

Determination of Tectonic Activity Based on the Morphology of Alluvial Fan Systems; a Case Study of the Northern Slopes of Sabalan Volcanic Mount

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Nouhi M.¹ MA,
Madadi A.*¹ PhD,
Abedini M.¹ PhD

How to cite this article

Nouhi M, Madadi A, Abedini M. Determination of Tectonic Activity Based on the Morphology of Alluvial Fan Systems; a Case Study of the Northern Slopes of Sabalan Volcanic Mount. Geographical Researches Quarterly Journal. 2019;34(1):109-120.

ABSTRACT

Aims & Backgrounds Alluvial fans are one of the most prominent phenomena in fluvial geomorphology, which are found mostly on the mountain front. These landforms are affected by climate change and tectonic activity and record their effects. Therefore, we can use them to understand climate change and tectonic activities in the past and at the present. The aim of this study was to determine the tectonic activity in the northern front of the Sabalan mountain based on the morphology of alluvial fan systems. By conducting such studies, it is possible to identify active processes on alluvials and, thereby to some extent, prevent the damage to life and property due to natural disasters, in particular earthquakes and floods.

Methodology To do this, the geomorphic indices of related to catchments such as RLP (Real Long Profile), TLP (Theoretical Long Profile), ILP (Incision Long Profile), Stream Concavity Index (Sci), Asymmetric Factor (Af), Hypsometric Curve (Hc), Hypsometric integral (Hi), Drainage Basin Shape (Bs), Relief Ratio (Rr) were used. Moreover, field observations, digital elevation model, GIS, and Arc Hydro were used.

Findings The subsidence of the central part of the Sabalan mass during the quaternary period was accompanied by the formation of a circular fault (caldera) and other sub-faults in the apex of the fan systems. These faults, in addition to the uplift of the fans apex and lowering the base level of them, by creating longitudinal valleys and channelizing the surface currents, cut the lahar flows at the head of the fan systems.

Conclusion Morphology of the fan systems in the study area was active. In addition; the rule of glacial periods during the eruption of the Sabalan volcano, with generation of Lahar flow, played a decisive role.

Keywords Geomorphic Indices; Sabalan Northern Front; Morphology of Alluvial Fan; Active Tectonic

¹Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

*Correspondence

Address: Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University, Daneshgah Street, Ardabil, Iran
Phone: +98 (45) 31505659
Fax: +98 (45) 31505510
aghil48madadi@yahoo.com

Article History

Received: August 28, 2018
Accepted: January 03, 2019
ePublished: February 05, 2019

CITATION LINKS

[Antón L, et al.; 2012] Quantification of fluvial incision ...; [Bahrami S; 2013] Tectonic controls on the ...; [Blair TC & McPherson JG; 2009] Processes and forms of alluvial ...; [Bull WB; 2007] Tectonic geomorphology of ...; [Figueroa AM & Knott JR; 2010] Tectonic geomorphology ...; [El Hamdouni R; 2008] Assessment of relative active ...; [Harvey AM, et al.; 2005] Alluvial fans: geomorphology ...; [Lifton NA & Chase CG; 1992] Tectonic, climatic and ...; [Pedrera A, et al.; 2009] Testing the sensitivity of ...; [Quigley MC, et al.; 2007] Distinguishing tectonic ...; [Ritter JB; 1993] Quaternary evolution ...; [Viseras C; 2003] Differential features of alluvial ...; [Volker HX, et al.; 2007] A topographic fingerprint ...; [Whittaker AC; 2012] How do landscapes record ...; [Amini B; 1994] Meshkinshahr Geology ...; [Dallal oghli A; 2003] The study of the effective ...; [Dorn RI; 2009] The role of climatic change ...; [Khayyam M; 1993] An attempt on the construction and ...; [Khayyam M & Mokhtari D; 2003] Evaluation of the performance of tectonics based ...; [Mohammad Nejad V & Asghari S; 2015] The Reaction of the Eastern Garmsar ...; [Ramesht MH, et al.; 2009] The Influence of Active Tectonic ...; [Sahabi F; 1999] Sabalan volcanic complex ...

تعیین میزان فعالیت تکتونیکی براساس مورفولوژی سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای؛ مطالعه موردی دامنه‌های شمالی کوهستان سبلان

محمد نوحی MA

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

عقيل مددی PhD*

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

موسی عابدینی PhD

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

اهداف و زمینه‌ها: مخروط‌افکنه‌ها از بارزترین پدیده‌های ژئومورفولوژی رودخانه‌ای هستند که بیشتر در جبهه کوهستان‌ها یافت می‌شوند. این اشکال متأثر از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های زمین‌ساختی هستند و آثار آنها را در خود ثبت می‌کنند. بنابراین برای درک تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های تکتونیکی و نیز فرآیندهای فعال در گذشته و حال هر منطقه می‌توانیم از آنها استفاده کنیم. هدف از این پژوهش، تعیین میزان فعالیت‌های تکتونیکی در جبهه شمالی کوهستان سبلان از طریق مورفولوژی سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای بوده است. با انجام چنین پژوهش‌هایی، می‌توان به فرآیندهای فعال روی مخروط‌افکنه‌ها پی برد و از این طریق تا حدودی از خسارت‌های جانی و مالی مربوط به بلایای طبیعی، به ویژه زلزله و سیل جلوگیری کرد.

روش‌شناسی: برای این منظور از طریق شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی، نظیر پروفیل طولی واقعی، پروفیل طولی تئوریک و پروفیل طولی برش رودخانه، شاخص تقعر رودخانه و برش رأس مخروط‌افکنه‌ها به تعیین میزان تکتونیک فعال اقدام شد. برای اطمینان بیشتر، از شاخص‌های دیگری مانند عدم تقارن حوضه، منحنی هیپسومتر، انتگرال هیپسومتری، شکل حوضه و ضریب ناهمواری استفاده شد. علاوه بر آن از مشاهدات میدانی، مدل ارتفاعی رقمی، سامانه اطلاعات جغرافیایی و آرک هیدرو استفاده شد.

یافته‌ها: فرونشست بخش مرکزی توده سبلان در دوره کواترنر پسین با ایجاد یک گسل دایره‌ای شکل (کالدرا) و سایر گسل‌های فرعی منشعب از آن در نزدیکی رأس مخروط‌افکنه‌ها، ضمن فرسایش رأس مخروط‌افکنه‌ها و پایین آوردن سطح اساس، با ایجاد دره‌های طولی و کانالیزه کردن جریان‌های سطحی، موجب برش روانه‌های گلی (لاهار) در رأس مخروط‌افکنه‌ها شده است.

نتیجه‌گیری: مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها در منطقه مورد مطالعه ناشی از تکتونیک فعال ارزیابی شد. علاوه بر آن، حاکمیت دوره‌های یخچالی در زمان فوران آتشفشان سبلان با ایجاد جریان لاهار، در این مورد نقش قاطع داشته است.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های ژئومورفیک، جبهه شمالی سبلان، مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها، تکتونیک فعال

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۳

نویسنده مسئول: aghil48madadi@yahoo.com

مقدمه

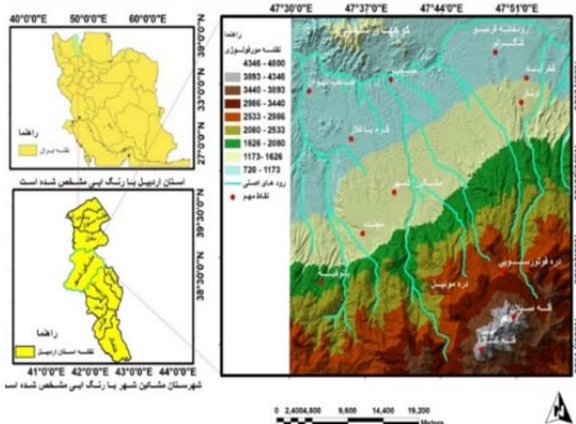
هدف بلندمدت در ژئومورفولوژی، استفاده از فرم برای پی‌بردن به فرآیند است. البته، این کار آسانی نیست، زیرا چشم‌اندازها، همزمان، توسط چندین فرآیند ایجاد می‌شوند [Volker et al, 2007]. تحول چشم‌انداز به طور کلی می‌تواند به صورت تابعی از

اقلیم، تکتونیک و پارامترهای زمین‌شناسی مانند نوع سنگ توصیف شود [Lifton & Chase, 1992]. مخروط‌افکنه‌ها در انتهای حوضه‌های زهکشی، جایی که کانال‌های تغذیه‌کننده، بار جامد خود را بر جای می‌گذارند، توسعه می‌یابند [Harvey et al, 2005] و می‌توانند در تمام محیط‌های قاره‌ای وجود داشته باشند [Dorn, 2009]. حداقل پنج عامل، شامل سنگ‌شناسی حوضه، شکل حوضه، محیط اطراف، اقلیم و تکتونیک، فرآیندهای مخروط‌افکنه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مخروط‌افکنه‌ها به طور مستقیم با یک حوضه بالادست که حوضه زهکشی نیز نامیده می‌شوند، ارتباط می‌یابند. این حوضه‌ها آب و رسوب مخروط‌افکنه را تامین می‌کنند. عناصر کلیدی مخروط‌افکنه، شامل رأس، کانال بریده‌شده، نقطه تقاطع، بیشینه رسوبی فعال، سطوح قدیمی و خندق‌های قهقراپی هستند [Blair & Mcpherson, 2009]. دوره کواترنر به عنوان تناوبی از دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، همراه با تکانه‌های تکتونیکی شناخته می‌شود. بنابراین، فعالیت‌های تکتونیکی و تغییرات اقلیمی، همزمان و همراه باهم می‌توانند در تحول و تکامل مخروط‌افکنه‌ها نقش ایفا کنند [Viseras et al, 2003]. دوره‌های مهم رسوب‌گذاری و برش روی مخروط‌افکنه‌ها به ترتیب، در دوره یخچالی و بین یخچالی به وقوع پیوسته است [Harvey, 1996]. به نظر می‌رسد که تغییر شدید و ناگهانی توپوگرافی بین کوهستان سبلان و چاله تکتونیکی مشکین‌شهر، بر اثر فرآیندهای تکتونیکی و نیز تغییرات اقلیمی دوره کواترنر، موجب تشکیل مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته شده است. چنین شرایطی، فرصت بسیار مغتنمی را برای درک فرآیندهای فعال روی مخروط‌افکنه‌ها فراهم می‌کند و به تبع آن به روشن شدن فعالیت‌های تکتونیکی و تغییرات اقلیمی منطقه کمک می‌کند. متأسفانه تاکنون (۱۳۹۷)، مطالعه جامع و علمی در این خصوص صورت نگرفته است. هدف اصلی ما، تعیین میزان فعالیت‌های تکتونیکی منطقه مورد مطالعه از طریق مورفولوژی سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای بوده است. این امر مهم از طریق شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی به ویژه برش رأس مخروط‌افکنه‌ها و مطالعه و مشاهده میدانی نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای به انجام رسیده است. برای تجزیه و تحلیل و جمع‌آوری داده‌ها از ابزار مختلف به خصوص، سامانه اطلاعات جغرافیایی و آرک هیدرو بهره گرفته شده است. به دلیل باه‌ادابودن مخروط‌افکنه‌ها و وسعت زیاد به همراه تغییرات شدید ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی و اقلیمی، به‌کارگیری بسیاری از شاخص‌ها و روش‌های معمول، میسر نشد. لذا از روش‌های متناسب با منطقه مورد مطالعه استفاده کرده و به برآورد نحوه و میزان تأثیرگذاری تکتونیک فعال روی مخروط‌افکنه‌های منطقه پرداختیم.

گرچه مخروط‌افکنه‌ها در اکثر کمربندهای اقلیمی مشاهده می‌شوند، ولی به لحاظ تظاهر بهتر و دسترسی آسان‌تر در بیابان‌ها، بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. دریو (۱۸۷۳) در بالادست دره

مخروط‌افکنه‌ها شده است [Mohammad Nejad & Asghari, 2015].

جنبه نوآوری مقاله: این پژوهش در یک منطقه بکر و آتشفشانی و با استفاده از شاخص‌های رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌ای به انجام رسیده است. برای اولین بار، گسل دایره‌ای شکل (کالدرا) و تأثیر آن بر حوضه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها مطرح شده است.



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی دامنه‌های شمالی سبلان و مخروط‌افکنه‌های وابسته به آنها

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۸۴۳ کیلومتر مربع در شمال غربی ایران، استان اردبیل و دامنه‌های شمالی کوهستان آتشفشانی سبلان، بین مختصات جغرافیایی ۱۸° ۳۵' ۳۸" و ۲۹° ۱۵' ۳۸" عرض شمالی و ۰۷° ۵۹' ۴۷" و ۳۷° ۲۷' ۴۷" طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته و مورد توجه همان طوری که در شکل ۱ دیده می‌شود، در چاله تکتونیکی مشکین‌شهر قرار گرفته‌اند و توسط جریان گلی یا لاهار ناشی از فوران قله سبلان در دوره پلیستوسن انباشته شده‌اند. از نظر اقلیمی، در حال حاضر، کوهستان سبلان دارای آب و هوای سرد کوهستانی و دشت مشکین‌شهر دارای آب و هوای نیمه‌خشک هستند [Dallal Oghli, 2002]. براساس داده‌های هواشناسی ایستگاه مشکین‌شهر از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۴، میانگین بارندگی سالانه ۳۹۲ میلی‌متر است. کوهستان آتشفشانی پلیو-کواترنری سبلان در دوره پلیستوسن، به تناوب، تحت تأثیر دوره‌های یخچالی و بین یخچالی قرار داشته است [Dallal Oghli, 2002; Khayyam, 1993]. رودخانه‌های خیاو، کرکری، شیروان دره و اونار با روند جنوبی-شمالی در دره‌های طولی خود و عمود بر جبهه کوهستان جریان دارند و به محض خروج از کوهستان، مخروط‌افکنه‌های خود را به وجود می‌آورند. رودخانه قره‌سو که در قاعده مخروط‌افکنه‌ها و از شرق به غرب جاری است، بعد از دریافت رودخانه‌های مذکور، به رودخانه ارس می‌پیوندد. رودخانه ارس نیز به دریای خزر می‌ریزد.

رودخانه ایندوس در غرب هیمالیا، اولین توضیح علمی در مورد مخروط‌افکنه‌های بیابان را ارائه داد. انتشارات علمی در مورد مخروط‌افکنه‌ها تا سال ۱۹۶۰ کم بوده، ولی از آن پس رو به رشد نهاده است. مخروط‌افکنه‌های تماشایی غرب ایالات متحده آمریکا، در مرکز توجه قرار داشته است، اما کار قابل‌توجه روی مخروط‌افکنه‌ها در سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند پرو، آرژانتین، شیلی، جنوب اروپا، شرق آفریقای مرکزی، خاورمیانه، ایران، پاکستان، هندوستان، چین و مغولستان رو به رشد بوده است [Blair & Mcpherson, 2009].

همان طوری که در بالا اشاره شد، مطالعات زیادی در خصوص مخروط‌افکنه‌ها در ایران و سایر نقاط جهان به انجام رسیده است. به طوری که هر کدام از آنها جنبه‌های مختلف فرآیند و فرم مخروط‌افکنه را مورد توجه قرار داده‌اند. از بین فرآیندهای مختلف مخروط‌افکنه، تکتونیک و اقلیم سهم به سزایی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین از میان فرم مطالعه شده، برش مخروط‌افکنه‌ها از اقبال بیشتری برخوردار بوده است. در اینجا لازم است به بعضی از نتایج حاصل از این تحقیقات اشاره شود.

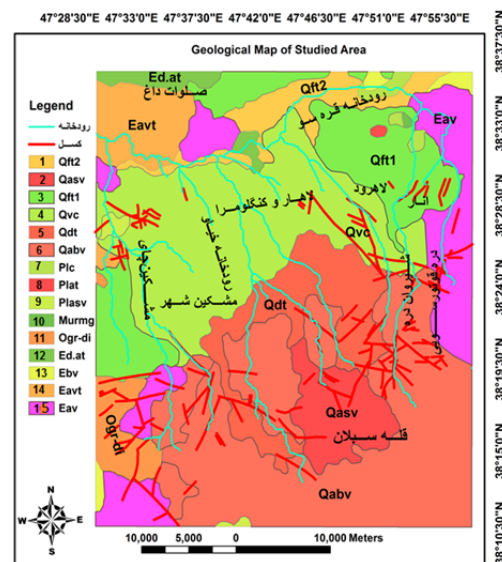
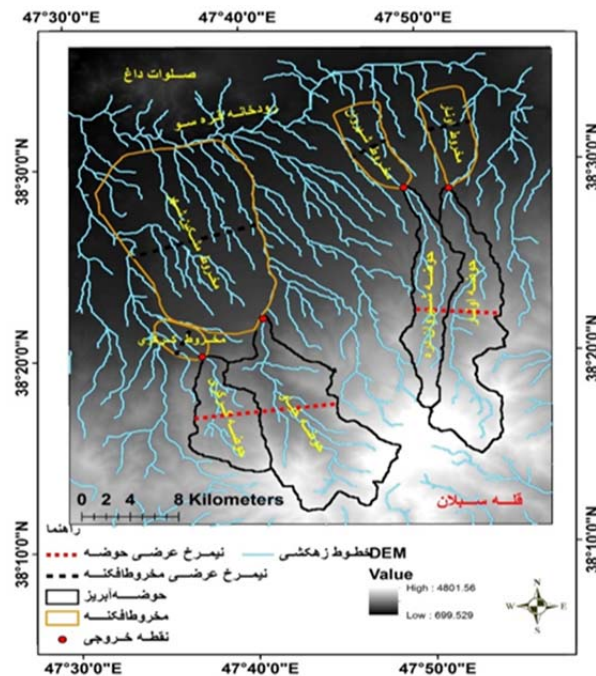
بالا آمدگی تکتونیکی از طریق افزایش شیب حوضه زهکشی، افزایش اختلاف ارتفاع و ایجاد فضای رسوبی، میزان رسوب ورودی به مخروط‌افکنه را افزایش می‌دهد؛ همچنین طرز عمل تکتونیک، حجم و هندسه مخروط‌افکنه‌ها را متأثر می‌سازد [Quigley et al, 2007]. در مناطق با فعالیت تکتونیکی کم، هندسه مخروط‌افکنه‌ها به صورت تلسکوپی است. این ویژگی مبین آن است که این مخروط‌افکنه‌ها بعد از تشکیل، تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته‌اند، به طوری که زبانه‌های انباشتی به پایین‌دست منتقل شده‌اند [Pedrerar et al, 2008]. تجزیه و تحلیل عوامل تکتونیکی و اقلیمی، تحت سیستم‌های مختلف رسوبی، اساس درک تحول مخروط‌افکنه‌های دوره کواترنری است. قسمت فعال مخروط‌افکنه‌ها در میشو شرقی در رأس و در میشو غربی در پایین‌دست آنها قرار گرفته که نشانگر عملکرد متفاوت تکتونیک است [Khayyam & Mokhtari, 2003]. اگر نرخ فرسایش در جبهه کوهستان، بیشتر از نرخ فرسایش باشد، مخروط‌افکنه‌های جوان نزدیک به جبهه کوهستان تشکیل می‌شود و به تبع آن، برشی در مخروط‌افکنه مشاهده نمی‌شود [Ramesht et al, 2009]. برش رأس مخروط‌افکنه‌ها و فضای رسوبی منفی بر روی اکثر آنها، می‌تواند به کاهش بار رسوبی و تخلیه در رژیم خشک امروزی نسبت داده شود [Bahrami, 2013]. گسل‌های گرمسار، سرخه کلوت و قریبک اثرات اصلی و عمده‌ای روی مخروط‌افکنه‌ها گذاشته‌اند. فعالیت گسل‌های مذکور موجب بالا آمدن رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و رسوبات الیگوسن زیرین شده‌اند. همچنین فعالیت این گسل‌ها موجب ایجاد سطوح مختلف بالا آمده، متروک‌ماندن سطح مخروط‌ها، جابجایی نقطه تقطیع آبراهه، بالا آمدگی رسوبات مخروط‌افکنه‌ها و جابجایی افقی شبکه زهکشی سطح مخروط‌افکنه‌ها و همین‌طور تأثیر بر فضای قابل دسترس

موقعیت زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

بخش عمده زمین‌شناسی منطقه توسط آتشفشان پلیو-کواترنر سبلان، کنترل می‌شود. منطقه مورد مطالعه را از نظر ژئومورفولوژی می‌توان به دو واحد کوهستان سبلان به عنوان حوضه فرسایشی و چاله زمین ساختی مشکین‌شهر به عنوان فضای رسوب‌گذاری تقسیم کرد. چاله میو-پلیوسن مشکین‌شهر که بخش شمالی منطقه را فراگرفته، در قاعده شامل واحدهای ائوسن و توده‌های نفوذی است که روی آنها نهشته‌های پلیو-کواترنری و سپس سنگ‌های آتشفشانی و آبرفت‌های کواترنری جای گرفته است. زون سبلان که بخش جنوبی منطقه را شامل می‌شود، توسط گسلی با راستای E-W از زون مشکین‌شهر جدا می‌شود. این زون از سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت و داسیت) تشکیل شده است [Sahabi, 1999].

روش‌شناسی

برای انجام پژوهش حاضر، چهار مخروط‌افکنه (مشکین‌شهر، اونا، شیروان دره و کرکری) و نیز حوضه‌های مربوط به آنها انتخاب شد (شکل ۳). برای انجام این کار ابتدا نقشه مدل ارتفاعی رقومی منطقه، با قدرت تفکیک ۲۰ متر، توسط داده‌های موجود (نقاط ارتفاعی، خطوط میزان و آبراهه‌ها) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌ها و سایر پارامترها از آن استخراج شد. در محیط نرم‌افزار آرک هیدرو، حوضه‌های آبریز تعیین حدود شدند. مخروط‌افکنه‌ها نیز از طریق نقشه‌های توپوگرافی، مطالعه میدانی و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارض مرزبندی شدند. در نهایت با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی که شرح آنها در زیر می‌آید به تعیین میزان تکتونیک فعال، اقدام شد.



شکل ۲) نقشه زمین‌شناسی دامنه‌های شمالی سبلان و مخروط‌افکنه‌های وابسته به آنها

شکل ۳) نقشه حوضه‌های رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه‌های وابسته به آنها در دامنه‌های شمالی سبلان؛ خط‌چین‌های قرمز رنگ و سیاه رنگ به ترتیب محل رسم نیم‌رخ‌های عرضی حوضه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها را نمایش می‌دهد.

تجزیه و تحلیل پروفیل رودخانه‌ها و رأس مخروط‌افکنه‌ها: برای بازسازی ژئومتری شبکه‌های رودخانه‌ای قبل از برش (ILP) پروفیل طولی تئوریک (TLP) برای هر پروفیل طولی واقعی (RPL)، به روش آنتون و همکاران محاسبه شد [Anton et al, 2012]. پروفیل طولی تعادلی به وسیله برآزش توانی پروفیل طولی واقعی $(Y=CX-K)$ به دست می‌آید. اختلاف ارتفاع محاسبه شده بین پروفیل طولی واقعی و پروفیل طولی تئوریک، پروفیل طولی برش را نشان می‌دهد.

برش رأس مخروط‌افکنه: فرایندهای ژئومورفیک مخروط‌افکنه‌ها بر اثر تغییرات سطح اساس، منجر به کلاس‌های تکتونیک متعدد

جدول ۱) راهنمای نقشه زمین‌شناسی

مخروط‌افکنه تراس‌های پست	۱
مخروط‌افکنه تراس‌های مرتفع	۲
کنگلوما و لاهار	۳
آندزیت	۴
ریولیت	۵
آندزیت تا بازالت	۶
کنگلوما و ماسه‌سنگ	۷
توف آندزیتی	۸
آندزیت پلیوسن	۹
مرمر همراه با ژیبس	۱۰
گرانیت تا دیوریت	۱۱
توف ولکانیکی آندزیتی	۱۲
سنگ‌های بازالتی	۱۳
دیوریت	۱۴
ولکانیک‌های آندزیتی	۱۵

و یکنواخت باشد، مقدار θ ، ۵٪ خواهد بود. مقدار بالاتر و پایین‌تر از این مرجع، نشان‌دهنده عدم تعادل در حوضه است.

شاخص عدم تقارن حوضه (AF): راهی برای ارزیابی وجود کج‌شدگی تکتونیکی در مقیاس حوضه زهکشی مناطق نسبتاً بزرگ است که از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود. [El Hamdouni et al, 2008]

$$AF=100(Ar/At) \quad \text{رابطه (۴)}$$

Ar مساحت سمت راست حوضه و At مساحت کل حوضه است. AF نزدیک به ۵۰، نشان‌دهنده تعادل در حوضه است.

شاخص منحنی هیپسومتري: منحنی هیپسومتري، رابطه بین ارتفاع نسبی (h/H) و مساحت نسبی (a/A) را نشان می‌دهد. منحنی‌های هیپسومتري محدب، مقعر و S مانند، به ترتیب نشان‌دهنده مرحله جوانی، مرحله پیری و مرحله بلوغ حوضه هستند [Pedrera et al, 2009].

شاخص انتگرال هیپسومتري: این شاخص، شامل مساحت زیر منحنی هیپسومتري بوده و از طریق رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$HI = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه، HI انتگرال هیپسومتري، H_{mean} ارتفاع میانگین حوضه، H_{max} و H_{min} به ترتیب، بیشترین و کمترین ارتفاع در حوضه هست. اگر این شاخص بالای ۶۰٪ باشد، نشان‌دهنده مرحله جوانی حوضه است. مقدار بین ۶۰٪-۳۵٪، نشان‌دهنده مرحله بلوغ و مقدار کمتر از ۳۵٪، نشان‌دهنده مرحله پیری است [El Hamdouni et al, 2008].

شاخص شکل حوضه (BS): این شاخص از طریق رابطه (۶) قابل محاسبه است [El Hamdouni et al, 2008].

$$BS=B_l/B_w \quad \text{رابطه (۶)}$$

B_l طول و B_w عرض حوضه در پهن‌ترین نقطه است. مقادیر بالای BS مربوط به حوضه‌های کشیده است که با تکتونیک فعال همراه هستند و مقادیر کم BS مربوط به حوضه‌های دایره‌ای شکل است که دارای فعالیت کم تکتونیکی هستند.

ضریب ناهمواری: ضریب ناهمواری، شیب متوسط رودخانه را اندازه‌گیری می‌کند. منظور از L_r طول رودخانه، E_d ارتفاع خط تقسیم و E_v ارتفاع دهانه رودخانه است. این شاخص از طریق رابطه (۷) قابل محاسبه است [Figueroa & Knott, 2010].

$$Rr = L_r / (E_d - E_v) \quad \text{رابطه (۷)}$$

یافته‌ها

براساس مواد و روش‌های تحقیق که در بخش مربوط به خود معرفی و شرح داده شد، نتایج و بحث تحقیق نیز به تبع آن به چند بخش تقسیم‌بندی شده که به ترتیب در زیر مورد تجزیه و

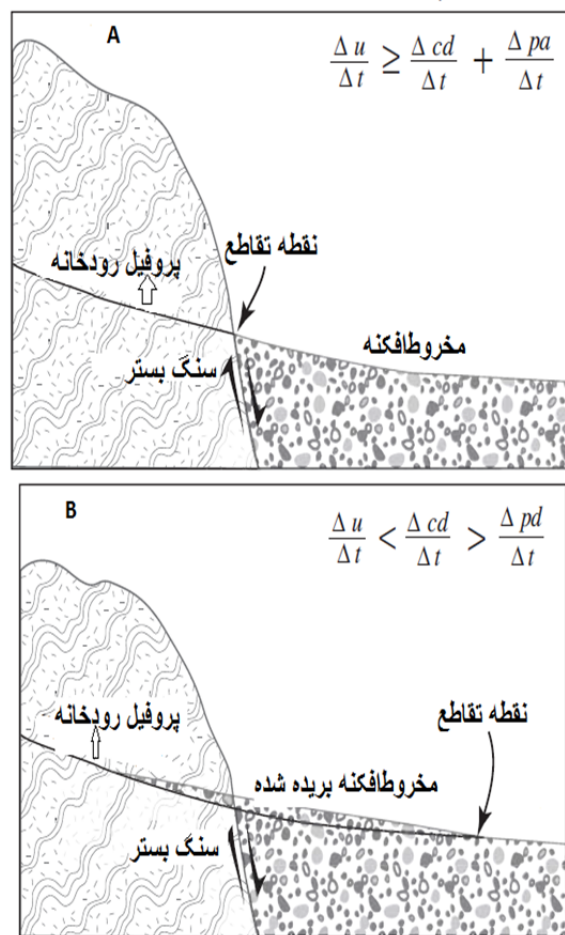
می‌شود [Bull, 2008]. از بین آنها دو کلاس تکتونیکی، برای بررسی وضعیت تکتونیکی مخروط‌افکنه‌ها، استفاده شد.

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} \geq \frac{\Delta cd}{\Delta t} + \frac{\Delta pa}{\Delta t} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، منظور از Δu مقدار بالآمدگی، Δt مدت‌زمان، Δcd مقدار برداشت و Δpa مقدار انباشت است. در این صورت، بالآمدگی، فرآیند غالب سطح اساس است و مخروط‌افکنه‌ها در نزدیکی جبهه کوهستان قرار می‌گیرند (شکل ۴، A).

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} < \frac{\Delta cd}{\Delta t} > \frac{\Delta pd}{\Delta t} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این صورت، برش رودخانه، فرآیند غالب سطح اساس بوده و نقطه تقاطع به پایین‌دست انتقال می‌یابد (شکل ۴، B). (شکل ۴)



شکل ۴ A: جبهه کوهستان فعال (عدم برش راس مخروط‌افکنه); B: جبهه کوهستان غیرفعال (برش راس مخروط‌افکنه) [Bull, 2008]

شاخص تقعر رودخانه (sci): این شاخص از طریق رابطه (۳) قابل محاسبه است [Withaker, 2012].

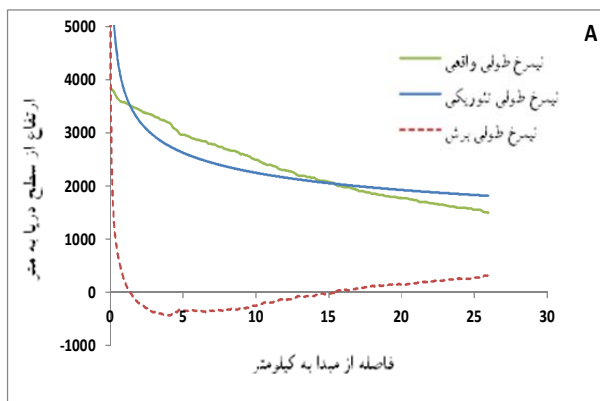
$$A^{-\theta} s = k_s \quad \text{رابطه (۳)}$$

k_s شیب کانال و θ تقعر کانال است در صورتی که بالآمدگی آرام

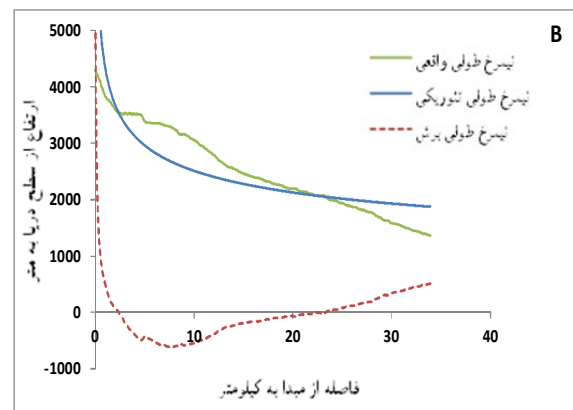
بر گسل دایره‌ای شکل (کالدر) جریان دارند و این گسل به صورت عرضی آنها را قطع می‌کند. در بخش بالادست رودخانه‌ها، اثر این شکست به صورت یک بالآمدگی قدیمی حفظ شده است. در این میان رودخانه کرکری خارج از گسل کالدر است و پروفیل آن با سه رودخانه دیگر کاملاً متفاوت است. پدیده ولکانو-تکتونیک با همراهی یخچال‌های دوره کواترنر، موجب ایجاد جریان‌های گلی یا لاهار (جریان‌های کاتاستروفیک) شده و این فرآیند به نوبه خود باعث پرشدگی حوضه‌ها و پای کوه‌های شمالی سبلان و شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها شده است. علاوه بر آن، تناوب دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، باعث تغییر از حالت رسوب‌گذاری به حالت فرسایش شده و از این طریق، پروفیل طولی حوضه‌ها و مخروط‌افکنه را متأثر ساخته است (شکل ۶). در این بخش می‌توان به این نتیجه رسید که ولکانو-تکتونیک با ایجاد جریان لاهار باعث فراهم‌شدن رسوب در مقیاس وسیع شده و تغییرات اقلیمی دوران کواترنر باعث تغییر در اندازه و بافت نهشته‌ها شده است. این نهشته‌ها در اواخر پلیستوسن و اوایل هولوسن، توسط گسل دایره‌ای شکل کالدر، بالا آمده و به وسیله رودخانه‌ها به عمق برده شده است. می‌توان گفت که تکتونیک در این منطقه، نقش دوگانه بازی کرده، یعنی از یک طرف باعث پرشدن حوضه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها شده و از طرف دیگر موجب بریدگی آنها شده است.

بررسی پروفیل‌های طولی تعادلی، پروفیل‌های طولی- واقعی و پروفیل‌های طولی برش حوضه‌های رودخانه‌ای و رأس مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی سبلان

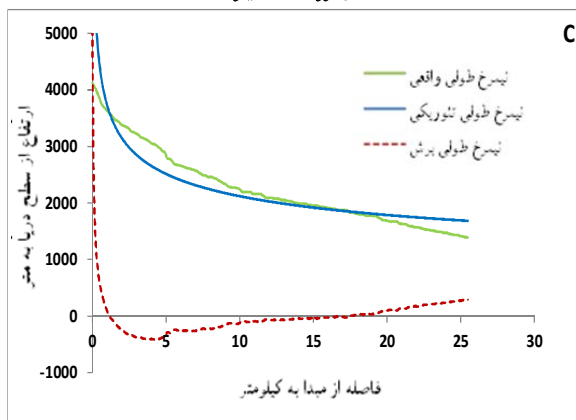
هدف اصلی در این بخش، تعیین میزان و موقعیت برش حوضه‌های رودخانه‌ای و سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای است. برای انجام این کار از روش آنتون و همکاران استفاده شد [Anton et al, 2012]. به این صورت که داده‌های مورد نیاز در سیستم اطلاعات جغرافیایی از نقشه مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۲۰متر، استخراج و سپس با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار اکسل، پروفیل‌های طولی واقعی، تئوریک و برش رودخانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها رسم و مورد تجزیه و تحلیل واقع شد. همان طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، پروفیل طولی رودخانه‌های خیاو، اونار، شیروان دره شامل سه بخش است. بخش بالادست، حالت فروافتادگی (برش)، بخش میانی حالت بالآمدگی و بخش پایین‌دست نیز حالت برش را نشان می‌دهند. این بخش آخری، شامل رأس مخروط‌افکنه‌ها هم می‌شود. آنچه که بیشتر از هر چیز، نظر ما را به خود جلب می‌کند، شباهت عجیب پروفیل این سه رودخانه است. از این حالت نتیجه می‌گیریم که فرآیندهای تکتونیک و اقلیمی مشابه در یک زمان خاص در منطقه مستولی بوده است. هر سه رودخانه مذکور در قسمتی از مسیر خود، عمود



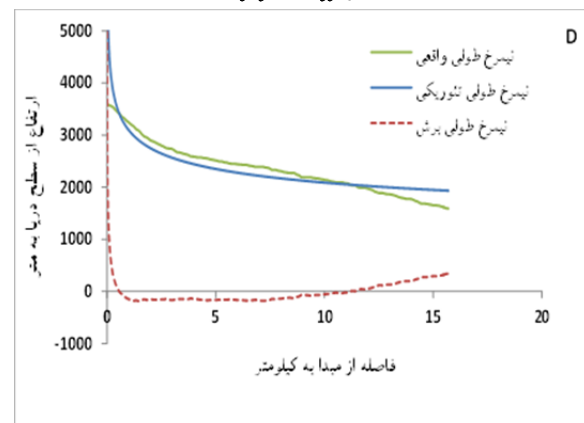
(A) رودخانه خیاو



(B) رودخانه اونار



(C) رودخانه شیروان‌دره



(D) رودخانه کرکری

شکل ۵) پروفیل طولی واقعی، پروفیل طولی تئوریک و پروفیل طولی برش رودخانه‌های دامنه‌های شمالی سبلان

1993] به نتایج مشابه نتایج ما رسیده‌اند.

تحلیل شاخص تقعر رودخانه‌های دامنه شمالی سبلان

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه، سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار آرک هیدرو، داده‌های لازم برای محاسبه تقعر رودخانه‌ها فراهم شد. سپس با انتقال به محیط نرم‌افزار اکسل، لگاریتم شیب و لگاریتم مساحت حوضه محاسبه شد و در نهایت نمودارهای مورد نیاز ترسیم شد (شکل ۹). بعد از این مراحل، خط روند توانی این نمودارها به دست آمد. این خط در رودخانه‌های دارای تعادل به صورت خط مستقیم است، درحالی‌که این خط در رودخانه‌های منطقه به صورت محدب است. این مساله حاکی از عدم تعادل است. علاوه بر آن مقدار شاخص تقعر (θ) که توان خط رگرسیون است در رودخانه‌های درجه‌بندی شده (دارای تعادل) 0.5 هست، بالاتر و پایین‌تر از این مقدار نشان‌دهنده عدم تعادل است

تحلیل شاخص عدم تقارن حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه شمالی سبلان

شاخص عدم تقارن برای چهار حوضه اصلی منطقه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتیجه این محاسبه در شکل ۱۰ و جدول ۳ آورده شده است. این شاخص بیان‌کننده تکتونیک فعال در حوضه‌هاست.

بررسی شاخص‌های منحنی هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه شمالی سبلان

فرم منحنی‌های هیپسومتری حوضه‌ها، در شکل ۱۱ نشان می‌دهند که منحنی هیپسومتری همه حوضه‌ها در بالادست دارای تقعر و در پایین‌دست دارای تحدب و در بخش میانی به صورت خط مستقیم هستند (شکل ۵ مانند). این فرم نشان می‌دهد که حوضه‌ها در مرحله بلوغ (گذرا) هستند. خط مستقیم در بخش میانی، نشان‌دهنده شرایط تعادل در آن بخش است. لازم به ذکر است که تحدب در پایین‌دست و تقعر در بالادست به گسل بزرگ کالدر که به صورت عرضی بستر رودخانه‌ها را قطع می‌کند و نیز گسل‌های کوچک منشعب از آن که در جهات مختلف، بستر رودخانه‌ها آشفته کرده‌اند، مربوط می‌شود. انتگرال هیپسومتری نیز به همراه شاخص هیپسومتری به روشن‌شدن وضعیت تکتونیکی و شرایط اقلیمی به ما کمک می‌کند. این شاخص نیز با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی با دقت 20 متر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی برای چهار حوضه اصلی منطقه محاسبه شد (جدول ۴). در شاخص مذکور سه حوضه خیاو، اونار و کرکری، مرحله بلوغ و شیروان دره، مرحله پیری را نشان می‌دهد. سنگ‌شناسی شیروان دره که از مواد بسیار نرم و ریز توف تشکیل شده در این خصوص نقش مهمی ایفا کرده است.



(A) حوضه خیاو

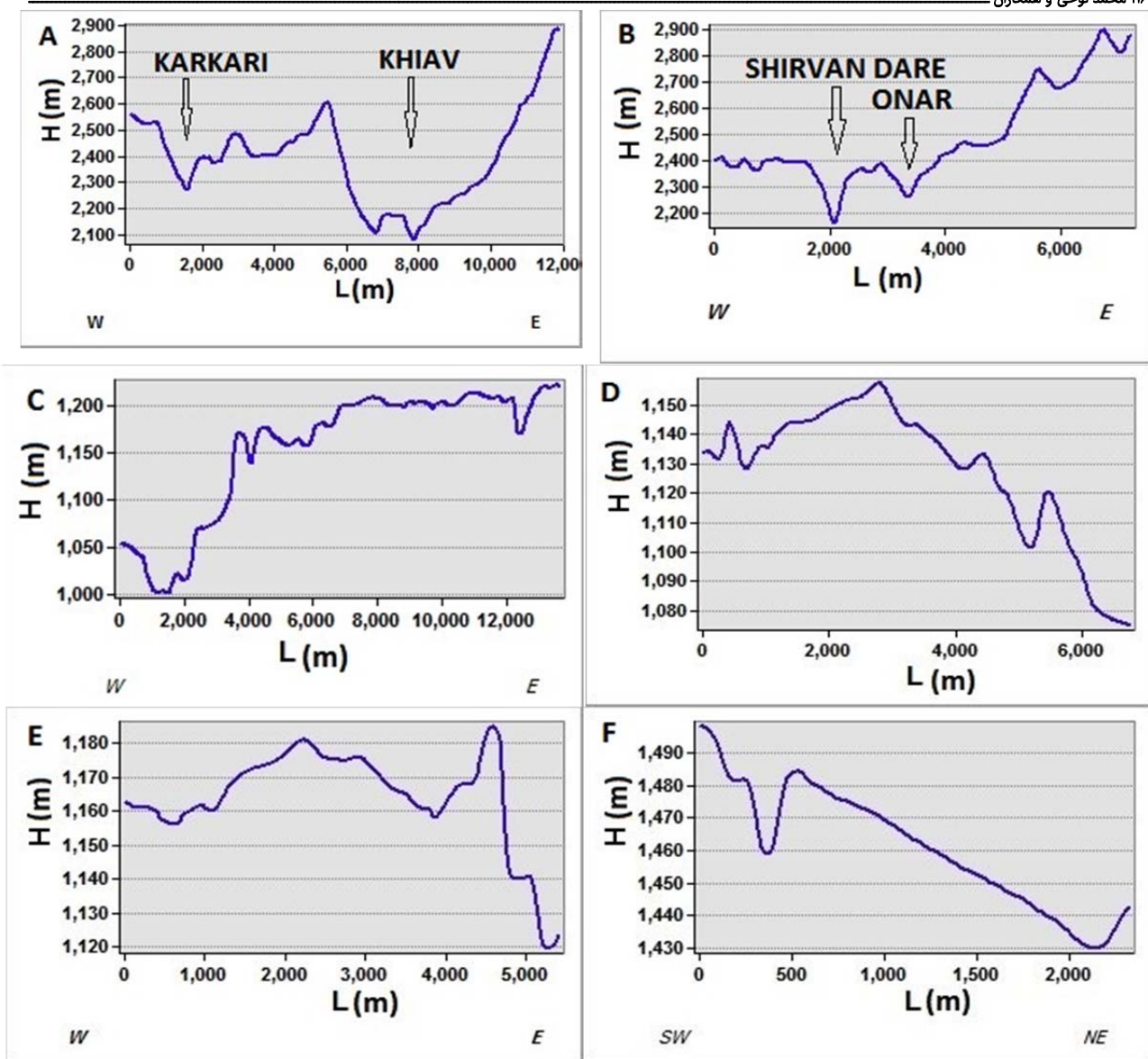


(B) حوضه اونار

شکل ۶) تناوبی از نهشته‌های دوره یخچالی و دوره بین یخچالی

تحلیل برش مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه شمالی سبلان به روش بول

برای انجام این تحلیل، پروفیل توپوگرافی عرضی چهار مخروط‌افکنه و نیز حوضه‌های مربوط به هر کدام ترسیم شد (شکل ۷). پروفیل‌های توپوگرافی عرضی اساس درک ما از برش مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌ها هستند. با دقت در پروفیل‌های ترسیمی مشخص می‌شود که مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌ها به شدت توسط شبکه‌های رودخانه‌ای و گسل‌ها بریده شده‌اند (شکل ۸). بال [Bull, 2008] چنین فرمی را نشان‌دهنده آرامش تکتونیکی در جبهه کوهستان می‌داند. با این اوصاف مخروط‌افکنه‌های منطقه در کلاس ۲ قرار می‌گیرند. رامشت و همکاران [Ramesht, 2009]، کویگلی و همکاران [Quigley et al, 2007]، پدررا و همکاران [Pedrera et al, 2009]، ویسراس و همکاران



شکل ۷) پروفیل عرضی حوضه‌ها و مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی سبلان و مخروط‌افکنه‌های وابسته به آنها؛ محل رسم پروفیل‌ها در نقشه شماره ۳ مشخص شده است. (A حوضه‌های خیابو و کرکری؛ B حوضه اونار و شیروان دره؛ C مخروط‌افکنه مشکین‌شهر؛ D مخروط‌افکنه اونار؛ E مخروط‌افکنه شیروان‌دره و F مخروط‌افکنه کرکری

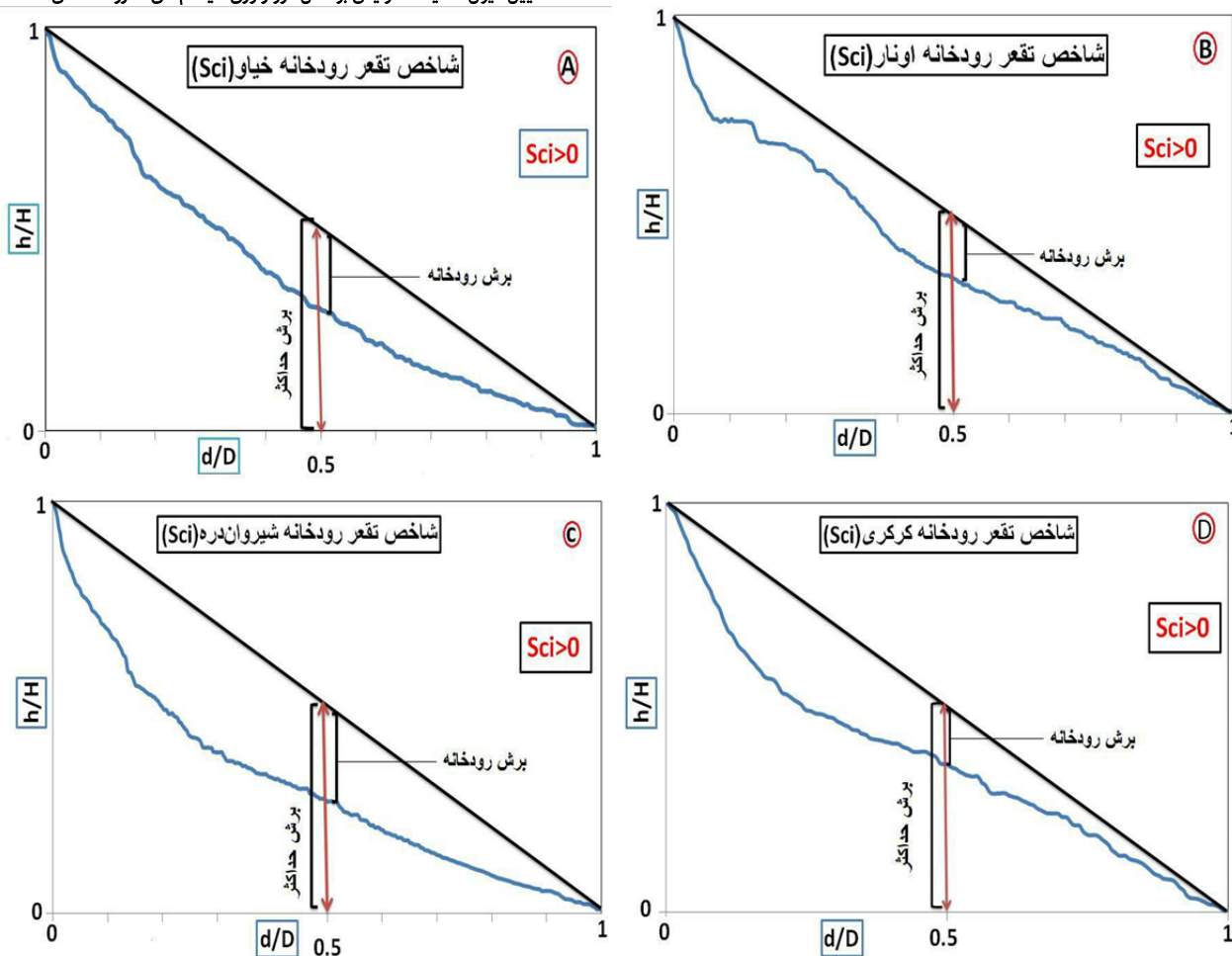


ب) برش راس مخروط‌افکنه مشکین‌شهر



الف) برش راس مخروط‌افکنه اونار

شکل ۸) نمونه‌ای از برش مخروط‌افکنه‌ها



شکل ۹) شاخص تقعر حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه‌های شمالی سبلان

جدول ۲) مقدار تحذب، تقعر، همبستگی و حالت تکتونیکی حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه شمالی سبلان

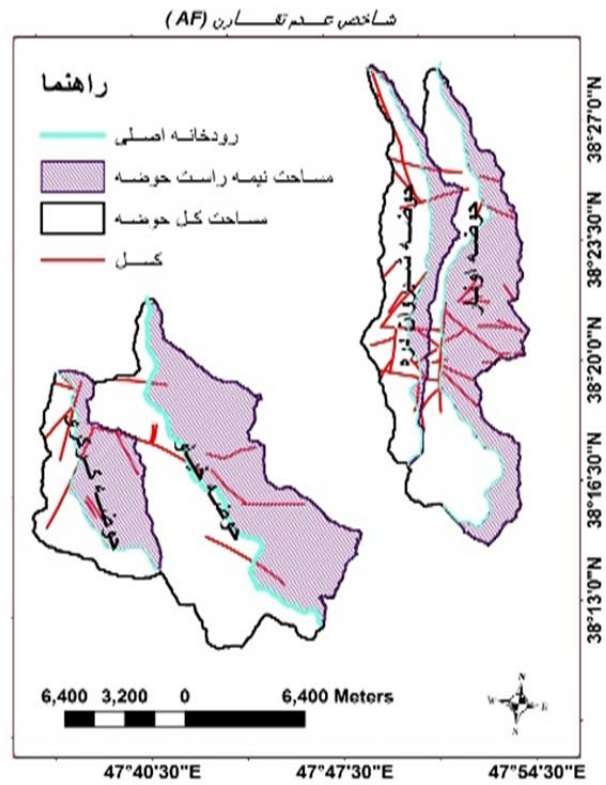
رودخانه	تحذب (ks)	مقدار تقعر (θ)	همبستگی (R2)	حالت تکتونیکی
خیابو	۵۹/۵۹	-۰/۲۵	۰/۵۲	گذرا
اونار	۵۶/۴۳	-۰/۲۴	۰/۶۱	گذرا
شیروان‌دره	۲۲/۸۵	-۰/۲۳	۰/۵۱	گذرا
کرکری	۴۳/۲۵	-۰/۲۸	۰/۴۷	گذرا

جدول ۳) مقدار شاخص عدم تقارن حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه‌های شمالی سبلان

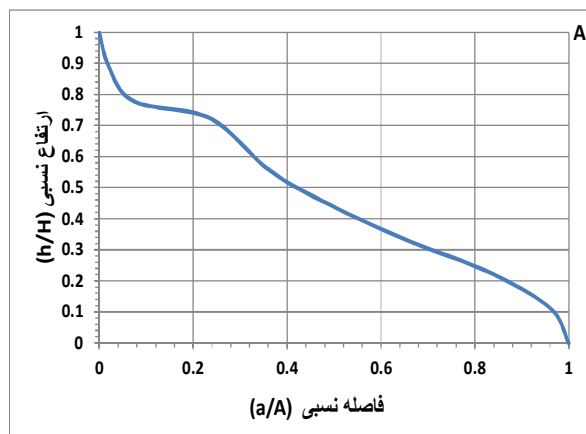
نام حوضه	Hmax	Hmin	Hmean	HI	نام مرحله	حالت تکتونیکی
خیابو	۴۵۷۲	۱۴۹۸	۲۷۶۱	۰/۴۱	بالغ	گذرا
اونار	۴۸۰۱	۱۳۶۴	۲۷۵۴	۰/۴۰	بالغ	گذرا
شیروان‌دره	۴۱۱۹	۱۳۹۲	۲۳۳۳	۰/۳۴	پیر	غیرفعال
کرکری	۳۵۷۰	۱۶۲۹	۲۴۹۷	۰/۴۴	بالغ	گذرا

جدول ۴) شاخص انتگرال هیپسومتري حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه‌های شمالی سبلان

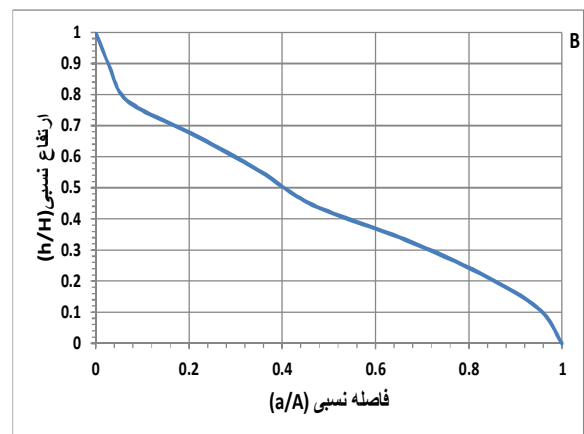
حوضه‌ها	Ar (km ²)	At (km ²)	Af	حالت تکتونیکی
خیابو	۶۲/۸۸	۱۲۲/۴۶	۰/۵۱	فعال
اونار	۴۹/۸۱	۹۱/۲۶	۰/۵۴	فعال
شیروان‌دره	۱۴/۷۲	۵۲/۴۸	۰/۲۸	فعال
کرکری	۲۴/۹۰	۴۷/۴۴	۰/۵۱	فعال



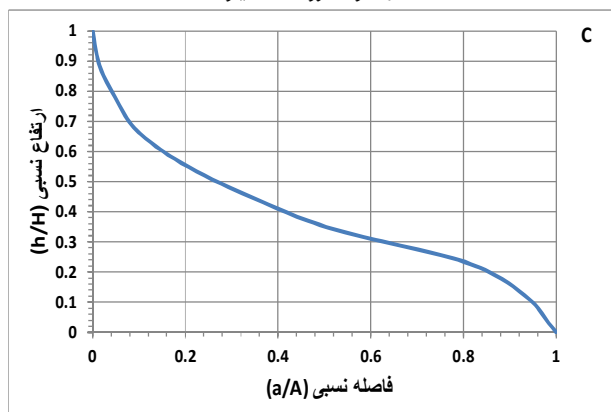
شکل ۱۰) نقشه شاخص عدم تقارن حوضه‌های اصلی دامنه‌های شمالی سبلان



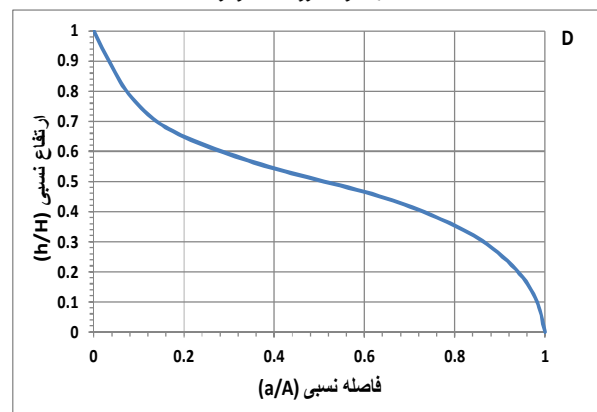
(A) حوضه رودخانه خیاو



(B) حوضه رودخانه اوناو



(C) حوضه رودخانه شیروان دره



(D) حوضه رودخانه کرکری

شکل ۱۱) منحنی هیپسومتري حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه‌های شمالی سبلان

۱- برخی از شاخص‌ها مانند برش رأس مخروط‌افکنه، آرامش تکتونیکی را در منطقه نشان داد. علاوه بر برش شدید رأس مخروط‌افکنه‌ها (بیش از ۲۰۰ متر)، انتقال نقطه تقاطع به پایین‌دست و تشکیل مخروط‌افکنه‌های جوان در پای مخروط‌افکنه‌های قدیمی، نشان‌دهنده تکتونیک غیرفعال در منطقه است. به این معنی که برش رودخانه‌ها در رأس مخروط‌افکنه‌ها بیش از فرسایش تکتونیکی یا حداقل برابر آن بوده است. رامشت و همکاران [Ramesht et al, 2009]، کویگلی و همکاران [Pedrera et al, 2007]، پدرا و همکاران [Quigley et al, 2007]، ویسراس و همکاران [Viseras et al, 2003]، ریتز و همکاران [Ritter et al, 1993] به نتایج مشابه نتایج ما رسیده‌اند که نتایج مطالعه ما را تأیید می‌کنند.

۲- برخی از شاخص‌های دیگر مانند منحنی هیپسومتری، انتگرال هیپسومتری، تقعر رودخانه، پروفیل‌های طولی واقعی، پروفیل طولی تئوریک و پروفیل طولی برش رودخانه‌ها نیز با نشان‌دادن حالت بلوغ یا گذرا تا حدودی آن را تأیید می‌کنند. تفاوت شاخص‌های دسته اول و دوم به تفاوت لندفرم‌ها در پاسخ به فرآیندهای مختلف (زمان پاسخ) مربوط می‌شود. یعنی بعضی از لندفرم‌ها، زمان پاسخ سریع و بعضی از آنها، زمان پاسخ کند دارند.

۳- بقیه شاخص‌ها، نظیر ضریب ناهمواری، عدم تقارن حوضه و شکل حوضه، تکتونیک فعال در منطقه را نشان دادند. به نظر می‌رسد که هر شاخصی در همه جا پاسخ درست نمی‌دهد و باید از شاخص‌های مناسب و با حساسیت بالا و نیز آستانه پایین استفاده کرد تا بتواند واکنش‌ها را بهتر و سریع‌تر منعکس کند. در نهایت، با توجه به تفسیر تمام شاخص‌های به‌کاررفته در این پژوهش، مطالعات کتابخانه‌ای و نیز مطالعات میدانی به این نتیجه رسیدیم که فوران شدید آتش‌فشان سبلان و به تبع آن، فرونشست بخش مرکزی آن در دوره کوآرتنر پسین و اوایل هولوسن با ایجاد یک گسل دایره‌ای (کالدرا) و سایر گسل‌های فرعی منشعب از آن در نزدیکی رأس مخروط‌افکنه‌ها، ضمن فرایش رأس مخروط‌افکنه‌ها و پایین‌آوردن سطح اساس، موجب برش رأس مخروط‌افکنه‌ها شده است. بنا بر این برش رأس مخروط‌افکنه‌ها در منطقه مورد مطالعه ناشی از تکتونیک فعال است. وجود دره‌های طولی و V شکل قوتورسویی، شیروان دره و خیاوچای و همچنین گسل‌های متعدد که این دره‌ها را به صورت عرضی قطع می‌کنند از شواهد مهم ژئومورفولوژیکی هستند که تکتونیک فعال در منطقه را تأیید می‌کنند.

علاوه بر مطالب گفته‌شده در بالا، وجود چشمه‌های آب معدنی با درجه حرارت بسیار بالا، نظیر قینرجه با ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مبین تکتونیک فعال در منطقه هستند. ضمناً در مطالعات میدانی از مخروط‌افکنه‌های مشکین‌شهر، لاهورد و اونار جابه‌جایی و بالاآمدگی نهشته‌های جدید، توسط گسل‌های امتداد لغز، به وضوح قابل مشاهده است. بالاآمدگی و جابه‌جایی نهشته‌های جوان کوآرتنری که از روی رخساره سست و رنگ نخودی آنها در منطقه

بررسی شاخص شکل حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه شمالی سبلان
نتایج حاصل از این شاخص در جدول ۵ آورده شده است. مقادیر BS دامنه‌ای را بین ۲/۰۱ تا ۴/۲۳ را به خود اختصاص می‌دهد. بیش‌ترین مقادیر BS مربوط به شرق منطقه (حوضه‌های اونار و شیروان دره) هست که به ترتیب ۴/۲۳ و ۴/۱۷ هستند. کمترین مقادیر BS مربوط به غرب منطقه (حوضه‌های خیاو و کرکری) هست که به ترتیب ۲/۰۱ و ۱/۸۸ هست.

جدول ۵ مقادیر شاخص شکل حوضه (Bs) در حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه‌های شمالی سبلان

نام حوضه	BL (m)	BW (m)	BS	حالت تکتونیکی
خیاو	۲۰۲۹۰	۱۰۰۹۴/۵۲	۲/۰۱	فعال
اونار	۲۶۱۱۰	۶۱۷۳/۰۱	۴/۲۳	بسیار فعال
شیروان‌دره	۲۱۵۱۰	۵۱۸۰۰/۳۲	۴/۱۷	بسیار فعال
کرکری	۱۲۳۳۰	۶۲۹۷/۶۱	۱/۸۸	فعال

بررسی شاخص ضریب ناهمواری حوضه‌های رودخانه‌ای دامنه شمالی سبلان

نتایج حاصل از این شاخص که در جدول ۶ آورده شده، حاکی از تکتونیک فعال در هر چهار رودخانه اصلی منطقه است که با شاخص شکل حوضه که در پیش مطالعه شد، همخوانی دارد. براساس مطالعات میدانی و مراجعه به نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، این پدیده را به این صورت می‌توان تفسیر کرد که در دوره پلیستوسن پسین، کالدرای دایره‌ای شکل به شعاع ۱۲ کیلومتر و عمق حدود ۵۰۰ متر (دره قوتورسویی) باعث به‌هم‌ریختگی و دفرمه‌شدن پیکره سبلان شد. این شکست تکتونیکی، منجر شد که مخروط‌افکنه‌های چسبیده به پیشانی کوهستان همراه آن بالا بیایند که همین عامل یکی از مسببان برش رأس مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های رودخانه‌ای منطقه، محسوب می‌شود.

جدول ۶ ضریب ناهمواری و حالت تکتونیکی حوضه‌های دامنه‌های شمالی سبلان

نام حوضه	Ed (m)	Ev (m)	Lr (m)	Rr	حالت تکتونیکی
خیاو	۴۵۷۲	۱۴۹۸	۲۰۳۶۷	۰/۱۵	فعال
اونار	۴۸۰۱	۱۳۶۴	۲۶۱۲۷	۰/۱۳	فعال
شیروان‌دره	۴۱۱۹	۱۳۹۲	۲۱۶۳۴	۰/۱۲	فعال
کرکری	۳۶۰۵	۱۵۹۳	۱۲۱۷۳	۰/۱۶	فعال

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، ارزیابی میزان تکتونیک فعال با استفاده از مورفولوژی سیستم‌های مخروط‌افکنه‌ای، به ویژه برش رأس مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های مربوط به آنها در دامنه شمالی کوهستان آتش‌فشان سبلان، واقع در شمال غربی ایران به انجام رسید. نتیجه حاصل از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیکی به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود.

Geomorphology. 96(1):150-173.

- Harvey AM, Mather AE, Stokes M (2005). Alluvial fans: geomorphology, sedimentology, dynamics—introduction. A review of alluvial-fan research. Geological Society. London: Special Publications. 251(1):1-7.

- Lifton NA, Chase CG (1992). Tectonic, climatic and lithologic influences on landscape fractal dimension and hypsometry: implications for landscape evolution in the San Gabriel Mountains, California. *Geomorphology*. 5(1-2):77-114.

- Pedrera A, Pérez-Peña JV, Galindo-Zaldívar J, Azañón JM, Azor A (2009). Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain). *Geomorphology*. 105(3-4):218-231.

- Quigley MC, Sandiford M, Cupper ML (2007). Distinguishing tectonic from climatic controls on range-front sedimentation. *Basin Research*. 19(4):491-505.

- Ritter JB, Miller JR, Enzel Y, Howes SD, Nadon G, Grubb MD, et al (1993). Quaternary evolution of Cedar Creek alluvial fan, Montana. *Geomorphology*. 8(4):287-304.

- Viseras C, Calvache ML, Soria JM, Fernández J (2003). Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*. 50(1-3):181-202.

- Volker HX, Wasklewicz TA, Ellis MA (2007). A topographic fingerprint to distinguish alluvial fan formative processes. *Geomorphology*. 88(1-2):34-45.

- Whittaker AC (2012). How do landscapes record tectonics and climate. *Lithosphere*. 4(2):160-164.

- Amini B (1994). Meshkinshahr Geology [Map], scale, 1: 100000, Sheet 5566, Geological Survey of Iran. [Persian]

- Dallal oghli A (2003). The study of the effective morphogenesis systems in the northern slope of Sabalan Mountain and the formation of the acumulative Plain of meshkinshahr. *Geographical research*. 35(2):1-12. [Persian]

- Dorn RI (2009). The role of climatic change in alluvial fan development. In: Parsons AJ, Abrahams AD, editors. *Geomorphology of desert environments*. pp. 723-742. Springer, Dordrecht.

- Khayyam M (1993). An attempt on the construction and volcanic morphology of the Azerbaijani plateau with emphasis on Sabalan volcanic mass, journal of faculty of literature and humanities. 36 (146-147):32-50. [Persian]

- Khayyam M, Mokhtari D (2003). Evaluation of the performance of tectonics based on the morphology of alluvial fan (alluvial fan of Misho-Dagh northern slopes). *Geographical research*. 35(1):1-10. [Persian]

- Mohammad Nejad V, Asghari S (2015). The Reaction of the Eastern Garmsar Alluvial Fan to Vertical and Longitudinal Displacements of Faults (with emphasis on the Alluvial Fan of the Dehnamak), Quantitative Geomorphology research. Tehran University. 4(2):1-17. [Persian]

- Ramesht MH, Shah Zeidi S, Saif A, Entakari M (2009). The Influence of Active Tectonic on Morphology of Derakhtangan Alluvial Fan of (Shahdad in Kerman), Geography and Development. 7(16):29-46. [Persian]

- Sahabi F (1999). Sabalan volcanic complex with special reference to the hydrothermal sources in Meshkinshahr area, NW Iran, Geosciences. Geological survey of Iran. 8(31-32):1-14. [Persian]

قابل تشخیص هستند، گواه و شاهد بسیار خوبی برای نشان دادن تکتونیک فعال و جوان می‌باشند. همزمان بودن فعالیت آتشفشانی توده سیلان با حاکمیت دوره‌های یخچالی، موجب ایجاد جریان‌های گلی (لاهار) شده است. این روانه‌ها در سرتاسر منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند و چهره غالب منطقه را به نمایش می‌گذارند. نهشته‌های مذکور ضمن پرکردن دره‌ها و تشکیل مخروط‌افکنه‌ها، بسیاری از آثار تکتونیکی و یخچالی را از بین برده و یا مدفون ساخته است و این شرایط، تشخیص سهم تکتونیک و اقلیم را در ایجاد لندفرم‌ها با مشکل مواجه می‌کند. متأسفانه فقر مطالعاتی در منطقه نیز به آن دامن می‌زند.

نتیجه این تحقیق روشن ساخت که منطقه مورد مطالعه، هنوز از نظر تکتونیکی فعال است و باید در هر نوع آمایش سرزمین به آن توجه کرد. نتیجه مطالعات ما در این خصوص با نتیجه مطالعات دلال اوغلی [Dallal oghli, 2003] که منطقه را از نظر تکتونیکی آرام قلمداد کرده، مغایر است.

تشکر و قدردانی: از متصدیان مجله وزین تحقیقات جغرافیایی به لحاظ راهنمایی و مساعدت ارزنده تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تابییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: محمد نوحی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث/تحلیلگر آماری (۴۰٪)؛ عقیل مددی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/نگارنده مقدمه/روش‌شناس (۴۰٪)؛ موسی عابدینی (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی (۲۰٪)

منابع مالی: این مقاله مستخرج از رساله دکتری است.

منابع

- Antón, L, Rodés A, De Vicente G, Pallàs R, Garcia-Castellanos D, Stuart FM, et al (2012). Quantification of fluvial incision in the Duero Basin (NW Iberia) from longitudinal profile analysis and terrestrial cosmogenic nuclide concentrations. *Geomorphology*. 165-166:50-61.

- Bahrami S (2013). Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*. 180:217-230.

- Blair TC, McPherson JG (2009). Processes and forms of alluvial fans. In: Parsons AJ, Abrahams AD, editors. *Geomorphology of desert environments*. pp. 413-467. Springer, Dordrecht.

- Bull WB (2007). Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology. UK: Blackwell Publication. P; 328.

- Figueroa AM, Knott JR (2010). Tectonic geomorphology of the southern Sierra Nevada Mountains (California): Evidence for uplift and basin formation. *Geomorphology*. 123(1-2):34-45.

- El Hamdouni R, Irigaray C, Fernández, T, Chacón J, Keller EA (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain).