



Research Article

Investigation of morphological-tectonic structure of Siah-kuh heights in Damghan area using steepness and concavity parameters

Fatemeh Kiaroostami*¹ , Mojtaba Yamani¹, Abolghasem Goorabi¹, Seyed Mohammad Zamanzadeh¹, Mohammad Reza Ghassemi²

1-Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

2-Department of Geology, Research Institute of Earth Sciences, geological survey and mineral exploration of Iran, Tehran, Iran

Received: 6 Aug 2022 Accepted: 13 Mar 2023

Extended Abstract

Introduction: Identification of active tectonics in an area and its effects on the morphology of landforms is one of the topics that has always been of interest to geomorphologists. Waterways are among the features that flow a wide range of landforms. These features are sensitive to lithological or tectonic changes and react quickly to these changes.

Materials and methods: The study area is located in the south of the Eastern Alborz Mountains and is known as the Siah-Kuh Heights. The main purpose of this study is to investigate the morphological and tectonic structure of Siah-Kuh using steepness and concavity parameters based on the anomalies of longitudinal profiles of the rivers based on the uplift and subsidence axes. In order to calculate the rate of steepness and concavity of longitudinal profiles, the stream power law formula is used based on the two main parameters of drainage area and slope of river. This formula is based on a logarithmic plot of the slope and drainage area for which the appropriate regression line is determined. In this regression relation, the slope of the line is the concavity parameter and the intercept is steepness parameters.

Results and discussion: The extent of the Siah-Kuh heights among a series of young Quaternary sediments at a distance of 4 km from the main mountain front, the structure of the Siah-Kuh is similar to Foreberg forms. The eastern part of the Siah-Kuh Foreberg appears to have been covered by Neogene and Quaternary sediments. Its remnants have appeared in the form of deep gorges on the surface. One of the rivers flows on the main surface of Foreberg and the other flows in the drained or buried part of Foreberg. Both rivers have several knick points in their flow path, which are taken from the location of faults and lithological differences of the riverbed. The values of the steepness parameter for the main river and the gully is 121.4 for the main river and 119.96 for the gorges. In contrast, the depression parameter rate in both rivers shows very low and even negative values. Since the sharpness parameter is directly related to the tectonic processes; It can be said that the values of this parameter in both rivers indicate the effect of active tectonics at the level of Foreberg.

Conclusion: The studies performed on the study area show that the two factors of active tectonics and lithology have a great impact on the morphological structure of Siah-Kuh Foreberg. Also, factors related to sedimentary flows originating from the uplands of the area have been effective in changing these landforms in the form of burial. Also, the results showed that the use of the method based on longitudinal profile anomalies of the river in the form of steepness and concavity parameters has an effective role in identifying erosion and subsidence axes related to tectonic situation of features in relation to their topographic changes.

Keywords: Siah-Kuh, Quaternary, Damghan Fault, Morphotectonic, Longitudinal profile of river.

Citation: Fatemeh Kiaroostami, Mojtaba Yamani, Abolghasem Goorabi, Seyed Mohammad Zamanzadeh, Mohammad Reza Ghassemi (2023). Investigation of morphological-tectonic structure of Siah-kuh, *Res. Earth. Sci.* 14(2), (32-43) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.102248

* Corresponding author E-mail address: kiaroostami@ut.ac.ir



بررسی ساختار مورفولوژیکی - زمین‌ساختی ارتفاعات سیاه‌کوه در ناحیه دامغان با استفاده از پارامترهای تندی و فرورفتگی

فاطمه کیارستمی*¹، مجتبی یمانی¹، ابوالقاسم گورابی¹، سید محمد زمان‌زاده¹، محمدرضا قاسمی²

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

چکیده گسترده

مقدمه: شناسایی زمین ساخت فعال در یک ناحیه و تأییراتی که بر تحول لندفرم‌ها می‌گذارد؛ یکی از اهدافی است که محققان علم ژئومورفولوژی همواره در پی آن بوده‌اند. در این میان شبکه‌های آبراه‌های جزء عوارضی هستند که بر سطح وسیعی از لندفرم‌ها جریان دارند. این عوارض نسبت به تغییرات سنگ‌شناسی و یا زمین‌ساختی حساس هستند و به سرعت نسبت به این تغییرات واکنش نشان می‌دهند.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در جنوب ارتفاعات البرز شرقی قرار گرفته و با نام ارتفاعات سیاه‌کوه شناخته می‌شود. هدف اصلی در این پژوهش بررسی ساختار مورفولوژیک و زمین‌ساختی ارتفاعات سیاه‌کوه با استفاده از پارامترهای تندی و فرورفتگی بر مبنای ناهنجاری نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های ناحیه بر مبنای محورهای برجستگی و فرونشینی است. به منظور محاسبه نرخ پارامتر تندی و فرورفتگی نیمرخ طولی یک رودخانه از فرمول توان رود بر مبنای دو پارامتر اصلی مساحت زهکشی A و شیب رود S استفاده می‌شود. این فرمول بر مبنای نمودار لگاریتمی شیب و مساحت زهکشی است که خط رگرسیون مناسب برای آن تعیین می‌گردد. در این رابطه رگرسیونی، شیب خط پارامتر فرورفتگی و عرض از مبدا همان پارامتر تندی است.

بحث و نتایج: گستردگی ارتفاعات سیاه‌کوه در میان مجموعه‌ای از رسوبات جوان کواترنری با فاصله ۴ کیلومتری از جبهه کوهستان اصلی، ساختار سیاه‌کوه را مشابه اشکال فوربرگی نمایان ساخته است. به نظر می‌رسد بخش شرقی فوربرگ سیاه‌کوه توسط رسوبات نوزن و کواترنری پوشیده شده باشد. بقایای آن به شکل آبکندهایی عمیق در سطح ظاهر شده است. به منظور بررسی وضعیت زمین‌ساختی سطح سیاه‌کوه به بررسی پارامتر تندی و فرورفتگی دو رود جاری بر سطح این فوربرگ پرداخته شد؛ یکی از رودها بر سطح اصلی فوربرگ جریان دارد و رود دیگر در بخش آبکندی یا مدفون شده فوربرگ جریان یافته است. هر دو رود در مسیر جریان خود دارای نقاط عطف متعددی هستند که برگرفته شده از محل گسل خوردگی‌ها و اختلافات سنگ‌شناسی بستر رودها است. مقادیر پارامتر تندی برای رود اصلی و آبکندی برای رود اصلی ۱۲۱/۴ و برای رود آبکندی ۱۱۹/۹۶ می‌باشد. در مقابل نرخ پارامتر فرورفتگی در هر دو رود مقادیر بسیار کم و حتی منفی را نشان می‌دهد. از آنجا که پارامتر تندی رابطه مستقیمی با فرایش‌های زمین‌ساختی دارد؛ می‌توان گفت مقادیر این پارامتر در هر دو رود نشان‌دهنده تأثیر زمین‌ساخت فعال در سطح فوربرگ است.

نتیجه‌گیری: بررسی‌های انجام شده بر روی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۲ عامل زمین‌ساخت فعال و سنگ‌شناسی بر روی ساختار مورفولوژیک فوربرگ سیاه‌کوه تأثیر بسیار زیادی دارند. همچنین عوامل مرتبط با جریان‌های رسوبی نشأت گرفته از ارتفاعات بالادست ناحیه در تغییر و تحول این لندفرم‌ها در قالب مدفون شدن مؤثر بوده‌اند. همچنین نتایج پژوهش نشان داد استفاده از روش مبتنی بر ناهنجاری‌های نیمرخ طولی رودخانه در قالب پارامترهای تندی و فرورفتگی نقش مؤثری در شناسایی لندفرم‌ها و محورهای فرایشی و فرونشستی مرتبط با ویژگی‌های زمین‌ساختی عوارض در رابطه با تغییرات توپوگرافی‌شان دارد.

واژگان کلیدی: سیاه‌کوه، کواترنری، گسل دامغان، مورفوتکتونیک، نیمرخ طولی رودخانه.

استناد: فاطمه کیارستمی، مجتبی یمانی، ابوالقاسم گورابی، سید محمد زمان‌زاده، محمدرضا قاسمی (۱۴۰۲). بررسی ساختار مورفولوژیکی - زمین

ساختی ارتفاعات سیاه‌کوه، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۲)، (۳۲-۴۳)، DOI: 10.48308/ESRJ.2023.102248

مقدمه

سطح زمین بر اثر عوامل مختلف مرتبط با زمین‌ساخت فعال همانند حرکات کششی یا فشارشی گسل‌ها، گنبد‌های نمکی و یا فعالیت‌های آتشفشانی به شکل مداوم در حال تغییر و تحول است (Russ, 1976; Holbrook, 1996). علت این تغییر و تحولات هر چه باشد؛ در نهایت، نتیجه یکسان است و آن تغییر توپوگرافی چشم‌اندازها است. مطالعات تجربی به‌طور کلی نشان داده است که شیب تند لندفرم‌ها، ارتباط نزدیکی با بالآمدگی و فرایش‌های زمین‌ساختی سریع در یک ناحیه دارد (Wobus et al, 2006). شکل کلی چشم‌انداز و تغییراتی که در لندفرم‌ها ایجاد می‌شود از جمله شاخص‌های کارآمدی هستند که در ارتباط با فرایش‌های زمین‌ساختی و فرایندهای تغییر شکل‌دهنده، اطلاعات مفیدی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهند (Gregory and Chase, 1994; Clark and Royden, 2000). از آنجا که شبکه‌های رودخانه‌ای به‌طور مداوم نسبت به نیروهای زمین‌ساختی پاسخ می‌دهند؛ به شکل بالقوه قادرند در مورد تغییرات فضائی محیط در قالب بالآمدگی و فرایش‌های فعال در سراسر یک چشم‌انداز اطلاعات مفیدی را ارائه دهند (VanLaningham et al, 2006; Schoenbohm et al, 2004). علاوه بر این شبکه زهکشی به مرور زمان با تغییرات شیب ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی، سازگار و منطبق می‌شود و در نتیجه اطلاعات مربوط به گسل‌خوردگی‌ها و چین‌خوردگی‌ها را نشان می‌دهد (Vita-Finzi, 2018). این تغییرات در سیستم رود به سه شکل کلی نمایش داده می‌شود: تغییر در قدرت برش و فرسایش رود، انحراف در مسیر رود و تغییر در شکل نیمرخ طولی رودخانه‌ها (Mudd et al, 2018; Wang et al, 2017). در واقع زمانی که یک لندفرم دچار برخاستگی زمین‌ساختی می‌شود؛ سیستم رودخانه‌ای که بر روی آن جریان دارد نیز به‌طور هم‌زمان دچار تغییر شده و افزایش شیب پیدا می‌کند. افزایش شیب ایجاد شده منجر به تحذب نیمرخ طولی رودخانه می‌شود که اندازه‌گیری آن با توجه به تغییر گرادیان شیب در سطح لندفرم قابل بررسی است (Mudd et al, 2019; Leeder and Jackson, 1993; Schumm et al, 2002). رودخانه‌ها به سرعت به تغییرات زمین‌ساختی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی بستری که بر آن جریان دارند؛ واکنش نشان می‌دهند (Whipple et al,

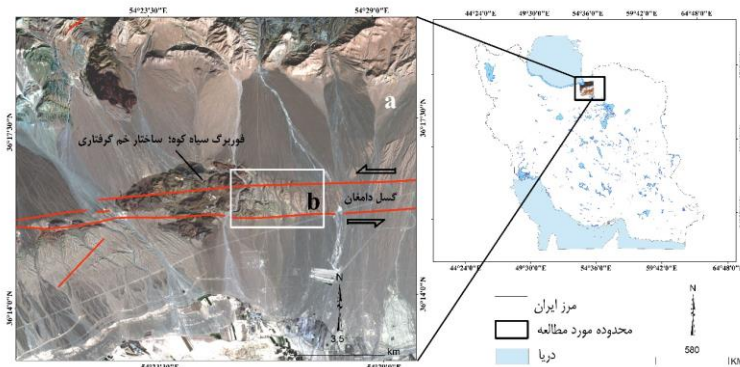
2002; Whipple et al, 2007; Howard, 1994). در یک چشم‌انداز در حال تحول، اطلاعات مربوط به زمین‌ساخت فعال، آب و هوا و تغییرات سنگ‌شناسی توسط سنگ بستر رود حفظ می‌شود (Fox et al, 2014; Corenetal, 2014; Royden and Perron, 2013; Wang et al, 2017). تغییرات در قالب ناهنجاری نیمرخ رودخانه در بستر رود باقی می‌ماند؛ به همین دلیل می‌توانیم واکنش آبراهه‌ها به تغییرات زمین‌ساختی را به کل عارضه و یا لندفرمی که بر آن جریان دارند؛ تعمیم دهیم (Hack, 1960). تحلیل نیمرخ طولی آبراهه‌هایی که بر روی عوارض ساختمانی متفاوت جریان می‌یابند؛ راه مناسبی برای کشف روابط میان فرایندهای فرایشی و فرسایشی فعالی است که منجر به تغییر لندفرم‌ها در قالب نواحی بالا آمده و فروافتاده می‌شوند. همواره رودخانه‌ها در پی رسیدن به حالت‌های تعادلی هستند؛ نیمرخ‌های تعادلی غالباً به شکل مقعر خود را نشان می‌دهند اما وجود آشفتگی‌های زمین‌ساختی یا تغییرات سنگ‌شناسی در سنگ بستر، این حالت تعادلی را برهم زده و منجر به افزایش نرخ پارامتر تندی یا فرورفتگی در سطح لندفرم می‌شود. شواهد این بی‌هنجاری‌ها و آشفتگی‌های زمین‌ساختی - سنگ‌شناسی در قالب نقاط عطف^۱ در نیمرخ طولی آبراهه‌ها آشکار می‌گردد؛ زیرا رودها در حالت‌های تعادلی جدیدی قرار می‌گیرند و تغییرات آن‌ها در قالب بریدگی‌های شیب تند در سطح نشان داده می‌شود (Shahzad et al, 2009; Keller and Pinter, 1996). منطقه مورد بررسی این پژوهش در جنوب ارتفاعات البرز شرقی در ناحیه دامغان قرار دارد. مطابق با اطلاعات به دست آمده از پژوهش‌های سایر محققین و نقشه‌های زمین‌شناسی ناحیه، گسل‌های فعال متعددی مربوط به دوران کواترنری در این منطقه وجود دارند. بربریان و همکاران (۱۳۷۵) گسل اصلی دامغان در این ناحیه را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گسل دامغان یک گسل فعال با حدود ۱۰۰ کیلومتر طول می‌باشد که بخش شرقی آن از شمال شهر دامغان تا ده ملا در محدوده مورد مطالعه ما قرار گرفته و از میان ارتفاعات سیاه‌کوه می‌گذرد. این گسل با بریدن رسوبات جدید کواترنری به عنوان یک گسل فعال در عهد حاضر شناخته می‌شود (رحیمی، ۱۳۸۵). در امتداد ارتفاعات سیاه‌کوه گسل دامغان دارای سازوکار امتدادلغز با جایگاه ترافشارشی می‌باشد (Hollingsworth et al, 2010)

به صورت یک خم‌گرفتاری^۲ کوچک در سطح نمایان ساخته است که منجر به بالاآمدگی بخش مرکزی و فرونشینی نسبی دو طرف این ساختار شده است (شکل ۱a). در بعضی از موارد متأثر از حرکات امتدادلغز گسل‌های فعال، اشکال فوربرگی به شکل خم‌های گرفتاری در سیستم‌های گسلی عمل می‌کنند (Bayasgalan et al, 1999). هر چند چین خوردگی، راندگی و کج‌شدگی در اثر عوامل زمین‌ساختی و حتی رخدادهای لرزه‌ای به شکل ناگهانی منجر به ارتفاع یافتن فوربرگ‌ها در بالای سطح مخروط‌افکنه‌های آبرفتی در امتداد جبهه اصلی کوهستان و با فاصله از آن می‌شود؛ اما شکل کنونی این اشکال حاصل تعامل میان فرایندهای درونی و بیرونی است؛ به بیان دیگر تعامل میان نرخ حرکت گسل، رسوبگذاری و قدرت جریان عواملی است که بر ویژگی‌های فیزیکی حال حاضر چنین ساختارهایی تأثیرگذار می‌باشد (Bayasgalan et al, 1999; Owen et al, 1999). به همین دلیل در برخی موارد ساختار فوربرگ‌ها توسط رسوبات جریان یافته از کوهستان پوشیده می‌شود و بقایای آن به شکل آبکندهایی^۳ که سطح فوربرگ را قطع می‌نمایند؛ دیده می‌شود. در چنین حالتی ساختار اصلی و داخلی این لندفرم‌ها در میان لایه‌های بریده‌شده توسط آبکندها برون‌زد پیدا می‌کند (Bayasgalan et al, 1999). به لحاظ ساختار سنگ‌شناسی می‌توان فوربرگ سیاه‌کوه را به دو بخش شامل بخش اصلی فوربرگ متشکل از دولومیت سازند سببزار مربوط به دونین و بخش آبکندی و مدفون فوربرگ شامل مجموعه رسوبات کنگلومراتی نئوژن و آبرفتی کواترنری همراه با برونزدهای دولومیتی دونین تقسیم کرد. در هر دو این بخش‌ها رودهای اصلی فوربرگ جریان دارند که متأثر از ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌ساخت فعال مربوط به گسل دامغان در طی کواترنری تکامل یافته‌اند. رود جاری بر سطح اصلی فوربرگ در حدود ۴ کیلومتر طول و رود جاری بر سطح آبکندی در حدود ۲/۹ کیلومتر طول دارد و در نهایت هر دو بر روی مخروط‌افکنه‌های جنوبی منطقه جاری می‌گردند. سطح اساس نهایی این رودها پلایای دامغان در جنوب ناحیه است که خروجی یک حوضه بسته مربوط به کویر حاجعلی‌قلی را تشکیل می‌دهد.

که حرکات آن منجر به برخاستگی ارتفاعات سیاه‌کوه به شکل ساختار یک خم‌گرفتاری و در قالب مورفولوژی یک فوربرگ شده است. گسترش عرضی گسل دامغان در ارتباط با سنگ‌شناسی منطقه متفاوت است؛ هر جا سنگ‌شناسی در امتداد گسل، نامقاوم باشد مانند توف، شیل، مارن و کنگلومرا، عرض آن زیاد و در حدود ۵۰ متر است و هر جا سنگ‌شناسی در امتداد گسل مقاوم باشد مثل آهک و دولومیت، عرض گسل کاهش می‌یابد (خادمی، ۱۳۷۶). محمدنژاد در سال ۱۳۹۱ با مطالعه فعالیت گسل دامغان در امتداد مخروط‌افکنه‌های جنوبی منطقه به این نتیجه رسید که این گسل یک گسل فعال کواترنری است که منجر به تحول، جابه‌جایی و تغییر شکل مخروط‌افکنه‌ها شده است. بنابراین گسل دامغان یک گسل فعال است که به مرور زمان سبب رخدادهای تغییر و تحولاتی در سطح ارتفاعات سیاه‌کوه شده است. در این پژوهش هدف اصلی بررسی واکنش رودخانه‌های جاری بر سطح برجستگی سیاه‌کوه نسبت به تغییرات زمین‌ساختی (فعالیت گسل دامغان) و سنگ‌شناسی در قالب تحول نیم‌رخ طولی رودخانه‌ها می‌باشد. در این راستا از رابطه توان رودخانه بر مبنای دو پارامتر فیزیکی شیب و مساحت زهکشی رود استفاده شده که در قالب یک نمودار لگاریتمی به محاسبه پارامتر تندی و فرورفتگی رودها می‌پردازد.

منطقه مورد مطالعه

سیاه‌کوه برجستگی مرتفعی است که با حداکثر ۱۴۱۵ متر ارتفاع در شمال شهر دامغان و از میان مخروط‌افکنه‌های کواترنری ناحیه سر برآورده است. گسترده‌گی ارتفاعات سیاه‌کوه در میان مجموعه‌ای از رسوبات جوان کواترنری با فاصله ۴ کیلومتری از جبهه کوهستان اصلی، ساختار سیاه‌کوه را مشابه اشکال فوربرگی نمایان ساخته است. فوربرگ‌ها ساختارهای به شکل برجستگی‌های باریک یا تپه‌هایی هستند که در میان رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌ها بالا آمده‌اند (Bayasgalan et al, 1999). گسل دامغان در این ناحیه منجر به قطع طبقات رسوبی کواترنری مربوط به مخروط‌افکنه‌های اطراف شده و با ایجاد یک جایگاه همگرا به شکل مجموعه فراگام‌های گرفتاری، فوربرگ سیاه‌کوه را

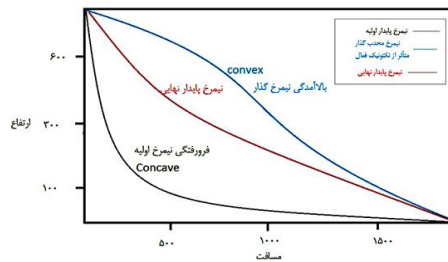


شکل ۱: ساختار فوربرگ سیاه کوه متأثر از حرکات تراکششی گسل چپ‌لغز دامغان در میان رسوبات آبرفتی کواترنری سرب‌آورده و در سیستم گسلی منطقه ساختار خم‌گرفتاری را ایجاد کرده است.

طولی رودخانه است (Nicholson, 2013). شکل ۲ طرح شماتیکی از تحول نیمرخ طولی رودخانه است که به خوبی مفهوم دو پارامتر تندی و فرورفتگی را نشان می‌دهد. این طرح با این روند توضیح داده می‌شود که یک رود در ابتدا در حالت تعادلی خود قرار دارد؛ نیمرخ‌های تعادلی به شکل مقعر بوده و مقادیر بالایی از فرورفتگی را نشان می‌دهند (نیمرخ پایدار اولیه)، به مرور زمان یک رخداد زمین‌ساختی فعال می‌تواند منجر به افزایش لندفرمی گردد که رودخانه بر سطح آن جریان دارد. افزایش همیشه با افزایش ارتفاع همراه است که نتیجه مستقیم آن افزایش شیب است؛ در پاسخ به این افزایش شیب، رودخانه شروع به بالآمدن می‌نماید که در نتیجه آن نیمرخ طولی رودخانه به شکل محدب درآمد و مقادیر بالایی از پارامتر تندی را نشان می‌دهد. بنابراین میان میزان شیب و تندی یک رودخانه رابطه مستقیمی وجود دارد (Shahzad and Gloaguen, 2011). به منظور محاسبه نرخ پارامتر تندی و فرورفتگی نیمرخ طولی یک رودخانه از فرمول توان رود^۴ بر مبنای دو پارامتر اصلی مساحت زهکشی A و شیب رود S استفاده می‌شود. این فرمول بر مبنای نمودار لگاریتمی شیب و مساحت زهکشی است که خط رگرسیون مناسب برای آن تعیین می‌گردد. در این رابطه رگرسیون، شیب خط پارامتر فرورفتگی و عرض از مبدأ همان پارامتر تندی است. این رابطه در حقیقت تأثیر مستقیم شیب کانال و حوضه زهکشی را در تغییرات ایجاد شده بر روی نیمرخ طولی رودخانه نشان می‌دهد (Shahzad and Gloaguen, 2011; Montgomery et al, 1996; Lague and Davy, 2003; Miliareisis, 2001).

مواد و روش‌ها

افزایش نرخ فرایندهای زمین‌ساختی در قالب حرکات عمودی گسل‌ها منجر به فرایش سطح یک لندفرم می‌شود. فرایش همیشه همراه با افزایش ارتفاع و در نتیجه افزایش شیب لندفرم است. در پاسخ به این تغییرات، رودی که بر سطح لندفرم جریان دارد به مرور دچار بالآمدگی می‌شود که این حالت منجر به ایجاد تحدب در نیمرخ طولی رود و در نتیجه افزایش پارامتر تندی به شکل تحدب نیمرخ طولی رودخانه در پاسخ به فرایش‌های زمین‌ساختی رخ داده و بالآمدگی لندفرم و افزایش شیب آن اتفاق می‌افتد و در واقع پارامتر تندی کسری از مقدار بالآمدگی است که سبب تحول نیمرخ طولی رودخانه می‌گردد (Ambili, 2012; Mud et al, 2019; Seidl and Dietrich, 1993; Montgomery et al, 2007; Vassilakis et al, 1996). اما پارامتر فرورفتگی به حالت مقعر نیمرخ طولی رود اشاره دارد که در رابطه با کاهش یا نبود فرایش‌های زمین‌ساختی، سنگ‌شناسی نامقاوم بستر یا وجود بستر آبرفتی افزایش می‌یابد. در این راستا پژوهشگران نرخ پارامتر فرورفتگی را با توجه به عوامل زمین‌ساختی و سنگ‌شناسی حاکم بر سطح یک لندفرم به ۳ دسته تقسیم کرده‌اند: مقادیر بالای فرورفتگی از ۰/۷ تا بیش از یک که بیانگر نبود رخداد‌های زمین‌ساختی فعال یا مقاومت کم سنگ بستر است. مقادیر متوسط فرورفتگی بین ۰/۴ تا ۰/۷ مربوط به نواحی است که نرخ برش حاصل از رود در آن‌ها فعال است و بستر به لحاظ زمین‌ساختی و سنگ‌شناسی همگون می‌باشد. مقادیر کمتر از ۰/۴ نشان دهنده افزایش نرخ فرایش یا افزایش مقاومت سنگ بستر می‌باشد که غالباً مرتبط با افزایش نقاط عطف در نیمرخ



شکل ۲: تصویری از روند تحول و تکامل نیمرخ طولی رودخانه در رابطه با پارامترهای تندی و فرورفتگی (برگرفته شده از گزارش شهزاد و گلوئن، ۲۰۱۱).

ارتفاعات^۸ است به سمت میانه و پایین دست رود، یعنی جایی که رود بر بستر آبرفتی^۹ با شیب کم جریان دارد؛ با اغراق بیشتری نشان داده می‌شود که در نشان دادن افزایش مساحت حوضه زهکشی به سمت پایین دست رود مؤثر است (Welcker et al, 2011). در این پژوهش به منظور استخراج آبراه‌های مورد نظر برای محاسبه متغیرهای شیب و مساحت حوضه زهکشی و پارامترهای تندی و فرورفتگی، از نقشه رقومی ارتفاع راداری ماهواره آلوس پالسار با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر راداری و الگوریتم D8 استفاده به عمل آمد. از الگوهای متداول برای تعیین جهت جریان الگوریتم D8 است؛ در این روش مسیرهای جریان هر پیکسل که بر روی پیکسل پایین‌تر با شیب کمتر می‌ریزد؛ محاسبه و جهت جریان تعیین می‌شود. این روش بر استخراج جریان‌های مرکزی روی دره‌ها و کاهش جریان‌های موازی تمرکز دارد (گورابی و کیارستمی، ۱۳۹۴).

رابطه (۱)

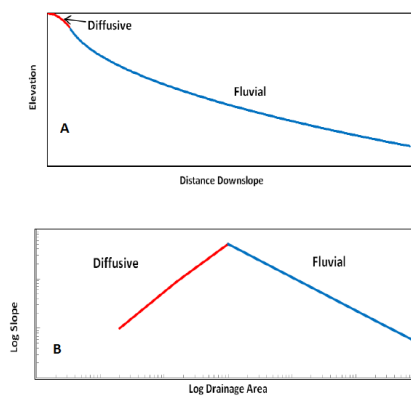
$$S = K_s A^{-\theta}$$

در این رابطه θ عبارت است از مقدار فرورفتگی^۵ و K_s عبارت است از مقدار تندی^۶ رود. در مرحله بعد، برای محاسبه قدرت رودخانه، مقادیر پارامترهای تندی و فرورفتگی از طریق نیمرخ طولی رودخانه‌های محدوده مورد نظر محاسبه شد. به این منظور، نمودار لگاریتمی بین شیب و مساحت رودخانه استخراج شد. در واقع رابطه ۲ یک رگرسیون محسوب می‌شود که در آن فرورفتگی، شیب خط رگرسیون و تندی، عرض از مبدأ آن است (Wang et al, 2017).

رابطه (۲)

$$\log S = \theta \log A + \log K_s$$

در نمودار لگاریتمی شیب و مساحت حوضه زهکشی^۷، روند افزایشی و کاهش شیب از بالادست رود، جایی که رودخانه بر بستر سنگی خود جریان دارد که منطبق بر خط الرأس



شکل ۳: A: نیمرخ طولی رودخانه؛ B: نمودار لگاریتمی شیب و مساحت حوضه زهکشی رودخانه (Welcker et al, 2011).

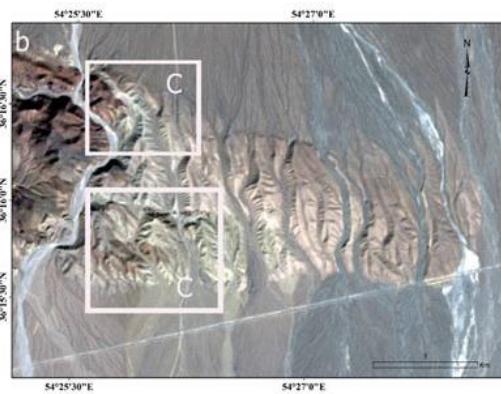
بحث و نتایج

سنتینل ۲ این عارضه به خوبی در کنار بخش اصلی ساختار سیاه‌کوه مشخص می‌باشد (شکل ۴). همچنین در بخش میانی این رسوبات نئوژن و کواترنری، یک برجستگی کوچک از مجموعه سنگ‌های شیلی و ماسه سنگی همراه

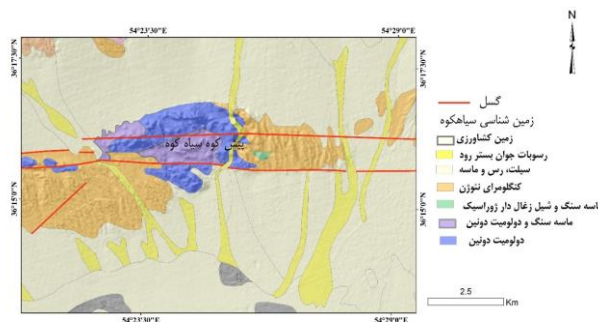
به نظر می‌رسد بخش شرقی فوربرگ سیاه‌کوه توسط رسوبات نئوژن و کواترنری پوشیده شده باشد. بقایای آن به شکل آبکندهایی عمیق در سطح ظاهر شده است. در تصاویر

بر سطح ارتفاعات بالادست (جبهه اصلی کوهستان) منجر به افزایش نهشته گذاری رسوبات بر بخشی از فوربرگ سیاه کوه که ارتفاع کمتری داشته؛ شده است. اما به مرور زمان به واسطه شیب زیاد این ناحیه، تحت تأثیر فرسایش آبراهه‌ای شدید، بقایای ساختار اولیه به صورت آبکندها و برون‌زدهایی از سنگ‌های قدیمی در میان رسوبات آشکار شده است (شکل ۶).

با زغال و بقایای گیاهی مربوط به سازند شمشک برون‌زد^{۱۰} پیدا کرده است. در غرب این منطقه نیز بقایایی از سنگ‌های دولومیتی سازند سیبزار مربوط به دونین که بخش اعظم فوربرگ اصلی را تشکیل می‌دهد؛ در میان رسوبات نئوژن و کواترنری رخنمون^{۱۱} پیدا کرده است. این دو بخش توسط فرایندهای فرسایشی رود سرچشمه از یک دیگر جدا می‌شوند. این شواهد در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی دامغان مشخص می‌باشد (شکل ۵). جریان رسوبی رودهای جاری



شکل ۴: بخش آبکندی فوربرگ سیاه کوه.



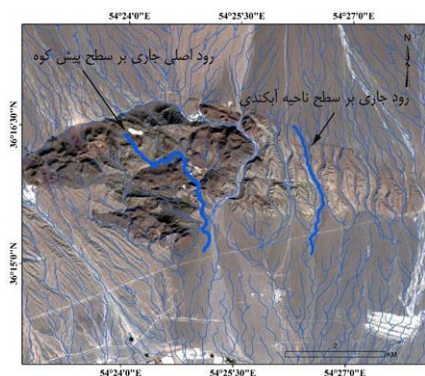
شکل ۵: نقشه زمین‌شناسی سیاه کوه. بخش اصلی فوربرگ از مجموعه سنگ‌های پالئوزوئیک تشکیل شده است؛ اما در بخش مدفون شده غربی فوربرگ سیاهکوه برون‌زدهایی از سنگ‌های پالئوزوئیک در میان رسوبات کواترنری و نئوژن به وجود دارد.



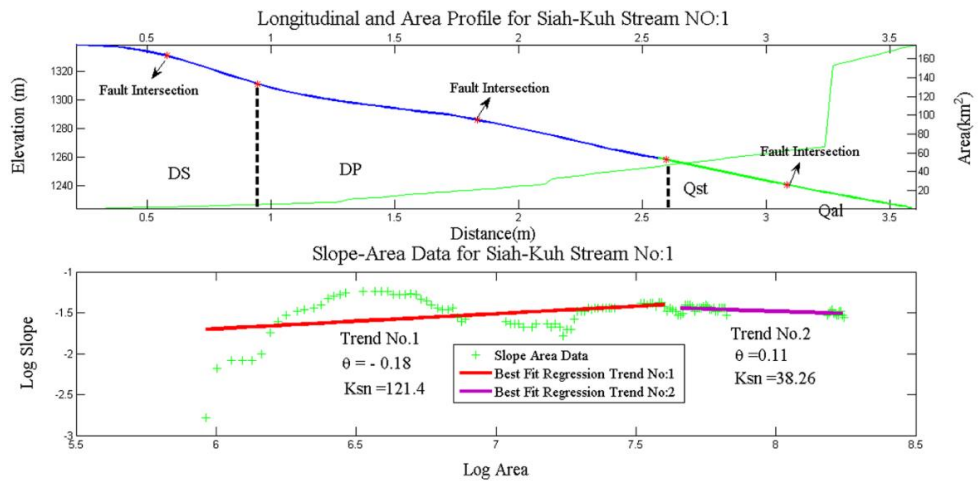
شکل ۶: برونزد مجموعه سنگ‌های دونین از میان رسوبات نئوژن و کواترنری.

به منظور بررسی وضعیت زمین‌ساختی سطح سیاه‌کوه به بررسی پارامتر تندی و فرورفتگی دو رود جاری بر سطح این فوربرگ پرداخته شد؛ یکی از رودها بر سطح اصلی فوربرگ جریان دارد و رود دیگر در بخش آبکندی یا مدفون شده فوربرگ جریان یافته است (شکل ۷). مقادیر پارامترهای تندی و فرورفتگی در این دو رود مورد مقایسه قرار می‌گیرد تا نرخ بالآمدگی و وضعیت زمین‌ساختی هر دو بخش بررسی شود. مقادیر بالای پارامتر تندی و مقادیر پایین پارامتر فرورفتگی می‌تواند تأییدگر وجود یک محور فرایشی در سطح هر دو بخش باشد که تأثیرپذیری بخش آبکندی را از فرآیندهای زمین‌ساختی و فرایش حاصل از حرکات ترفشارشی گسل دامغان نشان می‌دهد. هر دو رود در مسیر جریان خود دارای نقاط عطف متعددی هستند که برگرفته شده از محل گسل‌خوردگی‌ها و اختلافات سنگ‌شناسی بستر رودها است. برای محاسبه پارامتر تندی و فرورفتگی در هر دو رود، دو روند مستقل از هم انتخاب شد؛ روند اول در بالادست رود که عمدتاً شیب بیشتری دارد و رودخانه بر سطح سنگ بستر اصلی خود جریان یافته است و روند دوم در جایی که رود بر روی رسوبات جوان کواترنری جنوب فوربرگ سیاه‌کوه جریان پیدا کرده است. مقادیر پارامتر تندی و فرورفتگی در هر روند، ارزش‌های متفاوتی را به خود اختصاص داده است. در رود اول که بر سطح اصلی فوربرگ جریان دارد؛ در روند اول مقادیر پارامتر تندی برابر با $121/4$ و مقادیر پارامتر فرورفتگی برابر با $0/18$ است. در این بخش از رود، بستر اصلی متشکل از سنگ‌های دولومیتی و ماسه‌سنگی مربوط به دونین با نام سازند سبیزار و پادها است و رود در دو نقطه گسل خورده شده است. در روند دوم که رود بر مسیر رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌های جنوب فوربرگ جریان پیدا کرده است؛ مقادیر پارامتر تندی

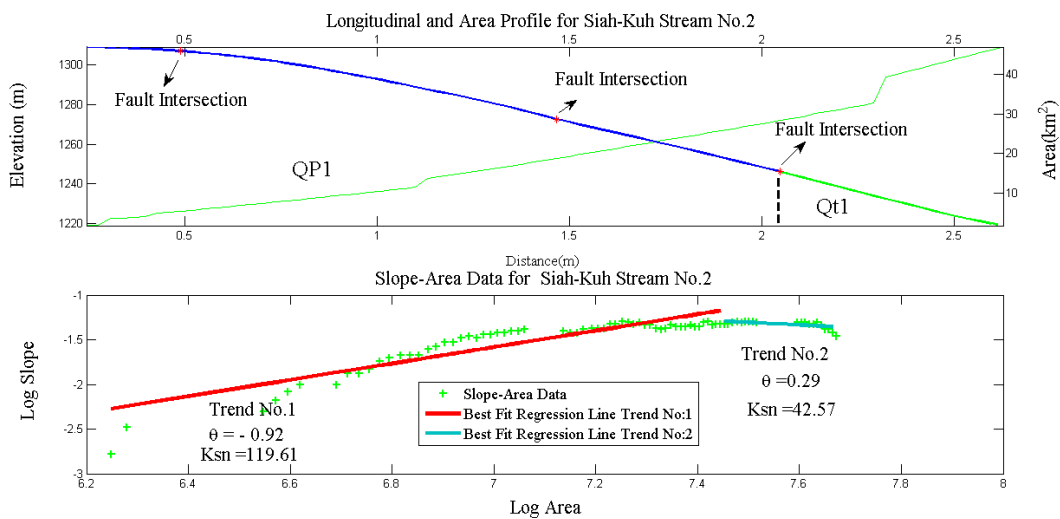
برابر با $38/26$ و مقادیر پارامتر فرورفتگی $0/11$ است که مقادیر بسیار پایین‌تری را نسبت به بالادست رود نشان می‌دهد؛ این امر می‌تواند در ارتباط با فرونشینی نسبی این ناحیه نسبت به فوربرگ سیاه‌کوه به عنوان یک ساختار خم‌گرفتاری در سیستم گسلی باشد. کاهش نرخ پارامتر تندی و افزایش میزان پارامتر فرورفتگی نشان دهنده کاهش مقاومت سنگ بستر و همچنین کاهش نرخ فرآیندهای زمین‌ساختی در قالب فرایش و بالآمدگی است (شکل ۸). رود دوم که در مسیر آبکندی جاری است در روند اول بر روی مجموعه رسوبات کنگلومرانی مربوط به نئوژن و کواترنری جریان دارد و سپس در روند دوم، بر سطح رسوبات آبرفتی کواترنری مخروط‌افکنه‌های جنوب سیاه‌کوه جاری می‌گردد. رود در مسیر خود تحت تأثیر گسل خوردگی‌هایی قرار گرفته است. مقادیر تندی و فرورفتگی در روند اول رود برابر با $119/96$ و $0/92$ می‌باشد و در روند دوم رود، نرخ پارامتر تندی $42/57$ و نرخ پارامتر فرورفتگی $0/29$ می‌باشد (شکل ۹). از آنجا که پارامتر تندی رابطه مستقیمی با فرایش‌های زمین‌ساختی دارد؛ می‌توان گفت مقادیر این پارامتر در هر دو رود نشان‌دهنده تأثیر زمین‌ساخت فعال در سطح فوربرگ است. اختلاف اندک مقدار پارامتر تندی در رود آبکندی نسبت به رود جاری بر سطح اصلی فوربرگ به ویژه در روندهای اول هر دو رود که مقادیر بالای پارامتر تندی را با اختلاف اندک ($1/44$) نشان می‌دهند؛ بیانگر وجود یک محور فرایشی در این ناحیه است که تا حدودی مدفون شدن ساختاری مشابه فوربرگ سیاه‌کوه در زیر رسوبات را تأیید می‌کند. رود پس از جریان یافتن در سطح رسوبات، مسیر آبکندی را دنبال کرده و متأثر از برجستگی فوربرگ قبلی، مقادیر بالایی از تندی را نمایش می‌دهد (شکل ۱۰).



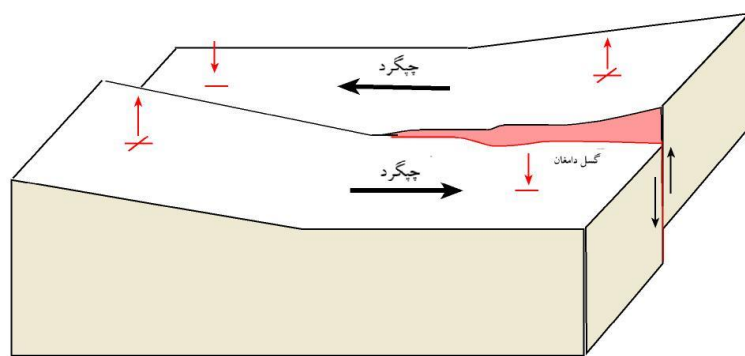
شکل ۷: رودهای مورد بررسی در سطح فوربرگ سیاه‌کوه.



شکل ۸: نیمرخ طولی رودخانه و نمودار لگاریتمی شیب و مساحت زهکشی حوضه رودخانه شماره یک جاری بر سطح فوربرگ اصلی.



شکل ۹: نیمرخ طولی رودخانه و نمودار لگاریتمی شیب و مساحت حوضه زهکشی رودخانه شماره ۲ جاری بر سطح آبکندی.



شکل ۱۰: حرکات مرکب گسل دامغان به صورت امتداد لغز چپ گرد و ترافشارشی.

نتیجه گیری

زیادی دارند. همچنین عوامل مرتبط با جریان های رسوبی نشأت گرفته از ارتفاعات بالادست ناحیه در تغییر و تحول این لندفرم ها در قالب مدفون شدگی مؤثر بوده اند. در واقع گسل ها از جمله مهم ترین عوارض طبیعی هستند که نقش

بررسی های انجام شده بر روی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که ۲ عامل زمین ساخت فعال و سنگ شناسی بر روی ساختار مورفولوژیک فوربرگ سیاه کوه تأثیر بسیار

مدفون نقش داشتند و این مسئله به ویژه در رابطه با ساختارهایی که همچنان بر روی عوارض سطحی مانند رودخانه‌ها تأثیرگذار باشند؛ مؤثر است که نمونه این امر را در این پژوهش در رابطه با شرق فوربرگ سیاه‌کوه مشاهده نمودیم. مقادیر بالای پارامتر تندی به میزان ۱۱۹/۶ و مقادیر پایین پارامتر فرورفتگی به میزان ۰/۹۲- مرتبط با رود جاری بر سطح آبکندی فوربرگ، وجود یک محور برجستگی را در برابر یک ساختار فروافتاده در میان مجموعه رسوبات کواترنری تشکیل‌دهندهی مخروط‌افکنه های جنوبی ناحیه نشان می‌دهد. نرخ پارامتر تندی در نیمرخ طولی رود جاری بر سطح اصلی فوربرگ به میزان ۱۲۱/۴ نیز بیانگر وجود یک محور برجستگی در سطح اصلی فوربرگ است. اختلاف بسیار کم پارامتر تندی میان این دو بخش تنها به میزان ۱/۴۴، وجود یک محور برجسته همانند سطح غربی فوربرگ سیاه‌کوه منطبق بر سنگ‌های دولومیتی دونین را در بخش آبکندی نیز تأیید می‌کند به نحوی که این برجستگی منجر به فرایش سطح آبکندی در نتیجه افزایش قدرت فرسایش رودهای جاری بر سطح آن و فرسایش رسوبات نئوژن -کواترنری پوشاننده بخش مدفون شده است.

گسترده‌ای در تحول لندفرم‌ها دارند و منجر به شکل‌گیری ساختارهای گوناگون تشکیل‌دهندهی یک چشم‌انداز می‌شوند. یکی از مهم‌ترین عوامل در تغییر و تحول ساختاری لندفرم‌ها، مرتبط با سازوکار گسلی است که از امتدادشان می‌گذرد. گسل‌ها با سازوکارهای متفاوت قادرند اشکال متنوعی از لندفرم‌ها را ایجاد کنند یا منجر به تحول اشکال اولیه شوند. برای مثال در این پژوهش حرکات ترافشارشی گسل دامغان در کنار حرکات امتدادلغز آن منجر به شکل‌گیری ساختار فوربرگ سیاه‌کوه در یک خم گرفتاری شده است. همچنین مقاومت سنگ‌های تشکیل‌دهنده این فوربرگ متشکل از مجموعه سنگ‌های دولومیتی و ماسه-سنگی دونین در شکل‌گیری و مقاومت محور برجسته ساختار فوربرگی مؤثر بوده است. همچنین نتایج پژوهش نشان داد استفاده از روش مبتنی بر ناهنجاری‌های نیمرخ طولی رودخانه در قالب پارامترهای تندی و فرورفتگی نقش مؤثری در شناسایی لندفرم‌ها و محورهای فرایشی و فرونشستی مرتبط با ویژگی‌های زمین‌ساختی عوارض در رابطه با تغییرات توپوگرافی‌شان دارد. این پارامترها از طریق بررسی توپوگرافی تغییریافتهی عوارض متأثر از فرایندهای درونی و بیرونی در شناسایی ساختارهای مورفولوژیکی

پانویس

- 1-Knick Point
- 2-Restraining Bend
- 3-Gorges
- 4-Stream Power Low (SPL)
- 5-Concavity

- 6-Steepness
- 7-Log-log plot
- 8-Diffusive Hill slope
- 9-Alluvial Topography
- 10-Outcrop

منابع (References)

- Procedure 266, Geology organization of Iran (in Persian).
- Clark, M.K. and Royden, L.H., 2000. Topographic Ooze: Building the eastern margin of Tibet by lower crustal flow, v. 28, p. 703-706.
- Coren, L., Fox, M. and Willett, S.D., 2014. Tectonic from fluvial topography using formal linear inversion: Theory and applications to the Inyo Mountains, California, J. Geophys, Res-Earth, v. 119, p. 1651-1681.
- Fox, M., Goren, L., May, D.A. and Willet, S.D., 2014. Inversion of fluvial channels for paleorock uplift rates in Taiwan, J. Geophys, Res-Earth, v. 119, p. 1853-1875.
- Ambili, A., Sushma, P., Nathani, B., Achim, B., Shahzad, F. and Deenadayalan, K., 2012. Tectonic versus Climate Influence on Landscape Evolution: A Case Study from the Upper Spiti Valley, NW Himalaya, Geomorphology, v. 145-146, p. 32-44.
- Bayasgalan, A., Jackson, J., Ritz, J.F. and Carretier, S., 1999. 'Forebergs', Flower Structures, and the Development of Large Intra-Continental Strike-Slip Faults: The Gurvan Bogd Fault System in Mongolia, Journal of Structural Geology, v. 21(10), p. 1285-1302.
- Berberian, M., Ghoreshi, M., Talebian, M. and ShojaTaheri, J., 1996. Research and investigation of neotectonic and earthquake risk and faulting in Semnan area, Report NO: 63,

- Gregory, K.M. and Chase, C.G., 1994. Tectonic and Climate significance of late Eocene low-relief, high level geomorphic surface, Colorado, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, v. (99), p. 20141-20160.
- Goorabi, A. and Kiarostami, F., 2015. Tectonic evaluation of watersheds using geomorphological characteristics in the form of TecDEM model (case study: Rodak watershed in north-east of Tehran), *Phys Geog Res*, v. 47(3), p. 465-479 (in Persian).
- Hack, J.T., 1960. Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate Regions. *Bobbs-Merrill*.
- Holbrook, J.M., 1996. Structural noise in seemingly unreformed interplate regions: implications from welts raised in shattered Albian, US, western interior, *Theophrastus contrib*, v. (1), p. 87-94.
- Hollingsworth, J., Nazari, H., Ritz, J., Salamati, R., Talebian, M., Bahroudi, A., Walker, R., Rizza, M. and Jackson, J., 2010. Active Tectonics of the East Alborz Mountains, NE Iran: Rupture of the Left-Lateral Astaneh Fault System during the Great 856 A.D. Qumis Earthquake, *Journal of Geophysical Research*, v. 115, p. 1-19.
- Howard, A., 1994. A Detachment-Limited Model of Drainage-Basin Evolution, *Water Resources Research*, v. 30(7), p. 2261-2285.
- Khademi, M., 1997. Investigation and structural analysis of Damghan and Attari faults in Damghan area. Master's thesis, Faculty of Sciences of Tarbiat Modarres University (in Persian).
- Lague, D., Davy, P. and Crave, A., 2000. Estimating Uplift Rate and Erodibility from the Area-Slope Relationship: Examples from Brittany (France) and Numerical Modelling, *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, v. 25(6), p. 48-543.
- Leeder, M.R. and Jackson J.A., 1993. The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins, with examples from the western United States and central Greece, *Basin Research*, v. 5, p. 79-102.
- Keller, E. and Pinter, N., 1996. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*, Prentus Hall, Newjersy.
- Mohammad Nejad Arogh, V., 2011. Comparative analysis of alluvial fan evolution in the southern hillside of Eastern Alborz (Damghan to Garmsar), PhD Thesis, University of Tehran (in Persian).
- Montgomery, D.R., Abbe, T.B., Buffington, J.M., Peterson, N.P., Schmidt, K.M. and Stock, J.D., 1996. Distribution of bedrock and alluvial channels in forested mountain drainage basins, *Nature*, v. 381(6583), p. 587-589.
- Miliaresis, G., 2001. Extraction of Bajadas from Digital Elevation Models and Satellite Imagery, *Computers and Geosciences*, v. 27, p. 1157-1167.
- Mudd, S., Clubb, F., Gailleton, B. and Hurst, M., 2018. How Concave Are River Channels *Earth Surface Dynamics Discussions*, v. 6, p. 1-34.
- Nicholson, U., VanLaningham, S. and Macdonald, D., 2013. Quaternary Landscape Evolution over a Strike-Slip Plate Boundary: Drainage Network Response to Incipient Orogenesis in Sakhalin, Russian Far East, *Geosphere*, v. 9, p. 588-601.
- Owen, L., Cunningham, D., Richards, B., Rhodes, E., Windley, B., Dorjnamjaa, D. and Badamgarav, J., 1999. Timing of Formation of Forebergs in the Northeastern Gobi Altai, Mongolia: Implications for Estimating Mountain Uplift Rates and Earthquake Recurrence Intervals, *Journal of the Geological Society*, v. 156, p. 64-457.
- Rahimi, B., 2006. Structural studies of the Alborz mountain range in the north of Damghan. PhD Thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University (in Persian).
- Royden, L. and Perron, J.T., 2013. Solution of the stream power equation and application to the evolution of river longitudinal profiles, *J. Geophys. Res- Earth*, v. 118, p. 497-518.
- Russ, O., 1976. Syntectonic unconformities of Alto cardener Spanish Pyrenees: a genetic interpretation sediment, *Geology*, v. 15, p. 213-233.
- Schoenbohm, L., Whipple, K., Burchfield, B. and Chen, L., 2004. Geomorphic Constraints on surface uplift exhumation and plateau growth in the Red river region, Yunnan Province, China, *Geol. Soc. Am. Bull*, v. 116, p. 895-909.
- Seidl, M. and Dietrich, W., 1993. The Problem of Channel Erosion into Bedrock, *Catena Suppl*, v. 23, p. 101-24.
- Shahzad, F., Mahmood, S.A. and Gloaguen, R., 2009. Drainage Network and Lineament Analysis: An Approach for Potwar Plateau (Northern Pakistan), *Journal of Mountain Science*, v. 6, p. 14-24. Doi: 10.1007/s11629-009-0206-4.

- Shahzad, F. and Gloaguen, R., 2011. TecDEM: A MATLAB Based Toolbox for Tectonic Geomorphology, Part 1: Drainage Network Preprocessing and Stream Profile Analysis, *Computers and Geosciences*, v. 37(2), p. 250-260.
- VanLaningham, S., Meigs, A. and Gold finger, C., 2006. The effect of rock uplift and rock resistance on river morphology in Subduction zone forearc, Oregon, USA. *Earth Surface Processes Landform*, v. 31, p. 1257-1279.
- Vassilakis, E., Skourtsos, E. and Kranis, H., 2007. Estimation of Tectonic Uplift Rate Using Quantified Morphometric Indices. 8TH Pan-Hellenic Geographical Conference, p. 17-26.
- Vita-Finzi, C., 2018. River history and Tectonics, *Philosophical Transactions of the Royal society*, v. 370, p. 2173-2193.
- Wang, Y., Zhang, H., Zheng, D., Yu, J., Pang, J.Z. and Ma, Y., 2017. Coupling slope-area analysis, integral approach and statistic tests to steady-state bedrock river profile analysis, *Earth Surface Dynamics*, v. 5, p. 145-160.
- Whipple, K. and Tucker, G., 2002. Implication of sediment-flux-dependent river incision models for landscape evolution, 107 p.
- Whipple, K., Wobus, C., Crosby, B., Kirby, E. and Sheehan, D., 2007. New Tools for Quantitative Geomorphology: Extraction and Interpretation of Stream Profiles from Digital Topographic Data. *Geol. Soc. Am. Annu. Meet. Course Notes*, 1.
- Whipple, K., Wobus, C., Crosby, B., Kirby, E. and Sheehan, D., 2007. New Tools for Quantitative Geomorphology: Extraction and Interpretation of Stream Profiles from Digital Topographic Data. *Geol. Soc. Am. Annu. Meet. Course Notes*, 1.
- Welcker, Ch., Buffington, J. and Mckean, J., 2011. Everything you wanted to know about slope – area analysis, Idaho Power.
- Wobus, C., Whipple, K.X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B. and Sheehan, D., 2006. Tectonic from topography: procedure, promise, and pitfalls. *Geol.Soc.Am.Spec.Papers*, v. 398, p. 55-74.