

کاربرد GIS و شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی در پهنه‌بندی زمین- ساخت جنبا منطقه شمال نیشابور، شمال شرق ایران

هادی علی نیا^{۱*}، علی اصغر مریدی فریمانی^۲، نصیر نادری میقان^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش تکتونیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲-عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳-سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شرق کشور

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۶/۱۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳

چکیده

با توجه به اینکه کشور ایران بر روی کمربند زلزله خیز آلپ-همیالیا قرار دارد و هر چند یک بار شاهد زلزله‌های مخرب و ویرانگری در آن می‌باشیم، بررسی وضعیت زمین‌ساخت جنبا و ارزیابی تهدیدات، خسارات و بروز این فعالیت‌ها در شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است. گستره مورد مطالعه در شمال شهر نیشابور و ارتفاعات جنوبی بینالود (1117 Km^2) قرار دارد. در این پژوهش با استفاده از هفت شاخص ریخت‌سنجی کمی از قبیل شاخص نسبت شکل حوضه (BS)، انتگرال فراز سنجی (Hi)، نامتقارن بودن حوضه آبریز (AF)، شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان (Smf)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص سینوسیته رودخانه (S)، شاخص طول به گرادیان رود (SL) در زیر حوضه‌های این منطقه، مطالعات دقیقی انجام گرفته است. نتایج این مطالعات بصورت لایه‌های اطلاعاتی مختلف با یکدیگر تلفیق گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS، Spss، Minitab و بررسی‌های صحرایی نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساخت جنبا منطقه بصورت کمی ترسیم و به ۴ رده (بسیارفعال، فعال، نیمه فعال و غیرفعال) تفکیک گردید. براساس نقشه مذکور بخش جنوبی گستره مورد مطالعه با وسعت $538/441$ کیلومتر مربع معادل $36/32$ درصد از گستره مورد مطالعه دارای زمین‌ساخت بسیار فعال می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی ترسیم شده، افزایش میزان فعالیت زمین‌ساختی را از شمال به سمت جنوب تا جنوب باختر، دامنه جنوبی بینالود نشان می‌دهد. نکته حائز اهمیت انطباق این مناطق با گسل‌های فشاری شمال نیشابور، نیشابور و زلزله‌های متعدد تاریخی و دستگامی ناشی از فعالیت این گسل‌های فعال و جنبا است و این دلیل بر صحت مطالعات این پژوهش می‌باشد. امید که این قبیل مطالعات پژوهشی بنیادی در مناطق مختلف انجام و مورد استفاده مسئولین در امر برنامه‌ریزی شهری و ساخت سازه‌های سنگین قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی، پهنه‌بندی، زمین‌ساخت جنبا، نیشابور

مقدمه

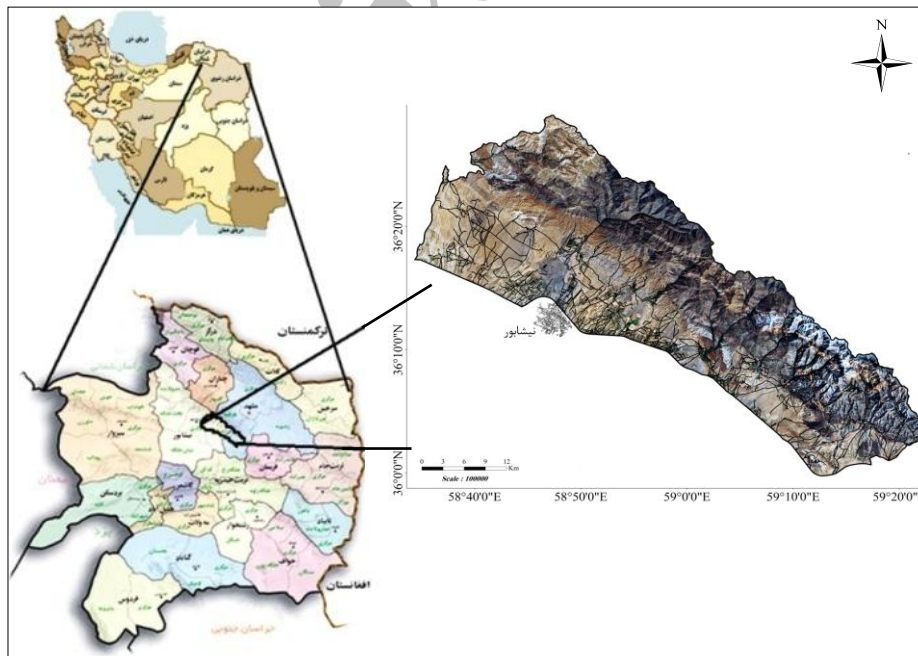
منطقه مورد مطالعه، در شمال شهر نیشابور واقع در شمال‌خاوری ایران جای دارد. این منطقه حاشیه جنوبی ارتفاعات بینالود را در بر می‌گیرد که در طول شرقی $37^{\circ}34'58''$ تا $30^{\circ}22'59''$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ}58'51''$ تا $36^{\circ}29'17''$ واقع شده است. شکل ۱ موقعیت گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این واحد از باختر به ارتفاعات البرز و از خاور به ارتفاعات شمال افغانستان منتهی می‌شود (نبوی، ۱۳۵۵).

مطالعه اشکال و چشم اندازهای قابل اندازه‌گیری که توسط حرکات تکتونیکی ایجاد شده، موضوع علم ریخت زمین‌ساختی است (بوربنک و آندرسون، ۲۰۰۱). از آنجا که قضاوت راجع به ویژگی‌های دیرینه لرزه‌ای در هر ناحیه به تنهایی نمی‌تواند براساس پیشینه لرزه‌نگاری دستگاهی و یا شواهد تاریخی باشد، بنابراین مطالعه چشم اندازها و لندفرم‌های سطحی دارای اهمیت خاصی

است، چرا که گاهی در نبود پیشینه لرزه‌ای دستگاهی و تاریخی، آن ناحیه می‌تواند دارای پتانسیل بروز زمین‌لرزه باشد.

در این پژوهش به منظور ارزیابی درجه نسبی فعالیت زمین‌ساختی گستره مورد مطالعه، نتایج حاصل از بررسی چند شاخص ریخت‌شناسی را با یکدیگر تلفیق نموده تا نقشه پهنه‌بندی از نظر فعالیت زمین‌ساختی، ترسیم گردد. از جمله شاخص‌هایی که در مطالعات زمین‌ساخت جنبی مفید بوده و در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است عبارتند از:

شاخص نسبت شکل حوضه (BS)، انتگرال فراز-سنجی (Hi)، نامتقارن بودن حوضه آبریز (AF)، شاخص سینوسیتهی پیشانی کوهستان (Smf)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص سینوسیتهی رودخانه (S)، شاخص طول به گرادیان رود (SL).

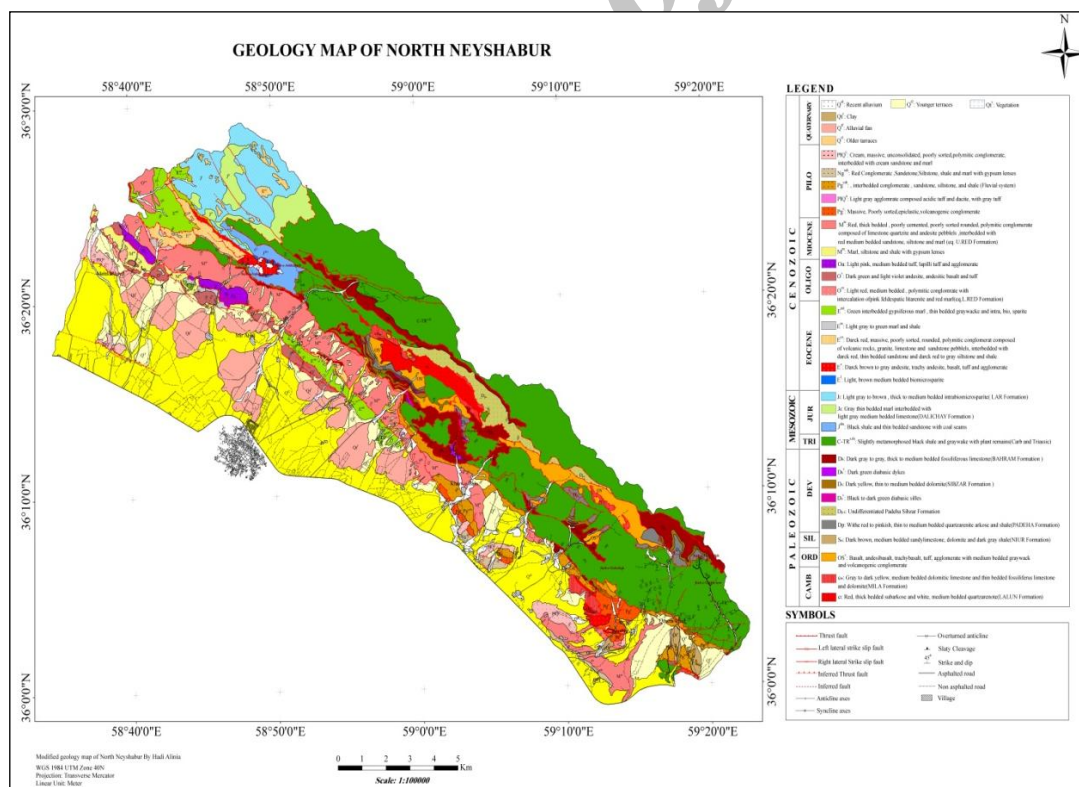


شکل ۱: موقعیت گستره مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی

گستره مورد مطالعه از نظر چینه‌شناسی، نهشته‌های هر سه مقطع زمانی پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک را در بر می‌گیرد. عمده‌ترین گسل‌های منطقه شامل گسل‌های رورانده و گسل‌های راستا-لغز می‌باشند. گسل‌های رورانده دارای روند عمومی شمال باختری- جنوب خاوری و موازی محور اصلی چین خوردگی‌های منطقه می‌باشد که سن آنها از شمال به سمت جنوب جوانتر می‌شود. بردار فشارش در تمامی آن‌ها از شمال- شمال‌خاور تا جنوب- جنوب باختر می‌باشد. انواع گسل‌های راستالغز در منطقه احتمالاً ابتدا بصورت یک درزه عمود بر جبهه تراست‌ها (روراندگی‌ها) و در رابطه با حرکت آن‌ها تشکیل شده‌اند. ادامه حرکت ورقه‌های رورانده سبب جابجائی مورب لغز در طول آن‌ها شده است (قائمی و حسینی، ۱۳۷۸) (شکل ۲).

از این شاخص‌ها در بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه سیرانودا در جنوب اسپانیا استفاده شده است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). در ایران بررسی ریخت زمین‌ساختی مناطق مختلف به وسیله خیام و مختاری (۱۳۸۲)، فرهودی (۱۳۸۸) و نیز بررسی شاخص‌های تکتونیک فعال توسط گورابی (۱۳۸۶) و سیف و خسروی (۱۳۸۹) انجام گرفته است. همچنین می‌توان به مطالعه تکتونیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیک (شفیعی و همکاران، ۱۳۸۸) که قسمت‌های از گستره مورد مطالعه را پوشش می‌دهد اشاره نمود.

زمین شناسی عمومی منطقه



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ نیشابور (قائمی و حسینی، ۱۳۷۸) و طرقلی (پورلطیفی، ۱۳۸۰)

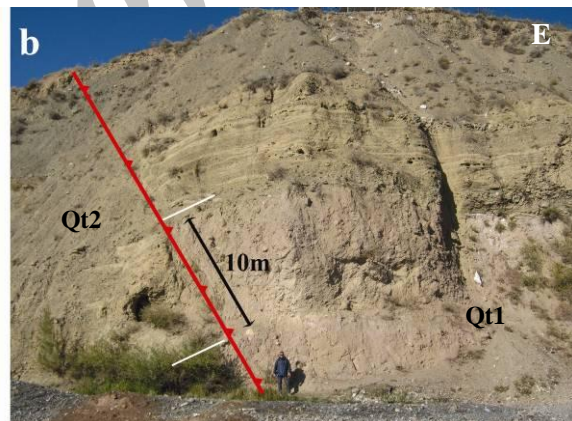
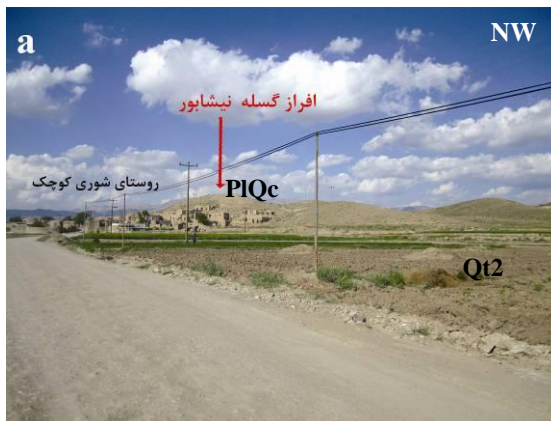
سوی شمال‌خاور بوده. اثر و موقعیت این گسل را می‌توان از روی افزایش گسل که به خوبی در روی زمین، نزدیک آبادی‌های سیدآباد، شوری (خاور کارخانه قند نیشابور) و تقی‌آباد (شمال و شمال-غربی کارخانه قند) دیده می‌شود مشاهده نمود (علی‌نیا، ۱۳۹۱) (شکل ۳a).

گسل راندگی شمال نیشابور: گسل فشاری شمال نیشابور، گسلی است با راستای شمال-باختری- جنوب‌خاوری و درازای حدود ۸۲ کیلومتر که از ۸ کیلومتری شمال‌شرقی شهر-نیشابور می‌گذرد. شیب گسل فشاری شمال-نیشابور به سوی شمال‌خاوری است. بهترین نشانه‌های تکاپوی این گسل بر دیواره غربی-رودخانه میرآباد دیده می‌شود (هالینگورس و همکاران، ۲۰۱۰) (شکل ۳b).

براساس اطلاعات ارائه شده بروی نقشه زمین-شناسی اصلی‌ترین گسل‌های موجود درگستره مورد مطالعه عبارتند از:

گسل راندگی بینالود: گسل بنیادی و فشاری بینالود با راستای خمدار شمال‌باختری- جنوب-خاوری و درازای حدود ۱۰۰ کیلومتر در پای دامنه جنوب‌غربی رشته‌کوه بینالود قرار دارد و از ۱۵ کیلومتری شرق شهر نیشابور می‌گذرد. ساز-وکار این گسل، راندگی و شیب سطح گسل بین ۴۰ تا ۶۰ درجه متغیر و به سوی شمال‌خاوری است (قائمی، ۱۳۷۱).

گسل راندگی نیشابور: گسل فشاری نیشابور با راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری و درازای ۵۰ کیلومتر از ۳ کیلومتری شمال باختری شهر نیشابور می‌گذرد. این گسل دارای شیبی کم به



شکل ۳a: نمایی دور از افزایش گسل نیشابور در نزدیکی روستای شوری کوچک. دید به سمت شمال-باختر.

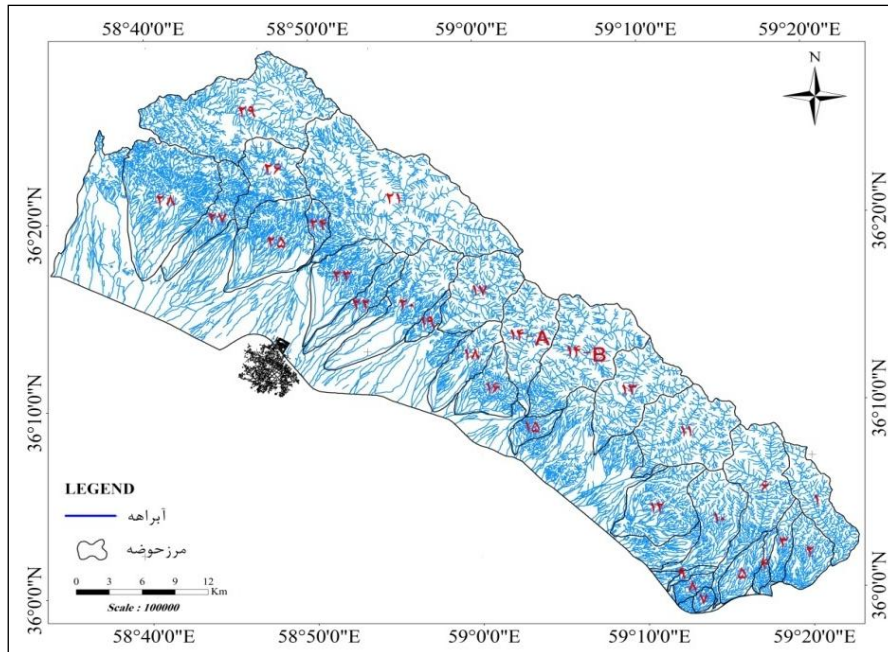
شکل ۳b: نمایی نزدیک از جابجایی گسل شمال نیشابور در رسوبات آبرفتی دیواره غربی رودخانه میرآباد.

نیاز از نقشه‌های ذکر شده در نرم‌افزار Arc GIS ساخته شده، سپس با توجه به رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی، ۳۰ حوضه قابل تفکیک در گستره مورد مطالعه استخراج و شاخص‌های ریخت‌سنجی برای هر یک از حوضه‌های تفکیک شده بطور دقیق محاسبه گردید (شکل ۴). در -

مواد و روش‌ها

برای محاسبه شاخص‌های ریخت‌سنجی در این پژوهش از ۱۹ نقشه توپوگرافی بامقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و همچنین دو نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ورقه‌های نیشابور (قائمی و حسینی، ۱۳۷۸) و طبقه (پورلطیفی، ۱۳۸۰) و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. کلیه لایه‌های اطلاعاتی مورد

نهایت با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS، Spss، Minitab و بررسی های صحرائی، نقشه پهنه بندی زمین ساخت جنبا ترسیم گردید.



شکل ۴: نقشه آبراهه های منطقه مورد مطالعه همراه با حوضه های تفکیک شده بروی آن

BS یعنی بیشتر از ۴ مشخص می شوند، از نظر زمین ساختی فعال هستند. رده ۲، زمانی که BS بین ۳ تا ۴ باشد، حوضه ها از نظر فعالیت زمین ساختی نیمه فعال می باشند و رده ۳، مقادیر کمتر از ۳، حوضه های غیر فعال را نشان می دهند (همدون و همکاران، ۲۰۰۸).

بر اساس مقادیر محاسبه شده شاخص نسبت شکل حوضه، ۷/۶۱ درصد حوضه ها دارای زمین ساخت فعال بوده و کشیدگی را نشان می دهند. ۱۶/۰۷ درصد از حوضه ها زمین ساخت نیمه فعال و ۷۶/۳۲ درصد زمین ساخت غیر فعال را از خود نشان می دهند.

بحث

بررسی شاخص های ریخت زمین ساختی

۱- شاخص نسبت شکل حوضه (BS)

این شاخص به صورت $BS=B/L$ محاسبه می شود که در آن B طول حوضه و L بزرگ ترین عرض حوضه است (بول و مک فادن، ۱۹۷۷). مقادیر بالای این شاخص بیانگر حوضه های کشیده است و معمولاً زمین ساخت فعال تری را در قیاس با حوضه های گرد نشان می دهد. این شاخص بر اساس حوضه های تفکیک شده در گستره مورد مطالعه بررسی گردیده است (جدول ۱).

این شاخص به ۳ رده از لحاظ زمین ساختی رده بندی گردید. رده ۱، حوضه هایی که با مقادیر زیاد

جدول ۱: نتایج حاصل از شاخص نسبت شکل حوضه‌ها (بر حسب کیلومتر)

حوضه	طول حوضه	بزرگترین عرض حوضه	شاخص نسبت شکل حوضه	رده	حوضه	طول حوضه	بزرگترین عرض حوضه	شاخص نسبت شکل حوضه	رده
۱	۱۴/۵۹	۳/۹۰۱	۳/۷۳۹	۲	۱۵	۶/۸۰۴	۲/۵۴۶	۲/۶۷۲	۳
۲	۷/۱۶	۳/۷۹	۲/۰۰۵	۳	۱۶	۵/۷۸۴	۷/۱۵۱	۰/۸۰۸	۳
۳	۸/۶۷۲	۱/۸۲۳	۴/۷۵۵	۱	۱۷	۱۰/۹۰	۵/۹۵۸	۱/۸۳۰	۳
۴	۷/۰۶۹	۱/۵۱	۴/۶۷۹	۱	۱۸	۱۱/۰۰	۳/۳۳۴	۳/۲۹۹	۲
۵	۸/۲۳۵	۳/۰۸۶	۲/۶۶۸	۳	۱۹	۶/۷۶۶	۱/۷۸	۳/۸۰۰	۲
۶	۲۰/۵۱	۵/۹۷	۳/۴۳۶	۲	۲۰	۱۸/۰۴	۴/۸۶۸	۳/۷۰۵	۲
۷	۲/۸۵۶	۲/۰۰۶	۱/۴۲۳	۳	۲۱	۱۶/۶۰	۲۲/۷۶	۰/۷۲۹	۳
۸	۵/۲۲۰	۱/۸۴۳	۲/۸۳۲	۳	۲۲	۱۳/۱۲	۵/۰۶۹	۲/۵۸۹	۳
۹	۵/۴۲۴	۱/۰۵۳	۵/۱۴۹	۱	۲۳	۱۴/۰۰	۲/۱۴۳	۶/۵۳۴	۱
۱۰	۱۴/۲۱	۵/۳۲۹	۲/۶۶۷	۳	۲۴	۸/۰۹۹	۲/۲۴۴	۳/۶۰۸	۲
۱۱	۱۳/۲۶	۹/۰۱۴	۱/۴۷۱	۳	۲۵	۱۲/۴۶	۶/۸۵۱	۱/۸۱۹	۳
۱۲	۱۰/۶۹	۶/۳۶	۱/۶۸۰	۳	۲۶	۱۰/۳۵	۶/۸۵۷	۱/۵۱۰	۳
۱۳	۱۴/۳۱	۷/۱۶۷	۱/۹۹۶	۳	۲۷	۱۳/۵۶	۳/۰۱۴	۴/۴۹۸	۱
۱۴A	۱۳/۷۹	۵/۱۵۱	۲/۶۷۸	۳	۲۸	۱۳/۷۴	۹/۰۸۵	۱/۵۱۲	۳
۱۴B	۱۴/۷۵	۸/۹۲۱	۱/۶۵۴	۳	۲۹	۲۰/۰۳	۹/۱۵۳	۲/۱۸۹	۳

۲-انتگرال ارتفاع سنجی (Hi)

منحنی ارتفاع‌سنجی از پیاده کردن نسبت کل ارتفاع حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت کل مساحت حوضه (مساحت نسبی) به وجود می‌آید. یک روش ساده برای مشخص کردن شکل منحنی ارتفاع سنجی برای یک حوضه زهکشی خاص، محاسبه انتگرال ارتفاع‌سنجی است. انتگرال به صورت مساحت زیر منحنی یاد شده می‌باشد و یک روش محاسبه آن به صورت رابطه ۱ است (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

رابطه ۱) ارتفاع حداقل - ارتفاع حداکثر / ارتفاع حداقل - ارتفاع میانگین = انتگرال ارتفاع‌سنجی این شاخص به ۳ رده از لحاظ زمین‌ساختی رده‌بندی گردید. رده ۱، حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد Hi یعنی بیشتر از ۰/۵۷ مشخص می‌شوند، از نظر زمین‌ساختی فعال هستند. رده ۲، زمانی که Hi بین ۰/۵۷ تا ۰/۴۷ باشد، حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی نیمه فعال می‌باشند و رده ۳، مقادیر کمتر از ۰/۴۷، حوضه‌های غیرفعال را نشان می‌دهند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). این شاخص

براساس حوضه‌های تفکیک شده در گستره مورد مطالعه بررسی گردید که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

براساس مقادیر محاسبه شده شاخص انتگرال ارتفاع‌سنجی، ۰/۳ درصد حوضه‌ها دارای مناطق مرتفع با زمین‌ساخت فعال می‌باشند. ۵۳/۹۰ درصد از حوضه‌ها زمین‌ساخت نیمه فعال بوده و ۴۵/۸ درصد زمین‌ساخت غیر فعال را از خود نشان می‌دهند.

۳-عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

هندس شبکه‌های زهکشی می‌تواند هم بصورت کمی و هم بصورت کیفی توصیف گردد. شبکه زهکشی در مناطق فعال زمین‌ساختی غالباً دارای الگو و هندسه‌ی واضحی است. عامل عدم تقارن^۱ برای نمایان ساختن کج‌شدگی تکتونیکی در مقیاس حوضه زهکشی با مساحت‌های بزرگتر، به صورت رابطه ۲ تعریف شده است (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

1 - Asymmetry Factor

جدول ۲: نتایج حاصل از شاخص انتگرال ارتفاع سنجی (Hi) در گستره مورد مطالعه (بر حسب متر)

حوضه	ارتفاع حداقل	ارتفاع میانگین	ارتفاع حداکثر	انتگرال ارتفاع سنجی	رده	حوضه	ارتفاع حداقل	ارتفاع میانگین	ارتفاع حداکثر	انتگرال ارتفاع سنجی	رده
۱	۱۶۱۳/۳۶	۲۰۵۶/۷۳۳	۲۶۳۹/۹۳۹	۰/۴۳۱۸	۳	۱۵	۱۳۱۶/۳۲	۱۴۷۴/۱۱۴	۱۷۳۶/۰۹۹	۰/۳۷۵۸	۳
۲	۱۵۰۷/۵۵	۱۷۰۶/۸۴۱	۲۱۸۴/۸۰۹	۰/۲۹۴۲	۳	۱۶	۱۲۸۹/۴۶	۱۵۹۴/۴۰۶	۲۵۵۶/۴۰۳	۰/۲۴۰۶	۳
۳	۱۵۰۴/۸۳	۱۷۵۸/۶۴۷	۲۳۷۶/۰۴۷	۰/۲۹۱۳	۳	۱۷	۱۵۴۹/۸۴	۲۴۶۲/۶۳۲	۳۲۷۸/۸۸۴	۰/۵۲۷۹	۲
۴	۱۴۵۴/۰۱	۱۵۸۴/۱۳۲	۱۸۷۵/۴۰۴	۰/۳۰۸۷	۳	۱۸	۱۲۶۰/۶۸	۱۷۰۴/۴۶۴	۲۹۳۹/۴۴۶	۰/۲۶۴۳	۳
۵	۱۳۸۴/۳۵	۱۵۴۲/۱۳۶	۱۷۲۵/۷۳۲	۰/۴۶۲۱	۳	۱۹	۱۳۹۷/۷۳	۱۶۳۶/۳۷۶	۲۵۶۶/۵۲۷	۰/۲۰۴۱	۳
۶	۱۳۷۹/۲۳	۲۰۹۳/۰۴۲	۲۸۶۰/۰۰۵	۰/۴۸۲۰	۲	۲۰	۱۲۲۷/۴۶	۱۸۲۵/۲۵۴	۳۰۷۶/۵۲۳	۰/۳۲۳۲	۳
۷	۱۳۳۴/۶۴	۱۳۸۵/۴۹۰	۱۴۷۷/۲۰۵	۰/۳۵۶۶	۳	۲۱	۱۳۹۹/۳۸	۲۳۶۰/۰۸۳	۳۲۵۸/۴۵۹	۰/۵۱۶۷	۲
۸	۱۳۱۹/۱۸	۱۴۱۴/۶۳۰	۱۵۲۲/۲۸۲	۰/۴۶۹۹	۳	۲۲	۱۲۳۰/۳۵	۱۵۵۵/۵۰۲	۲۶۳۵/۱۳۵	۰/۲۳۱۴	۳
۹	۱۳۶۰/۰۸	۱۴۷۲/۱۶۵	۱۵۳۹/۸۴۵	۰/۶۲۳۵	۱	۲۳	۱۲۲۳/۸۷	۱۵۵۲/۷۰۲	۲۷۶۱/۵۴۳	۰/۲۱۳۸	۳
۱۰	۱۳۴۸/۴۹	۱۸۵۹/۸۵۸	۲۵۸۴/۲۱۶	۰/۴۱۳۸	۳	۲۴	۱۳۵۷/۶۹	۱۷۰۴/۳۸۰	۲۲۸۴/۵۹۱	۰/۳۷۴۰	۳
۱۱	۱۴۶۴/۲۸	۲۲۲۵/۲۰۱	۲۹۲۸/۴۸۷	۰/۵۱۹۶	۲	۲۵	۱۲۲۵/۹۶	۱۴۷۶/۴۸۲	۲۴۲۴/۳۶۶	۰/۲۰۹۰	۳
۱۲	۱۳۰۹/۰۸	۱۶۰۵/۰۱۹	۲۴۸۰/۶۵۲	۰/۲۵۲۶	۳	۲۶	۱۴۰۴/۸۴	۲۰۷۲/۶۲۴	۲۸۱۰/۳۰۲	۰/۴۷۵۱	۲
۱۳	۱۴۸۱/۴۸	۲۳۱۰/۰۱۵	۳۰۵۷/۹۹۹	۰/۵۲۵۵	۲	۲۷	۱۱۹۲/۱۵	۱۴۸۴/۰۶۵	۲۱۳۷/۸۵۶	۰/۳۰۸۶	۳
۱۴A	۱۴۷۶/۷۰	۲۳۶۵/۷۷۶	۳۲۶۸/۷۵۷	۰/۴۹۶۱	۲	۲۸	۱۱۷۶/۷۰	۱۴۱۰/۶۵۳	۲۱۳۸/۰۷۰	۰/۲۴۴۳	۳
۱۴B	۱۴۷۶/۳۵	۲۳۲۷/۱۴۰	۳۱۷۰/۴۹۰	۰/۵۰۲۱	۲	۲۹	۱۴۵۷/۴۳	۲۲۸۰/۰۶۳	۳۱۸۲/۲۴۹	۰/۴۷۶۹	۲

فاصله بگیرد، بیانگر کج‌شدگی بیشتر حوضه است. اعداد منفی کج‌شدگی به سمت چپ را نشان می‌دهند. در هنگام محاسبه این شاخص، توجه به سیستم‌توزیته رخساره‌ها و لایه‌بندی طبقات رسوبی اهمیت می‌یابد. این شاخص براساس حوضه‌های تفکیک شده در گستره مورد مطالعه بررسی گردیده است (جدول ۳).

رابطه (۲) $AF=100(Ar/At)$ که در این رابطه Ar مساحت حوضه سمت راست رود (دید به سمت پایین دست) و At مساحت کل حوضه زهکشی است. برای شبکه زهکشی که تشکیل شده و جریان آن در یک وضعیت پایدار است، AF باید حدود ۵۰ باشد. AF به کج‌شدگی عمود بر روند رودخانه حساس است. هر چقدر مقدار بدست آمده از عدد ۵۰

جدول ۳: نتایج حاصل از شاخص تقارن حوضه زهکشی (بر حسب کیلومتر مربع)

حوضه	At	Ar	AF	AF-50	رده	حوضه	At	Ar	AF	AF-50	رده
۱	۳۱/۱۹۰	۱۱/۸۴۰	۳۷/۹۶۲	-۱۲/۰۳۷	۲	۱۵	۹/۳۸۶۶	۴/۲۶۵۸	۴۵/۹۳۵	-۴/۰۶۴۸	۳
۲	۲۱/۳۸۷	۱۳/۳۰۷	۶۱/۷۵۵	۱۱/۷۵۵	۲	۱۶	۲۳/۷۱۰	۱۳/۹۵۵	۵۸/۸۵۸	-۸/۰۹۹۵	۲
۳	۱۱/۴۵۴	۴/۰۵۹۷	۳۵/۴۴۱	-۱۴/۵۵	۲	۱۷	۴۱/۳۵۹	۱۹/۳۶۱	۴۶/۸۱۲	-۳/۱۸۷۲	۳
۴	۵/۵۴۸۴	۳/۰۳۳۳	۵۴/۶۶۹	۴/۶۶۹۳	۳	۱۸	۲۶/۰۳۴	۱۴/۹۱۱	۵۷/۲۷۷	۷/۲۷۷۱	۲
۵	۱۴/۴۹۴	۱۰/۰۲۲	۶۹/۱۴۵	۱۹/۱۴۵	۱	۱۹	۶/۷۵۵۸	۳/۷۱۷۳	۵۵/۰۲۴	۵/۰۲۴۳	۳
۶	۵۴/۷۲۷	۲۶/۴۹۹	۴۸/۴۲۰	-۱/۵۷۹	۳	۲۰	۵۳/۰۳۸	۲۴/۱۷۱	۴۵/۵۷۳	-۴/۴۲۶	۳
۷	۳/۶۳۳۵	۱/۶۸۹۳	۴۶/۴۹۳	-۳/۵۰۶	۳	۲۱	۱۵۲/۷۳	۱۰۴/۰۵	۶۸/۱۲۹	۱۸/۱۲۹	۱
۸	۶/۱۲۶۲	۴/۱۴۳۴	۶۷/۶۳۵	۱۷/۶۳۵	۱	۲۳	۳۷/۸۱۲	۱۳/۰۶۱	۳۴/۵۴۲	-۱۵/۴۵	۱
۹	۳/۳۴۷۶	۱/۹۱۳۳	۵۷/۱۵۳	۷/۱۵۳۸	۲	۲۲	۲۰/۴۴۹	۷/۵۳۵۶	۳۶/۸۵۰	-۱۳/۱۴	۲
۱۰	۳۷/۵۷۵	۹/۵۲۹۸	۲۵/۳۶۲	-۲۴/۶۳	۱	۲۴	۷/۷۹۸۲	۵/۰۸۳۴	۶۵/۱۸۷	۱۵/۱۸۷	۱
۱۱	۵۸/۶۲۲	۳۷/۴۱۶	۶۳/۸۲۶	۱۳/۸۲۶	۲	۲۵	۴۸/۳۶۲	۲۳/۵۰۸	۴۸/۶۰۸	-۱/۳۹۱	۳
۱۲	۴۱/۱۴۵	۳۵/۴۶۵	۸۶/۱۹۵	۳۶/۱۹۵	۱	۲۶	۳۴/۱۷۶	۱۰/۱۵۵	۲۹/۷۱۳	-۲۰/۲۸	۱
۱۳	۴۷/۱۱۶	۲۱/۶۱۹	۴۵/۸۸۴	-۴/۱۱۵	۳	۲۷	۲۶/۸۵۲	۷/۴۸۲۷	۲۷/۸۶۵	-۲۲/۱۳	۱
۱۴A	۳۹/۵۸۰	۱۶/۸۵۶	۴۲/۵۸۸	-۷/۴۱۱	۲	۲۸	۷۸/۹۹۶	۳۳/۷۳۲	۴۲/۷۰۱	۶/۱۰۳۷	۳
۱۴B	۶۸/۹۵۰	۴۱/۱۶۵	۵۹/۷۰۲	۹/۷۰۲۵	۲	۲۹	۱۰۴/۹۳	۳۶/۷۷۳	۳۵/۰۴۳	-۱۴/۹۵	۲

سینوسیتهی در یک جبهه کوهستانی مستقیم و صاف با یک گسل مرزی فعال دیده می‌شود. اگر نرخ بالآمدگی کم یا متوقف شود فرایندهای فرسایشی جبهه کوهستان را با بی‌نظمی بیشتر خواهد تراشید و مقدار این سینوسیتهی افزایش خواهد یافت. هرگاه مقدار این پارامتر نزدیک به یک باشد، بیانگر حاشیه فعال از نظر تکتونیکی است. افزایش مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت زمین‌ساختی منطقه است.

مقادیر Smf به سادگی از روی نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی محاسبه می‌گردد از این رو هر چه مقیاس نقشه‌ها و عکس‌های هوایی بزرگتر باشد این محاسبات از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود. در گستره مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است (شکل ۵).

این شاخص به ۳ رده از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی رده‌بندی گردید. رده ۱، جبهه‌هایی که با مقادیر کم Smf یعنی کمتر از ۱/۱ مشخص می‌شوند، از نظر فعالیت زمین‌ساختی فعال هستند. رده ۲، زمانی که Smf بین ۱/۱ تا ۱/۵ باشد، این جبهه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی نیمه فعال می‌باشند و رده ۳، مقادیر بیش از ۱/۵، جبهه‌های غیرفعال را نشان می‌دهند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

بدین منظور خط توپوگرافی، که مبین حد کوهستان و دشت می‌باشد به عنوان خط پیشانی کوه در نظر گرفته می‌شود. منطقه مورد مطالعه بر اساس اصول ولز (۱۹۸۸) به ۴ قطعه (A, B, C, D) تقسیم و هر قطعه به جبهه‌هایی تفکیک شده است. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی فوق، برای هر قطعه شاخص سینوسیتهی جبهه کوهستان محاسبه گردید (جدول ۴).

شاخص به ۳ رده از لحاظ زمین‌ساختی رده‌بندی گردید. رده ۱، حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد | AF-50 | یعنی بیشتر از ۱۵ مشخص می‌شوند، از نظر زمین‌ساختی فعال هستند. رده ۲، زمانی که | AF-50 | بین ۷ تا ۱۵ باشد، حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی نیمه فعال می‌باشند و رده ۳، مقادیر کمتر از ۷، حوضه‌های غیرفعال را نشان می‌دهند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

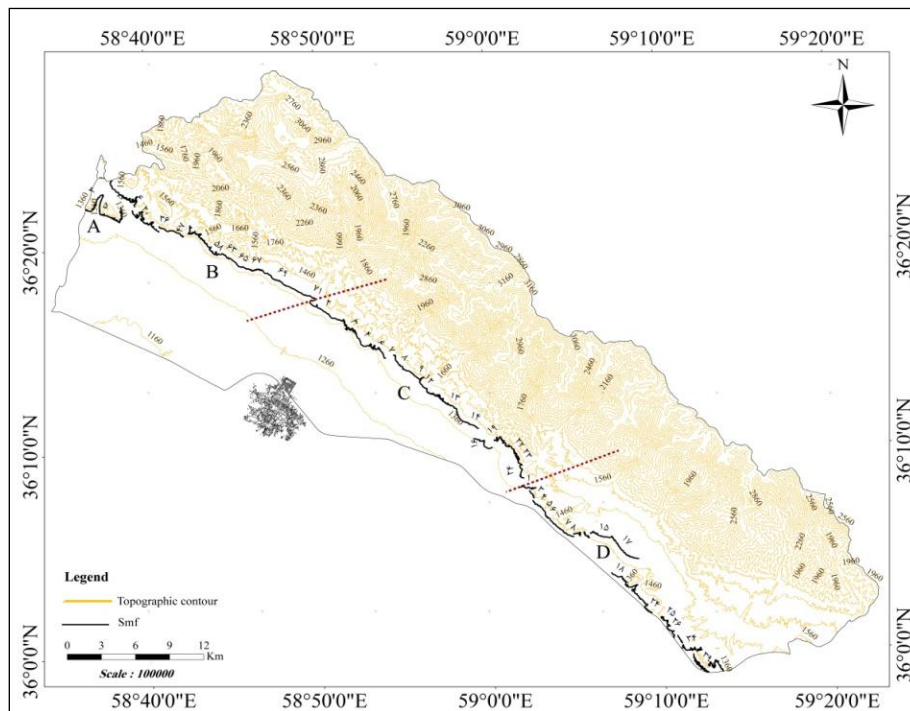
با توجه به مقادیر محاسبه شده شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، ۳۰/۵۵ درصد حوضه‌ها دارای زمین‌ساخت فعال بوده و کج شدگی را نشان می‌دهند. کج شدگی در این ناحیه عمدتاً به سمت چپ حوضه است. ۳۸/۲۲ درصد از حوضه‌ها زمین‌ساخت نیمه فعال و ۳۱/۲۲ درصد زمین‌ساخت غیرفعال را از خود نشان می‌دهند.

۴- شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)

این شاخص را بال و مک‌فادن (۱۹۷۷) و بال- (۱۹۷۸) به صورت رابطه ۳ معرفی کرده‌اند:

$$\text{Smf} = \text{Lmf} / \text{Ls} \quad (3)$$

که در آن Lmf طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی است که شیب تغییر می‌کند و از کوهستان به آبرفت‌ها تبدیل می‌شود و Ls فاصله مستقیم همان دو نقطه است. این شاخص توازن میان فرایندهای فرسایشی را که بر روی جبهه کوهستان باعث ایجاد سینوسی (چین و شکن بیشتر) و بالآمدگی عمودی جبهه کوهستان می‌شود، نشان می‌دهد (کلر و پینتر، ۱۹۹۶).



شکل ۵: نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه که قطعات تفکیک شده و جبهه کوهستان در آن مشخص است

جدول ۴: نتایج حاصل از شاخص سینوسیته کوهستان (برحسب متر)

رده	میانگین شاخص سینوسیته جبهه کوهستان هر قطعه	جبهه کوهستان تفکیک شده	قطعه
۳	۱/۵۳۵	۹	A
۲	۱/۳۳۹	۷۱	B
۲	۱/۴۸۶	۲۷	C
۲	۱/۳۶۱	۵۳	D

جبهه کوهستان تقسیم شده است و مقدار شاخص سینوسیته کوهستان آن بین ۱/۰۱۷۶ تا ۲/۹۴۵ متغیر می‌باشد. میانگین این شاخص برای قطعه مذکور ۱/۴۸۶ است که بیانگر آن است این قطعه از نظر فعالیت زمین ساختی نیمه فعال است. قطعه D به ۵۴ جبهه کوهستان تفکیک گردیده است و مقدار شاخص سینوسیته کوهستان آن بین ۱/۰۱۸۵ تا ۲/۶۸۱ متغیر می‌باشد. میانگین این شاخص ۱/۳۶۱، که بیانگر فعالیت زمین ساختی نیمه فعال آن است.

قطعه A به ۹ جبهه کوهستان تفکیک گردیده است، که مقدار شاخص سینوسیته جبهه کوهستان هر قطعه آن بین ۱/۰۸۳ تا ۱/۹۹۲ متغیر می‌باشد. میانگین این شاخص برای قطعه مذکور ۱/۵۳۵ می‌باشد که بیانگر فعالیت زمین ساختی غیرفعال آن است. قطعه B به ۷۱ جبهه کوهستان تفکیک گردیده و مقدار شاخص سینوسیته کوهستان بین ۱/۰۱۳۹ تا ۲/۴۱۷ متغیر است. میانگین این شاخص برای قطعه مورد نظر ۱/۳۳۹ که نشان می‌دهد از نظر فعالیت زمین ساختی نیمه فعال می‌باشد قطعه C به ۲۴

۵- شاخص طول - گرادیان رود (SL)

شاخص شیب طولی رودخانه به تغییرات شیب آبراهه حساس است و می‌تواند هر گونه بی‌نظمی را که در اثر فعالیت‌های تکتونیکی یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراهه ایجاد شده است، نشان دهد (رامیرز و هررا، ۱۹۹۸) این شاخص به وسیله رابطه ۴ بیان می‌شود.

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه SL، شاخص شیب طولی رودخانه؛ $\Delta H / \Delta L$ ، شیب آبراهه یا گرادیان یک قطعه؛ ΔH ، اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر؛ L، مجموع طول آبراهه از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین نقطه آبراهه در بالادست (گارسیا-ترتوسا و همکاران، ۲۰۰۸).. این پارامتر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی یا مدل رقومی ارتفاع (DEM) اندازه‌گیری می‌شوند.

مقدار عددی شاخص SL به قدرت رودخانه بستگی دارد. این شاخص نسبت به میزان مقاومت سنگ‌ها حساس بوده و تفکیک اثرات ناشی از

زمین‌ساخت جنبا و مقاومت سنگ‌ها مشکل می‌باشد. بالا بودن مقدار این شاخص نشان‌دهنده مناطق با فعالیت زمین‌ساختی بالا و قدرت فرسایشی شدید آبراهه‌ها و مقدار پایین آن، مناطق با فعالیت کم را نشان می‌دهد. جهت محاسبه این شاخص ابتدا نیمرخ طولی آبراهه‌های اصلی هر یک از حوضه‌های تفکیک شده گستره مورد مطالعه از روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و DEM تهیه شده از منطقه با کمک نرم‌افزار Arc GIS ترسیم می‌گردد. بسته به نیاز در این پژوهش، براساس و مبنای خط تغییر شیب، نیمرخ طولی آبراهه تعیین شده است. در منطقه مورد مطالعه این شاخص برای ۳۱ آبراهه اصلی در ۱۴۱۵ نقطه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این شاخص به صورت نیمرخ طولی برای رودخانه‌ها ترسیم شده است. که برخی از این نیمرخ‌ها در شکل ۶ آورده شده است. در نهایت از SLهای برداشت شده از هر رودخانه میانگین‌گیری شد (جدول ۵).

جدول ۵: میانگین شاخص طول - گرادیان رود (SL) در گستره مورد مطالعه

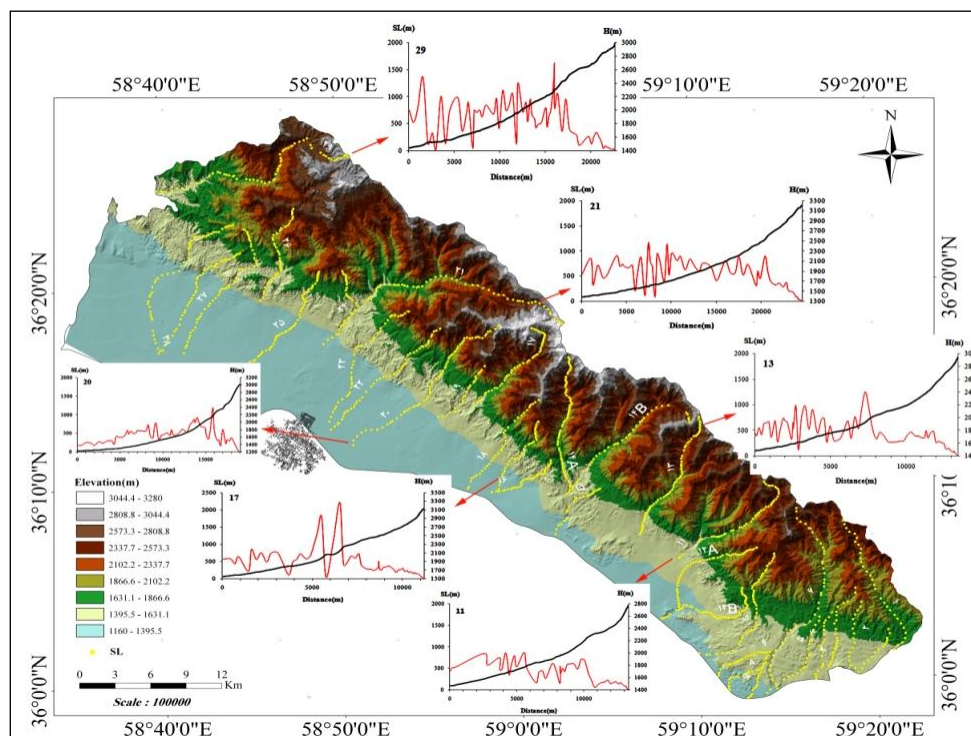
حوضه	میانگین SL	رده	حوضه	میانگین SL	رده	حوضه	میانگین SL	رده
۱	۳۵۲/۴۳	۲	۱۱	۳۹۳/۴۲	۱	۲۰	۴۵۰/۸۰	۱
۲	۱۳۳/۱۵	۳	۱۲	۲۰۸/۷۶	۲	۲۱	۵۳۰/۲۴	۱
۳	۲۶۱/۴۴	۲	۱۳	۴۳۷/۳۱	۱	۲۲	۲۸۸/۵۷	۲
۴	۹۵/۱۴۲	۳	۱۴A	۴۸۱/۹۶	۱	۲۳	۲۵۱/۰۷	۲
۵	۱۶۲/۶۳	۳	۱۴B	۴۵۹/۴۲	۱	۲۴	۱۷۳/۸۶	۳
۶	۳۹۹/۶۳	۱	۱۵	۱۱۲/۸۰	۲	۲۵	۲۱۲/۷۸	۲
۷	۳۲/۱۶۷	۳	۱۶	۱۵۱/۱۹	۳	۲۶	۳۴۹/۹۷	۲
۸	۸۰/۶۲۲	۳	۱۷	۴۵۲/۶۵	۱	۲۷	۲۱۱/۳۱	۳
۹	۷۱/۵۵۳	۳	۱۸	۳۷۹/۶۹	۲	۲۸	۱۸۵/۳۵	۳
۱۰	۲۹۰/۵۵	۲	۱۹	۲۲۱/۹۱	۲	۲۹	۵۵۶/۸۹	۱

این شاخص به ۳ رده از لحاظ زمین‌ساختی رده-بندی گردید که در آن رده ۱، حوضه‌های فعال،

ناهنجاری زیادی را در شاخص SL رودخانه نشان می‌دهد. رده ۲، حوضه‌های نیمه‌فعال، ناهنجاری

گستره مورد مطالعه، ۵۵/۵۹ درصد حوضه‌ها دارای زمین‌ساخت فعال می‌باشد. ۲۷/۲۳ درصد از حوضه‌ها زمین‌ساخت نیمه فعال و ۱۷/۱۸ درصد زمین‌ساخت غیرفعال را از خود نشان می‌دهند.

کمی را در شاخص SL رودخانه نمایان می‌سازد و رده ۳، حوضه‌های غیرفعال، بدون ناهنجاری در شاخص SL رودخانه در نظر گرفته شده است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). بر اساس مقادیر محاسبه شده شاخص SL برای ۳۰ حوضه در



شکل ۶: موقعیت نقاط برداشت شده شاخص SL در گستره مورد مطالعه همراه با برخی نیمرخ‌های طولی

آن را مورد بررسی قرار داد و چنین نتیجه گرفت که با افزایش مقدار کج‌شدگی برای رسیدن به یک مقدار ثابت شیب، سینوسیتی رود کاهش و با کاهش کج‌شدگی این مقدار نیز افزایش می‌یابد (آدامز و همکاران، ۱۹۹۹).

به نظر می‌رسد هرچه مقدار پیچ و خم آبراهه یا رودخانه‌ای بیشتر باشد به حالت تعادل نزدیکتر بوده در حالیکه مستقیم بودن مسیر رودخانه بیشتر حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت‌های عصر حاضر زمین‌ساختی و یا نو زمین‌ساختی است (آدامز و همکاران، ۱۹۹۹). از اینرو موقعیت رودخانه‌ها یا آبراهه‌های اصلی در هر یک از

۶- شاخص سینوسیتی رودخانه (S)

از دیگر شاخص‌های مورد نظر در جهت بررسی فعالیت زمین‌ساختی حوضه‌های گستره مورد مطالعه، شاخص سینوسیتی آبراهه اصلی یا رودخانه است. شاخص سینوسیتی رودخانه از طریق رابطه ۵ بدست می‌آید.

$$\text{رابطه ۵} \quad S=C/V$$

در این رابطه S میزان سینوسیت رودخانه، C طول رودخانه، V طول دره (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). الگو و طرح رودها نسبت به تغییرات شیب بسیار حساس است. از اینرو می‌توان ارتباط میان مقدار کج‌شدگی بستر رودخانه و تغییر در سینوسیتی

حوضه‌های گستره مورد مطالعه شناسایی و مقادیر نهایی بدست آمده این شاخص در هر یک از آن‌ها در جدول ۶ ارائه گردیده است.

جدول ۶: نتایج حاصل از شاخص سینوسیته رودخانه (بر حسب متر)

رده	پیچ و خم رودخانه (S)	طول دره (V)	طول رودخانه (C)	حوضه	رده	پیچ و خم رودخانه (S)	طول دره (V)	طول رودخانه (C)	حوضه
۲	۱/۱۷۹	۵۷۸۶/۵۶۴	۶۸۲۶/۴۵۲	۱۵	۲	۱/۱۹۵	۱۲۷۳۷/۷۹	۱۵۲۲۲/۷۵	۱
۲	۱/۴۱۶	۵۹۶۸/۷۹۲	۸۴۵۷/۷۷۲	۱۶	۲	۱/۱۷۵	۶۲۵۷/۴۱۱	۷۳۵۷/۷۰۷	۲
۲	۱/۱۶۴	۹۶۸۲/۴۱۰	۱۱۲۷۶/۷۲	۱۷	۲	۱/۱۶۳	۸۲۱۶/۹۸۱	۹۵۶۳/۶۳۳	۳
۱	۱/۰۸۸	۱۰۳۳۸/۵۳	۱۱۲۵۳/۴۰	۱۸	۲	۱/۱۶۹	۶۵۴۶/۸۷۲	۷۶۵۷/۸۲۶	۴
۲	۱/۲۳۳	۶۲۳۶/۵۰۲	۷۶۹۳/۱۰۰	۱۹	۲	۱/۲۳۸	۸۰۸۴/۹۹۶	۱۰۰۱۰/۶۱	۵
۲	۱/۱۳۵	۱۶۷۸۸/۷۳	۱۹۰۷۰/۱۹	۲۰	۲	۱/۳۱۶	۱۸۲۱۹/۵۸	۲۲۱۶۴/۱۳	۶
۲	۱/۲۹۵	۱۸۹۳۶/۴۲	۲۴۵۳۶/۸۲	۲۱	۲	۱/۱۹۷	۲۷۰۲/۸۹۸	۳۲۳۸/۰۵۱	۷
۱	۱/۰۹۸	۱۳۲۹۹/۷۷	۱۴۶۱۶/۱۵	۲۲	۲	۱/۳۵۱	۴۶۳۴/۸۲۵	۵۷۹۸/۳۰۵	۸
۲	۱/۱۸۷	۱۲۴۰۵/۵۸	۱۴۷۳۵/۳۰	۲۳	۲	۱/۳۵۴	۴۸۷۹/۶۶۳	۶۱۲۳/۷۷۲	۹
۲	۱/۳۱۵	۷۱۰۶/۲۵۹	۹۳۴۷/۸۴۷	۲۴	۲	۱/۲۳۵	۱۱۴۱۰/۴۵	۱۴۰۹۲/۲۷	۱۰
۲	۱/۱۷۸	۱۰۹۱۸/۲۸	۱۲۸۶۹/۱۴	۲۵	۲	۱/۳۱۲	۱۰۱۶۱/۵۱	۱۳۳۳۴/۰۹	۱۱
۲	۱/۲۰۴	۹۱۷۵/۴۱۴	۱۱۰۵۴/۸۰	۲۶	۲	۱/۴۵۶	۸۸۴۸/۳۹۹	۱۲۸۸۵/۷۸	۱۲
۲	۱/۲۷۵	۱۲۸۰۱/۴۱	۱۶۳۲۵/۴۱	۲۷	۲	۱/۱۰۰	۱۲۲۰۹/۶۳	۱۳۴۳۸/۹۷	۱۳
۲	۱/۳۶۱	۱۳۲۶۳/۴۹	۱۸۰۵۵/۰۶	۲۸	۲	۱/۱۰۷	۱۳۰۶۸/۹۷	۱۴۴۷۸/۳۳	۱۴A
۲	۱/۳۶۲	۱۶۶۵۱/۰۹	۲۲۶۸۵/۷۰	۲۹	۲	۱/۲۸۰	۱۲۳۶۴/۵۵	۱۵۸۳۳/۱۶	۱۴B

سمت راست و چپ دره است. مقادیر نسبتاً زیاد Vf با نرخ بالآمدگی کم که در آن آبراهه‌ها کف دره پهن را قطع می‌کنند در ارتباط است. دره‌های با کف پهن با مقادیر بالای Vf مشخص شده‌اند و حالتی U شکل دارند. مقادیر پایین این شاخص منعکس کننده دره‌های عمیق با جریان‌هایی هستند که معمولاً قدرت برش آنها بسیار زیاد است و بالآمدگی در طول مدت کم را نشان می‌دهد. دره‌های V شکل (باریک پرشیب) مقادیر پایین Vf را نشان می‌دهند. این شاخص برای دره‌های اصلی که جبهه کوهستان را قطع می‌کنند محاسبه می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳). مقدار عددی آن نیز به اندازه حوضه، دبی جریان و همچنین نوع سنگ بستر بستگی دارد. در گستره مورد مطالعه ۴۰ پروفیل عرضی برای محاسبه این شاخص ترسیم شده است که موقعیت این پروفیل‌ها در نقشه درج شده است (شکل ۷). نتایج این بررسی در جدول ۷ آورده شده است. در نهایت این شاخص به ۳ رده از لحاظ زمین‌ساختی رده-بندی گردید که در آن رده ۱، دره‌های فعال، پارامتر Vf کمتر از ۰/۵، دره‌های نیمه فعال بین

این شاخص به ۳ رده از لحاظ زمین‌ساختی رده-بندی گردید. رده ۱، رودخانه‌های با مقادیر کم S یعنی کمتر از ۱/۱ مشخص می‌شوند، که از نظر زمین‌ساختی فعال هستند. رده ۲، زمانی که S بین ۱/۱ تا ۱/۵ باشد، این رودخانه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی نیمه‌فعال می‌باشند و رده ۳، مقادیر بیش از ۱/۵، رودخانه‌های غیرفعال را نشان می‌دهند. که البته در گستره مورد مطالعه مقدار S بین ۱/۰۸ تا ۱/۴۵۶ می‌باشد که نشان از رودخانه‌های فعال تا نیمه فعال است و رودخانه‌های غیر فعال در گستره مورد مطالعه مشاهده نگردید.

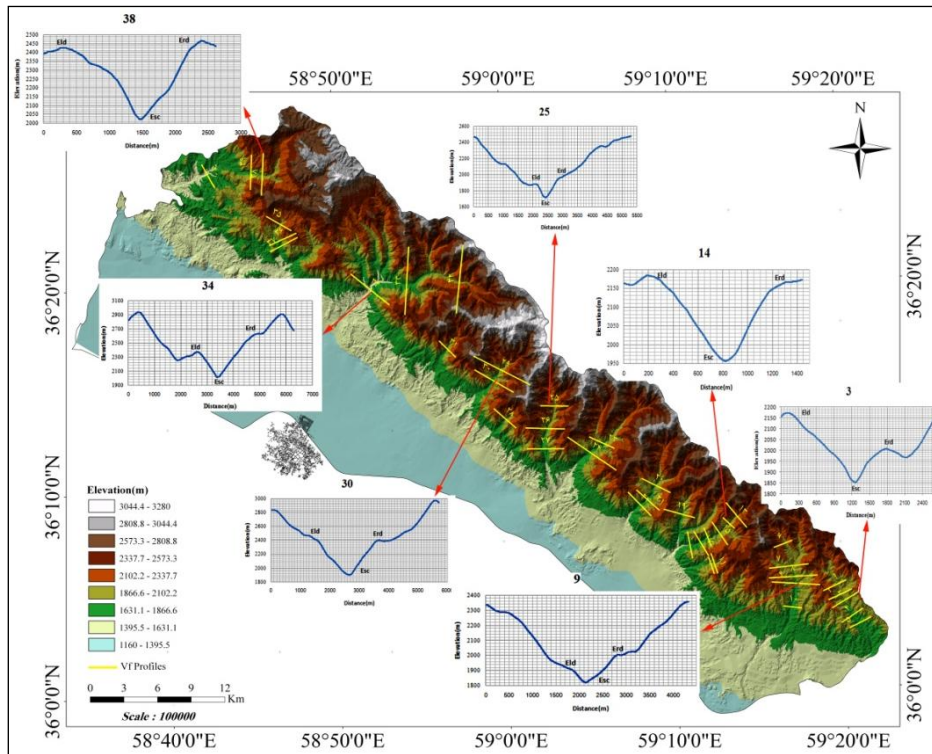
۷- شاخص نسبت پهنای به عمق دره‌ها (Vf)

این شاخص، نسبت پهنای به عمق دره را به میانگین ارتفاعات حاشیه دره نشان می‌دهد (بول و مک‌فادن، ۱۹۷۷ و بول، ۱۹۷۸) و به صورت رابطه ۶ معرفی می‌شود.

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad (6 \text{ رابطه})$$

که در این رابطه، Vfw، پهنای کف دره، Esc، ارتفاع مطلق کف دره، Eld، Erd، ارتفاع مطلق

۰/۵ تا ۱ دره‌های غیر فعال بیشتر از ۱ در نظر گرفته شد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۷: موقعیت پروفیل‌های عرضی دره‌های برداشت شده همراه با برخی از پروفیل دره‌ها

جدول ۷: نتایج حاصل از شاخص نسبت پهنا به عمق دره‌ها (برحسب متر)

شماره	نام دره	Vfw	Esc	Eld	Erd	Vf	رده	Av(Vf)	شماره	نام دره	Vfw	Esc	Eld	Erd	Vf	رده	Av(Vf)
۱	پیوه ژن	۵۸	۱۹۱۰	۲۳۶۰	۲۰۶۰	۰/۱۹۳	۱	۰/۳۵۱۲	۲۱	پیوه ژن	۵۸	۱۹۱۰	۲۳۶۰	۲۰۶۰	۰/۱۹۳	۲۱	
۲		۱۰۲	۱۸۷۵	۱۹۵۰	۲۱۱۵	۰/۶۴۸	۲		۲۲		۱۰۲	۱۸۷۵	۱۹۵۰	۲۱۱۵	۰/۶۴۸		
۳		۴۸	۱۸۵۰	۲۱۷۵	۲۰۱۰	۰/۱۹۷	۱		۲۳	خروسفلی	۴۸	۱۸۵۰	۲۱۷۵	۲۰۱۰	۰/۱۹۷		
۴		۸۰	۱۷۸۰	۲۰۳۰	۱۹۰۵	۰/۴۲۶	۱		۲۴		۸۰	۱۷۸۰	۲۰۳۰	۱۹۰۵	۰/۴۲۶		
۵		۴۸	۱۷۵۰	۱۹۶۰	۱۸۷۰	۰/۳۹۰	۱		۲۵	خروعلیا	۴۸	۱۷۵۰	۱۹۶۰	۱۸۷۰	۰/۳۹۰		
۶	دیزباد بالا	۴۲	۲۰۴۰	۲۴۳۰	۲۳۵۰	۰/۱۲	۱	۰/۴۴۲۵	۲۶		۴۲	۲۰۴۰	۲۴۳۰	۲۳۵۰	۰/۱۲		
۷		۲۴۴	۱۸۹۰	۲۰۰۰	۲۴۴۰	۰/۷۳۹	۲		۲۷		۲۴۴	۱۸۹۰	۲۰۰۰	۲۴۴۰	۰/۷۳۹		
۸		۷۰	۱۸۵۰	۲۰۸۰	۲۰۱۵	۰/۳۵۴	۱		۲۸	سوقند	۷۰	۱۸۵۰	۲۰۸۰	۲۰۱۵	۰/۳۵۴		
۹		۱۰۳	۱۸۲۰	۱۹۰۵	۲۰۰۵	۰/۷۶۲	۲		۲۹	بوژان	۱۰۳	۱۸۲۰	۱۹۰۵	۲۰۰۵	۰/۷۶۲		
۱۰		۳۳	۱۷۳۰	۱۹۰۰	۱۸۴۰	۰/۲۳۵	۱		۳۰		۳۳	۱۷۳۰	۱۹۰۰	۱۸۴۰	۰/۲۳۵		
۱۱	چناران	۱۰۵	۱۹۴۰	۲۲۵۰	۲۲۲۵	۰/۳۵۲	۱	۰/۳۸۶۶	۳۱	بین میرآباد و بوژان	۱۰۵	۱۹۴۰	۲۲۵۰	۲۲۲۵	۰/۳۵۲		
۱۲		۱۰۳	۱۸۸۵	۲۰۶۰	۲۲۰۰	۰/۴۲۰	۱		۳۲	میرآباد	۱۰۳	۱۸۸۵	۲۰۶۰	۲۲۰۰	۰/۴۲۰		
۱۳	گرینه	۶۸	۲۰۷۰	۲۱۲۰	۲۵۶۰	۰/۲۵۱	۱	۰/۲۳۷۴	۳۳		۶۸	۲۰۷۰	۲۱۲۰	۲۵۶۰	۰/۲۵۱		
۱۴		۴۱	۱۹۵۵	۲۱۸۵	۲۱۶۷	۰/۱۸۵	۱		۳۴		۴۱	۱۹۵۵	۲۱۸۵	۲۱۶۷	۰/۱۸۵		
۱۵		۸۸	۱۸۶۰	۲۲۱۵	۲۲۷۰	۰/۲۳۰	۱	۰/۱۵۶	۳۵	فیض آباد	۸۸	۱۸۶۰	۲۲۱۵	۲۲۷۰	۰/۲۳۰		
۱۶		۶۴	۱۷۷۵	۲۰۵۰	۱۹۶۰	۰/۲۷۸	۱		۳۶		۶۴	۱۷۷۵	۲۰۵۰	۱۹۶۰	۰/۲۷۸		
۱۷		۹۸	۱۷۲۰	۲۱۲۰	۲۲۰۰	۰/۲۲۲	۱		۳۷		۹۸	۱۷۲۰	۲۱۲۰	۲۲۰۰	۰/۲۲۲		
۱۸		۸۴	۱۶۴۵	۱۹۵۵	۱۹۹۰	۰/۲۵۶	۱		۳۸	طاقان	۸۴	۱۶۴۵	۱۹۵۵	۱۹۹۰	۰/۲۵۶		
۱۹	بین گرینه و درود	۷۴	۱۸۲۰	۲۳۴۰	۲۲۲۵	۰/۱۶	۱	۰/۱۶	۳۹		۷۴	۱۸۲۰	۲۳۴۰	۲۲۲۵	۰/۱۶		
۲۰	درود	۷۶	۱۸۴۰	۲۱۸۰	۲۱۷۵	۰/۲۲۵	۱	۰/۱۵۷۲	۴۰		۷۶	۱۸۴۰	۲۱۸۰	۲۱۷۵	۰/۲۲۵		

مربوط به دره‌های بین میرآباد و بوژان، فیض‌آباد، درود و دره‌های بین گرینه و درود می‌باشد. که

در این بررسی کمترین مقادیر این شاخص با توجه به میانگین‌گیری از نقاط هر دره برداشت شده،

بسیاری از تاسیسات شهری ساخته شده است. امتداد این گسل‌ها دقیقاً به بخش بسیار فعال گستره مورد مطالعه منتهی می‌شود و بیانگر آن است که این گسل‌ها دارای فعالیت‌های زمین-ساختی عهد حاضر بوده و پتانسیل بالایی برای ایجاد زمین‌لرزه دارند. بر اساس زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی، کانون سطحی ۱۰ زمین‌لرزه در مناطقی با فعالیت زمین‌ساختی بسیار فعال تا فعال گستره مورد مطالعه رخ داده است که از آن-ها می‌توان به زمین‌لرزه ۲۹ دی ماه سال ۱۳۹۰ که با بزرگای $M_b=5/6$ در ۱۲ کیلومتری شمال شرق شهر نیشابور رخ داده اشاره نمود. رو مرکز این رویداد براساس لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در مختصات $36/28$ شمالی و $58/83$ شرقی قرار دارد. سازوکار کانونی این زمین‌لرزه طبق گزارش مراکز زلزله‌شناسی جهانی از نوع راندگی می‌باشد. با توجه به مجاورت این زمین‌لرزه با گسل شمال نیشابور با سازوکار راندگی قابل توجیه است. شدت این زمین‌لرزه بین VI-VII درجه مرکالی در مرکز مه‌لرزه ای آن تعیین شده است.

نتیجه‌گیری

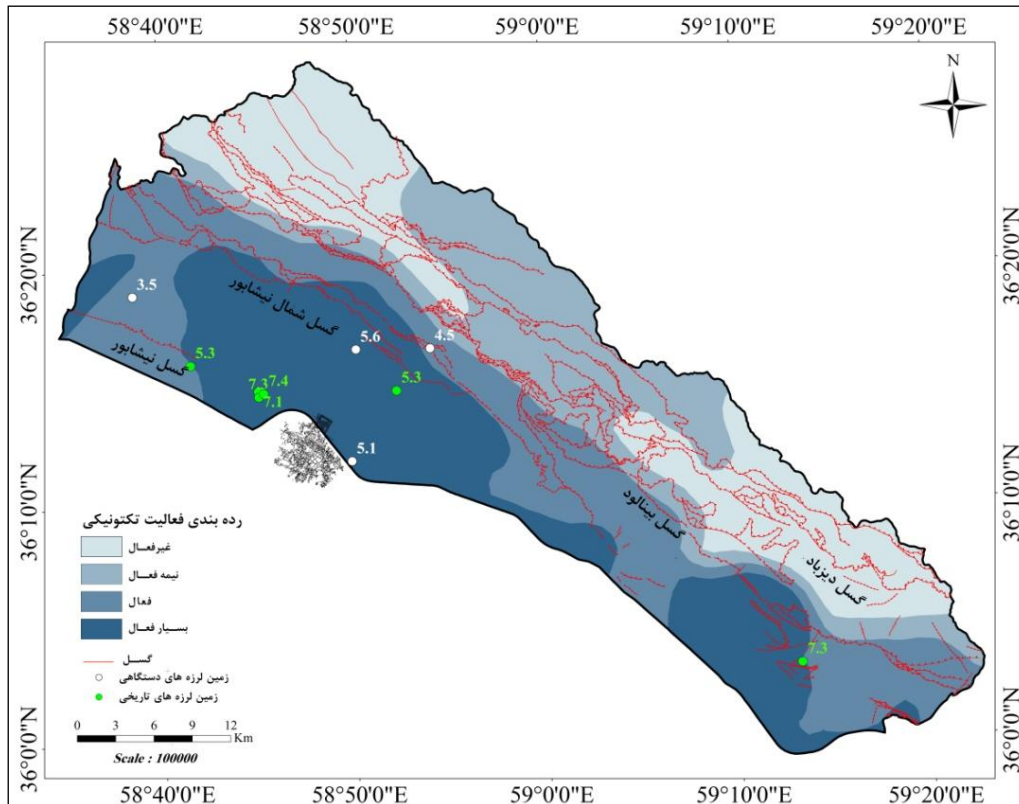
در این پژوهش از هفت شاخص ریخت‌زمین-ساختی (Vf, S, SL, Smf, AF, Hi, BS) جهت طبقه‌بندی فعالیت‌های زمین‌ساختی شمال نیشابور استفاده شده است. تلفیق جداول و اطلاعات حاصل از بررسی‌های صحرایی و مطالعات نرم‌افزاری، شاخص‌های مذکور در قالب جدول شماره ۸ ارائه شده است.

نشان‌دهنده دره‌های V شکل منطقه می‌باشند و بیشترین مقادیر آن برای دره‌های میرآباد، دیزباد بالا و خروسفلی است، که بیانگر U شکل بودن دره‌های منطقه است. باتوجه به میانگین‌گیری از نقاط برداشت شده در هر دره، در شاخص Vf دره‌های منطقه فعال تا نیمه‌فعال می‌باشند.

پهنه‌بندی گستره مورد مطالعه

پس از بررسی شاخص‌های ریخت‌سنجی زیر حوضه‌های گستره مورد مطالعه، پهنه‌بندی ریخت زمین‌ساختی با کمک نرم‌افزارهای ArcGIS، Spss، Minitab و Exel انجام شد. ابتدا داده‌ها در محیط Exel مرتب شده و به نرم‌افزار Spss انتقال داده می‌شود، با استفاده از روش همبستگی و نوع چرخش واریماکس (این چرخش پس از بررسی نتایج سه چرخش واریماکس، اکواماکس و کوارتیماکس به عنوان بهترین چرخش انتخاب گردید) تحلیل مربوطه صورت گرفته است. پس از برآورد بار عاملی حوضه‌ها، با استفاده از روش میانبایی در محیط ArcGIS پهنه‌بندی بر روی این گستره صورت گرفته است. سرانجام با استفاده از بار عاملی روی حوضه‌ها تحلیل خوشه‌ای در نرم‌افزار Minitab انجام گرفت، نتایج حاصله مجدداً به نرم‌افزار ArcGIS منتقل یافته و از روش کریجینگ که از جمله دقیق‌ترین روش‌های میانبایی در ArcGIS است، استفاده شد. شکل ۸ نقشه پهنه‌بندی ریخت زمین‌ساختی گستره شمال نیشابور را نشان می‌دهد.

در نقشه مذکور گسل‌های نیشابور و شمال نیشابور که از نزدیکی شهر نیشابور می‌گذرند از اهمیت خاصی برخوردارند. در نزدیکی این گسل‌ها



شکل ۸: نقشه کانون‌های زلزله همراه با نقشه رده‌بندی فعالیت زمین‌ساختی با شاخص‌های ریخت زمین-ساختی

ساختی

بسیارفعال، فعال، نیمه فعال و غیرفعال تفکیک گردید. بر اساس نقشه پهنه‌بندی مذکور فعالیت‌های زمین‌ساختی از شمال به سمت جنوب تا جنوب باختر، دامنه جنوبی بینالود افزایش می‌یابد. طبق نقشه پهنه‌بندی فعالیت زمین‌ساختی منطقه، وسعت پهنه‌های بسیار فعال معادل ۵۳۸/۴۴۱ کیلومترمربع معادل ۳۶/۳۲ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. همچنین وسعت پهنه‌های فعال معادل ۳۲۹/۶ کیلومترمربع معادل ۲۲/۲۳ درصد منطقه است. وسعت پهنه‌های زمین‌ساختی نیمه فعال ۳۵۶/۱ کیلومترمربع معادل ۲۴/۰۲ درصد از کل منطقه می‌باشد و در نهایت وسعت پهنه‌های غیرفعال ۲۵۸/۲ کیلومترمربع معادل ۱۷/۴ درصد منطقه است. همانگونه که از این نقشه و محدوده گسترش پهنه‌ها نتیجه می‌شود، بیشترین درصد

همانطور که از جدول فوق مشاهده می‌گردد. بررسی میانگین نتایج شاخص نسبت شکل حوضه (BS) نشان از فعالیت کم و ناچیز کل منطقه مطالعاتی است. میانگین نتایج شاخص‌های انتگرال ارتفاع سنجی (Hi)، عدم تقارن حوضه زهکشی (|AF-50|)، سینوسیته رودخانه (S) و طول گرادیان رود (SL) نشان از فعالیت متوسط کل منطقه دارند و میانگین نتایج شاخص‌های به عمق دره‌ها (Vf) نشان از زمین‌ساخت فعال در گستره مطالعاتی می‌باشد که بنظر می‌رسد بیشترین تاثیر را بر منطقه گذاشته است.

نتایج این مطالعات بصورت لایه‌های اطلاعاتی مختلف با یکدیگر تلفیق گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS, Spss, Minitab و بررسی‌های صحرائی نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی جنوبا منطقه بصورت کمی ترسیم و به ۴ رده

دستگاهی ثبت شده بر روی آن‌ها، حاکی از پتانسیل بالای زمین‌لرزه است. لذا بایستی توجه بسیار به ساخت سازه‌های سنگین و سبک در این مناطق داشته باشیم.

مساحت متعلق به فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار فعال و فعال است. پهنه‌های بسیار فعال و فعال گستره مورد مطالعه، منطبق بر گسل‌های کواترنر و جوان شمال‌نیشابور و نیشابور است. که رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و

جدول ۸: نتایج بررسی شاخص‌های هفتگانه ریخت‌زمین‌ساختی در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

حوضه	BS	Hi	AF-50	Smf	S	Vf	SL
۱	۳/۷۳۹	-/۴۳۱	۱۲/۰۳۷	-	۱/۱۹۵	-/۲۸۹	۳۵۳/۴۳۰
۲	۲/۰۰۵	-/۲۹۴	۱۱/۷۵۵	-	۱/۱۷۵	-	۱۳۳/۱۵۲
۳	۴/۷۵۵	-/۲۹۱	۱۴/۵۵۸	-	۱/۱۶۳	-	۲۶۱/۴۴۷
۴	۴/۶۷۹	-/۳۰۸	۴/۶۶۹۳	-	۱/۱۶۹	-	۹۵/۱۴۲۵
۵	۲/۶۶۸	-/۴۶۲	۱۹/۱۴۵	-	۱/۲۳۸	-	۱۶۲/۶۳۷
۶	۳/۴۳۶	-/۴۸۲	۱/۵۷۹۵	-	۱/۲۱۶	-/۴۴۲	۳۹۹/۶۳۸
۷	۱/۴۲۳	-/۳۵۶	۳/۵۰۶۳	۱/۳۴۲	۱/۱۹۷	-	۳۲/۱۶۷۹
۸	۲/۸۳۲	-/۴۶۹	۱۷/۶۳۵	۱/۲۹۱	۱/۲۵۱	-	۸۰/۶۲۲۸
۹	۵/۱۴۹	-/۶۲۳	۷/۱۵۳۸	۱/۸۹۷	۱/۲۵۴	-	۷۱/۵۵۳۵
۱۰	۲/۶۶۷	-/۴۱۳	۲۴/۶۳۷	-	۱/۲۳۵	-	۲۹۰/۵۵۵
۱۱	۱/۴۷۱	-/۵۱۹	۱۳/۸۲۶	-	۱/۳۱۲	-/۳۲۹	۳۹۳/۴۲۴
۱۲	۱/۶۸۰	-/۲۵۲	۳۶/۱۹۵	-	۱/۴۵۶	-/۳۸۶	۲۰۸/۱۷۶۶
۱۳	۱/۹۹۶	-/۵۲۵	۴/۱۱۵۳	-	۱/۱۰۰	-/۱۵۷	۴۳۷/۳۱۲
۱۴A	۲/۶۷۸	-/۴۹۶	۷/۴۱۱۹	-	۱/۱۰۸	-/۳۳۶	۴۸۱/۹۶۳
۱۴B	۱/۶۵۴	-/۵۰۲	۹/۷۰۲۵	-	۱/۲۸۱	-/۳۹۴	۴۵۹/۴۲۷
۱۵	۲/۶۷۲	-/۳۷۵	۴/۰۶۴۸	۱/۱۹۹	۱/۱۷۹	-	۱۱۲/۸۰۳
۱۶	۰/۸۰۸	-/۲۴۰	۸/۰۹۹۵	۱/۵۷۴	۱/۴۱۶	-	۱۵۱/۱۹۹
۱۷	۱/۸۳۰	-/۵۲۷	۳/۱۸۷۲	-	۱/۱۶۴	-/۴۵۲	۴۵۲/۶۵۷
۱۸	۳/۲۹۹	-/۲۶۴	۷/۲۷۷۱	۱/۲۳۶	۱/۰۸۸	-/۲۱۴	۳۷۹/۶۹۰
۱۹	۳/۸۰۰	-/۲۰۴	۵/۰۲۴۳	۱/۰۹۳	۱/۲۳۳	-	۲۳۱/۹۱۵
۲۰	۳/۷۰۵	-/۳۲۳	۴/۴۲۶۴	۱/۱۶۱	۱/۱۳۵	-/۰۶۵	۴۵۰/۸۰۹
۲۱	۰/۷۳۹	-/۵۱۶	۱۸/۱۲۹	-	۱/۲۹۵	-/۸۹۲	۵۳۰/۲۴۵
۲۲	۲/۵۸۹	-/۲۳۱	۱۵/۴۵۷	۱/۷۵۰	۱/۰۹۸	-	۲۸۸/۵۷۶
۲۳	۶/۵۳۴	-/۲۱۳	۱۳/۱۴۹	۱/۸۳	۱/۱۸۷	-	۲۵۱/۰۷۸
۲۴	۳/۶۰۸	-/۳۷۴	۱۵/۱۸۷	۱/۱۳۶	۱/۳۱۵	-	۱۷۳/۸۶۹
۲۵	۱/۸۱۹	-/۲۰۹	۱/۳۹۱۶	۱/۲۲	۱/۱۷۸	-	۲۱۲/۷۸۸
۲۶	۱/۵۱۰	-/۴۷۵	۲۰/۲۸۶	-	۱/۲۰۴	-/۱۵۶	۳۴۹/۹۷۲
۲۷	۴/۴۹۸	-/۳۰۸	۲۲/۱۳۴	۱/۲۱۱	۱/۲۷۵	-	۲۱۱/۳۱۳
۲۸	۱/۵۱۲	-/۲۴۳	۶/۱۰۳۷	۱/۳۸۷	۱/۳۶۱	-	۱۸۵/۳۵۳
۲۹	۲/۱۸۹	-/۴۷۶	۱۴/۹۵۶	-	۱/۳۶۲	-/۳۶۳	۵۵۶/۸۹۴
میانگین	۲/۷۹۸	-/۳۸۰	۱۱/۵۶۰	-/۶۴۴	۱/۲۲۸	-/۱۴۶۰	۲۷۹/۶۸۰

مخروط افکنه‌ها (مورد مطالعه: مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشو داغ)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، ص ۱-۱۰.

-سیف، ع. و خسروی، ق.، ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه

منابع

-پورلطیفی، ع.، ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی طبقه مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

-خیام، م. و مختاری، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی

- قائمی، ف. و حسینی، ک.، ۱۳۷۸. نقشه زمین-شناسی نیشابور مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- قائمی، ف.، ۱۳۷۱. بررسی زمین‌شناسی ساختاری ارتفاعات شمال خاور نیشابور - بینالود (چهارگوش باغشن گچ)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- گورابی، ا.، ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ص ۱۷۷-۱۹۶.
- نبوی، م.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه
- فارس، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۴، ص ۱۲۵-۱۴۶.
- شفیعی، ا.، علوی، ا. و نادری، م.، ۱۳۸۸. تکتونیک فعال در رشته کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیک، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۰، ص ۷۹-۹۱.
- علی نیا، هادی.، ۱۳۹۱. بررسی ساختار، ریخت زمین ساخت و سائزمو تکتونیک شمال نیشابور به کمک نرم افزارهای RS, GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- فرهودی، ق.، ۱۳۸۸. بررسی مورفوتکتونیک بابا کوهی واقع در شمال شیراز، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۲، ص ۱۲۶-۱۳۴.
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., and Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonic, South west border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*, v.96, p.150-173.
- Hollingsworth, J., Fattahi, M., Walker, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Bolourchi, M.J., Jackson, J., and Copley, A., 2010. Oroclinal bedding, distributed thrust and strike-slip faulting, and the accommodation of Arabia-Eurasia convergence in NE Iran since the Oligocene, *Geophysical Journal International*.
- Keller, E.A., and Pinter, N., 2002. *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Land Landscape*, Printce Hall, Inc, 338 p.
- Ramirez-Herrera, M.T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt, *Earth Surface Process and Land Froms*, v. 23, p. 317-322.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., and Bardajm, T., 2003. Fault generated -mountain fronts in Southeast Spain: -Adams, K.D., Wesnousky, S.G., and Bills, B., 1999. Active faulting, and potential geomorphic effects in the Lake Lahontan basin, Nevada and California, *Geological Society of America Bulletin*, v. 111, p. 1739-1756.
- Bull, W.B., and Mc fadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlok fault, California, 8th Annual geomorphology sym., New York.
- Bull, W.B., 1978. Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountain California U.S, Geological Survey Contract report 14-08-001-G-394. Office of Earthquakes Volcanoes and Engineering: Menlo park CA.
- Burbank, D.W., and Anderson, R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology*, Black well Science Ince, 268 p.
- Garcia-tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo-Zaldivar, J., Gibert., Lopez-Garrido A.C., Sanz deGaldeano, C., and Ureña, M., 2008. Geomorphologic Evidemce of the Active Baza Fault (Betic Cordillera, South Spain), *Geomorphology*, v.97, p. 374-391.

segmental convergent plate boundary
pacific coast of Costa Rica,
Geomorphology, v.1, p. 239-265.

geomorphology assessment of tectonic -
and earthquake activity, Geomorphol,
v.50, p.203-225.

-Wells, S.G., 1988. Regional variation
in tectonic geomorphology along a

Archive of SID