته‌اند، این در حالی است که فعالیت حوضه‌های دو، سه و چهار به یکدیگر نزدیک‌اند. به دلیل نزدیکی به ولکانیسم‌های کوه آتشفشانی دماوند و به دلیل مجاورت با گسل‌های مشاء و شمال تهران و نیز مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص زمین‌ساخت نسبی (Iat)، محاسبه شاخص Vf نشان می‌دهد منطقه موردمطالعه ازلحاظ این شاخص بسیار فعال است. بیشتر دره‌ها در بالادست حوضه‌ها V شکل و در پایین‌دست U شکل می‌باشند و هر چه از سمت باختر به سمت خاور حرکت کنیم، بالاآمدگی زیاد و تکتونیک فعال می‌شود[۳۲].

در عرض‌های بالایی، حوضه‌ها دارای چین‌خوردگی نامتقارن همراه با گسلش‌اند که یال شمالی آن‌ها داری شیب کمتری نسبت به یال جنوبی آن‌ها است و در بعضی مواقع یال جنوبی آن‌ها برگشته‌اند. چین‌خوردگی‌ها میل دارند و شیب سطح محوری آن‌ها به سمت شمال است و هرچه از شمال به سمت جنوب حوضه پیش می‌رویم، چین‌خوردگی همراه با گسلش کمتر دیده می‌شود که نشان‌دهنده کاهش فعالیت نسبی تکتونیکی به سمت جنوب و افزایش فعالیت نسبی تکتونیکی در عرض‌های بالای منطقه است. وجود دامنه‌های واریزه‌ای جوان و قدیمی و نهشته‌های فروریخته و سنگریزه در عرض‌های بالا شاهدی برای آن است [۳۳].

۶- نتیجه‌گیری

مخاطرات زمین‌شناسی به‌منزله پدیده‌های طبیعی پیوسته در طول تاریخ باعث خرابی‌ها و از بین رفتن جان انسان‌های زیادی شده است. برنامه‌ریزی مناسب برای پیشگیری با کاهش آثار مخرب این پدیده‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و شناسایی و پیش‌بینی نحوه‌ی عمل و نوع تأثیرگذاری آن به مدیران کمک می‌کند تا با



شکل ۹ – **نقشه آبرفت‌ها، مخروط افکنه‌ها، زمین‌لغزش‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیم منطقه (اقتباس سازمان زمین‌شناسی کشور)**

نوشتن سناریوهای دقیق‌تری از روند بحران و نیز کنترل آن اقدام نمایند و درنتیجه سرعت عملکرد خود را در مهار بحران در حد زیادی بالا ببرند. لذا نتایج پیش‌بینی محدوده موردمطالعه در چهارچوب تحلیل خطر می‌تواند ابزار مناسبی در مدیریت خطر و کاهش خسارت احتمالی در این منطقه باشد.

در این مقاله سعی بر آن شد که از مدیریت بحران برای تدابیر اتخاذشده در ارتباط با حوادث زمین در شهر و حومه تهران بهره بگیریم. همچنین با بررسی پارامترهای فعال و تصویر رودخانه‌ها میزان بالای کج شدگی را به دلیل بالاآمدگی شدید نشان می‌دهند و همچنین ساختارهای فعال موجود در هر حوضه منطبق است. پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و محاسبه شاخص Iat در منطقه بررسی‌شده که بر اساس آن دو پهنه با ویژگی‌های متفاوت به لحاظ زمین‌ساخت نسبی شناسایی شد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌های زمین ریختی حوضه‌های یک و پنج دارای بیشترین فعالیت زمین ساختی است و در رده دو فعالیت بالای (Iat) قرار می‌گیرند و همچنین بر اساس شواهد صحرایی حوضه شمال باختر ناحیه که از ارتفاعات کوه‌های جنوبی البرز مرکزی از نوینی از گسل‌های ناحیه و روش‌های مختلف برای بررسی فعالیت گسل‌ها و حوضه‌های آبریز در ناحیه، به منظور مطالعات بعدی سازمان مدیریت بحران انجام شده است.

شاخص‌های زمین‌ریختی، روش مفیدی برای بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی فراهم می‌آورند.

مقایسه شاخص‌های عدم تقارن در حوضه‌های زهکشی ناحیه به‌طور آشکار با میزان و رده‌بندی فعالیت زمین‌ساختی نسبی همخوانی دارد و فعالیت بالای زمین‌ساخت نسبی با نواحی که ارتفاع 3313m از سطح دریا وارد بخش‌های مرکزی ناحیه می‌شود، دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی است. نقشه آبرفت‌ها، مخروط افکنه‌ها، زمین‌لغزش‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیم منطقه را در شکل ۹ نشان می‌دهد که رودخانه جاجرود به دلیل بالاآمدگی آبرفت‌های موجود در آن از بالادست حوضه در بستر سنگ کف رودخانه به سمت پایین‌دست، حرکت کرده است که این امر ناشی از بالابود تکتونیک فعال نسبی در عرض‌های بالای منطقه است. احتمال می‌رود روند حرکتی گسل‌های فعال و توان لرزه‌ای آن‌ها تأثیر مستقیمی روی حوضه‌های آبریز ناحیه داشته و به‌وسیله آن، حوضه‌ها کنترل

می‌شوند. همچنین فعالیت گسل‌های پیرامون ناحیه پردیس (شرق تهران) بر تکامل حوضه‌های آبریز اثرگذار بوده است؛ و حضور ساختارهای تکتونیکی فعال در این منطقه باعث بالا بردن سطح فعالیت نسبی تکتونیکی این منطقه شده است.

محتمل است که هندسه گسل‌ها و روند تنش‌های ناحیه مطالعاتی ارتباط مستقیم بالند فرم‌ها و ساختارهای تکتونیکی جوان ناحیه و همچنین شبکه حوضه‌های آبریز منطقه داشته باشد و به نظر می‌رسد ابعاد فرکتالی گسل‌های فعال و کانون‌های سطحی لرزه‌ای در گستره موردمطالعه یکسان نیست.

نتیجه اینکه ابعاد هندسه فرکتالی گسل‌های فعال و کانون‌های لرزه‌ای سطح‌بندی نسبی فعالیت تکتونیکی بر پایه شاخص‌های مورفوتکتونیک را، تائید می‌کند و نقشه‌های پهنه بندی آبرفت‌های منطقه نشان می‌دهد که بالاآمدگی در عرض‌های بالا رخ‌داده و رسوبات را در بستر سنگ کف رودخانه به سمت عرض‌های پائین حرکت داده است و این امر ناشی از بالابود تکتونیک فعال نسبی در عرض‌های بالای منطقه است[۳۴].

برخی از فعالیت‌های نسبی بالای تکتونیکی در عرض‌های بالای منطقه مربوط به ساختارها است. ازجمله جوان‌ترین مخروط‌افکنه همراه با بالاآمدگی در مجاورت پیشانی کوهستان در یک ناحیه و همچنین زمین‌لغزش‌های جدید در قسمتی از منطقه وجود دارد که همگی متأثر از گسل‌های رو رانده منطقه می‌باشند[۳۵]

وجود فعالیت‌های لرزه‌ای و نرخ بالای فعالیت-های تکتونیکی منطقه حاکی از آن است که منطقه در حال تجمع تنش‌ها و دارای توان لرزه-خیزی در آینده است. با توجه به‌سرعت متوسط لغزش گسل‌های ناحیه در سال‌های اخیر و همچنین با توجه به مطالعات پیشین و نتایج به‌دست‌آمده از ناحیه و داده‌های حاصل از محاسبه مقادیر پتانسیل حرکتی گسل، بخش خاوری ناحیه (حدفاصل گسل مشاء تا گسل نیاوران) بیشترین میزان احتمال لغزش در آینده را دارا است. بخش جنوبی گسل نیاوران با بیشترین میزان پتانسیل حرکتی گسل همراه است و ساختارهای تکتونیکی نواحی آن به‌عنوان جوان‌ترین فعالیت‌های نئوتکتونیکی در ناحیه معرفی می‌شود [۳۶]

۷- پیشنهادها

با توجه به اینکه منطقه موردمطالعه در آینده محل سکونت تعداد زیادی از مردم خواهد بود، به‌منظور کاهش خسارات احتمالی، باید مستلزم توجه بیشتر مدیران و کارشناسان واقع‌شده تا با ارائه تصمیم و راهکار مناسب از اثرات مخرب احتمالی، بکاهند. مسئولین برای کاهش خسارت‌ها در پروژه‌های عمرانی و اتفاقاتی نظیر زمین‌لرزه‌ها، فرونشست زمین، زمین‌لغزش‌ها، حرکات دامنه ای، سیلاب‌ها و ... نیازمند به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ژئوتکنیکی دقیق می‌باشند. این نقشه‌ها با فراهم کردن اطلاعات تفصیلی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی بستر، علاوه بر اینکه نوعی پیش‌آگاهی در خصوص شرایط پهنه‌های مختلف منطقه ارائه خواهد کرد، می‌تواند دورنمایی از نقاط مستعد برای اجرای پروژه‌های عمرانی خاص نیز به‌دست‌آمده دهد. درواقع، می‌توان به کمک این نقشه‌ها، شرایط انواع ساخت‌وسازهای شهری در نقاط مختلف را بررسی و با توجه به شرایط لایه‌های خاک، بهترین شکل توسعه شهری را در پیش گرفت. در فاز مطالعات اولیه از طراحی یک پروژه عمرانی، اطلاعات دقیقی از جنس و مقاومت خاک، شیب، توپوگرافی، سطح آب زیرزمینی، محل احداث و ... موردنیاز است و بهره گیری از سیستم اطلاعات مکانی در جمع آوری این اطلاعات و نهایتاً، تهیه

نقشه های پهنه بندی پارامترهـای مقـاومتی بـرای استفاده هم زمان از داده های مختلف باعث کاهش هزینه انجام مطالعات می شـود. لـذا بـا توجـه بـه اینکه منطقه موردمطالعه در آینده محل سـکونت تعداد زیادی از مردم خواهد بود، به‌منظور کـاهش خسـارات احتمـالی، بایـد مسـتلزم توجـه بیشـتر مدیران و کارشناسان واقع‌شده تا با ارائه تصمیم و راهکار مناسب از اثرات مخرب احتمالی بکاهند.

۸- قدردانی

نویسـندگان مقالـه از سـازمان زمـین‌شناسـی و اکتشـافات معـدنی کشـور بـرای کمـک در تهیـه داده‌ها کمال تشکر را دارند.

۹- منابع

1. Stöcklin, J. 1974- Northern Iran: Alborz Mountains. In: Spencer, A. (Ed.) Mesozoic – Cenozoic Orogenic Belts: Data for Orogenic Studies. Geological Society Special Publication, London 4, pp. 213-234.1

2. Berberian, M. Yeatz, R. s. 2001- Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian PIateau. Journal of Structural Geology 23, 563

3.R. El Hamdouni, C. Irigaray, T. Fernandez, J. Chacon, E.A. Keller. 2007 – Assessment of reIative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Received 24 January

4. Azor,A. Keller, E.A. Yeats, R. S. 2002- Geomorphic indicators of avtivw fold growth: South Mountain- Oak Ridge Ventura basin, southern California. Geological Society of America Bulletin 114, 745-753.sed form 31 July 2007; accepted 1 August 2007, Available online 15 August 20References

5.Keller, E.A. Yeats, R. S. 2002- Geomorphic indicators of avtivw fold growth: South Mountain- Oak Ridge Ventura basin, southern California. Geological Society of America Bulletin 114, 745-753.sed form 31 July 2007; accepted 1 August 2007, Available online 15 August 20References

6. Silva, P.G. Goy, J. L. Zazo, C. Bardajm, T. 2003-Fault generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. Geomorphologhy 250, 203-226.

7. R. K.havari, M. Ghorashi, M. Arian, Kh. Khosrotehrani. 2008. Geomorphi signatures of Active Tectonics in the Karaj drainage Basin in south central Alborz, N Iran. Scientific Quarterly Journal Geo sciences vol. 19, No. 75, spring 2010. Pages 67 to 74.

۸. سربازی، زهـرا، ثروتـی، محمدرضـا، مقصـودی، مهـران، سبک خیز، فاطمه (۱۳۹۵) تحول فعالیت‌هـای تکتـونیکی در حوضه‌های حبله رود و جاجرود با استفاده از روش‌هـای مورفومتری

۹. شیرمحمدی، مهیا، علوی، سید علی، قاسمی، محمدرضا، احتشامی، محسن (۱۳۹۵) تحلیل سـاختاری و جنبشـی گستره بین گسـل مشـاء و گسـل شـمال تهـران فصـلنامه پژوهش‌های دانش زمین شماره ۶۲

10.Asiabar, S. H, and Bagheriyan, S, (2017)- Exhumation of the Deylaman fault trend and its effects on the deformation style of the western.8 Alborz belt in Iran. International Journal of Earth Sciences, pp 1-13.

۱۱. اسـکندری، محمـد، امیـدوار، بابـک، مـدیری، مهـدی، نکویی، محمدعلی، آل شـیخ، علـی‌اصـغر (۱۳۹۷) ارزیـابی مدل تهیه نقشه‌ی خطر لرزه‌ای در سیستم اطلاعات مکانی با در نظر گرفتن عدم قطعیت و فصـلنامه علمـی پژوهشـی مدیریت بحران شماره چهاردهم پاییز و زمستان

۱۲. مفیـدی، الهـام، معینـی، ابوالفضـل، پـذیرا، ابـراهیم، احمدی، حسن (۱۴۰۱) رابطه بعدهای فرکتـالی آبراهـه بـا خصوصیات مورفومتری حوضـه، فصـلنامه حفاظـت منـابع آب‌وخاک ۱۴۰۱ دوره ۱۱ شماره ۳ ۱۰ و فصـلنامه علمـی پژوهشی مدیریت بحران شماره چهاردهم

13. Zarnani, S, (2013)- Earthquake load attenuation using EPS geofoam buffers in rigid wall applications. Indian Geotechnical Journal; 43(4),pp 283-291.

۱۴. آرا، هایده، شایانی، سـیاوش، یمـانی مجتبـی (۱۳۹۱) ارزیابی دقـت و صـحت شـاخص‌هـای ژئومورفولـوژیکی بـا استفاده از داده‌های ژئودینامیکی در حوضه آبریـز جـاجرود در شمال شرق تهران مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطـی ۱۳۹۱، دوره: ۲۳، شماره: ۲ ۱۲

۱۵. محمدی، ابوطالب وی‌مانی، مجتبی و مقیمی، ابـراهیم و گورابی، ابوالقاسـم و زمـان زاده، سـید محمـد، (۱۳۹۹)، بازسازی تغییرات شبکه هیدرو گرافی پیرامـون دماونـد بـر اسـاس داده‌هـای مورفـومتری و رسـوب‌شناسـی، مقـالات فصلنامه پژوهش دانش زمین، دانشگاه شهید بهشـتی دوره ۱۱ شماره ۲۱۳

۱۶. پیروانی، مریم، سدیدی خوی، احمد، (۱۴۰۱)، مریم و سدید خوی، احمد، پیش‌بینی جنبش‌های نیرومنـد زمـین برای سناریو محتمـل زمـین‌لـرزه تهـران، مطالعـه مـوردی گسل‌های شرق تهران بیستمین اجلاس ژئوفیزیـک ۱۴۰۱، پیش‌بینی جنبش‌های نیرومند زمین برای سناریو محتمـل زمین‌لرزه تهران: موردمطالعه گسل شمال تهران، بیستمین اجلاس ژئوفیزیک ۱۴

۱۷. فدوی، پریسـا و ایـزدی، رؤیـا،۱۳۹۷، کـاربرد هندسـه

فرکتال در تشخیص خطواره‌های گسلی-لرزه‌زای پنهان و رو راندگی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی (مطالعه موردی محدوده گسل مشاء فشم)، دومین اجلاس آموزش و کاربرد ریاضیات

.۱۸. شیرمحمدی، مهیا، علوی، سید علی، قاسمی، محمدرضا، احتشامی، محسن (۱۳۹۵) تحلیل ساختاری و جنبشی گستره بین گسل مشاء و گسل شمال تهران فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین شماره ۶۲

19. Alavi, M. 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain دستگاه in northern Iran. Journal of Geodynamics, V.21, 1-33.

20. El Hamdouni, C. Irigaray, T. Fernandez, J. Chacon, E.A. Keller. 2007 – Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Received 24 january2007; received in revised form 31 July 2007; accepted 1 August 2007, Available online 15 August 2007.

۲۱. مرتازی، حسین، پورکرمانی، محسن، الماسیان، محمود، بوذری، سهیلا، (۱۴۰۱)، ارزیابی پتانسیل حرکت گسل‌های جنبای ناحیه پردیس، فصلنامه کواترنری، صص ۲۶۱,۲۴-۲۴۷.

۲۲. یاوری، علی، ده بزرگی، م، نوزعیم، رضا، حکیمی آسیا بر، س، رابطی، دنیا، (۱۴۰۰)، بیست یکمین انجمن زمین‌شناسی ایران شماره

۲۳. گلستانی، علی (۱۴۰۱)، نقش توپوگرافی بر الگوی و مورفولوژی رودخانه جاجرود، نهمین همایش انجمن ایرانی ژئومورفولوژی

۲۴. محمدی، ابوطالب و یمانی، مجتبی و مقیمی، ابراهیم و گورابی، ابوالقاسم و زمان زاده، سید محمد، (۱۳۹۹)بازسازی تغییرات شبکه هیدرو گرافی پیرامون دماوند بر اساس داده‌های مورفومتری و رسوب‌شناسی، مقالات فصلنامه پژوهش دانش زمین، دانشگاه شهید بهشتی دوره ۱۱ شماره ۲ ۱۳

25.Asiabar, S. H, and Bagheriyan, S, (2017)- Exhumation of the Deylaman fault trend and its effects on the deformation style of the western Alborz belt in Iran. International Journal of Earth Sciences, pp 1-13.

26.Bathurst, R. J, and Zarnani, S, (2013)- Earthquake load attenuation using EPS geofoam buffers in rigid wall applications. Indian Geotechnical Journal; 43(4),pp 283-291. Mehra،

.27. Ehteshami Moinabadi, M. Yassaghi, A. 2007 – Gemometry and kinematics of the Mosha fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting. J. Asian Earth science, Article in press.

28.Guest, B. Axen, G.J. Lam,P.S. Hassanzadeh,J. 2006- Iate Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountain, northern Iran, by combined conjugate strike slop and thin-skinned deformation, Geosphere, V.2, No.1, 35-52

.29. Nazari H. Ritz J-f. Salmani r. Solaymani S. Balescu S. Michelot J-L. Ghassemi A. Talebian M. Lamothe M. and Massault M. 2007 – Paleoseismological analysis in Central Alborz, Iran. 50th Anniversary earthquake conference commemorating the 1957 Gobi-Altay earthquake (July – August 2007- Ulaanbaatar-Mongoli(

30. R. Khavari, M. Ghorashi, M. Arian, Kh. Khosrotehrani. 2008. Geomorphi signatures of Active Tectonics in the Karaj drainage Basin in south central Alborz, N Iran. Scientific Quarterly Journal Geo sciences vol. 19, No. 75, spring 2010. Pages 67 to 74.

31.Ritz, J.F. Balescu, S. Soleymani, S. Abbassi, M. Nazari, H. Feghhi, K. Shabanian, E. Tabassi, H. Farbod, Y. Lamothe, M. Michelot, J.L.

32.Ghanavati A, Safakish F, and Maghsoudi Y (2017) Assessment of active tectonic in the sub-basins of jarrahi-Zohre based on morphotectonic analysis and its effects on the oil fields of the
study basin, Researchers of Natural Geography, Volume 49, No. 2, pp. 240 221

33.Ritz, J.F. Nazari,H. Ghassemi,A. Salamani,R. Shafei,A. Solaymani,S. Vernant,P. Active transtention inside Central Alborz: A new insight into the Northern Iran-Southern Caspian geodynamics, Geology, 34 (6), 477-480, 2006.

34.R. El Hamdouni, C. Irigaray, T. Fernandez, J. Chacon, E.A. Keller. 2007 – Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Received 24 January 2007; received in revised form 31 July 2007; accepted 1 August 2007, Available online 15 August 2007.

35.R. Khavari, M. Ghorashi, M. Arian, Kh. Khosrotehrani. 2008. Geomorphi signatures of Active Tectonics in the Karaj drainage Basin in south central Alborz, N Iran. Scientific Quarterly Journal Geo sciences vol. 19, No. 75, spring 2010. Pages 67 to 74.

۳۶. مرتازی، حسین، پورکرمانی، محسن، الماسیان، محمود، بوذری، سهیلا، (۱۴۰۱)، ارزیابی پتانسیل حرکت گسل‌های جنبای ناحیه پردیس، فصلنامه کواترنری، صفحات ۲۴۷-۲۶۱.