



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Evidences of active tectonics in the urban and peri-urban areas of Bojnourd and its hazards analysis

Masoumeh Mollazadeh¹ | Teimour Jafari^{2*} | Ramazanali Naderi Mayvan³

1. Department of Geography and Urban Planning of Kosar University of Bojnord, E-mail: fama3855@gmail.com

2. Corresponding Author, Faculty member of the Department of Geography and Urban Planning of Kosar University of Bojnord, Bojnord, Iran. E-mail: Tei.Jafarie.53@kub.ac.ir

3. Faculty member of the Department of Geography and Urban Planning of Kosar University of Bojnord, Bojnord, Iran. E-mail: dr.naderi@kub.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 26 November 2025

Revised: 18 December 2025

Accepted: 19 December 2025

Published: 30 December 2025

Keywords:

Bojnourd,
Hazards analysis,
Active tectonics,
Kopet-dagh,
Morphotectonics.

ABSTRACT

To investigate evidence of active tectonic in the Bojnourd urban and peri-urban areas, morphotectonic indicators and field surveys, interpretation of landforms, geophysical data, and library studies were used. In total, 8 morphotectonic indices were used and analyzed: Vf, S, T, Smf, Hc & Hi, Sl, Bs and Af. The relative tectonic activity index (Iat) shows that the region has moderate relative activity. Simultaneous Investigation of 8 indices Af, Bs, Sl, Hi & Hc, Smf, T, S and Vf showed that the study area has significant tectonic heterogeneity. Sub-basins 1 and 5 consistently have values corresponding to high tectonic activity in three indices (T, S, Vf), and sub-basins 3, 4, and 8 consistently have values corresponding to low tectonic activity in three indices (Af, Sl, Hi). All sub-basins and the entire study area have moderate and uniform tectonic activity in the Smf index. In the Iat index, sub-basins 1 and 5, with a category of 2, had high tectonic activity, sub-basins 2, 3, 4, 6, 7 and the entire study area with a category of 3, had medium tectonic activity, and sub-basin 8, with a category of 4, had low tectonic activity. Results from field investigations such as new crushing in the fault plane, microfaults, new faults, interpretation of landforms such as the formation of new alluvial fans below older alluvial fans, geophysical data such as hidden exploratory fault systems located under the urban area of Bojnourd, including: the Doberar fault system located under the Hesare shirali, Nawak town, Farrokhi neighborhood and Farhangian town, and the fault system located in the bed of the Bashghardash river and the epicenters of recent destructive earthquakes also indicate active tectonics and high seismic potential in the urban and peri-urban areas of Bojnourd.

Cite this article: Mollazadeh, M.; Jafari, T. & Naderi Mayvan, R. (2025). Evidences of active tectonics in the urban and peri-urban areas of Bojnourd and its hazards analysis. *Environmental Hazards Management*, 12 (3), 267-282. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.407051.909>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.407051.909>

Introduction

In the Kopet-dagh area, despite the dominance of erosion after the Pasadenian orogeny, many tectonic features continue to form and evolve; which manifests itself every few years in the form of destructive earthquakes. In neotectonic studies, tectonics and geomorphology sciences are combined and studied under the title of morphotectonic studies. These studies investigate dynamic processes and their role in shaping the tectonic morphology of different parts of the Earth's crust, such as active faults, evidences related to earthquakes, discontinuities in the pattern of reliefs, steep slopes of mountains, trends in changes in watercourses and faults, and the type of lithology and topography. Today, these studies are carried out using field studies, remote sensing techniques, aerial photoes, and Earth's sciences specialized softwares; That they have replaced traditional methods due to their high analysis speed, low cost, and quantification of morphotectonic features. The main purpose of this research is to

investigate evidences of active tectonic in the urban and peri-urban areas of Bojnourd and analysis its hazards in 8 sub-basins; That no research has been conducted on this subject so far.

Materials & Methods

In order to achieve the research's main goal, morphotectonic changes in the region were studied and investigated by collecting and studying reports, articles, books, and investigating topographic, geological, and tectonic maps, aerial photos, and satellite images of the study area, as well as using GIS softwares; First, morphotectonic indices such as: BS, AF, SL, S, SMF, T, VF, HI and HC were investigated and finally, the amount and intensity of tectonic activities and the impact of these activities on the active tectonics of the region were calculated using the Iat index for all sub-basins of the studied area. To achieve the above goal, the required data were extracted from topographic maps of 1/50,000 & 1/250,000 and geological maps of 1/100,000 & 1/250,000, and also, sub-basins were extracted and controlled by Global Mapper software using the DEM of the studied area and by Arc GIS and ILWIS softwares, thematic maps were prepared and morphometric studies were conducted; Then, with the required data, geomorphological indicators, shapes, and processes were calculated. Field surveys, interpretation of geomorphological data, review of geophysical data, and library studies were also used as evidence of active tectonics.

Results & Discussion

Sub-basins 1 and 5 consistently have values corresponding to high tectonic activity in the indices (T, S, Vf) and sub-basins 3, 4 and 8 consistently have values corresponding to low tectonic activity in the indices (Af, Sl, Hi); And all sub-basins and the entire study area have moderate and uniform tectonic activity in the Smf index. In the Iat index, sub-basins 1 and 5 have high tectonic activity, sub-basins 2, 3, 4, 6, 7 and the entire study area have medium tectonic activity, and sub-basin 8 has low tectonic activity.

Evidences such as new crushing in the fault plane, microfaults, and new faults, the sedimentation and formation of new alluvial fans below the old alluvial fans as a result of positive tectonic movements and upduction in the mountain unit and excavation of old alluvial fans of pediment unit, the hidden exploratory fault systems present in the beneath the bedrock of urban area of Bojnourd, including: the Doberar fault system located under the Hesare shirali, Nawak town, Farokhi neighborhood and Farhangian town, and the fault system located in the bed of the Bashghardash river and the occurrence of 3 destructive earthquakes in the last 30 years in the north of the Bojnourd plain indicates new tectonic activity and seismic potential of the region.

Conclusions

After the occurrence of severe erosional conditions following the Pasadenian orogeny, the steep slope of the riverbeds remained stable and erosion continued at a rapid rate. Despite these conditions, the steep slope of the riverbeds remained stable and erosion continues at a rapid pace. In addition, many tectonic features can be found in the region that were created in the Quaternary and their evolution continues due to the activity of tectonic forces; Which confirms the opinions of Jedari-Eyvazi, Motamed, Zomorodian, Ala'i Taleghani, Ezzati and Agh-Atabai, and Rezai Arefi et. al. The Iat index showed that the subbasins have tectonic heterogeneity, which requires a more detailed investigation in combination with geological and geophysical data, which should be considered in future researches. Sub-basins 1 and 5 have high tectonic activity, sub-basins 2, 3, 4, 6 and 7 have moderate tectonic activity, and sub-basin 8 has low tectonic activity; and the entire study area has moderate tectonic activity. In addition to the evidence mentioned in the research findings section, fault scarpments, the antecedance phenomenon and the creation of cluse in the axis of anticlines, the growth of anticlines and upduction, the anticlines limbs ruzes, the groove erosion in river traces, and the location of the Bojnourd city in the earthquake zone of the Kopet-Dagh tectonic state, the shallowness of the earthquakes in the region, the existence of important seismic sources, i.e., major faults in the region, the presence of two surface earthquake center including: "Ghordanlu" and "Naveh-Shaykh fault" 10 kilometers north and northeast of Bojnourd, respectively, there is evidence of active tectonics around the study area, all of which indicate the high seismic potential of the study area.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Author Contributions

All authors participated in all stages of writing, collection, classification, analysis, field research, application of indicators, and library studies.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1-2), 150-173.
- G. Jordan, B. M. L. Meijninger, D. J. J. Van Hinsbergen, J. E. Meulenkamp, P. M. Van Dijk, (2005). Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece, *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 163-182.
- Keller, E. A. & Pinter, N. (2002). *Active tectonics earthquakes, uplift, and landscape*. Second edition.
- Mirahadi, Seyed Hassan; Izadi Kian, Leili; Alipour, Reza (2014). Evaluation and efficiency of active tectonics in the northwest of the Sahneh using morphotectonic indices, *Journal of Quantitative Geomorphology Research*, 13(2), Fall 2014, 125-155. (in Persian)
- Strahler, A. N., (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.



شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: <https://jhsci.ut.ac.ir>



انتشارات دانشگاه تهران

شواهد زمین‌ساخت فعال در گستره شهری و پیراشهری بجنورد و تحلیل مخاطرات آن

معصومه ملازاده^۱ | تیمور جعفری^{۲*} | رمضانعلی نادری مایوان^۳

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران. رایانامه: fama3855@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، عضو هیأت علمی گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران. رایانامه: Tei.Jafarie.53@kub.ac.ir

۳. عضو هیأت علمی گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران. رایانامه: dr.naderi@kub.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

کلیدواژه:

بجنورد،

تحلیل مخاطرات،

زمین‌ساخت فعال،

کپه‌داغ،

مورفوتکتونیک.

برای بررسی شواهد زمین‌ساخت فعال در گستره شهری و پیراشهری بجنورد، از شاخص‌های مورفوتکتونیک و بررسی‌های میدانی، تفسیر زمین‌شکل‌ها، داده‌های ژئوفیزیکی و مطالعات کتابخانه‌ای استفاده شد. در مجموع، هشت شاخص مورفوتکتونیک عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت شکل حوضه زهکشی، گرادیان طولی آبراهه، انتگرال هیپسومتری و منحنی انتگرال هیپسومتری، پیچ‌وخم جبهه کوهستان، تقارن توپوگرافی عرضی، پیچ‌وخم کانال رودخانه و نسبت پهنای کف دره به عمق دره استفاده و تحلیل شدند. شاخص فعالیت نسبی تکتونیک (Iat) نشان می‌دهد که منطقه از فعالیت نسبی متوسط برخوردار است. بررسی همزمان هشت شاخص Vf, S, T, Smf, Hc & Hi, Sl, Bs, Af نشان داد که منطقه دارای ناهمگونی تکتونیک زیادی است. زیرحوضه‌های ۱ و ۵ به صورت پیوسته در سه شاخص (Vf, S, T) دارای مقادیر متناظر با فعالیت تکتونیک زیاد و زیرحوضه‌های ۳، ۴ و ۸ به صورت پیوسته در سه شاخص (Hi, Sl, Af) دارای مقادیر متناظر با فعالیت تکتونیک اندک‌اند. تمام زیرحوضه‌ها و کل منطقه در شاخص Smf، از فعالیت تکتونیک متوسط و یکنواختی برخوردارند. در شاخص Iat، تمام زیرحوضه‌های ۱ و ۵، با کسب رده ۲ و از فعالیت تکتونیک زیاد، زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۶ و کل منطقه با کسب رده ۳، از فعالیت تکتونیک متوسط و زیرحوضه ۸، با کسب رده ۴، از فعالیت تکتونیک کم برخوردارند. نتایج بررسی‌های میدانی مانند خردشدگی جدید در صفحه گسل، میکروگسل‌ها، گسل‌های جدید، تفسیر زمین‌شکل‌ها مانند تکوین مخروط‌افکنه‌های جدید پایین‌تر از مخروط‌افکنه‌های قدیمی، داده‌های ژئوفیزیکی مانند سامانه‌های گسلی اکتشافی پنهان موجود در زیر گستره شهری بجنورد شامل سامانه گسلی دوبرار واقع در زیر حصار شیرعلی، شهرک ناوک، محله فرخی و شهرک فرهنگیان و سامانه گسلی واقع در بستر رودخانه بش‌قارداش و رومرکز زلزله‌های تخریبی اخیر نیز، زمین‌ساخت فعال و پتانسیل زیاد لرزه‌خیزی در گستره شهری و پیراشهری بجنورد را نشان می‌دهند.

استناد: ملازاده، معصومه؛ جعفری، تیمور و نادری مایوان، رمضانعلی (۱۴۰۴). شواهد زمین‌ساخت فعال در گستره شهری و پیراشهری بجنورد و تحلیل مخاطرات آن.

مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲ (۳)، ۲۶۷-۲۸۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.407051.909>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.407051.909>



مقدمه

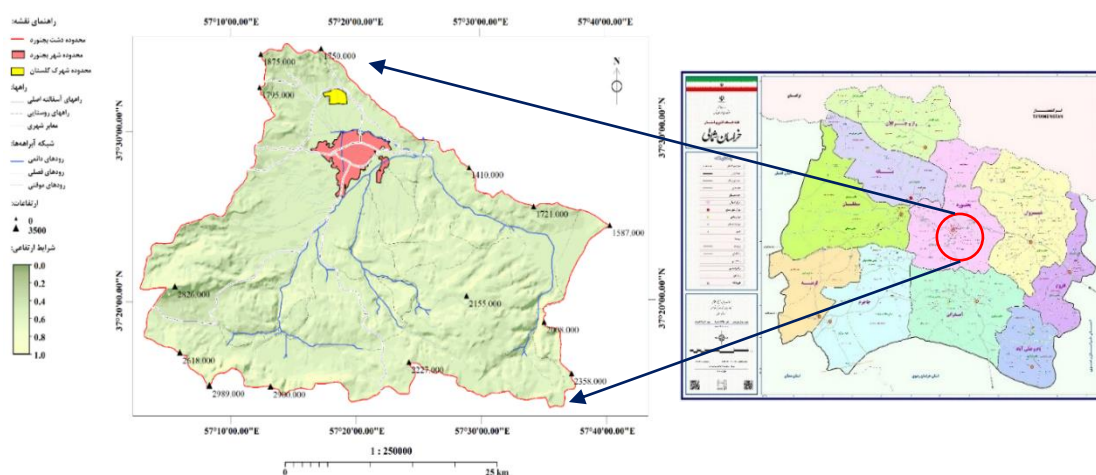
در پهنه کپه‌داغ با وجود حاکمیت فرسایش پس از کوهزایی پاسادین، عوارض زمین‌ساختی زیادی ایجاد شد و تحول آنها ادامه دارد که هرچند سال به‌شکل زلزله‌های تخریبی تظاهر می‌یابد. در بررسی‌های نئوتکتونیک، علوم تکتونیک و ژئومورفولوژی تلفیق و تحت عنوان تحقیقات مورفوتکتونیک بررسی می‌شود (گودی، ۲۰۰۴). این پژوهش‌ها، فرایندهای دینامیک و نقش آنها در شکل‌دهی ریخت زمین‌ساخت بخش‌های مختلف پوسته (سینگ و تاندون، ۲۰۰۸)، مانند گسل‌های فعال، شواهد مرتبط با زلزله، ناپیوستگی در الگوی ناهمواری، دامنه‌های پرشیب کوهستانی (الیو و همکاران، ۲۰۱۵)، روند تغییرات آبراهه‌ها و گسل‌ها (اسماعیلی، متولی و حسین‌زاده، ۱۳۹۱) و نوع سنگ‌شناسی و توپوگرافی را بررسی می‌کند. امروزه این پژوهش‌ها با استفاده از مطالعات صحرایی، تکنیک‌های سنجش از دور، عکس‌های هوایی و نرم‌افزارهای تخصصی مرتبط با علوم زمین (یوانیس، یوانیس و پاولیدس، ۲۰۰۶) انجام می‌گیرند که به‌علت سرعت تحلیل زیاد، هزینه کم (جردن و همکاران، ۲۰۰۵) و کمی کردن ویژگی‌های مورفوتکتونیک، جانشین روش‌های سنتی شده‌اند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی شواهد زمین‌ساخت فعال در گستره شهری و پیراشهری شهر بجنورد و تحلیل مخاطرات آن در ۸ زیرحوضه است؛ شایان ذکر است که تاکنون در این زمینه پژوهشی انجام نگرفته است.

از پیشگامان علم تکتونیک می‌توان افرادی چون استرالر (۱۹۵۲)، کلو و پینتر (۲۰۰۲)، رمزی، واکر و جکسون (۲۰۰۸)، حمدونی و همکاران (۲۰۰۸) و واکر و همکاران (۲۰۱۰) را نام برد. در ایران نیز، پژوهش‌های گسترده‌ای با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیک انجام گرفته است. از نظر جداری عیوضی (۱۳۷۴)، حرکات زمین‌ساختی هنوز در تغییر شکل زمین ایران نقش دارند. معتمد (۱۳۷۶)، چین‌خوردگی و گسله‌دار شدن غالب آبرفت‌های کوتاه‌تر و زلزله‌های جدید را ناشی از تکتونیک جدید می‌داند. زمردیان (۱۳۸۱)، تقطیع مخروط‌افکنه‌ها، ایجاد پادگانه‌های آبرفتی جدید و زمین‌لرزه‌ها را از شواهد نئوتکتونیک در ایران قلمداد می‌کند. عزتی و آق‌آتابای (۱۳۹۳)، به تفسیر مورفوتکتونیک حوضه سولوکلو در کپه‌داغ مرکزی با استفاده از پنج شاخص ژئومورفیک پرداختند که مؤید فعالیت تکتونیک بود؛ کمترین فعالیت مربوط به قسمت شمالی و بیشترین فعالیت مربوط به قسمت جنوبی این حوضه بود. ولدی و همکاران (۱۳۹۴)، به ارزیابی کمی تأثیر تکتونیک فعال در توسعه و تحول لندفرم‌ها و پهنه‌بندی خطر آسیب‌های تکتونیک شهرستان کامیاران با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک پرداختند. نتایج ارزیابی آنها نشان داد که منطقه در کلاس تکتونیک با فعالیت خیلی زیاد قرار دارد و بیشترین خطر نسبی منطقه در محدوده شمال، جنوب غرب و قسمت‌هایی از شمال شرق قرار دارد. اسماعیل‌پور و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی ریخت‌زمین‌ساختاری دشت سملقان در کپه‌داغ غربی با استفاده از هشت شاخص مورفومتری پرداختند و ضریب فعالیت زمین‌ساختی نسبی (Iat) برای هر یک از زیرحوضه‌ها را به دست آوردند که مؤید فعالیت زمین‌ساختی نسبی در قسمت‌های میانی و جنوبی و فعالیت تکتونیک متوسط در شمال دشت است. میراحدی و همکاران (۱۴۰۳)، به ارزیابی و کارایی تکتونیک فعال شمال غرب صحنه با استفاده از هشت شاخص مورفوتکتونیک پرداختند. بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) با استفاده از این شاخص‌ها نشان‌دهنده فعالیت نسبی متوسط تا زیاد (حوضه‌های ۲۳، ۲۲، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱) منطقه بود. رضایی عارفی و همکاران (۱۴۰۴)، منطقه کپه‌داغ در شمال شرق ایران را یک ناحیه فعال با پتانسیل گسیختگی سطحی زیاد قلمداد کردند.

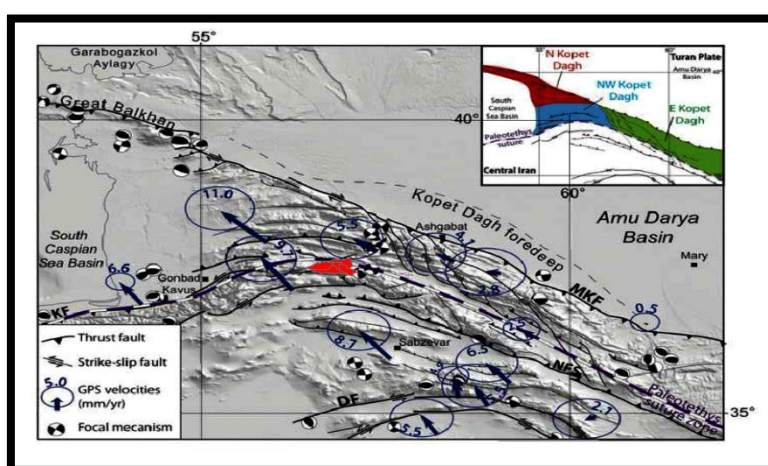
معرفی منطقه پژوهش و ویژگی‌های طبیعی

شهر بجنورد با ارتفاع ۱۱۱۲ متر از سطح دریا، در دشت تکتونیک - آبرفتی بجنورد از حوضه آبخیز رود اترک مستقر است (شکل ۱). شهرهای بجنورد و چناران شهر با جمعیتی حدود ۲۳۲۳۱۱ نفر در سرشماری رسمی سال ۱۳۹۵، نقاط شهری ۳۸ سکونتگاه انسانی این دشت محسوب می‌شوند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان شمالی، ۱۳۹۶). این دشت با هشت زیرحوضه، از شمال با دشت گرمخان، از غرب با دشت‌های مانه و شوقان، از جنوب با دشت اسفراین و از شرق با دشت شیروان همسایه است. این محدوده با طول جغرافیایی $۵۷^{\circ} ۱۵'$ تا $۵۷^{\circ} ۳۰'$ شرقی و عرض جغرافیایی $۳۷^{\circ} ۱۵'$ تا $۳۷^{\circ} ۳۰'$ شمالی و با راستای WNW تا ESE در زون رسوبی - ساختاری کپه‌داغ در شمال خاوری ایران قرار دارد (افشارحرب، ۱۳۷۳). مرز شمالی این پهنه با

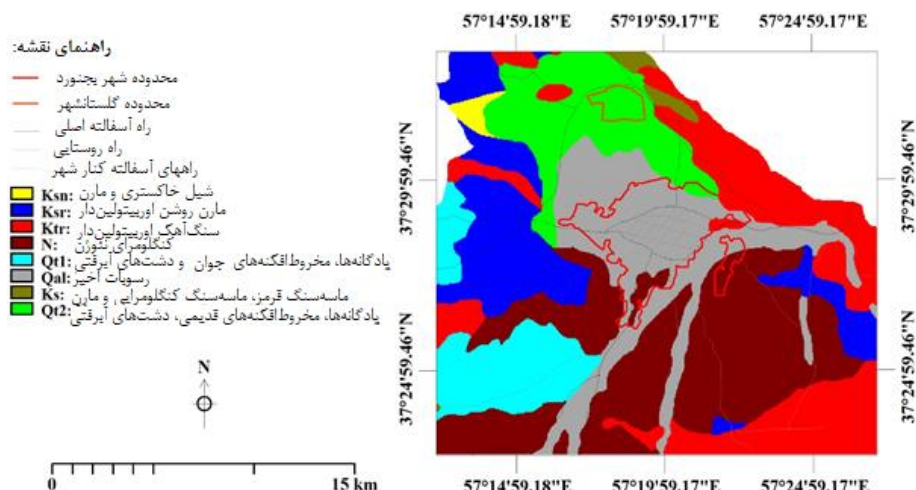
فلات توران، منطبق بر گسل عشق آباد است که روند N310 درجه دارد (شکل ۲) (درویش زاده، ۱۳۸۲). در این محدوده نه واحد سنگی رسوبی شامل سازندهای شوربجه، تیرگان، سرچشمه، سنگانه، کنگلومرای نئوژن، پادگانه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها و دشت‌های آبرفتی قدیمی و جوان و دشت‌های آبرفتی و رسوبات اخیر رخمون دارند (شکل ۳). از نگاه پیکرشناسی، واحد کپه‌داغ مجموعه چین‌های تاقدیسی و ناودیسی مجاوری است که محور اصلی تغییر شکل در آنها با لبه صفحه توران مرتبط و SE-NW است و به علت دخالت لبه شمالی هسته لوت به عنوان یک عامل ثانوی، قوس محسوس با انحنای شمالی دارند (علائی طالقانی، ۱۳۸۴). در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بجنورد، میانگین دمای سالانه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد، اختلاف دما در شرایط طبیعی حدود ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر مطلق دما به ترتیب ۲۵- و ۴۲/۳ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ماهانه حدود ۵۸/۳۳ درصد و مجموع بارش سالانه ۲۵۲/۹ میلی‌متر (در مناطق کوهستانی به ۳۲۰ میلی‌متر می‌رسد) است. ۹۲ روز از سال هوا بارانی و بیشترین و کمترین بارش ۲۴ ساعته، ۴۱ و ۱۵ میلی‌متر است و ۹۰ روز از سال یخبندان بوده است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۳).



شکل ۱. نقشه‌های موقعیت دشت بجنورد در شهرستان بجنورد و موقعیت گستره شهری بجنورد در دشت بجنورد (استاندارد خراسان شمالی، ۱۴۰۲ و یافته‌های تحقیق).



شکل ۲. نقشه زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت کپه‌داغ. DF: گسل درونه، KF: گسل خزر MKF: گسل اصلی کپه‌داغ و NFS: سامانه گسلی نیشابور (اسماعیل پور، کلاهی آذر و جعفری، ۱۳۹۵).



شکل ۳. نقشه سنگ‌شناسی بجنورد و مناطق پیراشهری آن (یافته‌های تحقیق)

روش پژوهش

برای دستیابی به هدف اصلی پژوهش، با جمع‌آوری و بررسی گزارش‌ها، مقالات و کتاب‌ها و بررسی نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تکتونیکی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه پژوهش و همچنین با استفاده از نرم‌افزارهای GIS، تغییرات مورفوتکتونیکی منطقه بررسی شد. ابتدا شاخص‌های مورفوتکتونیکی شامل شاخص نسبت شکل حوضه (BS)، شاخص عدم تقارن حوضه (AF)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، شاخص پیچ‌وخم کانال رودخانه (S)، شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان (SMF)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T)، شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (VF)، شاخص انتگرال هیپسومتری (HI) و منحنی انتگرال هیپسومتری (HC) بررسی شد و در نهایت با استفاده از شاخص فعالیت نسبی تکتونیکی (Iat)، مقدار و شدت فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیر این فعالیت‌ها بر تکتونیک فعال منطقه، برای همه زیرحوضه‌های منطقه محاسبه شد. برای دستیابی به این هدف، داده‌های لازم از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ استخراج شد. همچنین در محیط Global mapper با استفاده از DEM منطقه، زیرحوضه‌ها استخراج و کنترل شده و در محیط نرم‌افزارهای Arc GIS و ILWIS نقشه‌های موضوعی تهیه شد و بررسی‌های مورفومتری انجام گرفت؛ سپس با داده‌های لازم به محاسبه شاخص‌ها، اشکال و فرایندهای ژئومورفولوژیک پرداخته شد. از بررسی‌های میدانی، تفسیر داده‌های ژئومورفولوژی، بررسی داده‌های ژئوفیزیکی و پژوهش‌های کتابخانه‌ای نیز استفاده شد.

یافته‌های پژوهش و بحث

در این پژوهش، نه شاخص مورفوتکتونیکی برای دستیابی به شواهد زمین‌ساخت فعال هشت زیرحوضه در گستره شهری و پیراشهری بجنورد بررسی شد که در ادامه وضعیت هر یک بیان می‌شود:

۱- شاخص مورفومتری نسبت شکل حوضه (BS): در این شاخص هرچه حوضه کشیده‌تر باشد، فعالیت تکتونیکی در آن بیشتر (کانن، ۱۹۷۶؛ بول و مک‌فادن، ۱۹۷۷؛ رامیرز، ۱۹۹۸) و مقدار عددی آن از رابطه ۱ به دست می‌آید (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸):

$$BS = BL / BW$$

رابطه ۱)

که در آن BL: طول حوضه و BW: عرض حوضه در عریض‌ترین بخش است. این شاخص براساس دسته‌بندی حمدونی و همکاران (۲۰۰۸) به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱: حوضه فعال ($BS > 4$)، رده ۲: حوضه نیمه‌فعال ($3 < BS < 4$) و رده ۳: حوضه غیرفعال ($BS < 3$). شاخص BS به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که منطقه در حال تکامل است و فعالیت‌های تکتونیکی آن از خیلی کم تا متوسط و بیشتر مشاهده می‌شود. زیرحوضه‌های ۳ و ۷ با $3 < BS < 4$ به‌لحاظ زمین‌ساختی فعالیت تکتونیکی متوسط دارند و بقیه زیرحوضه‌ها و کل حوضه تحت بررسی به‌لحاظ زمین‌ساختی از فعالیت کمی برخوردارند (جدول ۱).

۲- شاخص عدم تقارن حوضه (AF): این شاخص بیانگر میزان کج‌شدگی زمین‌ساختی حوضه نسبت به آبراهه اصلی است. برای محاسبه مقدار عددی این شاخص از رابطه ۲ استفاده می‌شود (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸):

$$AF = 100 \left(\frac{Ar}{At} \right) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن، Ar : مساحت سمت راست آبراهه اصلی به‌طرف پایین‌دست آبراهه و At : مساحت کل حوضه زهکشی است. اگر جریان آبراهه در محیط بدون فعالیت تکتونیکی حرکت کند، مقدار AF به‌دست‌آمده به‌طور تقریبی برابر با ۵۰ است. اگر مقدار عددی به‌دست‌آمده بیشتر از ۵۰ باشد اشاره به بالاآمدگی در سمت راست حوضه و اگر کمتر از ۵۰ باشد، اشاره به بالاآمدگی در سمت چپ حوضه دارد. این شاخص براساس دسته‌بندی حمدونی و همکاران (۲۰۰۸) به سه رده تقسیم می‌شود: حوضه نامتقارن (فعال) ($AF \geq 65$ or $AF \leq 35$)، حوضه نیمه‌متقارن (نیمه‌فعال) ($57 \leq AF < 65$ or $35 < AF \leq 43$) و حوضه متقارن (غیرفعال) ($43 < AF < 57$). مقدار شاخص AF در زیرحوضه‌های ۴، ۵، ۷، ۸ و کل حوضه بیشتر از ۵۰ است که نشان‌دهنده افزایش در سمت راست آبراهه اصلی است و در زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ کمتر از ۵۰ است که نشان‌دهنده افزایش در سمت چپ آبراهه اصلی است. از نظر فعالیت تکتونیکی $|AF - 50|$ ، زیرحوضه ۵ بیشتر از ۱۵ است و کلاس تکتونیکی ۱ و فعالیت زیاد را نشان می‌دهد؛ زیرحوضه ۷ و کل حوضه بین ۷ تا ۱۵ است و کلاس تکتونیکی ۲ و فعالیت متوسط را نشان می‌دهند و زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ کمتر از ۷ است و کلاس تکتونیکی ۳، فعالیت کم و آرامش تکتونیکی را نشان می‌دهد (جدول ۱).

۳- شاخص گرادیان طولی آبراهه (SL): مقدار عددی این شاخص از رابطه ۳ به دست می‌آید (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸):

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) * L \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن، ΔH : اختلاف ارتفاع محدوده مطالعاتی و ΔL : طول محدوده مطالعاتی است؛ مقدار حاصل از رابطه $\Delta H / \Delta L$ بیانگر شیب محلی رودخانه و L بیانگر طول کلی کانال رودخانه از نقطه محاسبه تا مرتفع‌ترین نقطه است. این شاخص براساس دسته‌بندی حمدونی و همکاران (۲۰۰۸) به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱ با فعالیت تکتونیکی زیاد ($SL \geq 500$)، رده ۲ با فعالیت تکتونیکی متوسط ($300 \leq SL < 500$) و رده ۳ با فعالیت تکتونیکی کم ($SL < 300$).

رده ۳ در زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۷ و ۸، به‌معنای کم بودن فعالیت تکتونیکی و غلبه دینامیک‌های بیرونی و رده ۲ در زیرحوضه‌های ۱، ۵ و ۶، به‌معنای متوسط بودن فعالیت تکتونیکی و توازن دینامیک درونی با دینامیک‌های بیرونی است. میانگین شاخص SL کل منطقه پژوهش برابر با $237/4$ است که در کلاس تکتونیکی ۳ قرار دارد و فعالیت تکتونیکی آن کم است (جدول ۱).

۴- شاخص انتگرال هیپسومتری (HI) و منحنی انتگرال هیپسومتری (HC): از شاخص انتگرال هیپسومتری، برای مشخص

کردن شکل منحنی انتگرال هیپسومتری حوضه استفاده می‌شود. مقادیر عددی این شاخص بین صفر تا ۱ است (استرالر، ۱۹۵۲).

$$HI = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن، H_{mean} : ارتفاع میانگین، H_{max} : ارتفاع بیشینه و H_{min} : ارتفاع کمینه است. این شاخص براساس دسته‌بندی حمدونی و همکاران (۲۰۰۸) به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱ با منحنی هیپسومتری محدب ($HI \geq 0.5$) معرف تکتونیک فعال، ارتفاع زیاد و فرسایش زیاد؛ رده ۲ با منحنی هیپسومتری مقعر-محدب ($0.4 \leq HI < 0.5$) معرف تکتونیک نیمه‌فعال و مرحله بلوغ؛ و رده ۳ با منحنی هیپسومتری مقعر ($HI \leq 0.4$)، معرف تکتونیک غیرفعال و حضور کانال آبراهه در محدوده کم‌ارتفاع‌تر است (جدول ۱).

رده ۳ در زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۶، ۷ و ۸، به‌معنای تکتونیک غیرفعال است. رده ۲ در زیرحوضه‌های ۱، ۲ و کل منطقه پژوهش، به‌معنای تکتونیک نیمه‌فعال و رده ۱ در زیرحوضه ۵، به‌معنای تکتونیک فعال است (جدول ۱).

- منحنی انتگرال هیپسومتری (HC): یک منحنی دوبعدی است که محور X آن برابر با مساحت نسبی و محور Y برابر با

ارتفاع نسبی حوضه است (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). براساس نظر استرالر (۱۹۵۲)، حالت کوژ، بیانگر حوضه مرتفع با حداکثر

فرسایش؛ حالت میانه، نشان‌دهنده تعادل فرایندهای ریخت‌زمین‌ساخت و بیرونی؛ و حالت کاو، نشان‌دهنده حوضه پست و

آرام است (شکل‌های ۴ و ۵).

۵- شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان (Smf): اگر نرخ بالآمدگی ناشی از تکتونیک کم یا متوقف شود، فرایندهای فرسایشی جبهه کوهستان را با بی‌نظمی خواهند تراشید و مقدار سینوسیته افزایش خواهد یافت. این شاخص، برای مناطق فعال، متوسط و غیرفعال، به‌ترتیب کوچک‌تر از ۱/۱، بین ۱/۱ تا ۱/۵ و بیشتر از ۱/۵ است (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Smf = \frac{Lm}{Ls} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در آن، Lm : طول جبهه کوهستان در محل خط کنیک و Ls : طول خط مستقیم در جلوی جبهه کوهستان است. این شاخص در زیرحوضه‌ها، بین ۱/۱۴ تا ۴۲/۴ بود که محدوده با فعالیت متوسط و رده ۲ را نشان می‌دهند (جدول ۱).

۶- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T): مقدار عددی این شاخص بین صفر تا ۱ است؛ هرچه این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد، بالآمدگی در یک سمت حوضه اتفاق می‌افتد و حوضه به‌سمت عدم تقارن و تکتونیک فعال پیش می‌رود (راندل، ۱۹۹۴):

$$T = Da / Dd \quad \text{(رابطه ۶)}$$

که در آن، Da : فاصله خط میانی حوضه تا رودخانه و Dd : فاصله خط میانی حوضه تا مرز حوضه است. بازه مقدار $0.5 < T \leq 1$ ، نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی شدید، بازه مقدار $0 < T \leq 0.5$ ، نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی متوسط و T مساوی صفر، نشان‌دهنده نبود فعالیت تکتونیکی است. زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۵ و ۶ با رده یک، نامتقارن و از فعالیت بالای تکتونیکی برخوردارند؛ زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۷، ۸ و کل منطقه پژوهش با کسب رده ۲، از توپوگرافی به‌نسبت متقارن و فعالیت متوسط تکتونیکی برخوردارند (جدول ۱).

۷- شاخص پیچ‌وخم کانال رودخانه (S): در مناطق فعال تکتونیکی، رودخانه‌ها راست‌خط‌اند؛ این شاخص این‌گونه به دست می‌آید:

$$S = C / V \quad \text{(رابطه ۷)}$$

که در آن C : طول واقعی مسیر رودخانه و V : فاصله مستقیم از مبدأ تا انتهای رودخانه است. مقدار شاخص S ، بیشتر از ۱/۵، نشانه مسیر مماندیری رودخانه و فعالیت تکتونیکی کم (رده ۳)، بین ۱/۳۱ تا ۱/۵ نشان‌دهنده مسیر نیمه‌مماندیری و فعالیت تکتونیکی متوسط (رده ۲) و کمتر از ۱/۳۱ نشان‌دهنده مسیر به‌نسبت مستقیم تا کاملاً مستقیم رودخانه و فعالیت تکتونیکی متوسط تا زیاد (رده ۱) است.

در زیرحوضه‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و کل منطقه با کلاس ۱، مسیر رودخانه به‌نسبت مستقیم و شاخص S نزدیک به ۱ است که نشان‌دهنده فعالیت زیاد تکتونیکی در این بخش از حوضه است. در زیرحوضه ۲ با کلاس ۲، مسیر رودخانه نیمه‌مماندیری و شاخص S نزدیک به ۱/۵ است که تأثیر متوازن ساختارهای تکتونیکی و عوامل فرسایشی را نشان می‌دهد (جدول ۱).

۸- شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf): این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (بول و مک‌فادن، ۱۹۷۷):

$$Vf = 2 \times Vf_{w} / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad \text{(رابطه ۸)}$$

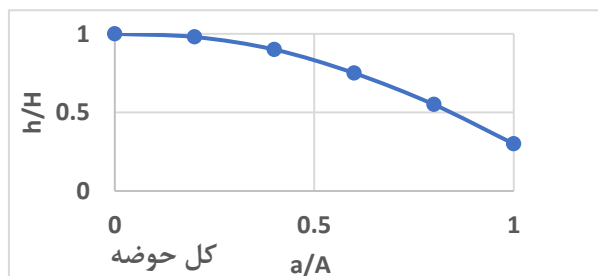
که در آن، Vf_w : عرض بستر دره، Eld : ارتفاع دیواره سمت چپ دره، Erd : ارتفاع دیواره سمت راست دره و Esc : ارتفاع میانگین بستر دره است. اگر مقدار این شاخص کمتر از ۰/۵ شد، دره V شکل و فعالیت تکتونیکی زیاد، اگر بزرگ‌تر و مساوی ۰/۵ و کمتر و مساوی ۱ باشد، دره با کف نیمه‌پهن و فعالیت تکتونیکی متوسط و اگر بیشتر از ۱ شد، دره U شکل و فعالیت تکتونیکی اندک است.

این شاخص، بیانگر ناهمگونی تکتونیکی منطقه است. زیرحوضه‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ با کلاس ۱، از فعالیت تکتونیکی زیاد است که زیرحوضه ۵ با مقدار شاخص Vf ۰/۲۱، فعال‌ترین ناحیه محسوب می‌شود؛ زیرحوضه‌های ۲، ۴، ۶ و کل منطقه پژوهش با کلاس ۲، از فعالیت تکتونیکی متوسط برخوردارند؛ زیرحوضه ۸ با کلاس ۳، از فعالیت تکتونیکی کمی برخوردار است (جدول ۱).

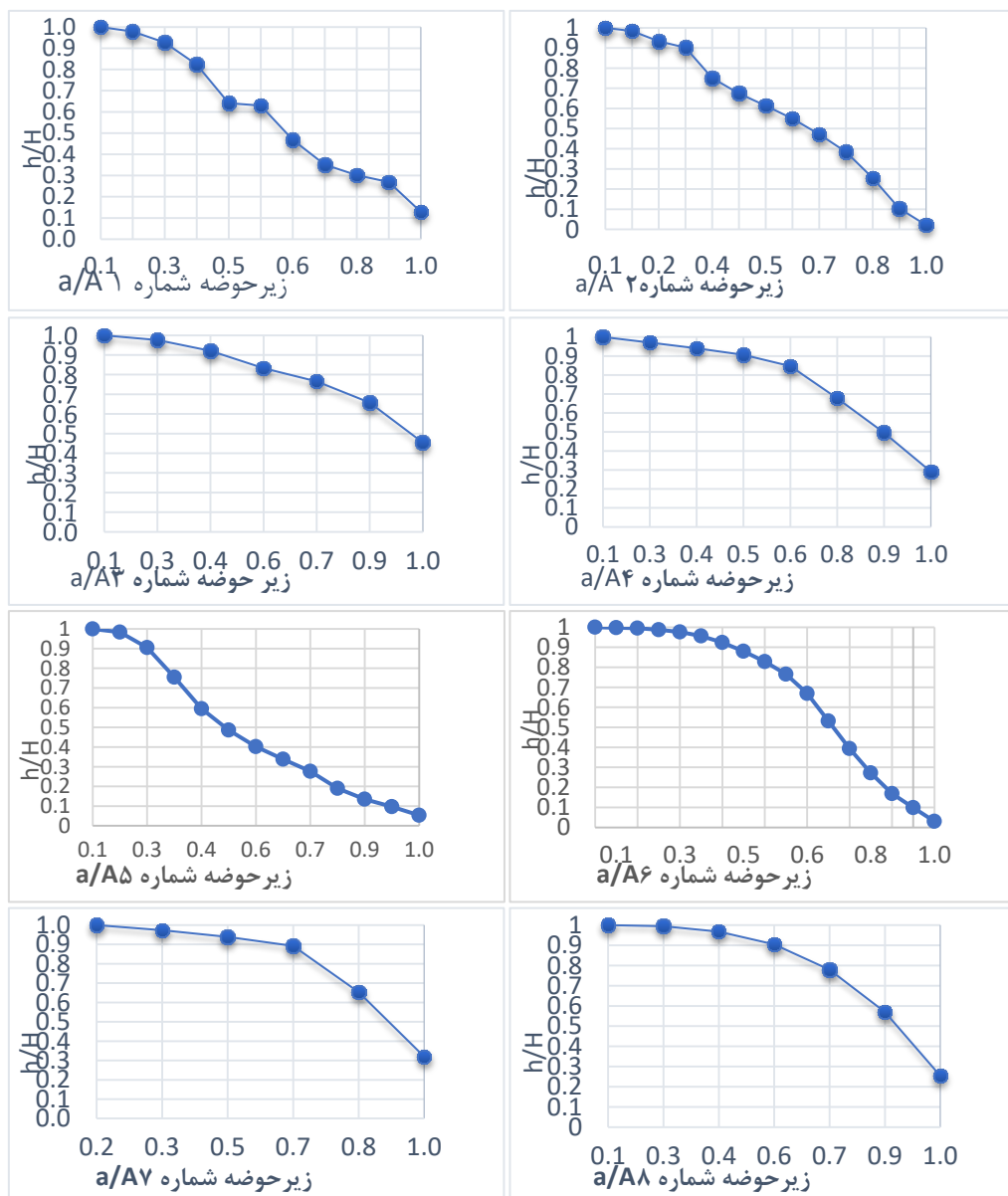
۹- شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساختی (IAT): این شاخص که معرف میانگینی از فعالیت‌های تکتونیکی هر حوضه نسبت به شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده مورفوتکتونیکی است، در تجزیه و تحلیل شاخص‌های مورفوتکتونیک و جمع‌بندی نتایج آنها استفاده می‌شود تا وضعیت نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه مشخص شود (ناصری و همکاران، ۱۴۰۴):

$$Iat = S / N \quad \text{(رابطه ۹)}$$

که در آن، S : مجموع شماره رده هر شاخص و N : تعداد شاخص‌های محاسبه شده است. مقدار شاخص Iat ۱ تا $۱/۵$ نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار زیاد، $۱/۵$ تا ۲ نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی زیاد، ۲ تا $۲/۵$ نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی متوسط و بیشتر از $۲/۵$ ، نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی کم است. براساس این شاخص، زیرحوضه‌های ۱ و ۵ از فعالیت نسبی تکتونیکی زیاد، زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ از فعالیت تکتونیکی متوسط و زیرحوضه ۸ از فعالیت نسبی تکتونیکی کم برخوردارند (جدول ۱، شکل ۶).



شکل ۴. منحنی انتگرال هیسومتری منطقه پژوهش (یافته‌های تحقیق)



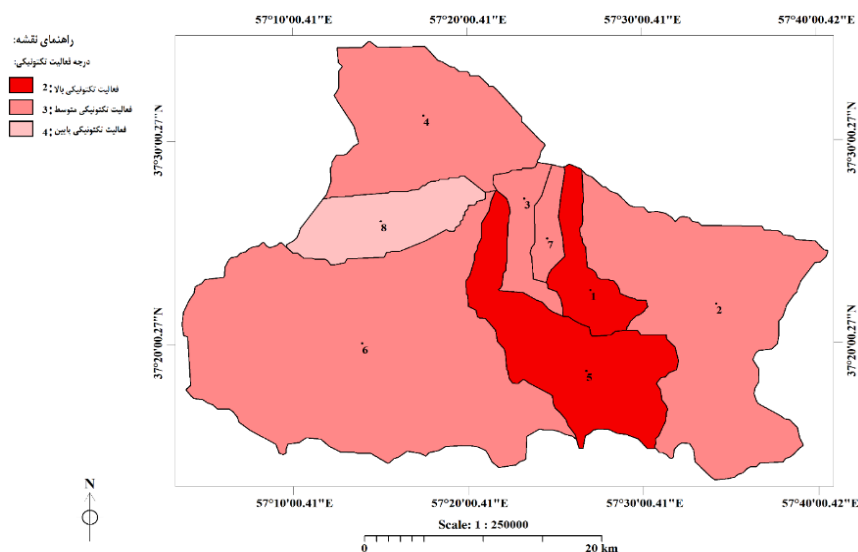
شکل ۵. منحنی‌های تطبیقی انتگرال هیسومتری زیرحوضه‌های منطقه پژوهش (یافته‌های تحقیق).

جدول ۱. وضعیت منطقه پژوهش و زیرحوضه‌های آن براساس شاخص‌های ۹ گانه مورفوتکتونیک (محاسبات پژوهش).

منطقه پژوهش	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زیرحوضه‌ها شاخص‌ها و رده‌های آنها
Bs	۰/۷۸	۲/۷	۳/۹۲	۰/۸۴	۲/۱۵	۱/۱۲	۳/۵۵	۱/۷۶	مقدار
	۳	۳	۲	۳	۳	۳	۲	۳	رده
Af	۵۷/۷	۵۰/۴۸	۶۰/۴۱	۴۱/۵۶	۶۸/۹۳	۵۱/۷۹	۳۷/۹۳	۵/۴۶	مقدار
	۷/۷	۰/۴۸	۱۰/۴۱	-۸/۴۴	۱۸/۹۳	۱/۷۹	-۱۲/۰۷	-۴۴/۵۴	AF-50
	۲	۳	۲	۳	۱	۳	۳	۳	رده
Sl	۲۳۷/۴	۱۰۰/۰۴	۹۸/۵۷	۳۱۲	۴۱۵/۷۴	۱۷۲/۸۱	۱۶۰	۲۹۵	مقدار
	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۳	۲	رده
Hi	۰/۵	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۵۶	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۴۵	مقدار
	۲	۳	۳	۳	۱	۳	۳	۲	رده
Smf	۱/۲۶	۱/۲۴	۱/۴۲	۱/۲۹	۱/۲۶	۱/۲۹	۱/۲۱	۱/۲۳	مقدار
	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	رده
T	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۵۳	۰/۷۹	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۷۳	مقدار
	۲	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۱	رده
S	۱/۱۵	۱/۱۱	۱/۰۶	۱/۰۷	۱/۲	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۴۸	مقدار
	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	رده
Vf	۰/۵۲	۱/۱۱	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۳۵	۰/۵۶	مقدار
	۲	۳	۱	۲	۱	۲	۱	۲	رده
Iat	۲/۱۳	۲/۵	۲	۲/۱۳	۱/۵	۲/۳۸	۲/۱۳	۲/۲۵	مقدار
	۳	۴	۳	۳	۲	۳	۳	۲	رده
توصیف شاخص Iat									متوسط
									کم
									متوسط
									بالا

- تحلیل وضعیت زیرحوضه‌ها و منطقه پژوهش از بررسی همزمان شاخص‌های نه‌گانه مورفوتکتونیک: با توجه به جدول ۱، زیرحوضه‌های ۱ و ۵ بطور پیوسته در شاخص‌های T، S، Vf دارای مقادیر متناظر با فعالیت تکتونیک زیاد، زیرحوضه‌های ۳، ۴ و ۸ به‌طور پیوسته در شاخص‌های Af، Sl، Hi دارای مقادیر متناظر با فعالیت تکتونیک کم و تمام زیرحوضه‌ها و کل منطقه در شاخص Smf، دارای فعالیت تکتونیک متوسط و یکنواخت‌اند. در شاخص Iat، زیرحوضه‌های ۱ و ۵، از فعالیت تکتونیک زیاد، زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ و کل منطقه از فعالیت تکتونیک متوسط و زیرحوضه ۸ از فعالیت تکتونیک کم برخوردارند.

- تحلیل بررسی‌های میدانی، تفسیر زمین‌شکل‌ها، داده‌های ژئوفیزیکی و پژوهش‌های کتابخانه‌ای: شواهدی مانند خردشدگی جدید در صفحه گسل، میکروگسل‌ها و گسل‌های جدید (شکل‌های ۷ و ۸)، رسوبگذاری و تکوین مخروط‌افکنه‌های جدید پایین‌تر از مخروط‌افکنه‌های قدیمی در اثر حرکات تکتونیک مثبت و فرایش در واحد کوهستان و حفر و کاوش مخروط‌افکنه‌های قدیمی واحد پایکوه (شکل ۹)، سامانه‌های گسلی اکتشافی پنهان موجود در بستر گستره شهری بجنورد شامل سامانه گسلی دوبرار واقع در زیر حصار شیرعلی، شهرک ناوک، محله فرخی و شهرک فرهنگیان و سامانه گسلی واقع در بستر رودخانه بش‌قارداش (شکل ۱۰) و وقوع سه زلزله تخریبی در ۳۰ اخیر در شمال دشت بجنورد، دلالت بر فعالیت زمین‌ساختی جدید و توان لرزه‌زایی منطقه دارند (جدول ۲).



شکل ۶. نقشه رده‌بندی زیرحوضه‌های منطقه پژوهش براساس شاخص فعالیت نسبی تکتونیکی (Iat) (یافته‌های تحقیق)



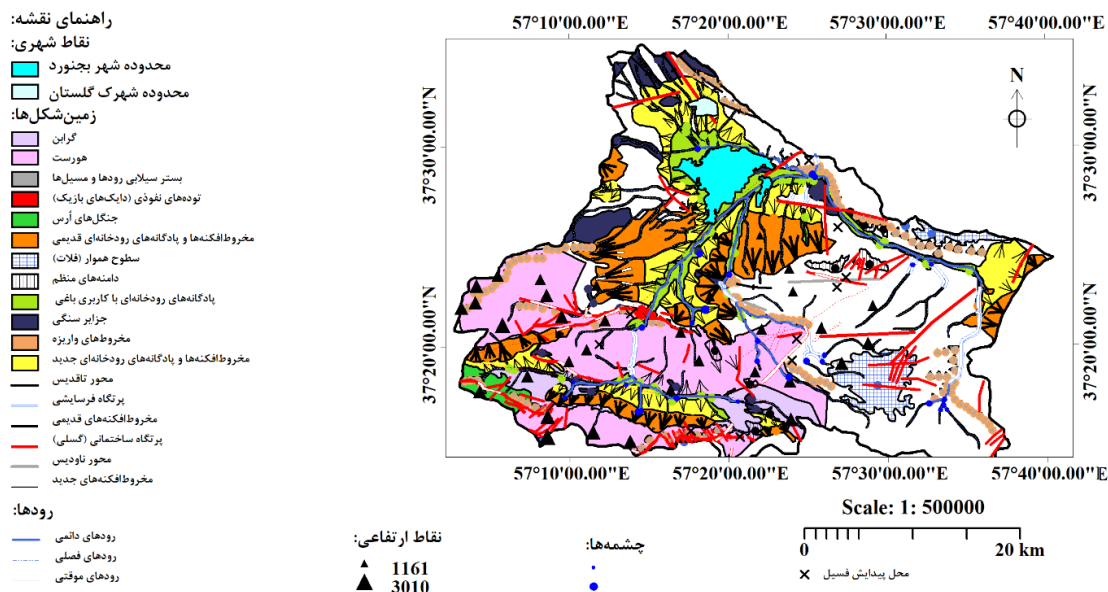
شکل ۷. خردشدگی جدید در صفحه گسل راندگی غار تکتونیکی بیدک در ۴ کیلومتری غرب بجنورد (سمت راست با دید از جنوب) و میکروگسل شکل‌گرفته در لایه‌های مارنی با میان‌لایه‌های آهکی در محور بجنورد-اسفراین (سمت چپ با دید از شمال) (عکس‌ها از نگارنده-۱۴۰۴).



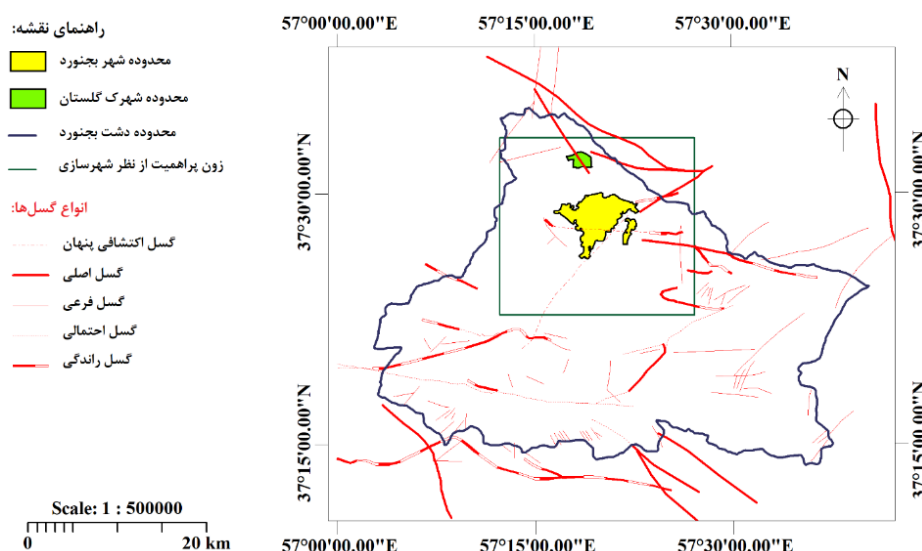
شکل ۸. گسل معکوس (سمت راست) و گسل نرمال در محور بجنورد-اسفراین (سمت چپ هر دو با دید از جنوب‌باختری) (عکس‌ها از نگارنده-۱۴۰۴).

جدول ۲. ویژگی‌های زلزله‌های تخریبی اخیر که رومرکز آنها در پیرامون شهر بجنورد بوده است (مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۱۴۰۴).

ردیف	تاریخ وقوع (میلادی)	رومرکز زلزله	خسارات و تلفات وارده شده	بزرگی (Ms)
۱	۱۹۳۳/۰۹/۰۷	شمال بجنورد	ویرانی روستاهای شمال بجنورد	۶/۳
۲	۱۹۹۷/۰۲/۰۴	شمال بجنورد (گرمخان)	ویرانی روستاهای شمال بجنورد و شیروان و حرکات دامنه‌ای	۶/۲
۳	۲۰۱۷/۰۵/۱۲	شمال غرب بجنورد	ویرانی روستاهای واقع در شمال غرب بجنورد	۵/۷



شکل ۹. نقشه ژئومورفولوژی محدوده شهری و پیراشهری بجنورد (یافته‌های تحقیق)



شکل ۱۰. نقشه سامانه‌های گسلی موجود در گستره شهری و پیراشهری بجنورد. در این نقشه سامانه‌های گسلی اکتشافی پنهان دوبرار و بستر رودخانه بش‌قارداش، با خط مقطع مشخص شده است (یافته‌های تحقیق)

نتیجه‌گیری

برای بررسی شواهد زمین‌ساخت فعال در گستره شهری و پیراشهری بجنورد، نه شاخص از ابعاد مختلف تحلیل شدند. هشت شاخص مورفوتکتونیکی شامل (AF)، (BS)، (SL)، (HI)، (HC)، (SMF)، (T)، (S) و (VF) بودند که از تقسیم مجموع رده‌های آنها بر تعداد آنها در سطح هشت حوضه، میزان فعالیت نسبی تکتونیکی منطقه به دست آمد. بررسی‌های میدانی، تفسیر زمین‌شکل‌های مرتبط با زمین‌ساخت فعال، تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی و پژوهش‌های کتابخانه‌ای نیز انجام گرفت که نتایج مجموع این شاخص‌ها و روش‌ها، معرف زمین‌ساخت جدید در منطقه‌اند. بدین صورت که بعد از بروز شرایط فرسایشی شدید پس از کوهزایی پاسادین، شیب زیاد بستر رودها پایدار می‌ماند و عمل فرسایش با شدت ادامه دارد. همچنین عوارض زمین‌ساختی زیادی را در منطقه می‌توان یافت که در کواترنر ایجاد شده‌اند و تحول آنها به دلیل زمین‌ساخت فعال همچنان ادامه دارد که یافته‌های جداری عیوضی، معتمد، زمردیان، علای طالقانی، عزتی و آق‌آتابای و رضایی عارفی و همکاران را تأیید می‌کند.

شاخص فعالیت نسبی تکتونیکی نشان داد که زیرحوضه‌ها دارای ناهمگونی تکتونیکی‌اند که مستلزم بررسی دقیق‌تر در ترکیب با داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی است و در تحقیقات بعدی باید لحاظ شود. زیرحوضه‌های ۱ و ۵ فعالیت تکتونیکی زیاد، زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ فعالیت تکتونیکی متوسط و زیرحوضه ۸ فعالیت تکتونیکی کم دارند و کل منطقه پژوهش از فعالیت تکتونیکی متوسطی برخوردار است. افزون‌بر شواهد مذکور در بخش یافته‌های تحقیق، پرتگاه‌های گسلی، پدیده پیشین رود و ایجاد تنگه در محور تاقدیس‌ها، رشد تاقدیس‌ها و فرایش، دره‌های عرضی موجود در یال تاقدیس‌ها، فرسایش شیاری موجود در پادگانه‌های رودخانه‌ای، قرارگیری شهر بجنورد در ایالت لرزه‌زمین ساخت کپه‌داغ، کم‌عمق بودن زلزله‌های ناحیه، وجود چشمه‌های لرزه‌ای مهم یعنی گسل‌های اساسی در منطقه، حضور دو کانون سطحی زلزله شامل قردانلو و گسل ناوه – شیخ به‌ترتیب در ۱۰ کیلومتری شمال و شمال خاوری بجنورد از شواهد تکتونیک فعال پیرامون منطقه هستند که همگی پتانسیل زیاد لرزه‌خیزی منطقه را نشان می‌دهند. تحلیل‌های یادشده، هم به درک بهتر وضعیت تکتونیکی منطقه شهری و پیراشهری بجنورد کمک می‌کند و هم مبنایی دقیق برای تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب، آبخیزداری، تحلیل خطر سیل، تحلیل خطر زلزله و طراحی سازه‌های هیدرولیکی فراهم می‌سازد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت معنوی گروه جغرافیای دانشگاه کوثر بجنورد انجام گرفته است. بدین وسیله از آن دانشگاه و گروه تشکر می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در اجرا و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در همه مراحل نگارش، تجزیه و تحلیل، پژوهش‌های میدانی و مدل‌سازی مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

همانندجویی

نتیجه همانندجویی مقاله از سامانه مشابه‌یاب سمیم نور ۷ درصد است.

منابع

- [۱] استانداری خراسان شمالی، اداره کل دفتر امور سیاسی، انتخابات و تقسیمات کشوری، نقشه آخرین تقسیمات سیاسی استان خراسان شمالی مصوب هیأت وزیران در سال ۱۴۰۲.
- [۲] اسماعیل‌پور، توران؛ کلاهی‌آذر، امیرپرویز؛ و جعفری، تیمور (۱۳۹۵). بررسی مورفوتکتونیک (ریخت‌زمین‌ساختاری) دشت سملقان با استفاده از شاخص‌های مورفومتری. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد در رشته زمین‌شناسی (تکتونیک)، دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان.
- [۳] اسماعیلی، رضا؛ متولی، صدرالدین؛ و حسین‌زاده، محمدمهدی (۱۳۹۱). بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛ البرز شمالی، استان مازندران. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳، ۱۱۴-۱۱۰.
- [۴] افشارحرب، عباس (۱۳۷۳). زمین‌شناسی کپه‌داغ. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۵] جداری عیوضی، جمشید (۱۳۷۴). ژئومورفولوژی ایران. تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه پیام نور.
- [۶] درویش‌زاده، علی (۱۳۸۲). زمین‌شناسی ایران. تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات امیرکبیر.
- [۷] رضایی عارفی، مرتضی؛ مقیمی، ابراهیم؛ جعفری‌گلو، منصور؛ حسینی، سیدموسی؛ و فخری، مجید (۱۴۰۴). تحلیل ژئومورفولوژیک با استفاده از تئوری گسیختگی سطحی (مورد مطالعه: کپه‌داغ مرکزی و شرقی). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳(۴)، ۲۰۳-۱۸۱.
- [۸] زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی ایران، جلد ۱: فرایندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی. مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۹] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان شمالی، معاونت آمار، اطلاعات و GIS (۱۳۹۶). نتایج تفصیلی آبادی‌های استان خراسان شمالی در سرشماری رسمی سال ۱۳۹۵.
- [۱۰] سازمان هواشناسی کشور (۱۴۰۳). میانگین‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و هواشناسی سینوپتیک شهرستان‌های استان خراسان شمالی منتهی به سال ۱۴۰۲.
- [۱۱] عزتی، مریم؛ و آق‌آتابای، مریم (۱۳۹۳). تفسیر مورفوتکتونیک حوضه سولوکلو (خراسان شمالی) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک. جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، ۴(۱۳)، ۱۴۱-۱۵۳.
- [۱۲] علائی طالقانی، محمود (۱۳۸۴). ژئومورفولوژی ایران. تهران: قومس.
- [۱۳] مرکز لرزه‌نگاری کشوری وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- [۱۴] معتمد، احمد (۱۳۷۶). کوآترنر (زمین‌شناسی دوران چهارم). تهران: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۵] میراحمدی، سیدحسن؛ ایزدی کیان، لیلی؛ و علیپور، رضا (۱۴۰۳). ارزیابی و کارایی تکتونیک فعال شمال غرب صحنه با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳(۲)، ۱۲۵-۱۵۵.
- [۱۶] نصری، فروزان؛ بهرامی، شهرام؛ صالحی‌پور میلانی، علیرضا؛ و احتشامی معین‌آبادی، محسن (۱۴۰۴). تحلیل زمین‌شناختی و مورفوتکتونیک زمین‌لغزش‌ها (منطقه پژوهش: حوضه‌های زهکشی تنگ حمام و الوند در شهرستان سرپل‌دهاب). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲(۲)، ۱۱۷-۱۳۳.
- [۱۷] وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، سازمان جغرافیایی (۱۳۶۴). برگ‌های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه توپوگرافی بجنورد.
- [۱۸] وزارت صنعت، معدن و تجارت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، برگ‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه زمین‌شناسی بجنورد.
- [۱۹] ولدی، بختیار؛ خضری، سعید؛ و قربانی، محمدصدیق (۱۳۹۴). تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات مورفوتکتونیک شهرستان کامیاران. مدیریت مخاطرات محیطی، ۲(۲)، ۲۵۱-۲۶۸.
- [20] Bull, W. B., & MacFadden, L. D. (1977). Tectonic Geomorphology of the Western Portion of the San Gabriel Mountains, California. California State University Fresno, Department of Geology, *Technical Reports* 14, 1-137.
- [21] Cannon, P. J. (1976). Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes*, 36(1), 3-16.
- [22] El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacn, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173.

- [23] Elio, Flores-Prieto, Geraldine, Queneherve, Felix, Bachofer, Faisal, Shahzad, & Michael, Maerker (2015). Morphotectonic interpretation of the Makuyuni cathment in Northern Tanzania using DEM and SAR date. *Geomorphology*, 248, 427-439.
- [24] G. Jordan, B. M. L. Meijninger, D. J. J. Van Hinsbergen, J. E. Meulenkamp, & P. M. Van Dijk (2005). Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece, *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 163-182.
- [25] Goudie, A., S. (2004). *Encyclopedia of Geomorphology*. Vol. 1 and 2, Routledge, New York.
- [26] Ioannis, M. Tsodoulos, Ioannis, K. Koukouvelas & Spyros Pavlides (2006). Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, central Greece), *Tectonophysics*, 453, 211-232.
- [27] Keller Edward, A. & Pinter, Nicholas. (2002). *Active tectonics earthquake, uplift, and landscape*. Prentice Hall Publisher. New Jersey.
- [28] Ramirez-Herrera, M. A. (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 317-332.
- [29] Ramsey, L.A., Walker, R.T., & Jackson, J. (2008). Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SW Iran. *Basin Research* 20, 23-48.
- [30] Randel, T. (1994). Analysis of drainage-basin symmetry as rapid techniques to identify areas of possible Qaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. *Geological society*, 106, 571-581.
- [31] Singh, V., & Tandon, S. K. (2008). The Pinjaur dun (intermountain longitudinal valley) and associated active mountain fronts, NW Himalaya Tectonic geomorphology and morphotectonic evolution. *Geomorphology*, 102, 376-394.
- [32] Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.
- [33] Walker, R. T., Talebian, M., Saiffori, S., Sloan, R.A., Rasheedi, A., MacBean, N., & Ghassemi, A. (2010). Active faulting earthquakes, and restraining bend development near Kerman city in southeastern Iran. *Journal of Structural Geology*, 32, 1046-1060.