

Active tectonics analysis based on morphometric indices; case study of Agh Chay watershed in NW Khoy

Seddigheh Marzi¹, Hassan Haji Hosseinlou^{1*}

1- Department of Geology, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

Keywords: Active tectonics analysis, Morphometric indices, Drainage basins, Index of active tectonics, Agh Chay area

1-Introduction

The study area is located in the north of Khoy within the Agh Chay area, in western Azerbaijan Province. This area includes the villages of Agh Chay, Ghareh Ghush Oliya, Ghareh Ghush Sofla, Zaviyeh, Ghezeljeh, Gharnjeh, Ali Sheikh, Clesa Kandi, Ghezel Dash and Shaghfti. The study area based on Aghanabati (2004) sedimentary-structural units of Iran is part of the Khoy ophiolitic belt and the Central Iran belt. Some morphometric techniques have been developed as basic identification tools to recognize areas experiencing geomorphic and tectonic activity (Keller and Pinter, 1996). This information is used for planning research to obtain detailed information about tectonic activity. Other indices were developed to quantify description of landscape. Morphometric indices are especially useful in tectonic studies because they can be used for rapid evaluation of large areas and the necessary data often can be obtained easily from topographic maps and satellite imagery (Keller and Pinter, 1996). In this paper, active tectonics analysis based on morphometric indices is discussed.

2-Methodology

In this study GIS analysis techniques are used in order to determine geological and morphometric properties of Agh Chay watershed area. SRTM and drainage networks of the area are used for determine the morphometric properties of Agh Chay watershed located on Zarabad Fault Zone (ZFZ) and Agh Chay Fault Zone (ACFZ). In order to determine tectonic activity of Agh Chay watershed area six different morphometric indices. These indices based on topography that are useful in studies of tectonic activity. The morphometric indices used for active tectonic analysis which includes:

Sinuosity of the mountain front (SMF), ratio of valley floor width to valley height (VF), drainage asymmetry factor (AF), stream length-gradient index (SL), transverse topographic symmetry factor (T), fan comicality index (FCI). Survey of these indicators by topographic and geologic maps and Google Earth images of the under studied area using software of Google Earth, Arc GIS and Global Mapper are derived and calculated. The area is within zone 38 of universal transverse mercator projection system. The total area of Agh Chay watershed covers 1859 km².

3- Results and discussion

The study of tectonic activity, and in particular those areas with relatively high activity in the Holocene and late Pleistocene is important to evaluate the earthquake hazard. Morphotectonically active strike slip ZFZ and ACFZ passing along Agh Chay watershed area. Agh Chay watershed area usually drained by Agh Chay, Zarabad Chay, Dibak Chay and Zavieh Chay rivers. The main flow direction of those rivers are controlled by the ZFZ and ACFZ; the faults control the mountain fronts in the drainage basin of the Agh Chay. In this study tectonic activity of drainage basins in the Agh Chay, were assessed through morphotectonic analysis. Results of analysis were expressed as an index of relative Tectonic activity (Iat; Table.1, El-Hamdouni et al., 2008).

*Corresponding author: hajihosseinlou@iaukhoy.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2020.32098.2070

Received 2020-01-19

Accepted 2020-04-05

Table 1. Tectonic activity classifications based on Iat values (El-Hamdouni et al., 2008).

Tectonic activity	Iat
Very high	$1 < Iat < 1.5$
High	$1.5 < Iat < 2$
Moderate	$2 < Iat < 2.5$
Low	$Iat > 2.5$

This index showed tectonic activity of the area in four classes of low, medium, high and very high magnitude (Table. 2). The results of study showed that Agh Chay, Zarabad Chay, Dibak Chay and Zavieh Chay have very high activity. In other basin, the points of tectonic activity are high. The north basins are affected by Zarabad fault (Fig. 1). Altogether, according to the calculated morphometric indices, it can be concluded that the region has medium to high tectonic activity, but there are changes in tectonic activity in the region, which can be attributed to increase tectonic activity from northwest to south east of the region.

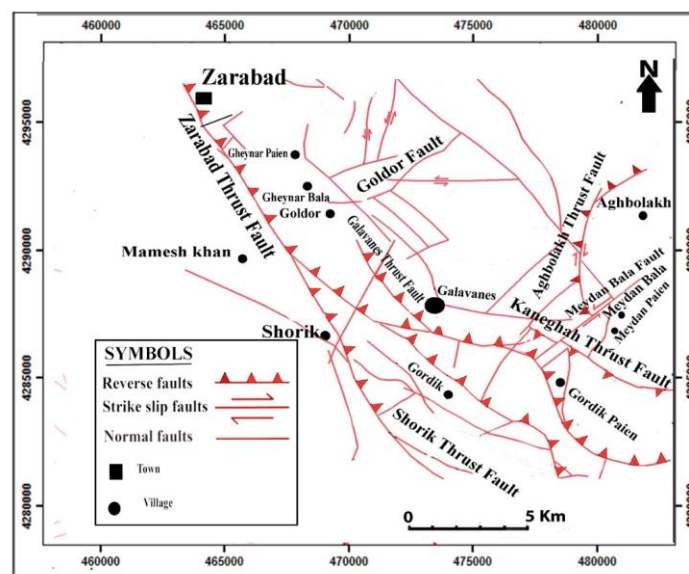


Fig. 1. Faults map of the Agh Chay area.

Table 2. Classification of the Iat (relative tectonic activity index) in the subbasins of the Agh Chay basin (SL: stream length-gradient index; Af: drainage basin asymmetry index; Vf: ratio of valley floor width to valley height; Bs: Drainage basin shape index; Smf: mountain-front sinuosity index and FCI: Fan conicality index).

No	Basin	SL	Af	Vf	BS	Smf	T	FCI	Iat (S/n)	Class
1	Agh Chay	1	1	2	1	3	1	1	1.43	1
2	Ghareh Chay	1	1	2	3	1	2	1	1.57	2
3	Zarabad Chay	2	1	2	1	1	1	1	1.29	1
4	Dibik Chay	1	1	2	1	3	1	1	1.43	1
5	Zaveh Chay	2	1	2	1	1	1	1	1.29	1

4-Conclusions

1-The results show that Agh Chay watersheds have a high relative tectonic activity in all watersheds, because of the proximity to the major faults, tectonic activity exists. Finally it can be stated that, due to the presence of faults and tectonic activity in Agh Chay and its watersheds, occurrence of earthquakes in the study area is not unexpected and this issue requires serious consideration and management.

2-This research's results show that region in aspect of tectonically or young tectonically is active because of coefficients obtained from geomorphology's indices and geodynamic station's data but the amounts of activities aren't the same among regions. In the other side, 4 old waterways were revealed by relying to morphological witnesses through studding the aerial photos, geologic map and the important faults of region in cross of Agh Chay river and topographic quantitative analysis and the type of Agh Chay river.

3-The results of this study that estimated by index of relative active tectonic (Iat), indicated that the value of tectonic activity in the Agh Chay drainage basin is high.

References

- Aghanabati, A., 2004. Major Sedimentary-structural Units of Iran. Geological Survey of Iran Publications, Tehran.
- El-Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008. Assessment of relative Tectonic activity, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology* 96, 150–173.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. *Tectonic activity: Earthquakes, Uplift and Landscape*, second edition: Upper saddle river, New Jersey, Prentice Hall, p. 362.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Marzi, S., Hosseinlou, H.H., 2021. Active tectonics analysis based on morphometric indices; case study of Agh Chay watershed in NW Khoy. *Adv. Appl. Geol.* 10(4), 514-536.

DOI: 10.22055/aag.2020.32098.2070

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15489.html?lang=en

تحلیل زمین ساخت فعال بر اساس شاخصه‌های ریخت‌سنجی، مطالعه موردی حوضه آبخیز آغ‌چای شمال غرب خوی

صدیقه مرزی

گروه زمین‌شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران

حسن حاجی حسینلو*

گروه زمین‌شناسی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

* hajihosseinalou@iaukhoy.ac.ir

چکیده

مطالعه تکتونیک فعال از نظر ارزیابی خطر زمین لرزه در نقاط مختلف اهمیت دارد، مخصوصاً در نواحی‌ای که میزان فعالیت زمین‌ساختی در هولوسن و پلیستوسن نسبتاً زیاد بوده است. هدف از این پژوهش بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخصه‌های ریخت‌سنجی همچنین تحلیل نقش عوامل تکتونیک در شکل‌گیری و تحول ریخت‌شناسی مخروط‌افکنه‌های آغ‌چای می‌باشد. در این مطالعه نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به عنوان داده‌های اصلی تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین ریخت‌شناسی مخروط‌افکنه‌های منطقه از نزدیک و به صورت میدانی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از شاخصه‌های ریخت‌سنجی که شامل شاخص سینوسی جبهه‌ی کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص عدم تقارن حوضه (Af)، شاخص گرادبان طولی رودخانه (SI)، شاخص تقارن توپوگرافی (T) و شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) وضعیت منطقه از نظر میزان فعالیت‌های تکتونیک مورد ارزیابی قرار گرفت. از ترکیب این شاخص‌ها با یکدیگر می‌توان رابطه‌ی شاخص فعالیت‌های تکتونیک (Iat) را به دست آورد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در حوضه‌های مورد مطالعه آغ‌چای، زاویه‌چای، زرآبادچای و دیبک‌چای به طور نسبی دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید هستند و حوضه قره‌چای حرکات زمین‌ساختی زیاد دارد. در مجموع با توجه به شاخص‌های ریخت‌سنجی محاسبه شده می‌توان نتیجه گرفت منطقه دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط تا بالایی می‌باشد اما تغییرات میزان فعالیت زمین‌ساختی در منطقه وجود دارد که می‌توان به افزایش فعالیت زمین‌ساختی از شمال غرب به جنوب شرق منطقه اشاره کرد.

کلمات کلیدی: تحلیل زمین‌ساخت فعال، شاخصه‌های ریخت‌سنجی، شاخص فعالیت‌های تکتونیک، حوضه‌های زهکشی، آغ‌چای

مقدمه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال غرب ایران، در استان آذربایجان غربی و در شمال شهرستان خوی و شمال شرقی شهر زرآباد در حوضه آبریز آغ‌چای قرار دارد و جزیی از نقشه‌ی زمین‌شناسی چهار گوش خوی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ می‌باشد. در محدوده این منطقه روستاهای از قبیل آغ‌چای- قره قوش علیا- قره‌قوش سفلی- زاویه- قزلجه- قارنجه- علی شیخ کلیسا کندی- قزل داش شگفتی و شهر زرآباد (صفائیه) می‌باشد. حوضه‌ی آبریز آغ‌چای در منطقه زرآباد شامل ۵ زیرحوضه از قبیل: ۱- حوضه آغ‌چای، ۲- حوضه قره‌چای، ۳- حوضه زرآبادچای، ۴- حوضه دیبک‌چای و ۵- حوضه زاویه‌چای می‌باشد. منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری ایران Aghanabati (۲۰۰۴) بخشی از کمربند افیولیتی خوی و کمربند ایران مرکزی می‌باشد. اندازه‌گیری‌های شاخصه‌های ریخت‌سنجی شرایطی را فراهم می‌آورند تا زمین‌ریخت‌شناسان به مقایسه‌ی چشم‌اندازهای مناطق مختلف پرداخته و شاخصه‌های زمین‌ریختی را در اختیار داشته باشند تا با آن‌ها برای توصیف و شناسایی وضعیت مناطق با زمین ساخت فعال اقدام نمایند (Keller and Pinter, 1996). در این مقاله به تحلیل زمین‌ساخت فعال بر اساس شاخصه‌های ریخت‌سنجی پرداخته می‌شود.

چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

واحدهای کرتاسه زیرین

الف- کمپلکس افیولیتی خوی

شامل سنگ‌های هارزبورژیتی که حاوی کانی‌های اولیوین، اورتوپیروکسن و به طور فرعی کلینوپیروکسن هستند بافت دانه‌ای نشان می‌دهند کانی اولیوین و اورتوپیروکسن تا حدودی به سرپانتین و کلریت تجزیه شده است. بعضاً بلورهای کرومیت نیز در سنگ دیده می‌شود. سنگ‌های دونیتی بافت دانه‌ای دارند و بیشتر حجم سنگ از اولیوین تجزیه شده به سرپانتین و ندرتاً کلسیت تشکیل یافته است. این واحد در برخی نقاط عدسی‌هایی از کانه معدنی کرومیت را دربر دارد و رگه‌های معدنی منیزیت ($MgCO_3$) با رخساره گل‌کلمی به رنگ سفید نیز در بخش‌های مرکزی نقشه در روستای گلوانس مشاهده شده است. بر اثر حرکات زمین‌ساختی، سنگ‌های فوق‌بازیک در امتداد سطوح گسل خرد شده و برش‌های زمین‌ساختی به وجود آمده است که محل مناسبی جهت خروج چشمه‌های آهک‌ساز بوده است. سنگ‌های الترامافیک

سنگ‌های دگرگون شده منطقه

این واحد شامل ضخامتی در حدود ۱۰۰ - ۱۵۰ متر از گنایس دانه-درشت تا دانه متوسط سفید متمایل به صورتی است که اکثراً خرد و دگرسان شده است و از نظر ترکیب سنگ‌شناسی دارای بافت پورفیروبلاستیک می‌باشند.

الف - واحد mt^{am}

ترادف ضخیمی از سنگ‌های آمفیبولیتی در شمال و شمال غرب ناحیه در روستاهای آغ‌بلاغ، میدان و قرخ‌یاشار اکثراً با همبری گسل در مجاورت با سنگ‌های فوق‌بازیک برونزد وسیعی دارند. این مجموعه دگرگون‌شده بیشتر شامل آمفیبولیت میلونیتی، گابرو - دیوریت میلونیتی، آمفیبول‌شیت، و گنایس آمفیبول و بیوتیت‌دار است که بر روی سنگ‌های الترامافیک قرار گرفته‌اند. بافت آن‌ها شلیستوز، نماتوبلاستیک، گرانوبلاستیک، کریستالوبلاستیک است. کانی‌های تشکیل دهنده شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، پولک‌های ظریف موسکویت و بیوتیت همراه با کانی‌های کوارتزیت و کلریت می‌باشد در بین آمفیبولیت‌ها، سنگ‌های آهکی متبلور به صورت مرم‌ر دیده می‌شود که با علامت mb مشخص گردیده است. پدیده فلدسپاتی شدن در آمفیبولیت‌ها موجب ظهور سنگ‌هایی با بافت گنایسی تا دانه‌ای شده است. بافت اولیه سنگ نماتوبلاستیک بوده که تحت تأثیر این پدیده بر حسب قرارگیری فلدسپات‌ها و کانی‌های مافیک بافت دانه‌ای و یا گنایسی پیدا کرده‌اند. این سنگ‌ها به طور تدریجی به آمفیبولیت‌ها تبدیل می‌شوند. فلدسپاتی شدن در سنگ‌ها نمی‌تواند با نفوذ توده‌های گرانیتی - گرانودیوریتی بی-ارتباط باشد. با توجه به دگرگون نشدن سنگ‌های پالئوزویک زیرین می‌توان سن آن‌ها را پراکامبرین در نظر گرفت. مجموعه سنگ‌های این واحد که بیشتر از نوع آمفیبولیت هستند وزن مخصوص کم‌تری نسبت به سنگ‌های اولترامافیک داشته و خاستگاه چینه‌ای آن‌ها بر روی سنگ‌های مزبور است. این‌گونه سنگ‌ها با توجه به رخنمون وسیع در زون آمیزه رنگین می‌تواند بر اثر دگرگون شدن بازالت‌های توله‌ای کف اقیانوسی در حد رخساره آلماندن آمفیبولیت تشکیل گردد. سن دگرگون‌شدگی، قبل از فاز کوه‌زایی لارامین و به احتمال کیمبرین پیشین است.

ب - واحد mt^{sch}

شامل کوارتز، کلریت، سربسیت، همراه با متاولکانیت و سنگ‌های آهکی بلورین و شلیست‌های آهکی است که در نقاط مختلف نقشه به طور پراکنده و در منطقه مورد پژوهش در روستاهای خانقاه و کلوانس وجود دارد. بخش‌های آهکی بلورین به‌صورت واحد mt^{mb} جدا شده است. در حوالی توده‌های نفوذی میزان دگرگونی سنگ‌ها افزوده گردیده است. رگه‌ها و دایک‌های آپلیتی و سیلیسی و در برخی نقاط توده‌های دیوریت - گابرو و یا میکروگابرویی، سنگ‌های این واحد را قطع کرده است. سنگ‌های این واحد به رنگ سبز و اغلب ورقه‌ورقه بوده که ورقه‌ها نشان‌دهنده سطوح شلیستوزیته سنگ‌ها است. این‌گونه سطوح نیز خود در اثر فشارهای زمین‌ساختی بعد از دگرگونی چین‌خورده‌اند.

متعلق به گوشته فوقانی زمین بوده که پس از تحمل ذوب‌بخشی و خروج مواد زودگذار به صورت هارزبورژیت و تا حدودی دونیت در آمده‌اند. این-گونه سنگ‌ها فازهای دگرگونی متعددی را تحمل نموده است رادفر و امینی، ۱۳۷۸ سن افیولیت ملانژ خوی را کرتاسه بالایی بیان کردند.

ب - واحد K^{lv}

شامل سنگ‌آهک پلاژیک، به مقدار کم گدازه‌های بازالتی و در پاره‌های موارد همراه با شیل است که در مجموع به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز و سبزیته است و با ضخامت حدود ۷۰۰ - ۵۰۰ متر بر روی سنگ‌های فوق‌بازیک نشست است. این واحد عضوی از سری افیولیتی محسوب می‌گردد. در روستاهای دیزج، شوریک، غرب جاده قریس ممش‌خان و گردیک سنگ‌های آهکی پلاژیک در برخی موارد به صورت واحد فرعی K^{pl} جدا شده است. بر روی این واحد به طور ناپیوسته کنگلومرا، شیل و سنگ‌آهک پالئوسن - ائوسن قرار گرفته است. سنگ‌های آهکی این واحد به رنگ صورتی و قرمز و تا حدودی سیلیسی بوده و رگه‌های کلسیتی سفید رنگ و یا چرت آن‌ها را قطع کرده است.

ج - واحد Ub

شامل سنگ‌های فوق‌بازیک تا حدودی سرپانتینیتی شده به رنگ سبزیته تا سیاه‌رنگ است که در بخش شمال‌غربی منطقه از جمله در روستاهای روند، خانقاه، گردیک، گلوانس و دنبکی گسترش بسیار وسیعی دارد و دارای کشیدگی زیادی در راستای شمال‌غربی - جنوب-شرقی است. سنگ‌ها بیشتر از نوع هارزبورژیت و تا حدودی دونیت کم و بیش سرپانتینیتی است که بر اثر عمل‌کرد گسل‌های راندگی بالا آمده و در سطح زمین رخنمون پیدا کرده‌اند و توده‌های عمیق - نیمه‌عمیق دیوریت - گابرو و میکرودیوریتیک‌گابرو آن‌ها را قطع کرده است و بخش‌های سرپانتینیتی شده به صورت واحدهای فرعی SI جدا شده‌اند. سنگ‌های هارزبورژیتی حاوی کانی‌های اولیوین، اورتوپیروکسن و به طور فرعی کلینوپیروکسن هستند که بافت دانه‌ای دارند سنگ‌های دونیتی نیز بافت دانه‌ای دارند. بر اثر حرکات زمین‌ساختی سنگ‌های فوق‌بازیک در امتداد سطوح گسل‌خورده، برش‌های زمین‌ساختی به وجود آمده است که محل مناسبی جهت خروج چشمه‌های آهک‌ساز بوده است. سنگ‌های اولترامافیک متعلق به گوشته فوقانی بوده که پس از تحمل ذوب‌بخشی و خروج مواد زودگذار به صورت هارزبورژیت و تا حدی دونیت درآمده‌اند.

د - واحد Sr

شامل سرپانتینیت، سنگ‌های پریدوتیت سرپانتینیتی شده و در پاره-ای نقاط همراه با تالک ترمولیت - اکتینوت به رنگ سبزیته، سبزشن و مغزپسته‌ای است که بیشتر در محدوده‌ی روستاهای خانقاه، قرخ‌یاشار و جاده‌ی فیروزق - گوردیک دیده می‌شود. بخش‌های سفیدرنگ سرپانتینیت‌ها با توجه به مطالعه کانی‌شناسی، شامل کانی‌های آمفیبول، کلریت و تالک است. سرپانتینیت و کلریت که از تجزیه اولیوین و یا اورتوپیروکسن حاصل گردیده بافت‌های غربالی را در سنگ به وجود آورده است. در برخی موارد کانی‌های کلسیت، دولومیت و یا منیزیت جانشین سرپانتینیت شده است (شکل ۱).

ج- واحد mt^{mt}

شامل متاولکانیک سبزه همراه با کمی شیست و سنگ آهک دگرگون نشده که در روستای قشلاق می باشد.

د- واحد mb

مرمر خاکستری روشن می باشد و در روستای میدان بالا وجود دارد.



شکل ۱- سنگ های پریدوتیت سرپانتینیتی شده، منطقه خانقاه.
Fig. 1. Serpentinized peridotite rocks, Khaneqah area.

الف- واحد Q_1^t

پادگانه آبرفتی قدیمی: مواد تشکیل دهنده این پادگانه ها شامل قلوه-سنگ، شن، ماسه، سیلت، رس و بعضاً تخته سنگ می باشد. شن، ماسه و قلوه سنگ و درصدی مواد ریزدانه اجزای اصلی این پادگانه است. در منطقه مورد مطالعه در روستای قرخ یاشار و قشلاق وجود دارد، پادگانه های مزبور به تدریج در رقوم های بالاتر ریزدانه شده به طوری که در قسمت فوقانی لایه ریزدانه گسترده است و به عنوان زمین های کشاورزی حاشیه رودخانه مورد استفاده اهالی قرار می گیرد. پادگانه مذکور در محدوده محور بیشترین ضخامت را داشته و به طرف بالادست و پایین دست محور از ضخامت آن کاسته می شود.

ب- واحد Q_2^t

پادگانه های آبرفتی جوان: این آبرفت ها در رقوم پایین تر نسبت به پادگانه های آبرفتی قدیمی قرار گرفته اند. این پادگانه ها از شن، ماسه، سیلت و رس همراه با پراکندگی قلوه سنگ تشکیل شده اند. این پادگانه ها زمین های حاصل خیز ناحیه مورد مطالعه از جمله روستاهای روند، گردیک و قشلاق را تشکیل داده اند. مصالح این پادگانه ها ریزدانه می باشد که با ضخامتی در حدود ۳ تا ۴ متر پادگانه های آبرفتی قدیمی و آبرفت های درشت دانه بستر را پوشانده اند.

ج- واحد Q^{al}

رسوبات آبرفتی بستر رودخانه: مصالح بستر رودخانه عمدتاً دانه درشت بوده و متشکل از سیلت ماسه، شن و قلوه سنگ می باشد این واحد در روستاهای گلوانس، شوریک، قرخ یاشار و قشلاق وجود دارد. دانه ها به دلیل حمل زیاد عمدتاً گرد شده و مخلوطی از سنگ های رسوبی، آذرین و دگرگونی می باشند. شکل ۳ نقشه ی زمین شناسی از منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

واحدهای سنگی نفوذی
- واحد g

این توده شامل توده نفوذی متاگرانیته است که آمفیبولیت های واحد mt^{am} و سنگ های دگرگونی کرتاسه بالا را قطع کرده و سنگ های آهکی سازند قم (الیگومیوسن) بر روی آن ها نشست است که در روستای قشلاق وجود دارد. نمونه ای از نوع متاگرانیته (گرانیت گنایس) با بافت پرفیروکلاستیک تا پرفیروبلاستیک با زمینه گرانوبلاستیک - شیستوز بوده و کانی های به شرح زیر را در بردارد. فلدسپات آلکان با تجزیه به کانی های رسی و میکایی و به ندرت کلسیت، به صورت پرفیروکلاست، کوارتز به صورت مجموعه های عدسی شکل و به حالت رشد توأم با فلدسپات آلکان، بیوتیت و کلریت جهت یافته است.

- واحد gn

شامل پگماتیت، متاگرانیته و رگه های کوارتز فلدسپاتیک به رنگ روشن است که در حوالی روستای روند، آمفیبولیت و میکاشیست ها، واحد mt^{am} سنگ های اولترامافیک و توده نفوذی g را قطع کرده اند (شکل ۲) و در روستاهای آجیدگه، گلوانس و قشلاق وجود دارد. کم بودن کانی های مافیک و در نتیجه رنگ روشن آن ها بسیار مشخص است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی سنگ ها در حد متاگرانیته، پگماتیت، رگه های کوارتز فلدسپاتی و بعضاً پلاژیوگرانیته و میکرودیوریت است. سنگ ها تا حدودی دگرگون شده اند به طوری که تبلور مجدد، جهت یافتگی در بلورهای خرد شده و خاموشی موجی دانه های کوارتز گویای این پدیده هستند.

۲-۴- واحدهای کواترنری



شکل ۲- نمایی از رگه‌های فلدسپات-کوارتزدار، منطقه روند، جهت دید عکس $321^{\circ}N$.

Fig. 2. View of the feldspar-quartz veins, Ravand area, photo view N3210.

دارد. در این قسمت به شرح مختصری در مورد گسل‌های مهم ناحیه می‌پردازیم (جدول ۱).

بررسی گسل خوردگی در محدوده آغ چای

گسل‌ها را می‌توان مهم‌ترین ساختارهای موجود در محدوده مورد پژوهش به شمار آورد. نقشه گسل‌های منطقه با توجه به شواهد روی زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین-شناسی با مقیاس یک صد هزارم سازمان زمین‌شناسی و مطالعات صحرایی ترسیم شده است. گسل‌های محدوده مورد مطالعه، بخصوص گسل‌های اصلی، عمدتاً دارای راستای شمال غرب - جنوب شرق هستند (شکل ۴) و گسل فیرورق تنها دارای گسلی است که راستای شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد. با توجه به این که اکثر گسل‌های منطقه از نوع معکوس می‌باشند نمودار گل سرخی برای امتداد گسل‌های معکوس در شکل ۵a رسم شده است. Masson و Zamani (۲۰۱۴) تعیین رژیم تنش منطقه را بر مبنای مطالعات صحرایی، لغزش گسل-های منطقه، تحلیل مکانسیم کانونی زمین‌لرزه‌ها در منطقه، انجام داده‌اند که در مطالعات صحرایی صورت گرفته، سطوح مختلف برشی و صفحات گسلی دارای خط لغزش، با الگوی شیب و جهت شیب اندازه‌گیری کرده‌اند. همچنین ریک لغزش و مکانسیم گسل نیز بر روی سطوح تشخیص داده شده است. نتایج این تحلیل نشان داده است که سه سیستم تنش در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که یک سیستم فشارش با امتداد NW-SE و دو سیستم تنش کششی با امتدادهای NNE-SSW و WSW-ENE (شکل ۵b). بیشینه تنش تکتونیکی در رژیم اول (میل/روند) $170^{\circ}/180^{\circ}$ بوده و میل تنش کمینه 72° درجه است و این مسأله دلالت بر نزدیک به قائم بودن تنش کمینه و وجود رژیم تنش فشارشی است که این مسأله نیز با مکانسیم تراستی بدست آمده با اندازه‌گیری‌های صحرایی مطابقت دارد. نتیجه تحلیل تنش نشان می‌دهد که کمینه تنش تکتونیکی در رژیم دوم به صورت تنش کششی و با روند 257° میل باشد و بیشینه 56° درجه بوده و این مسأله دلالت بر نزدیک به قائم بودن تنش کمینه دارد که با مکانسیم‌های نرمال در این محدوده همخوانی است که دلالت بر عملکرد رژیم تنش کششی دارد. کمینه تنش تکتونیکی در رژیم سوم (میل/روند) $0.3^{\circ}/9^{\circ}$ است در نتیجه در این رژیم تنش بیشینه به قائم نزدیک‌تر است که این مسأله دلالت بر عملکرد رژیم تنش کششی دیگری در این ناحیه دارد که با مکانسیم‌های نرمال بدست آمده در این منطقه مطابقت

گسل راندگی گلوانس: این گسل دارای راستای شمال غربی - جنوب شرقی و امتداد $75^{\circ}W$ جهت شیب این گسل‌ها به طرف شمال شرق بوده و از نوع شیب‌لغز معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست گرد می‌باشد و فعالیت آن باعث جابه‌جایی سنگ‌های اولترابازیک سرپانتینیته شده است. گسل‌های دیگری نیز با همین ویژگی وجود دارد که به فاصله کمی نسبت به هم قرار گرفته و منطقه را تحت تأثیر قرار داده است و طول شاخه اصلی آن $8/5$ کیلومتر می‌باشد.

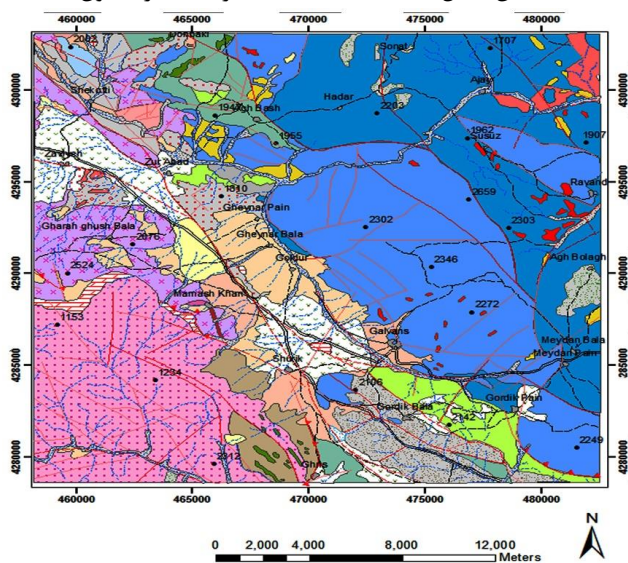
گسل راندگی آغ‌بلاغ: این گسل دارای راستای شمال غربی - جنوب شرقی و امتداد $40^{\circ}E$ می‌باشد و فعالیت آن باعث جابه‌جایی سنگ‌های آمفیبولیت و مرمر خاکستری روشن منطقه شده است. اصولاً شیب صفحه این گسل‌ها نسبتاً ملایم بوده به نحوی که امتداد آن‌ها تحت تأثیر توپوگرافی دچار انحناء می‌شود. جهت شیب این گسل‌ها به طرف شمال غرب بوده است طول این گسل در محدوده مورد مطالعه حدود 8 کیلومتر است.

گسل راندگی قوردیک: این گسل دارای راستای شمال غربی - جنوب شرقی و امتداد $40^{\circ}E$ می‌باشد شیب گسل بین 30° - 40° درجه به سمت شمال شرق است و فعالیت آن سبب راندگی سازندهای مختلفی چون واحدهای کلریت سبز، سرسپیت‌شیت، متاولکانیک و سنگ آهک کرسنالیزه بر روی مجموعه افیولیتی (آمفیبولیت‌های اولترابازیک) این منطقه شده است. طول این گسل حدود 10 کیلومتر می‌باشد.

گسل راندگی زراباد: گسل زراباد جز گسل افشانه‌ای (Splay) گسل خوی - سیه‌چشمه می‌باشد. در این منطقه طول این گسل 23 کیلومتر و از مهم‌ترین گسل‌های منطقه محسوب می‌شود و جز گسل‌های معکوس می‌باشد (شکل ۴). این گسل بیشترین تأثیر را در واحد

شوریک (در همین امتداد) بوده و شاخه دیگر که امتداد عمومی $N40^{\circ}W$ را دارد به نام گسل قوردیک بالا نامیده می‌شود که از نوع راندگی است و در امتداد آن در حوالی روستاهای کلوانس و خانقاه، سنگ‌های الترامافیک رخمون یافته‌اند.

پادگانه‌های آبرفتی جوان (عهد حاضر) دارد. در روستای قینر پایین در امتداد این گسل کنگلومرا همراه میان لایه‌های ماسه‌سنگی رخمون دارند. امتداد و شیب این گسل $N30^{\circ}W, 60^{\circ}NE$ است و در منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب دو شاخه می‌شود که یک شاخه آن گسل



Legend

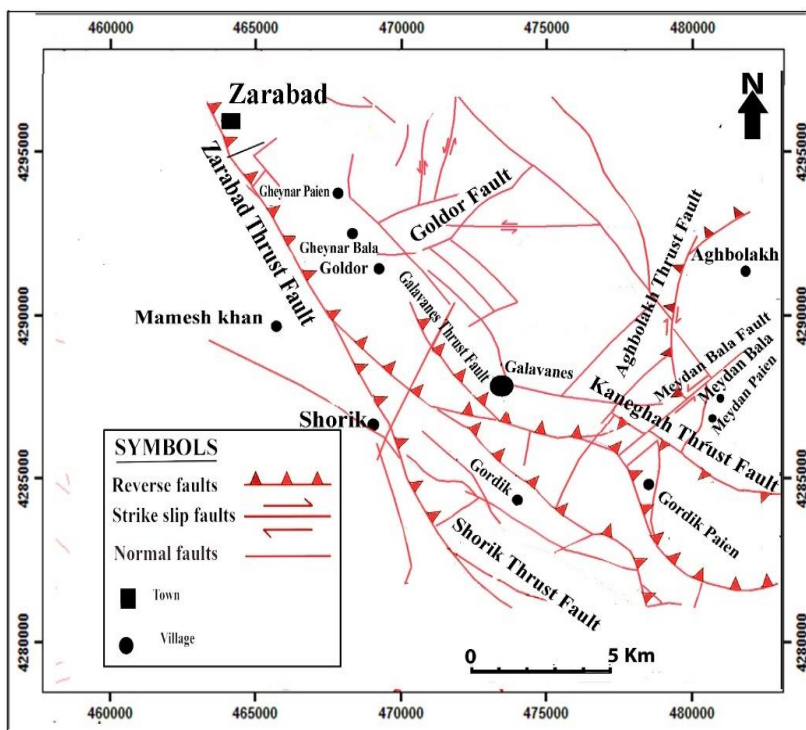
- Cultivated or plantation area
- Travertine
- Young fans
- Old terraces
- Old fans
- Recent alluvium
- Vesiculated pyroxene andesitic lava flows with scoria
- Lahar
- Conglomerate locally with intercalations of sandstone
- Light grey rhyodacitic tuff breccia, crystal lithic tuff, ignimbrite with andesitic-dacitic lava
- Light grey Nummulitic limestone
- Greenish grey shale with intercalations of sandstone and conglomerate
- Red to green conglomerate with lenses of limestone and shale
- Light grey Nummulitic limestone with shale
- Dark green diabasic dikes
- Diorite-gabbro, microgabbro, metamicroitic gabbro
- Pink plagic limestone, basaltic lava flows, coloured shale
- Pink plagic limestone
- Basaltic lava flows and lava breccia with dark gray shale and reddish limestone
- Greenish grey basaltic pillow lava, partly vesiculated or brecciated with pink plagic limestone and shale
- Vesiculated basaltic lava flows with reddish limestone and coloured shale
- Partly serpentinized ultramafic rocks (mainly harzburgite and dunite)
- Serpentine
- Green chlorite, serisite schist, albite, epidote schist with minor metavolcanite and crystallized limestone
- Dark green metavolcanite with minor green schist and crystallized limestone
- Amphibolite with amphibole schist, micaschist, and marble cut by quartz feldspathic and aplitic veins
- Light grey marble
- Porphyritic to megaporphyritic pyroxene trachyandesite-trachyte as dikes
- Quartz-feldspathic, pegmatitic dikes or veins
- Granite-gneiss
- Elevation
- Major fault
- Minor fault
- fault inferred
- Thrust fault
- River
- First class road
- Second class road
- Motorable track
- Village
- Pool

شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه (Radfar and Amini, 1999) و مطالعات صحرایی).

Fig.3. Simplified geological map of the Agh Chay area, modified after the geological map of survey of Iran in 1:100,000 scale, and modified after Amini and Radfar (1999).

گسل شوریک: این گسل از نوع راندگی بوده و دارای ۱۸ کیلومتر طول می‌باشد و دارای امتداد شمال غرب جنوب شرق می‌باشد (Haji Hosseinlou and Padidar, 2015). این گسل سنگ‌های الترامافیک منطقه قوردیک و شوریک را قطع می‌کند.

با توجه به شکل ۴ گسل‌های گلوانس، قوردیک و شوریک در منطقه مورد مطالعه جز گسل‌های افشانه‌ای (Splay Fault) مربوط به گسل زراباد می‌باشند. این گسل‌ها از نوع شیب‌لغز معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد هستند. در اثر این نوع گسل خوردگی در منطقه مورد مطالعه، دگرشکل‌های مختلفی در سازندهای منطقه دیده می‌شود (شکل ۶).



شکل ۴- نقشه‌ی گسل‌های منطقه مورد پژوهش.

Fig.4. Faults map of the Agh Chay area.

ارزیابی زمین ساخت فعال است. شاخص‌های زمین ریخت‌سنجی از ابزارهای پایه و کارآمد شناخت میزان فعالیت زمین ساختی هستند که در این پژوهش بررسی شده‌اند. زمین ساخت فعال به مطالعه‌ی فرآیندهای پویا و مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد. در سال‌های اخیر ریخت‌سنجی زمین ساخت به طور چشمگیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های زمین ساختی فعال و تهیه‌ی نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه‌ی چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است.

تحلیل فعالیت‌های زمین ریخت‌سنجی محدوده آغ‌چای با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی

اندازه‌گیری کمی چشم‌اندازهای زمین ساختی به محققین اجازه مقایسه واقعی عوارض را می‌دهد و سبب محاسبه‌ی پارامترهای ریخت-سنجی می‌شود که می‌توانند برای شناسایی ویژگی‌های خاص یک منطقه نظیر سطح فعالیت زمین ساختی مفید باشد. در این روش نتایج مربوط به هر شاخص و میانگین رده‌های تمام شاخص‌های محاسبه شده برای هر زیر حوضه، خود به سه رده فعالیت زمین ساختی تقسیم‌بندی شده است (جدول ۲). مدل رقومی ارتفاعی (DEM) از داده‌های توپوگرافی تهیه شد که تمام منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. با استفاده از این مدل شاخص‌های ریخت‌سنجی برای منطقه مورد مطالعه

روش کار

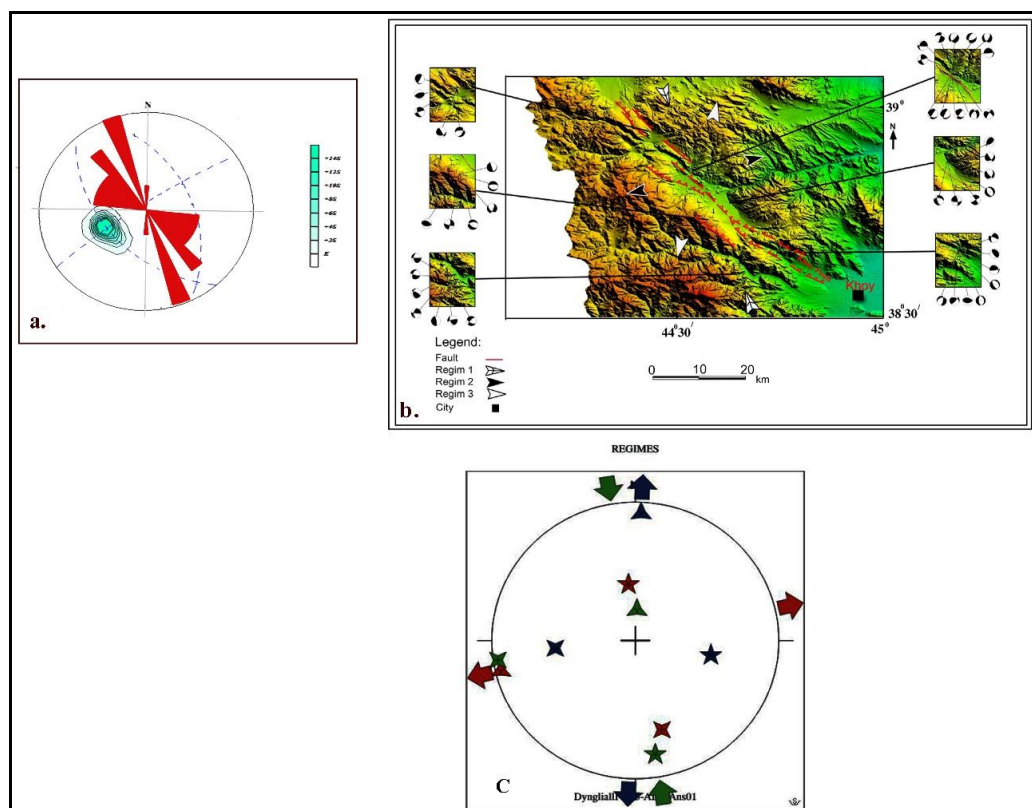
برای به دست آوردن شاخص‌های ژئومورفیک از قبیل: گرادیان شیب رود، شکل حوضه‌ی زهکشی، تقارن توپوگرافی عرض حوضه‌ی زهکشی، فاکتور عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی و انتگرال هیپسومتر. یک مدل رقومی ارتفاع از داده‌های توپوگرافی SRTM با دقت ۵۰ متر تهیه شد که کل منطقه‌ی مورد مطالعه را پوشش داده و منحنی میزان منطقه‌ی مورد پژوهش رسم گردیده است. برای تهیه مدل رقومی ارتفاع از داده‌های ارتفاعی نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استفاده شده است (شکل ۵). این منطقه دارای اختلاف ارتفاعی بیش از ۱۹۰۶ متر است به طوری که ارتفاع زمین در مناطق شمال شرق ۱۲۹۳ متر و در منطقه غرب ۳۱۹۹ متر می‌باشد. شرایط طبیعی آن از نظر میزان بارش دریافتی، نوع بارش، روزهای یخبندان، درجه شیب و غیره با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند. همچنین برای مقایسه و تأثیر دقت DEM ها با دقت تصویر مختلف در چنین مطالعاتی، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ برای چهارگوش آغ‌چای DEM، با دقت ۵۰ متر تهیه شد (شکل ۷).

بحث

بررسی عوارض و شواهد زمین ریخت‌سنجی ساختمانی و شاخص‌های ریخت‌سنجی رودخانه‌ها و پیشانی کوهستان‌ها از بهترین روش‌های

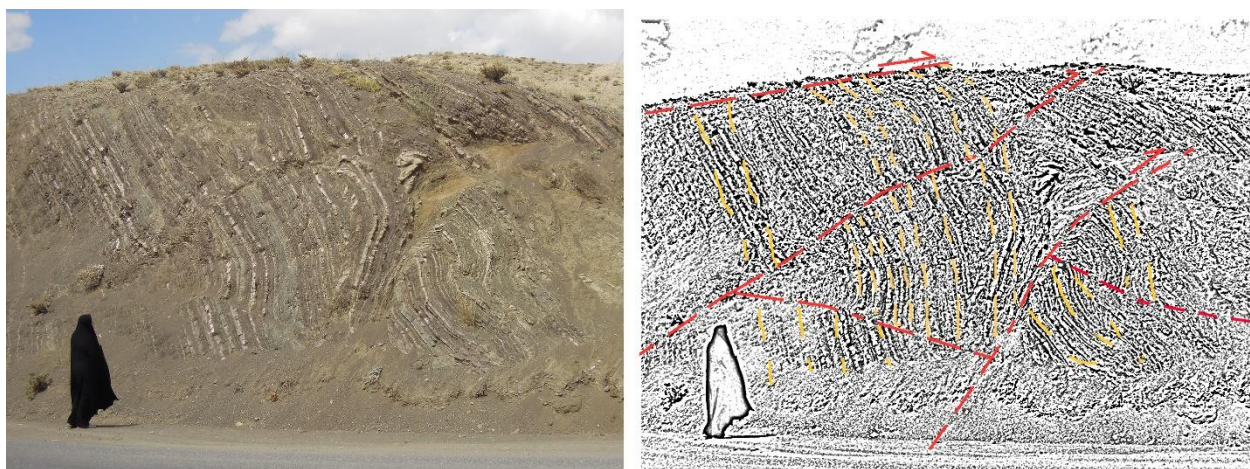
شاخصه‌های ریخت‌سنجی به دست آمده برای محدوده آغ چای بر اساس روش ارائه شده توسط El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) مورد ارزیابی قرار گرفت.

محاسبه گردید که عبارتند از: شاخص شیب رود (SL)، نامتقارنی حوضه زهکش (Af)، شاخص شکل حوضه آبریز (Bs)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf). در انتها،



شکل ۵- (a) نمودار گل‌سرخ امتداد گسل‌های معکوس و قطب صفحات گسلی منطقه مورد مطالعه (۷ تا گسل)، (b) مکانیسم صفحات گسلی از گسل‌های اصلی منطقه‌ی مورد مطالعه با کمی تغییرات و (c) تنش‌های فشارشی و کششی برای هر تانسور تنش نشان داده شده است (Zamani and Masson, 2014).

Fig.5. (a) Rose diagrams of fault strikes and pole density plot for the entire study area, (b) Fault planes mechanism of major faults in the study area and (c) The compressive and tensile stresses are shown for each stress tensor (Zamani and Masson, 2014).



شکل ۶- واحدهای تراست خورده‌ی سنگ‌های ولکانیکی - رسوبی کرتاسه بالایی مرتبط با گسل خوردگی راندگی زراباد، جهت دید عکس $N350^{\circ}$.
Fig.6. Thrusted units of Upper Cretaceous volcano-sedimentary rocks associated with the Zarabad thrust, photo view $N350^{\circ}$.

جدول ۱- مختصات گسل‌های محدوده آغ چای.

Table1. Faults coordinates of the Agh Chay area.

No	Fault name	Faulting mechanism	Strike	Direction dip
1	Zarabad	Thrust	N30°W	60°NE
2	Shorik	Thrust	N30°W	58°NE
3	Ghordik Bala	Thrust	N40°W	50°NE
4	Ghordik Paien	Thrust	N30°W	40°NE
5	Galavanes	Thrust	N75°W	55°NE
6	Aghbolagh	Thrust	N40°W	35°NE
7	Khankhah	Thrust	N40°W	30°NE
8	Meydan Bala	Sinistral strike slip	-	-
9	Gholdor	Sinistral strike slip	-	-

این پژوهش برای این شاخص ۵ منطقه به نام‌های آغ چای، قره چای، زرآباد چای، دیبک چای و زاویه چای در نظر گرفته شده است (جدول ۴). نتایج حاصل از تغییرات این شاخص در طول یک رودخانه به این شرح است (Keller and Pinter, 2002):

- ۱- در حوضه‌هایی که مقدار عددی شاخص (SI) از بالادست به سوی پایین دست کاسته شود، میزان بالآمدگی کم است.
- ۲- در حوضه‌هایی که مقدار عددی شاخص (SI) از بالادست به سوی پایین دست افزایش یابد، آهنگ بالآمدگی زیاد است.
- ۳- در حوضه‌هایی که تغییرات شاخص (SI) از بالادست به سوی پایین دست شیب یکنواخت داشته باشد، میزان بالآمدگی متوسط می‌باشد.
- ۴- در حوضه‌هایی که مقدار شاخص (SI) در نوسان است، آهنگ بالا آمدگی متوسط می‌باشد.

با توجه به این که حوضه‌های آغ چای، قره چای، آغ چای مهم‌ترین سیستم ناحیه‌ی آبی شهرستان آغ چای محسوب می‌شوند نقشه‌های این حوضه‌ها رسم گردیده است (شکل ۸). در تمام حوضه‌های محدوده آغ چای مقادیر شاخص شیب هر آبراهه با نوع سنگ‌های موجود در مسیر آن بررسی و ضمن در نظر گرفتن مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش، میزان فعالیت زمین ساختی در محدوده هر آبراهه به دست آمد.

کم‌ترین مقدار SL در جنوب غرب محدوده و در حوضه دیبک چای دیده می‌شود. مقدار این شاخص یک‌باره در فاصله اندکی از گسل آغ چای به طرف پایین دست حوضه‌ها، افزایش می‌یابد. با توجه به تغییرات شاخص SL در طول حوضه‌ها، علاوه بر اثر فعالیت گسل‌های منطقه، اثر سنگ‌شناسی نیز در کنار این فعالیت‌ها به خوبی مشهود است. بیشترین بی‌هنجاری در نقشه شاخص شیب رود، مربوط به زیر حوضه‌های آغ چای، زاویه چای، در شرق، شمال غرب این ناحیه است که عامل اصلی این مقادیر بالا را می‌توان مربوط به ساختار گسلی آغ چای دانست. کم‌ترین بی‌هنجاری این شاخص مربوط به زیر حوضه‌های دیبک چای می‌باشد، که ناشی از وجود سنگ‌های نامقاوم منطقه است. مقادیر بالای بی‌نظمی، گویای کلاس ۱ فعالیت‌های تکتونیکی است و میزان کم آنومالی

شاخصه‌های ریخت‌سنجی محدوده آغ چای

شاخصه‌ی طول - گرادیان رود به شیب رود

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \times LSL$$

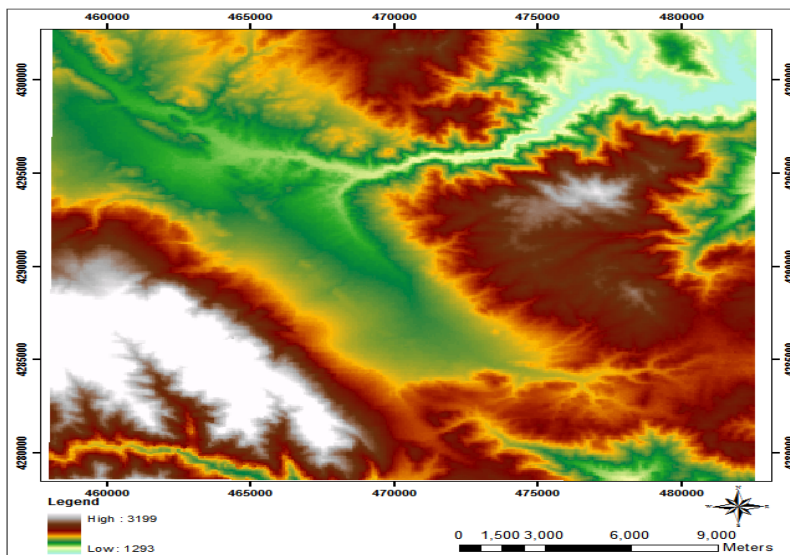
SL: شاخص طول جریان - شیب رود
 ΔH : اختلاف ارتفاع بین نقاط

ΔL : طول رود بین نقاط

اولین محققین شاخصه‌ی طول جریان رود به شیب رود (Keller and Pinter, 2002) بودند. این شاخصه انطباق خوبی نسبت به قدرت جریان رودخانه دارد. مجموعه‌ی قدرت جریان رود در بخش قابل دسترسی آن یکی از مهم‌ترین متغیرهای هیدرولوژیکی محسوب می‌گردد زیرا قدرت جریان سبب تخریب بستر رود و حمل و نقل رسوبات به مناطق پایین دست می‌گردد. مجموع قدرت جریان رود سبب تعیین میزان شیب آب سطحی می‌گردد و این شیب میزان تخلیه را سبب می‌شود. در واقع شیب سطح آب از شیب بدنه‌ی رود تبعیت می‌نماید پس هر قدر شیب بدنه‌ی رود بزرگ‌تر باشد، شیب سطح آب بیش‌تر می‌شود و لذا میزان تخریب و حمل و نقل رسوبات و میزان تخلیه‌ی آب افزایش می‌یابد. شاخص SL نسبت به تغییرات شیب کانال بسیار حساس است و با تغییر در شیب کانال میزان SL تغییر کرده و از این میزان می‌توان در ارزیابی زمین‌ساخت فعال منطقه و مقاومت سنگ‌ها و توپوگرافی استفاده کرد (شکل ۸ و جدول ۳). شاخص SL به مقاومت سنگ‌ها حساس است به عبارت دیگر سنگ‌های مقاوم و نامقاوم می‌توانند در میزان شاخص SL تأثیر بگذارند. بنابراین در مکان‌هایی که جنس سنگ‌ها مقاوم می‌گردد میزان SL افزایش یافته و در مکان‌هایی که سنگ‌های نامقاوم وجود دارند مقدار SL کاهش می‌یابد. مقادیر عددی کوچک این شاخصه یا مبین وجود سنگ‌های رسوبی نرم و فراوان بوده و یا در اثر خردشدگی زیاد منطقه به وجود آمده است. در صورتی که به مقاومت سنگ‌ها در این مکان‌ها توجهی نداشته باشیم ممکن است، کاهش شاخص SL را به فرآیندهای زمین ساختی نسبت دهیم که در

طول زیاد رودخانه‌ها می‌تواند به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌ها باشد نه به دلیل مقاومت بیشتر سنگ‌ها، براساس این شاخص می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌های مورد بررسی از نظر زمین ساخت فعال بوده و این فعالیت‌ها در تحولات مخروط‌افکنه بی‌تأثیر نمی‌باشند.

در نیمرخ طولی رودخانه‌ها، کلاس ۱ حرکات تکتونیکی را نشان می‌دهد. از سوی دیگر این رودخانه‌ها، دارای طول زیادی است، در نتیجه می‌توان علت بالا بودن مقادیر این شاخص را به فعالیت‌های تکتونیکی حوضه نسبت داد. بر اساس نظر Chen و همکاران (۲۰۰۳) اگر در بالا بودن مقدار شاخص (SI)، سنگ‌شناسی بستر رودخانه را مؤثر، ندانیم، علت



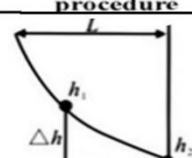
شکل ۷- مدل ارتفاع رقومی منطقه آغ چای.

Fig.6. Digital elevation model of Agh Chay area.

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی مورد استفاده در این مطالعه (El Hamdouni et al., 2008).
Table 2. Morphometric indices classifications used in this study (El-Hamdouni et al., 2008).

Class	Bs	Af	SL	S _{mf}
1	$Bs \geq 4$	$Af-50 > 15$	$SL \geq 500$	$1.1 > S_{mf}$
2	$3 < Bs < 4$	$Af-50 = 7 - 15$	$300 \leq SL < 500$	$S_{mf} = 1.1 - 1.5$
3	$Bs \leq 3$	$Af-50 < 7$	$SL < 300$	$S_{mf} > 1.5$

جدول ۳- شاخصی طول - گرادیان رود به شیب رود (El Hamdouni et al., 2008).
Table 3. Stream Length-gradient index (SL) (El-Hamdouni et al., 2008).

Morphometric parameter	Mathematical derivation	Measurement procedure	
Stream length-gradient index	Class		
	1		$SL \geq 500$
	2		$300 \leq SL < 500$
	3		$SL < 300$

جدول ۴- مقادیر محاسبه شاخص‌های SL برای حوضه‌های منطقه مورد مطالعه.
Table 4. SL index values of the different basins of the study area.

No	Basin	L (m)	ΔL (m)	ΔH (m)	SL (m)	Class
1	Agh Chay	17500	10000	4000	70000	1
2	Ghareh Chay	4500	3750	3500	4200	1
3	Zarabad Chay	7500	5500	3500	4772	1
4	Dibik Chay	10250	4500	1000	2277	1
5	Zaveh Chay	12750	7000	3000	5464	1

شاخصه‌ی تقارن توپوگرافی عرضی

وجود عدم تقارن توپوگرافی در شبکه زهکشی حوضه‌هایی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی تقریباً همسان، عملکرد زمین ساخت فعال را نشان می‌دهد. شاخص دیگری که می‌توان برای ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و متعاقب آن، در بررسی حرکات تکتونیکی فعال از آن سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی می‌باشد. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود (Keller and Pinter, 1996).

$$T = Da/Dd$$

T: تقارن توپوگرافی عرضی

Da: فاصله‌ی خط میانی حوضه‌ی زهکشی تا رودخانه‌ی اصلی حوضه

Dd: فاصله‌ی خط میانی حوضه تا خط تقسیم آب

برای یک حوضه‌ی با تقارن کامل $T=0$ هم‌چنان که عدم تقارن با فاصله از خط وسط حوضه افزایش پیدا می‌کند T هم افزایش می‌یابد و به مقدار یک نزدیک می‌شود (شکل ۹).

با توجه به طویل‌ترین محور حوضه رسم می‌شود. برای حوضه‌های کاملاً متقارن، $T = 0$ می‌باشد. با افزایش عدم تقارن، شاخص T افزایش پیدا می‌کند و در نهایت به ۱ نزدیک می‌شود. فرض بر این است که شیب طبقات بر مهاجرت کانال اصلی رودخانه تأثیر ناچیزی داشته است، در این صورت مهاجرت عمومی و کج شدگی زمین در جهت خاص را سبب شده است. بنابراین مقدار T بین ۰ و ۱ متغیر است که این بیانگر حداقل و حداکثر نامتقارنی یک بخش می‌باشد. فرض بر آن است که شیب سنگ بستر تأثیر ناچیزی روی مهاجرت کانال جریان داشته باشد، بنابراین T یک برادر با جهت و اندازه‌ی صفر تا یک است. مقادیر T با قطعات مختلف دره‌ها قابل محاسبه می‌باشد و نشان‌گر یک مهاجرت ترجیحی جریان‌های عمود بر محور حوضه‌ی زهکشی هستند. برای محاسبه شاخص T در حوضه‌های آغ‌چای مقادیر Da و Dd در ۵ نقطه از مسیر رودخانه از پایاب تا سرچشمه حوضه اندازه‌گیری شد، سپس از مجموع این اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفته تا مقدار عددی به دست آمده بیان‌کننده تمام مسیر رودخانه باشد. میانگین مقدار شاخص T برای حوضه‌های آغ‌چای برابر با عدد ۰/۱۶ می‌باشد (جدول ۵ و شکل ۱۰) با توجه به میزان شاخص T در حوضه‌های آغ‌چای در می‌بایم که این حوضه از لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی در وضعیت فعال به سر می‌برد. از شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در حوضه‌های آغ‌چای که مقدار شاخص T را تأیید می‌نمایند می‌توان به مواردی چون عدم تقارن شبکه زهکشی و طول بیشتر آبراهه‌ها در ساحل سمت چپ رودخانه آغ‌چای اشاره کرد. با توجه به جدول ۵ برای محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) تمام بخش‌های رودهای منطقه تقسیم شد و بردارهای عدم تقارن محاسبه گردید. جهت این بردارها جهت کج شدگی و طول آن‌ها متناسب با بزرگی میزان کج شدگی است که بین ۰ و ۱ متغیر است. مقادیر به دست آمده از بردارهای عدم تقارن در حوضه‌های منطقه تفاوت میزان و جهت کج شدگی در مناطق مختلف آن را به خوبی نشان می‌دهد و بیشترین میزان کج شدگی مربوط به رودخانه قره‌چای است که جهت کج شدگی آن به سمت جنوب شرق است. به احتمال زیاد این

میزان کج شدگی در ارتباط با فعالیت گسل‌های منطقه ایجاد شده است. مخصوصاً گسل آغ‌چای که جبهه کوهستان را تشکیل می‌دهد باعث مهاجرت رودخانه‌ها به سمت شرق حوضه آغ‌چای گردیده است.

شاخصه‌ی پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، دره‌های (V) شکلی را که در پاسخ به بالآمده‌گی، پایین دست خود را حفر می‌کنند، از دره‌های (U) شکلی که در اثر ثبات سطح اساس و آرامش تکتونیکی، فرسایش کناری در آن‌ها برتری دارد، متمایز می‌سازد. شاخص (Vf) به صورت زیر تعریف می‌شود (Keller and Pinter, 2002) (شکل ۱۱):

$$V_f = \frac{V_{fw}}{\left[\frac{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}{2} \right]}$$

V_{fw} : پهنای کف دره

E_{rd} و E_{ld} : ارتفاع دامنه‌ی سمت چپ و راست دره از کف دره

E_{sc} : ارتفاع کف دره از سطح آب‌های آزاد

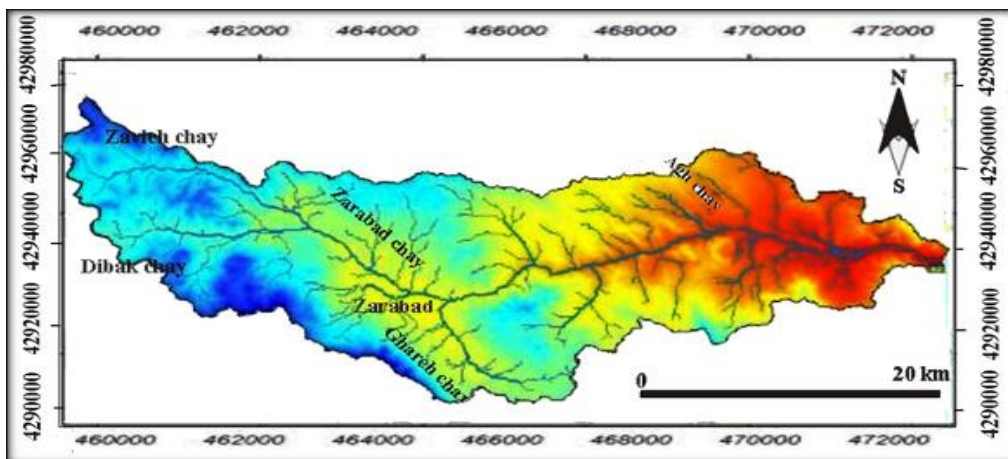
مقادیر کم این نسبت منعکس‌کننده دره‌های عمیق با جریان‌هایی است که معمولاً قدرت برش آن‌ها بسیار زیاد بوده و نشانگر بالآمده‌گی در طول مدت کم می‌باشد. حالت این دره‌ها بیشتر V شکل است. بالا آمدگی کند باعث می‌شود که جریان، فرصت پهن نمودن بستر دره را در طول زمان در اختیار داشته باشد. Vf یکی از نسبت‌های بسیار مفید در شناسایی مناطق فعال می‌باشد و به ویژه به فعالیت‌های تکتونیکی اواخر کواترن بسیار حساس است (Bull, 2007). Bull و McFadden (۱۹۷۷) مقدار عددی $V_f = 0.99$ را به عنوان مرز میان جبهه‌های کوهستانی فعال تکتونیکی و جبهه‌های کوهستانی غیرفعال عنوان نموده‌اند. در مناطق کوهستانی بسیار فعال Vf بین ۰/۵ تا ۰/۵۰ متغیر می‌باشد (جدول ۶) (Bull, 2007). با به دست آوردن مقادیر عددی شاخص Vf برای قسمت‌های نزدیک‌تر دره به جبهه کوهستان می‌توان در مورد فعال بودن جبهه کوهستان تشکیل دره‌های V شکل در پاسخ به حرکات قائم و جوان و یا عدم فعالیت و ثبات پوسته در جبهه کوهستان حاکم بودن فرسایش جانبی با مقادیر عددی Vf بزرگ قضاوت نمود. مقاطع تهیه شده از مناطق مشخص شده روی نقشه‌ی توپوگرافی منطقه برای محاسبه مقادیر عددی شاخص Vf صورت گرفته است و مقادیر محاسبه شاخص Vf در جدول ۷ آورده شده است. بر اساس روش El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) شاخص Vf بر اساس فعالیت‌های زمین‌ساختی به سه دسته رده‌بندی شده است:

الف- رده (۱): $V_f < 0.5$ ، بسیار فعال

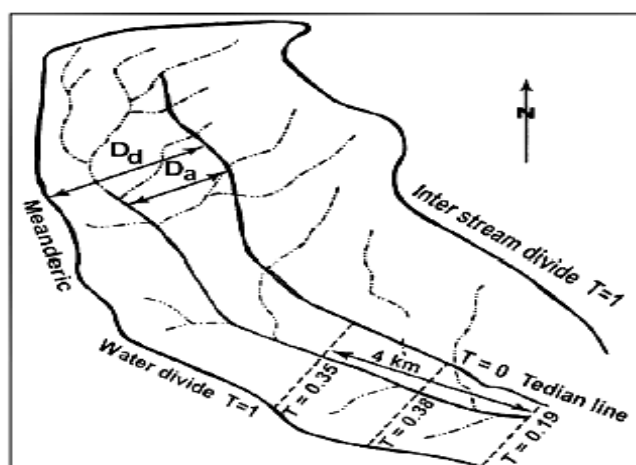
ب- رده (۲): $0.5 < V_f < 1$ ، با فعالیت متوسط

ج- رده (۳): $V_f > 1$ ، غیرفعال

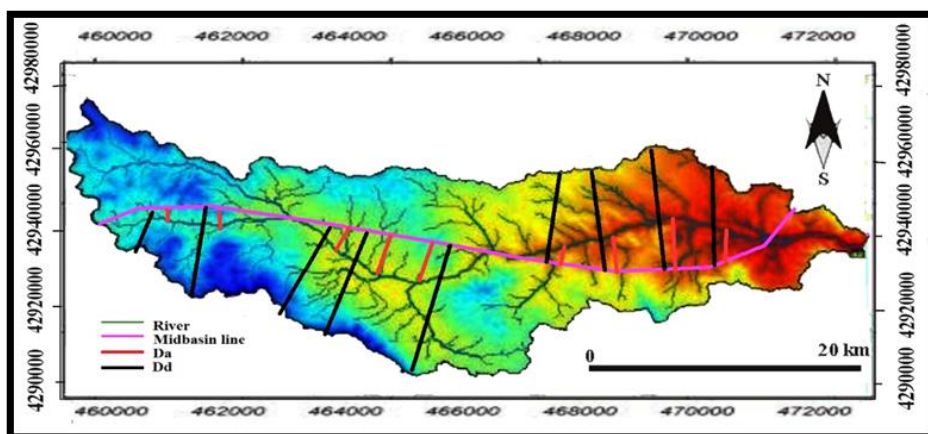
طبق تقسیم‌بندی El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، منطقه‌ی مورد بررسی را جزء مناطق متوسط (نیمه‌فعال) و بر اساس کلاس‌بندی در کلاس ۲، جای می‌دهد. بنابراین این دره‌ها از نوع V شکل در پاسخ به حرکات قائم و جوان ایجاد شده‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۸- زیر حوضه‌های از حوضه رودخانه آغ چای.
Fig 8. Subbasins of the Agh Chay river basin.



شکل ۹- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (Bull, 2007).
Fig. 9. Transverse topographic symmetry factor (Bull, 2007).

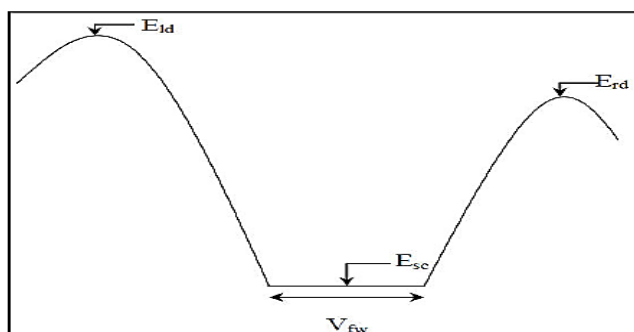


شکل ۱۰- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی برای منطقه مورد مطالعه.
Fig.10. Transverse topographic symmetry factor for the study area.

جدول ۵- مقادیر محاسبه شاخص توپوگرافی عرضی (T) برای حوضه‌های منطقه مورد مطالعه.

Table 5. T index values of the different basins of the study area.

No	Basin	Da (Km)	Dd (Km)	T	Class
1	Agh Chay	2.26	6.96	0.32	1
2	Ghareh Chay	1.74	2.96	0.59	2
3	Zarabad Chay	1.22	4	0.31	1
4	Dibik Chay	1.22	2.96	0.41	1
5	Zaveh Chay	1.04	2.78	0.37	1



شکل ۱۱- تصویر شماتیک از پارامترهای لازم برای محاسبه شاخص (Vf) (Keller and Pinter, 2002).

Fig.11. Section of schematic Vf index (Keller and Pinter, 2002).

جدول ۶- میزان شاخص (Vf) (El Hamdouni et al., 2008).

Table.6. Ratio of valley floor width to valley height Index (Vf) (El-Hamdouni et al., 2008).

Morphometric parameter	Mathematical derivation	Mathematical derivation								
Ratio of valley floor width to valley height	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Vf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>< 0.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.5 - 1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>> 1</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Vf	1	< 0.5	2	0.5 - 1	3	> 1	
	Class	Vf								
1	< 0.5									
2	0.5 - 1									
3	> 1									
$V_f = \frac{V_{fw}}{\left(\frac{(E_{id} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}{2} \right)}$										

جدول ۷- مقادیر محاسبه شده شاخص (Vf) برای پیشانی کوهستانی در منطقه آغ‌چای.

Table 7. Vf index (ratio of valley floor width to valley height) values calculated in the Agh Chay area.

No	Mountain front	E _{id} (m)	E _{rd} (m)	E _{sc} (m)	V _{fw} (m)	V _f	Class
1	Susuz	1962	1684	1600	212	0.94	2
2	Hodar	2182	2208	1900	245	0.83	2
3	Aghbash	2147	2182	2022	185	0.65	2
4	Ajay	1634	1567	1467	175	0.66	2
5	Ghermesk	2004	1983	1904	177	0.98	2

شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز

توپوگرافی محل، در یک سوی منطقه بالآمدگی و در سوی دیگر فرونشست ایجاد می‌گردد. بنابراین طول آبراهه‌های فرعی در سوی فرایش یافته بیش از طول آبراهه‌های منطقه فرونشست خواهد بود. شاخص (AF) به صورت زیر تعریف می‌شود:

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، کج شدگی جانبی حوضه را نسبت به مسیر رودخانه اصلی، در اثر نیروهای تکتونیکی نشان می‌دهد. در مناطق دارای تکتونیک فعال، به دلیل ظاهر شدن اثر این حرکات بر

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

AF: فاکتور عدم تقارن

Ar: مساحت حوضه‌ی سمت راست

At: مساحت کل حوضه‌ی زهکشی

اولین معرفان این شاخصه (Keller and Pinter, 2002) می‌باشد، این عامل عدم تقارن می‌تواند میزان کج‌شدگی زمین ساختی حوضه‌ی زهکشی را در مقیاس‌های بزرگ نشان دهد. برای اکثر شبکه‌های آبراهه-هایی که تازه تشکیل شده و در آن‌ها جریان ادامه دارد و در حال تقارن هستند، فاکتور عدم تقارن در حدود ۵۰ درصد است، مقدار AF بیش‌تر یا کم‌تر از ۵۰ درصد به کج‌شدگی اشاره دارد. یعنی در یک رودخانه‌ای که به سمت شمال جریان دارد و چرخش زمین‌ساختی قسمت غرب را به سمت پایین حرکت داده است، شاخصه‌های رودخانه در قسمت شرق طول‌تر شده و در قسمت غرب کوتاه‌تر می‌گردد و AF بیش‌تر از ۵۰ می‌شود. اگر کج‌شدگی در جهت عکس رخ داده باشد، آن‌گاه بیشترین آبراهه‌ها در سمت چپ آبراهه‌ی اصلی خواهند بود و AF کم‌تر از ۵۰ است. مقدار AF مشابه اکثر اندیس‌های ژئومورفیک است و بهتر است AF را جایی به کار ببریم که در زیر حوضه‌ی زهکشی جنس سنگ‌ها از یک نوع باشد. در این روش، هم‌چنین خصوصیات سنگ‌شناسی از قبیل

شیب لایه‌های رسوبی و آب و هوای منطقه از قبیل پوشش سبز بین دامنه‌های جنوبی و شمالی، به عنوان علت عدم تقارن فرض نگردیده‌اند. در نهایت می‌توان چنین تشخیص داد که شاخصه‌ی AF تمام طول حوضه‌ی تقارن را در نظر می‌گیرد، اما شاخصه‌های فرعی آبراهه‌ها که در مناطق پایین دامنه‌ها جریان دارند، ممکن است در حالت طبیعی از تقارن برخوردار نباشند، اما کج‌شدگی‌های فعال خارجی این آبراهه‌ها را متقارن نموده باشد. در بیشتر زیر حوضه‌های این منطقه مقدار این شاخص بیشتر یا کم‌تر از ۵۰ محاسبه شده است که نشان دهنده انحراف حوضه‌ها به سمت غرب آبراهه هر زیرحوضه است. براساس Khavari و همکاران (۲۰۰۹) برای به دست آوردن مقدار انحراف از حالت پایدار از مقادیر AF-50 استفاده شده است در جدول ۸ تقسیم‌بندی مناطق، بر اساس شاخص (AF) مشاهده می‌گردد. جدول ۹ این مقادیر را نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های آغ‌چای، قره‌چای، زرآباد چای، دیبک‌چای و زاویه‌چای بیشترین میزان انحراف را دارا هستند. اکثر زیرحوضه‌های رودخانه‌های محدوده آغ‌چای کج‌شدگی نسبتاً زیادی را نشان می‌دهند. از نتایج به دست آمده این طور استنباط می‌شود که در حوضه‌های آبریز محدوده آغ‌چای، زمین‌ساخت در سمت شمال‌غرب در جریان است. هم‌چنین بر اساس کلاس‌بندی ارائه شده توسط El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) محدوده آغ‌چای جزء مناطق فعال معرفی می‌شود.

جدول ۸- مقادیر محاسبه شده شاخص عدم تقارن حوضه‌های زهکشی (AF) برای محدوده آغ‌چای.

Table 8. AF index (drainage basin asymmetry ratio) values calculated in the Agh Chay area.

No	Basin	At (m ²)	Ar (m ²)	%AF	Class
1	Agh Chay	1010192	437703	43	1
2	Ghareh Chay	646833	586721	90	1
3	Zarabad Chay	82554	64053	76	1
4	Dibik Chay	60902	45151	74	1
5	Zaveh Chay	81367	62718	77	1

جدول ۹- تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین‌ساختی مناطق بر اساس میزان شاخص Af (El Hamdouni et al., 2008).

Table 9. Tectonic activity classifications Based on AF index values (El-Hamdouni et al., 2008).

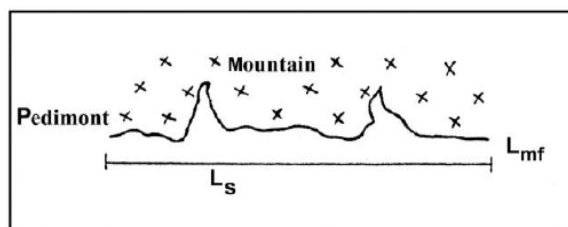
Tectonic activity	Af
High	Af-50 > 15
Moderate	Af-50 = 7 – 15
Non active	Af-50 < 7

شاخصه‌ی سینوسی جبهه‌ی کوهستان (Smf)

شاخص سینوسی (سینوزیته) یا پیچ و خم جبهه کوهستان، از جمله شاخص‌های ژئومورفیک برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال می‌باشد. این شاخص تعادل بین نیروهای فرسایشی و نیروهای تکتونیکی را نشان می‌دهد. مخروط‌افکنه‌ها در جایی تشکیل می‌شوند که پس خشکی (Hinterland) مرتفع به علت یک گسل فعال هم‌زمان با رسوب‌گذاری

(گسل نرمال در جبهه‌ی کوهستان) در کنار یک حوضه با ارتفاع کم‌تر قرار گرفته است و بنابراین نشان‌گر خوبی از فعالیت زمین‌ساختی هستند. در همین رابطه پارامتر Smf (سینوسیته جبهه‌ی کوهستان) محاسبه می‌شود تا فعالیت مخروط‌افکنه مشخص شود. پس رابطه‌ی زمین‌ساخت با مخروط‌افکنه‌های منطقه‌ی مورد پژوهش می‌تواند با

که میزان بالآمدگی کم گردد یا این که متوقف گردد، فرایندهای فرسایشی باعث حفر و ایجاد ساختمان سینوسی می‌گردند. در نتیجه شاخص S_{mf} افزایش می‌یابد، در عمل مقادیر S_{mf} بر روی تصاویر و نقشه‌های توپوگرافی کوچک مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تنها یک تخمین نسبی را از سینوسی جبهه‌ی کوهستان ارائه می‌دهد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی بزرگ مقیاس، سینوسی دقیق‌تری از جبهه‌ی کوهستانی را می‌توان به دست آورد که بر اساس این مطالعات، بیش‌تر جبهه‌های کوهستانی فعال که با گسل‌های فعال محدود کننده‌ی کوه در ارتباط هستند، معمولاً دارای S_{mf} کم‌تر از ۱/۱ می‌باشند. جبهه‌های کوهستانی واجد فعالیت کم‌تری که هنوز زمین ساخت فعال را نشان می‌دهند دارای سینوسیتی سینوسیتی بین ۱/۱ و ۱/۵ هستند و جبهه‌های کوهستانی غیرفعال دارای سینوسیت‌های بیشتر از ۱/۵ می‌باشند. این شاخص یک ابزار مقدماتی بسیار مفید برای تشخیص نواحی فعال از نظر زمین‌ساختی است (جدول ۱۰).



شکل ۱۲- شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Bull, 2007).

Fig.12. Section Schematic for mountain front sinosity index (Bull, 2007).

استفاده از شاخص S_{mf} تعیین کرد. شاخصی سینوسیتی جبهه‌ی کوهستان:

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s}$$

S_{mf} : سینوسیتی پیشانی کوهستان

L_{mf} : طول جبهه‌ی کوهستان

L_s : طول مستقیم جبهه‌ی کوهستان

اولین معرفان شاخصی سینوسیتی جبهه‌ی کوهستان Bull and McFadden (1977) بود (شکل ۱۲). این شاخص برای انعکاس توازن بین نیروهای فرسایشی به کار می‌رود که تمایل به ایجاد ساختمان سینوسی داشته و زمین‌ساخت که تمایل به ایجاد خط مستقیم در پیشانی کوهستانی را دارند، می‌باشد. جبهه‌ی کوهستان که همراه با زمین ساخت فعال و بالآمدگی است حالت مستقیم داشته که میزان شاخص S_{mf} آن‌ها پایین می‌باشد و به عدد یک نزدیک است. در صورتی

ATF: مساحت واقعی مخروط‌افکنه

AIF: مساحت مخروط ایده‌آل

برای محاسبه‌ی ضریب مخروط‌گرایی رابطه زیر بیان می‌شود:

$$FCI = \frac{AIF}{ATF}$$

$$ALF = \pi r^2 \times dFA / 360$$

r^2 : شعاع مخروط‌افکنه؛ π : عدد پی معادل ۳/۱۴؛ DFA: زاویه بین دو حاشیه‌ی مخروط‌افکنه که در محل رأس آن اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱۴). به عنوان نمونه در شکل ۱۵ پارامترهای لازم جهت محاسبه و بررسی این شاخص، در منطقه‌ی مورد مطالعه آمده است. طبق جدول ۱۲ مشاهده می‌شود که ضریب مخروط‌گرایی در مخروط‌افکنه‌ها، رقم کمتر از یک را نمایش می‌دهند. پس می‌توان این گونه نتیجه گرفت که گسترش مخروط‌افکنه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه تحت تأثیر تکتونیک و سایر عوامل فرسایش مانند آب و هوا، دچار محدودیت شده و به تکامل واقعی خود نرسیده است.

شاخصی شکل حوضه‌ی زهکشی (Bs)

تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت کشیدگی آن به صورت زیر توصیف می‌گردد:

$$Bs = B_l / B_w$$

برای محاسبه‌ی میزان این شاخص در منطقه‌ی مورد مطالعه، بر روی نقشه‌ی توپوگرافی، مقطعی مشخص گردید (شکل ۱۳)، سپس با استفاده از رابطه‌ی ذکر شده، میزان سینوسیتی جبهه‌ی کوهستان محاسبه شد. مقدار شاخص به دست آمده و پارامترهای مربوط به آن در جدول ۱۱ قابل مشاهده می‌باشد. طبق جدول شماره ۱۱ مشاهده می‌شود که مقادیر (S_{mf}) طبق تقسیم‌بندی ارائه شده از El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، سه منطقه‌ی مورد بررسی را جزء مناطق بسیار فعال و بر اساس کلاس‌بندی در کلاس ۱، جای می‌دهد. بنابراین بر اساس این شاخص، منطقه‌ی مورد بررسی فعال می‌باشد.

شاخصی ضریب مخروط‌گرایی (FCI)

شکل واقعی یک مخروط‌افکنه شباهت زیادی به مخروط دارد. معیار سنجش شکل واقعی یک مخروط‌افکنه، نخستین بار توسط Mukerji در سال (۱۹۷۶) ارائه شد. ضریب مخروط‌گرایی برای یک مخروط‌افکنه مشخص و تبیین می‌باشد. مخروط‌افکنه‌ای که دارای ضریب مخروط‌گرایی یک باشد، کمتر تحت تأثیر عوامل مخرب و محدودکننده قرار گرفته است و به شکل یک مخروط واقعی نزدیک‌تر است. هرچه میزان این شاخص از عدد یک کم‌تر باشد نشان دهنده‌ی این است که مخروط‌افکنه کمتر اجازه‌ی رشد و تکامل یافته است که علت این امر فعالیت‌های فرسایشی و یا فعالیت‌های تکتونیک می‌باشد.

این شاخص با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Mukerji, 1976):

1977. بر اساس روش El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) شاخص شکل حوضه به سه رده طبقه‌بندی شده است:

رده (۱) $Bs > 4$ ، رده (۲) $3 < Bs < 4$ ، رده (۳) $Bs < 3$

برای محاسبه شاخص (Bs) از نرم‌افزار GIS استفاده شد و پس از قرار دادن اعداد به دست آمده در رابطه‌ی $Bs = BI/Bw$ شاخص شکل حوضه حاصل گردید (جدول ۱۳).

BI طول حوضه، فاصله‌ی پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن است و BW عرض حوضه که در عریض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود، می‌باشد (شکل ۱۶ و ۱۷). مقدار زیاد شاخص Bs مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعالیت زمین ساختی است در صورتی که مقادیر کم آن حوضه‌های دایره‌ای شکل، نواحی غیرفعال را نشان می‌دهد. پیشانی‌های کوهستانی که سریع بالاآمده‌اند، حوضه‌های کشیده و تندی را ایجاد می‌کنند و زمانی که فعالیت زمین ساختی کم یا متوقف شود، عریض‌شدگی حوضه رخ می‌دهد (Bull and McFadden).

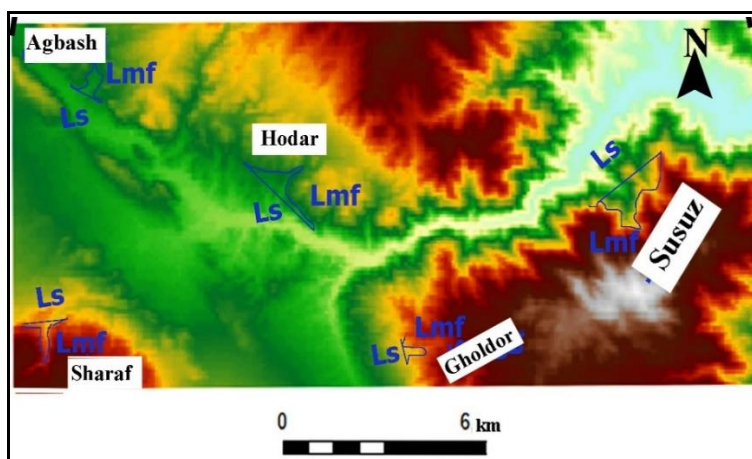
جدول ۱۰- تقسیم‌بندی فعالیت‌های زمین ساختی مناطق بر اساس میزان شاخص (Smf) (El Hamdouni et al., 2008).

Tectonic activity	Smf
Very high	$1.1 > Smf$
Moderate	$Smf = 1.1 - 1.5$
Non active	$Smf > 1.5$

جدول ۱۱- شاخص (Smf) و پارامترهای آن در جبهه‌ی کوهستانی منطقه‌ی مورد مطالعه.

Table.11. Values of the Smf in the defined mountain fronts.

No	Mountain front	L_{mf} (Km)	L_s (Km)	S_{mf} (Km)	Class
1	Susuz	2.57	1.42	1.81	3
2	Gholder	0.54	0.63	0.86	1
3	Hodar	0.57	0.60	0.95	1
4	Sharaf	2.66	1.73	1.54	3
5	Aghbash	0.67	0.69	0.97	1



شکل ۱۳- شاخص سینوسی جبهه کوهستان (Smf) در منطقه مورد مطالعه.

Fig.13. Mountain front sinuosity (Smf) index for the study area.

$Iat = S/N$

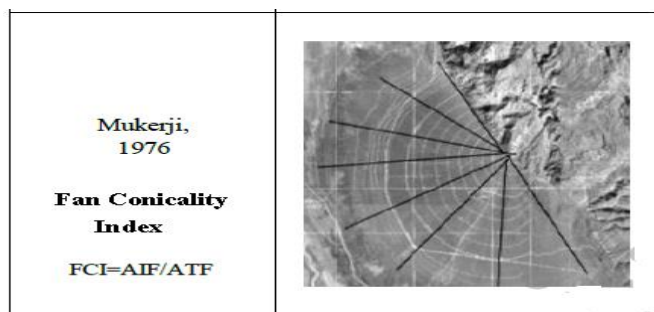
اگر $Iat < 1/5$ باشد حاکی از فعالیت‌های زمین ساختی شدید است. در صورتی که $1/5 < Iat < 2$ باشد فعالیت‌های زمین ساختی زیاد را نشان می‌دهد. اگر $2 < Iat < 2/5$ باشد بیانگر فعالیت‌های زمین ساختی متوسط

شاخصه‌ی ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat)

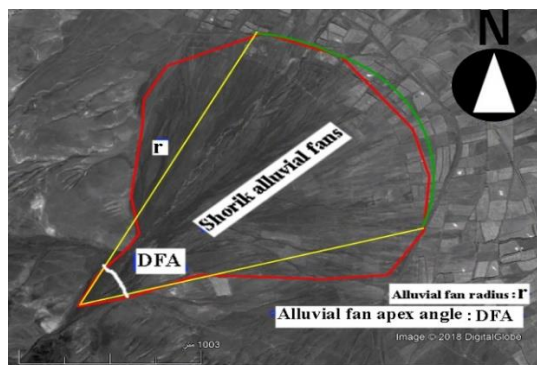
ارزیابی فعالیت‌های زمین ساختی محدوده مورد مطالعه با استفاده از شاخص Iat پس از محاسبه شاخص‌های ریخت‌زمین ساختی و مشخص شدن کلاس‌های هر کدام از حوضه‌ها از نظر فعالیت‌های زمین ساختی انجام می‌گیرد. شاخص Iat از متوسط کلاس‌های مختلف شاخص‌های ریخت‌زمین ساختی و طبق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

زمین ریخت سنجی را در محدوده مورد مطالعه را تأیید می‌کند. با توجه به مقادیر شاخص I_{at} به جزء حوضه قره چای که در فعالیت زمین ساختی زیاد قرار دارند بقیه‌ی ۴ حوضه در فعالیت زمین ساختی شدید قرار گرفته‌اند. پس محدوده آغ چای از لحاظ زمین ساختی یک منطقه فعال می‌توان در نظر گرفت.

است و $I_{at} < 2/5$ فعالیت‌های کم و ناچیز را آشکار می‌سازد (جدول ۱۴). برای ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین ساختی منطقه مورد مطالعه از ۷ شاخصه زمین ریخت سنجی استفاده شده و نتایج آن‌ها در جدول ۱۵ ارائه شده است. مطابق جدول ۱۵ شاخص I_{at} در ۴ حوضه مورد مطالعه در کلاس ۱ قرار گرفته، و فعالیت نسبی زمین ساختی شدید را نشان می‌دهد. بنابراین نتیجه کلی بررسی شاخصه‌های ریخت سنجی، فعالیت‌های



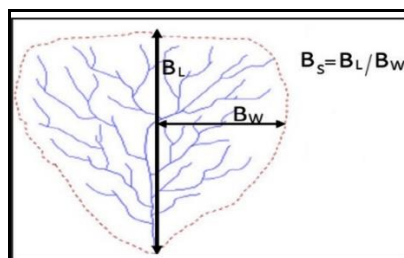
شکل ۱۴- شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) (Mukerji, 1976).
Fig.14. Fan conicality (FCI) index (Mukerji, 1976).



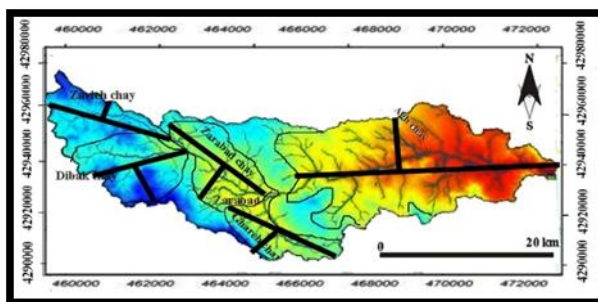
شکل ۱۵- شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) در مخروط‌افکنه‌ی شوریک.
Fig 15. Fan conicality (FCI) index for Shorik alluvial fan.

جدول ۱۲- مقادیر محاسبه شده برای ضریب مخروط‌گرایی (FCI) در منطقه مورد مطالعه.
Table 12. FCI index values calculated in the study area.

No	Alluvial fan	r (Km ²)	DFA	AIF (Km ²)	ATF (Km ²)	FCI	Class
1	Agh chay	1.105	25	0.27	0.55	0.48	1
2	Mamashkhan	2.525	66	3.67	4	0.92	1
3	Shorik	1.980	45	1.54	2.70	0.57	1
4	Ghalavanes	2.004	62	2.17	2.60	0.83	1
5	Zaveh	1.472	28	0.53	0.71	0.75	1



شکل ۱۶- شاخص شکل حوضه‌ی زهکشی (Bs) (Bull, 2007).
Fig.16. Drainage basin shape (Bs) index (Bull, 2007).



شکل ۱۷- شاخص شکل حوضه‌ی زهکشی برای منطقه مورد مطالعه.

Fig.17. Drainage basin shape (Bs) index for the study area.

جدول ۱۳- مقادیر محاسبه شاخصه‌های نسبت شکل حوضه‌ی زهکشی (Bs) برای محدوده آغ چای.

Table 13. Drainage Basin Shape (Bs) index values calculated in the Agh Chay area.

No	Basin	BL(Km)	BW(Km)	BS	Class
1	Agh Chay	31	7.54	4.11	1
2	Ghareh Chay	18.85	7.55	2.50	3
3	Zarabad Chay	15.1	2.45	6.2	1
4	Dibik Chay	12.1	5.7	4.25	1
5	Zaveh Chay	15.83	2.64	6	1

در این تحقیق برای کمی نمودن فعالیت‌های زمین‌ریخت‌سنجی شاخص‌های ریخت‌سنجی مانند شاخص شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن زهکشی (Af)، تقارن توپوگرافی معکوس (T)، شاخص Vf، شاخص BS، شاخص Smf و شاخص FCI محاسبه و در نهایت با میانگین‌گیری از این شاخص‌ها، شاخص کلی زمین ساخت فعال نسبی (($Iat (S/n)$) برای حوضه‌های منطقه آغ چای تعیین گردید. با توجه به شواهد نمایش داده شده در منطقه مورد پژوهش و بحث‌های انجام شده در ارتباط با آن‌ها، نتایج زیر حاصل شده است:

۱- مقادیر به دست آمده از شاخص (Smf) در جبهه‌ی کوهستان طبق تقسیم‌بندی El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) حوضه‌های آغ چای و دیبیک‌چای منطقه‌ی مورد بررسی را جزء مناطق غیر فعال و بر اساس کلاس‌بندی در کلاس ۳ و حوضه‌های آغ چای، زاویه‌چای و قره‌چای جزء مناطق بسیار فعال و بر اساس کلاس‌بندی در کلاس ۱ جای می‌دهد. بنابراین بر اساس این شاخص، منطقه‌ی مورد بررسی فعال می‌باشد. گسل‌هایی که در مناطق حاشیه‌های جبهه‌های کوهستانی وجود دارند، بر مقادیر شاخص Smf تأثیر می‌گذارند. از این رو، در مناطق زمین ساختی فعال در حوضه آغ‌چای و دیبیک‌چای، جبهه‌های کوهستانی بریدگی کمتری دارند، بنابراین مقدار این شاخص در این دو حوضه پایین خواهد بود.

نتایج و بحث روی نتایج

نقشه شاخص شیب رود رده‌بندی زمین ساخت فعال نسبی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که گسل‌ها، خصوصاً گسل‌های فرعی در مرزبندی و شکل‌گیری حوضه‌های آبریز نقش فراوان داشته‌اند. فعالیت گسل‌های آغ چای، آغ‌چای و سایر گسل‌های فرعی منطقه در طول کوتاه‌تر نقش بسزایی را در ساختار زمین ریخت‌سنجی منطقه ایفا نموده‌اند. به نظر می‌رسد که احتمالاً فعالیت این گسل‌ها در شکل‌گیری روند رودخانه‌های منطقه بی‌تأثیر نبوده است و عدم تقارن رودخانه‌های اصلی منطقه نیز، تحت تأثیر فعالیت گسل آغ چای و یا گسل راندگی در منطقه است چنانچه به نقشه تراکم گسل‌های محدوده آغ چای و ارتباط آن با نقشه تراکم حوضه‌های آن دقت کنیم تمرکز تراکم گسل‌ها و حوضه‌ها و ارتباط آن‌ها در شمال غربی، جنوب و جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شود. به طوری که آثار این فعالیت‌ها را می‌توان در ویژگی‌های سامانه‌های رودخانه‌ای منطقه، مانند انحراف رودخانه‌ها از مسیر اصلی، تغییر شیب آنها، تطبیق یا عدم تطبیق شبکه آبراهه‌ای با ساختار زمین ساختی، زمین‌شناسی و ویژگی‌های ریخت‌سنجی حوضه‌ها مشاهده نمود.

نتیجه‌گیری

جدول ۱۴- طبقه‌بندی شاخص فعالیت‌های زمین ساختی (Iat) (El Hamdouni et al., 2008).

Table 14. Tectonic activity classifications based on Iat values (El-Hamdouni et al., 2008).

Tectonic activity	Iat
Very high	$1 < Iat < 1.5$
High	$1.5 < Iat < 2$
Moderate	$2 < Iat < 2.5$
Low	$Iat > 2.5$

جدول ۱۵- محاسبه شاخص Iat (شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی) در زیر حوضه‌های آغ‌چای (SL: شاخصی طول - گرادیان رود به شیب رود؛ Af: شاخصی تقارن توپوگرافی عرضی؛ Vf: شاخصی پهنای دره به ارتفاع آن؛ BS: شاخصی شکل حوضه زهکشی؛ Smf: شاخصی سینوسی جبهه‌ی کوهستان و FCI: شاخصی ضریب مخروط‌گرایی).

Table 15. Classification of the Iat (relative tectonic activity index) in the subbasins of the Agh Chay basin (SL: stream length-gradient index; Af: drainage basin asymmetry index; Vf: ratio of valley floor width to valley height; Bs: Drainage basin shape index; Smf: mountain-front sinuosity index and FCI: Fan conicality index).

No	Basin	SL	Af	Vf	BS	Smf	T	FCI	Iat (S/n)	Class
1	Agh Chay	1	1	2	1	3	1	1	1.43	1
2	Ghareh Chay	1	1	2	3	1	2	1	1.57	2
3	Zarabad Chay	2	1	2	1	1	1	1	1.29	1
4	Dibik Chay	1	1	2	1	3	1	1	1.43	1
5	Zaveh Chay	2	1	2	1	1	1	1	1.29	1

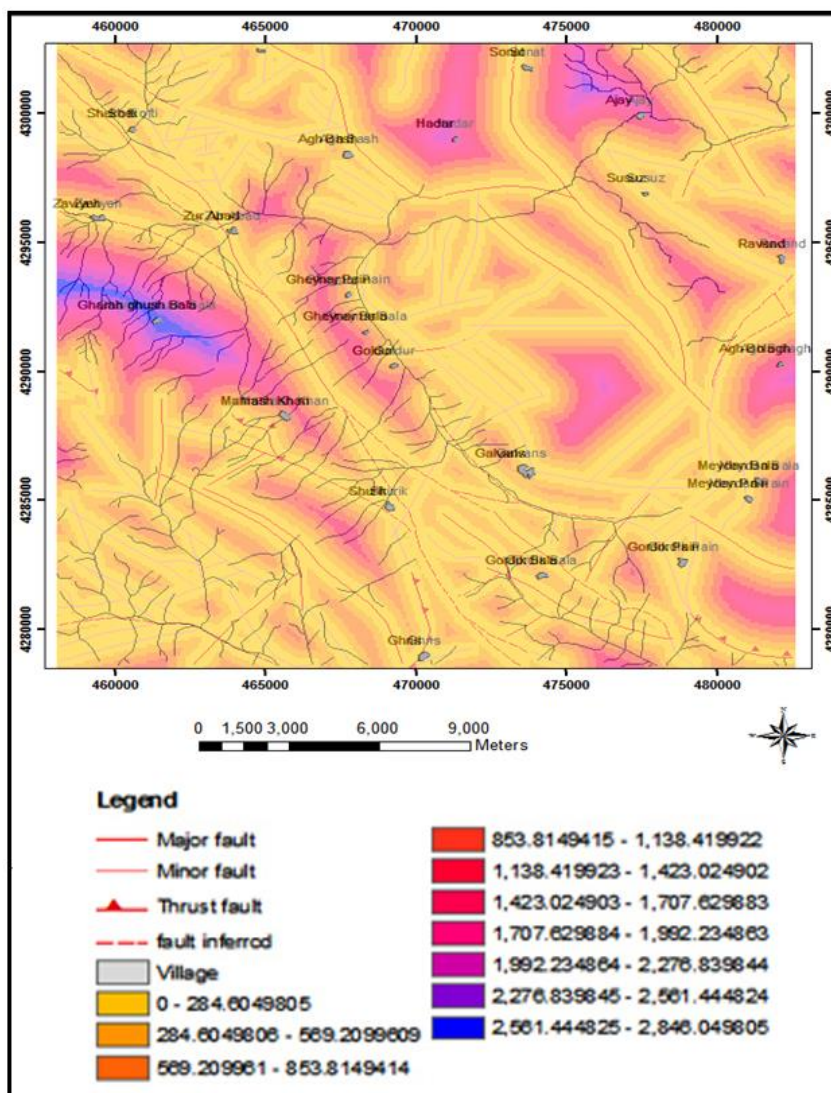
۵- شاخص دیگری که می‌توان برای ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و متعاب آن، در بررسی حرکات زمین ساختی فعال سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) می‌باشد. مقادیر به دست آمده از بردارهای عدم تقارن در حوضه‌های منطقه تفاوت میزان و جهت کج شدگی در مناطق مختلف آن را به خوبی نشان می‌دهد و بیشترین میزان کج شدگی مربوط به رودخانه آغ‌چای است که جهت کج شدگی آن به سمت جنوب و شرق است. به احتمال زیاد این میزان کج شدگی در ارتباط با فعالیت گسل‌های منطقه ایجاد شده است. مخصوصاً گسل آغ‌چای و گسل زآباد که جبهه کوهستان را تشکیل می‌دهد باعث مهاجرت رودخانه‌ها به سمت جنوب و شرق دشت آغ‌چای گردیده است.

۶- نقشه شاخص شیب رود رده‌بندی زمین ساخت فعال نسبی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که گسل‌ها، خصوصاً گسل‌های فرعی در مرزبندی و شکل‌گیری حوضه‌های آبریز نقش فراوان داشته‌اند. فعالیت گسل‌های آغ‌چای و سایر گسل‌های فرعی منطقه در طول کوتاه‌تر نقش بسزایی را در ساختار زمین ریخت سنجی منطقه ایفا نموده‌اند. به نظر می‌رسد که احتمالاً فعالیت این گسل‌ها در شکل‌گیری روند رودخانه‌های منطقه بی‌تأثیر نبوده است و عدم تقارن رودخانه‌های اصلی منطقه نیز، تحت تأثیر فعالیت گسل آغ‌چای و یا گسل راندگی در منطقه است چنانچه به نقشه تراکم گسل‌های محدوده آغ‌چای و ارتباط آن با نقشه تراکم حوضه‌های آن دقت کنیم تمرکز تراکم گسل‌ها و حوضه‌ها و ارتباط آن‌ها در شمال غربی، جنوب و جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۱۸). به طوری که آثار این فعالیت‌ها را می‌توان در ویژگی‌های سامانه‌های رودخانه‌ای منطقه، مانند انحراف رودخانه‌ها از مسیر اصلی، تغییر شیب آنها، تطبیق یا عدم تطبیق شبکه آبراه‌ای با ساختار زمین ساختی، زمین‌شناسی و ویژگی‌های ریخت‌سنجی حوضه‌ها مشاهده نمود.

۲- از دیگر شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد استفاده در این مطالعه، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) است. طبق تقسیم‌بندی El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، منطقه‌ی مورد بررسی را جزء مناطق متوسط و بر اساس کلاس‌بندی در کلاس ۲، جای می‌دهد. بنابراین این دره‌ها از نوع V شکل در پاسخ به حرکات قائم و جوان ایجاد شده‌اند.

۳- سومین شاخصی که در منطقه‌ی مورد مطالعه ارزیابی گردید، شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af) بود از نتایج به دست آمده از این شاخص این گونه استنباط می‌شود که در حوضه‌های آبریز محدوده آغ‌چای، زمین ساخت فعال در سمت شمال غرب در جریان است. همچنین بر اساس کلاس‌بندی ارائه شده توسط El Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) محدوده آغ‌چای جزء مناطق فعال و در کلاس ۱ معرفی می‌شود و از نشانه‌های آن می‌توان به عدم تقارن حوضه‌ها اشاره کرد.

۴- از دیگر شاخص مورد بررسی در این پژوهش شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) است. با توجه به مقادیر به دست آمده از این شاخص، ملاحظه می‌شود بیشترین بی‌هنجاری در نقشه شاخص شیب رود، مربوط به زیر حوضه‌های آغ‌چای، قره‌چای، دیک‌چای در شرق و شمال غرب این ناحیه است که عامل اصلی این مقادیر بالا را می‌توان مربوط به ساختار گسلی آغ‌چای دانست. کم‌ترین بی‌هنجاری این شاخص مربوط به زیر حوضه‌های آغ‌چای و زاویه چای می‌باشد، که ناشی از وجود سنگ‌های نامقاوم منطقه است. لذا حوضه‌های محدوده آغ‌چای به کلاس مناطقی با فعالیت متوسط و شدید تکتونیکی تعلق دارد.



شکل ۱۸- انطباق تراکم حوضه‌ها با تراکم گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه.

Fig.18. Corresponding to basin density with fault density in the study area.

منابع

- Aghanabati, A., 2004. Major sedimentary-structural units of Iran. Geological Survey of Iran Publications, Tehran.
- Alavi-Naini, M., Bolourchi, M.H., 1973. Explanatory text of the Maku Quadrangle Map, Quadrangle A1, and Scale 1:250,000, Geological Survey of Iran, Tehran. 1-44.
- Bull, W.B., 2007. Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology. Blackwell, Malden, USA. p.316.
- Bull, W.B., McFadden, L.D., 1977. Tectonic Geomorphology North and South of the Garlock Fault, California. In: Doehring, D.O., Ed., Geomorphology in Arid Regions: A Proceedings Volume of the 8th Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, 23-24. 115-138.
- Chen, Y.C., Sung, Q., Cheng, K.Y., 2003. Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. Geomorphology 56, 109-137.
- El-Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008. Assessment of relative Tectonic activity, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology 96, 150-173.
- Garcia-tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo-Zaldivar, J., Gibert, Lopez-Garrido A.C., Sanz de Galdeano, C., Urena, M., 2008. Geomorphology Evidence of the Active Baza Fault (Betic Cordillera, South Spain), Geomorphology 97, 374-391.
- Hajjson, R., 1961. Regional study of Jointing in the comb Ridge - Navajo Mountain area, Arizona and Utah. American Association of Petroleum Geologists 45, 1-38.

- Haji Hosseinlou, H., 2017. Morphotectonics Investigation of the Garehbagh basin area based on Morphometric Indices. *Iranian Journal of Earth Sciences* 9, 105-114.
- Haji Hosseinlou, H., Padidar, R., 2015. Shear structures and microstructures analysis in along Aboulfazl thrust, NE Khoy. *Advanced Applied Geology* 5, 60-76 (in Persian).
- Karakhani, A.S., Trifonov, V.G., Philip, H., Hessami, K., Jamali, F., Bayraktutan, M.H., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Davtian, V., Adilkhanyan, A., 2004. Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics* 380, 189- 219.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. *Tectonic activity: Earthquakes, Uplift and Landscape*, second edition: Upper saddle river, New Jersey, Prentice Hall, p. 362.
- Khavari, R., Arian, M., Ghorashi, M., 2009. Neotectonics of the South Central Alborz drainage basin, in NW Tehran, N Iran. *Journal of Applied Sciences* 9, 4115-4126.
- Marzi, S., 2019. Morphotectonics Investigation of the Zarabad (NW Khoy) region based on morphometry Indexes. M.Sc Thesis. University of Islamic Azad University Khoy Branch, Khoy (in Persian).
- Mukerji, A.B., 1976. Terminal fans of inland streams in Sutlej –Yamuna Plain, India. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 20, 190-204 (in Persian).
- Radfar, J., Amini, B., 1999. Geological Map of Khoy, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran (in Persian).
- Twiss, R.J., Moores, E.M., 2007. *Structural Geology*. New York: Freeman, W.H. Freeman, p.736.
- Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1983. *The Techniques of Modern Structural Geology, Volume I: Strain Analysis*. London Academic Press, p.307.
- Zamani, B., Masson, F., 2014. Recent tectonics of East (Iranian) Azerbaijan from stress state reconstructions. *Tectonophysics* 611, 61-82 (in Persian).

