



Role of Quaternary Tectonic and Climatic Factors on the Geomorphological Changes of Meshkin Shahr Depression Alluvial Fans

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. Role of Quaternary Tectonic and Climatic Factors on the Geomorphological Changes of Meshkin Shahr Depression Alluvial Fans. Geographical Researches Quarterly Journal. 2019;34(2):281-292.

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

*Correspondence

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

Article History

Received: January 30, 2018
Accepted: May 4, 2019
ePublished: June 20, 2019

ABSTRACT

Aims & Backgrounds Based on field and literature studies, one of the most important features of Sabalan Quaternary landscape, are climate changes and tectonic activities. So tectonic activities and climate changes, along with other internal and external factors simultaneously had an undeniable role in the formation and evolution of Quaternary fans of Meshkin Shahr depression. The purpose of this study was to investigate the role of tectonic and climatic factors of quaternary period in geomorphological evolution of Meshkin Shahr fans.

Methodology To achieve this goal, first of all, using contour line, stream network and elevation points, the digital elevation model of region, was prepared as a base map. Then the data needed to calculate geomorphic indices and various profiles were extracted. Geological logs are used to investigate sedimentary evidence. In addition, Arc hydro and Google earth have been used to outline catchments and fans area. In addition, to draw geological logs, Rock works 16 software was used. Most importantly, we have used extensively field observations.

Findings The two major phenomena of volcanic-tectonic and climate changes in the Quaternary period have played a decisive role in the formation and development of the Quaternary fans of Meshkin Shahr depression. Simultaneously, the Sabalan volcanic activity with glacial dominate or tundra storm during the late Pleistocene led to the formation of a mudflow periodically and sedimentation in fans and basins. In contrast, climate change from glacial period to interglacial during the Holocene and tectonic relaxation has caused the incision of basins and fans.

Conclusion Sabalan's landscape as the main controller of Meshkin Shahr Depression Fans is at a transitional stage, which means that it has undergone a tectonic stage to a non-tectonic stage, and also, it has undergone a glacial to an interglacial period such as the present conditions.

Keywords Geomorphic Indices; Sabalan Mountain; Tectonics; Climate; Alluvial Fans

CITATION LINKS

[Blair & McPherson; 2009] Processes and forms of alluvial ...; [Bull; 1972] Recognition of alluvial fan deposits in the stratigraphic ...; [Bull; 2008] Tectonic geomorphology of mountains: A new ...; [Bull; 2011] Tectonically active ...; [Burbank & Anderson; 2013] Tectonic ...; [Chen, et al; 2006] Variations in tectonic activities of the central and southwestern Foothills, Taiwan, inferred ...; [Demoulin; 1998] Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: The case of ...; [Harvey, et al; 2005] Alluvial fans: Geomorphology, sedimentology, dynamics ...; [Hooke; 1965] Alluvial ...; [Kumar, et al; 2007] Evolution of the quaternary alluvial fan system in the Himalayan foreland ...; [Pérez-Peña, et al; 2010] Active tectonics in the Sierra Nevada ...; [Quigley, et al; 2007] Distinguishing tectonic from climatic controls on range-front ...; [Viseras, et al; 2003] Differential features of alluvial fans controlled by ...; [Whittaker; 2012] How do landscapes record tectonics and ...; [Zaprowski, et al; 2005] Climatic influences on profile concavity and river ...; [Amini; 1994] Geological map of Meshkinshahr, Scale, 1: 100000, Sheet ...; [Babakhani & Khanazareh; 1991] Geological map of Lahrood, Scale, 1: 100000, Sheet ...; [Dallal Oghli; 2003] The study of the effective morphogenesis systems in the northern ...; [Darvish Zade; 2007] Volcanology; [Goorabi & Karimi; 2012] The effect of active tectonics and climate change ...; [Kamali, et al; 2018] Investigation of Drood fault (Southwestern Iran) based on geological ...; [Khayyam; 1993] An attempt on the constructional and volcanic morphology of the Azerbaijani ...; [Khayyam & Mokhtari; 2003] Evaluation of the role of tectonic activities ...; [Maghsoudi; 2008] Investigating the factors affecting the development of the fans ...; [Motamed; 1994] Geography ...; [Mousavi, et al; 2011] Discussion on stratigraphy questions at Sabalan ...; [Rajabi & Bayati Khatibi; 2012] The geomorphology of northwest ...; [Rajabi & Soleimani; 2013] Analysis and evaluation of the morphotectonic and neotectonic ...; [Rustai, et al; 2009] The role of tectonic activities in the formation and development of alluvial fans in the southern slopes of Ala ...; [Sahabi; 1999] Sabalan volcanic complex with special reference to the hydrothermal ...; [Sharifi Najafabadi; 2019] Glacial and tectonic evidence of late Quaternary in ...; [Taghian; 2016] Investigating the role of tectonic on the morphology...; [Yamani & Maghsoudi; 2003] The role of tectonics and climate change on the development of ...

نقش عوامل تکتونیک و اقلیمی دوره کواترنری در تحول ژئومورفولوژیک مخروط‌افکنه‌های فرورفتگی مشکین‌شهر

محمد نوحی MA

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

عقیل 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: با توجه به مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، یکی از ویژگی‌های مهم دوره کواترنری چشم‌انداز توده سبلان، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های تکتونیک است. بنابراین فعالیت‌های تکتونیک و تغییرات اقلیمی، به همراه سایر عوامل داخلی و خارجی به‌طور همزمان و همراه هم در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌های کواترنری فرورفتگی مشکین‌شهر نقش غیرقابل‌انکار داشته‌اند. هدف این پژوهش، بررسی نقش عوامل تکتونیک و اقلیمی دوره کواترنری در تحول ژئومورفولوژیک مخروط‌افکنه‌های فرورفتگی مشکین‌شهر بود.

روش‌شناسی: ابتدا با استفاده از خطوط میزان، شبکه آبراهه‌ها و نقاط ارتفاعی (DEM) منطقه به عنوان نقشه پایه با دقت ۲۰متری در محیط GIS تهیه شد و سپس داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک (تقعر رودخانه‌ها، پروفیل نیمه لگاریتمی رودخانه‌ها و برش رأس مخروط‌افکنه‌ها)، رسم نقشه‌های (توپوگرافی و شبکه‌های رودخانه‌ای) و پروفیل‌های مختلف از آن استخراج گردید. بررسی شواهد رسوبی از طریق لوگ‌های زمین‌شناسی امکان‌پذیر شد. برای مرزبندی حوضه‌های آبریز و مخروط‌افکنه‌ها از نرم‌افزارهای Arc Hydro و Google Earth و برای رسم لوگ‌های زمین‌شناسی از نرم‌افزار Rock Works 16 استفاده گردید. در پژوهش حاضر به صورت گسترده از مشاهده میدانی استفاده شد.

یافته‌ها: دو پدیده مهم آتش‌فشان-تکتونیک و تغییرات اقلیمی دوره کواترنری، نقش قاطع در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌های کواترنری فرورفتگی مشکین‌شهر داشته است. همزمان بودن فعالیت آتش‌فشانی سبلان با حاکمیت یخچال‌ها و بارندگی سیل‌آسا در عهد پلیستوسن پسین، موجب ایجاد جریان گلی (لاهار) به‌صورت دوره‌ای شده و رسوب‌گذاری در مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌ها را به دنبال داشته است. در مقابل، تغییر اقلیم از دوره یخچالی به بین‌یخچالی در عهد هولوسن و آرامش تکتونیک، موجب برش حوضه‌ها و مخروط‌افکنه‌های وابسته شده است.

نتیجه‌گیری: چشم‌انداز سبلان به‌عنوان مهم‌ترین کنترل‌کننده مخروط‌افکنه‌های فرورفتگی مشکین‌شهر در یک مرحله گذار قرار دارد؛ به این معنی که از یک مرحله تکتونیک به یک مرحله غیرتکتونیک یا آرامش تکتونیک و از یک دوره یخچالی به یک دوره بین‌یخچالی مانند شرایط امروزی رسیده است.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های ژئومورفیک، قله سبلان، تکتونیک، اقلیم، مخروط‌افکنه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

نویسنده مسئول: aghil48madadi@yahoo.com

مقدمه

دوره کواترنری به عنوان تناوبی از دوره‌های یخچالی و بین یخچالی، همراه با دوره‌هایی از فعالیت تکتونیک شناخته می‌شود. بنابراین

تکتونیک و اقلیم به صورت همزمان و همراه هم در تحول مخروط‌افکنه‌های کواترنری نقش داشته‌اند [Viseras et al, 2003]. قرارگیری کوهستان آتش‌فشانی پلیو-کواترنر سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح دریا به عنوان یک سطح فرسایشی در مجاورت فرورفتگی میو-پلیوسن مشکین‌شهر با ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر به عنوان یک فضای رسوب‌گذاری، منجر به شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته شده‌است. چنین شرایطی، فرصت مناسبی را برای درک فعالیت‌های تکتونیک و تغییرات اقلیمی دوره کواترنری منطقه فراهم نموده است. در مورد زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی چشم‌انداز سبلان، مطالعات گسترده‌ای انجام شده است؛ اما در این بین مخروط‌افکنه‌ها به رغم دارا بودن پتانسیل‌های محیطی به طور تخصصی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ارتفاع زیاد کوهستان سبلان از یک سو و قرار گرفتن آن در عرض جغرافیایی بالاتر از سو دیگر، باعث شده تا این کوهستان در دوره کواترنری به ویژه پلیستوسن، علاوه بر فعالیت‌های تکتونیک، تحت تأثیر دوره‌های متناوب یخچالی و بین یخچالی نیز قرار گیرد [Dallal et al, 2012]. براساس مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، آثار این فرایندها در دامنه شمالی سبلان و مخروط‌افکنه‌ها به وضوح به صورت سنگ‌های سرگردان، مورن‌ها، سیرک‌های یخچالی و جریان‌های گلی (لاهار)، خود نمایی می‌کنند. به طوری که بزرگ‌ترین سیرک یخچالی چشم‌انداز سبلان در شرق آن و در دره قزل بره واقع شده است [Rajabi & Khatibi, 2012]. در تشکیل مخروط‌افکنه‌ها عوامل گوناگونی دخالت دارند که از بین آنها، دو عامل مهم خارجی، یعنی تکتونیک و اقلیم بیشتر مورد توجه واقع شده است. در این خصوص، دو نوع مطالعه به چشم می‌خورد، به این صورت که بعضی‌ها به عنوان مثال اول نقش اقلیم را و بعد نقش تکتونیک را در ایجاد مخروط‌افکنه بررسی کرده‌اند؛ پر واضح است که چنین مطالعه‌ای تقریباً سهل و راحت است. در صورتی که عده‌ای در صدر بر آمده‌اند تا سهم این دو (تکتونیک و اقلیم) را از هم جدا کنند، در این صورت کار پیچیده‌تر می‌شود. جداسازی سهم تکتونیک و اقلیم در ایجاد لندفرم‌ها، یک چالش بزرگ برای محققان ژئومورفولوژی است. در واقع، تعامل متقابل بین تکتونیک و اقلیم به عنوان مهم‌ترین فرایندهای ژئومورفیک، باعث ایجاد چشم‌اندازهای کره زمین می‌گردد [Kumar et al, 2007; Quigley et al, 2007; Whittaker, 2012]. مخروط‌افکنه‌ها، معمولاً نهشته‌های ضخیم، اکسید شده و ناشی از کوه‌زایی هستند که میزان و مدت بالا آمدگی کوهستان مجاور و عوامل اقلیمی، مورفولوژی آن را متأثر می‌سازند [Bull, 1972; 2008; 2011]. در سال‌های اخیر مخروط‌افکنه‌های کواترنری، تمرکز اصلی، روی ملاحظه چگونگی تعامل بین کنترل‌کننده‌های مهم محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای، یعنی حوضه آبریز، تکتونیک، تحول ژئومورفیک، اقلیم و سطح اساس بوده است [Harvey et al, 2005]. فعالیت‌های تکتونیک، کنترل‌کننده تأمین رسوب در بلندمدت هستند؛ اما الگوهای زمانی و فضایی

شاخص منطقه، می‌توان ارتباط مستقیمی بین موقعیت مخروط‌افکنه‌ها با فعالیت‌های تکتونیکی منطقه در عهد حاضر برقرار کرد، به طوری که همه آنها در امتداد گسل‌های فعال تشکیل شده‌اند و اثرات این فعالیت را می‌توان با جابه‌جایی راست بر آبراهه تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه‌ها مشاهده کرد [Kamali et al, 2019]. برای انجام این کار از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه‌ای و مخروط‌افکنه‌ای و نیز شواهد رسوبی استفاده شده است. تأکید ما در انجام این پژوهش بیشتر روی مطالعات میدانی بوده است. شناسایی این عوامل می‌تواند، زمینه‌های استفاده مفید از مخروط‌افکنه‌ها را فراهم نمایند. در این پژوهش، مخروط‌افکنه‌ها به صورت تخصصی و با استفاده از شاخص‌ها و شواهد قابل‌اطمینان در یک محیط آتش‌فشانی و پیچیده از نظر ساختار زمین‌شناسی و نیز محیط نسبتاً بکر از نظر علمی به انجام رسیده است. هدف این پژوهش، بررسی نقش عوامل تکتونیکی و اقلیمی دوره کواترنری در تحول ژئومورفولوژیک مخروط‌افکنه‌های فرورفتگی مشکین‌شهر بود.

روش‌شناسی

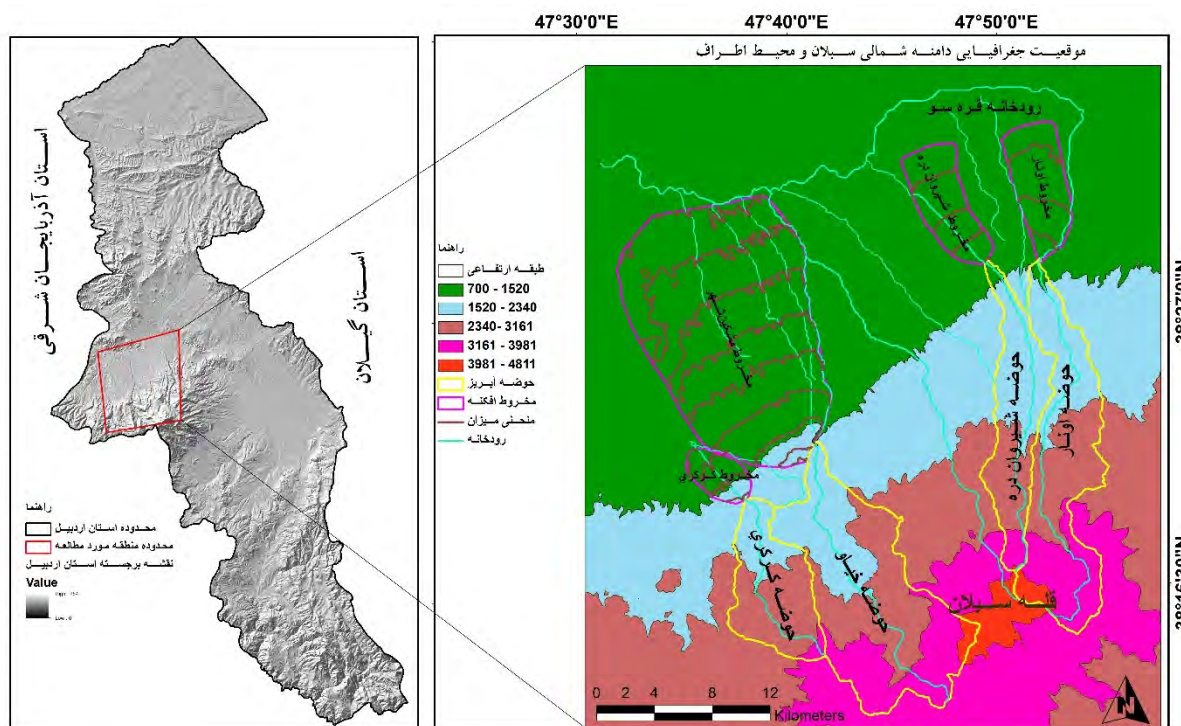
ابتدا با استفاده از خطوط میزان، شبکه آبراهه‌ها و نقاط ارتفاعی موجود، مدل ارتفاعی رقومی منطقه به‌عنوان نقشه پایه با دقت ۲۰ متری در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد و سپس داده‌های موردنیاز جهت محاسبه شاخص‌ها و رسم نقشه‌ها و نمودارها از آن استخراج شد. به این صورت که ابتدا از طریق نرم‌افزار آرک هیدرو و با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، محدوده حوضه‌های رودخانه‌ای مشخص شدند و سپس داده‌های موردنیاز، اخذ و جهت رسم نمودارها به نرم‌افزار اکسل منتقل شدند. به همین ترتیب، محدوده مخروط‌افکنه‌ها با مراجعه به نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و استفاده از مشاهده مستقیم تعیین شد. جهت تجزیه و تحلیل شواهد رسوبی از تراس‌های رودخانه‌ای، سطوح ژئومورفیک مخروط‌افکنه‌ای و نیز نقاط تقاطع مخروط‌افکنه‌ها استفاده شد. همچنین در این ارتباط، چندین نگاره مربوط به چاه‌های حفاری بررسی گردید و مقاطع آنها به‌وسیله نرم‌افزار راکول ترسیم شد. در نهایت با استفاده از برخی شاخص‌های ژئومورفیک که شرح آنها در زیر می‌آید به نقش تکتونیک و اقلیمی دوره کواترنری در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها پرداخته شد. منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۸۴۳ کیلومتر مربع در دامنه شمالی کوهستان سبلان بین $38^{\circ} 35' 18''$ - $38^{\circ} 15' 29''$ عرض شمالی و بین $47^{\circ} 59' 07''$ - $47^{\circ} 27' 37''$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). توده آتش‌فشانی پلیو-کواترنر سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر به عنوان یکی از واحدهای مورفوتکتونیک شمال غربی کشور [Rajabi & Soleimani, 2013] در بخش جنوبی منطقه قرار دارد و نقش منبع رسوبی را برای مخروط‌افکنه‌ها به عهده دارد. در مقابل و در تضاد با آن، فرورفتگی میو-پلیوسن مشکین‌شهر با ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر به‌عنوان فضای رسوبی برای مخروط‌افکنه‌ها عمل می‌کند. این دو منطقه فرسایشی و رسوبی، توسط یک گسل سراسری با راستای

رسوب‌گذاری در جبهه کوهستان بر عهده اقلیم است [Quigley et al, 2007]. مطالعات بسیار زیادی در ایران و جهان در مورد مخروط‌افکنه‌ها صورت گرفته است، به طوری که امروزه در بعضی از کشورها، مانند اسپانیا، اجلاس‌هایی فقط با موضوع مخروط‌افکنه بر پا می‌شود. در اغلب مطالعات مربوط به مخروط‌افکنه‌ها، عامل تکتونیک در کانون توجه بوده و از عامل مهم اقلیم چشم‌پوشی شده است. شاید در بعضی از این مناطق، واقعاً اقلیم نقش بارزی نداشته باشد ولی به نظر می‌رسد که در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر تکتونیک، اقلیم نقش ویژه و قاطع در تحول مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز داشته است. در این جا لازم است به بعضی از پژوهش‌های مهم انجام‌شده که اغلب به نتایج قابل قبولی نیز منتهی شده به عنوان پیشینه پژوهش اشاره شود.

یمانی و مقصدی [Yamani & Magsoudi, 2003] در بررسی و تحول کانال‌های گیسویی در سطح مخروط‌افکنه‌های چاله سیرجان به این نتیجه رسیدند که در تحول و تکامل مخروط‌افکنه‌ها، حرکات تکتونیکی نقش موثرتری داشته‌اند. این حرکات در راستای فرورفتگی چاله سیرجان و متقابلاً تداوم بالا آمدگی واحد کوهستان عمل کرده‌اند. این در حالی است که تغییرات اقلیمی نقش فرعی را بر عهده داشته است. در تحقیقی دیگر، گورابی و کریمی [Goorabi & Karimi, 2013] در مطالعه تأثیر تکتونیک فعال و تغییرات اقلیمی در تحول مخروط‌افکنه مروست، ایران مرکزی، دریافتند که مهم‌ترین عامل تغییردهنده چشم‌انداز مخروط‌افکنه مروست پس از غلبه شرایط خشک اقلیمی، نو زمین ساخت فعال گسل مروست بوده که توسعه مخروط‌افکنه جدید در بلافصل گسل مروست از پیامدهای عملکرد آن است. اگرچه حجم عظیم رسوب‌گذاری دوره‌های خشک-مرطوب اواخر پلیستوسن در تشکیل مخروط‌افکنه مروست نقش مهمی داشته است، ولی شواهد مورفوتکتونیک موجود بیانگر تسریع فرایندهای شکل‌زایی توسط فعالیت‌های نو زمین ساختی گسل مروست است. خیام و مختاری [Khayyam & Mokhtari, 2003] در بررسی مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها به این نتیجه رسیدند که از روی مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها می‌توان به میزان تکتونیک فعال در جبهه کوهستان پی برد. به این صورت که اگر مخروط‌افکنه نزدیک به جبهه کوهستان تشکیل شود، نشان‌دهنده تکتونیک فعال و اگر دور از جبهه کوهستان و در قاعده مخروط‌افکنه قدیمی تشکیل شود، حاکی از تکتونیک غیرفعال یا کم فعال است [Khayyam & Mokhtari, 2003]. روستایی و همکاران [Rustai et al, 2010] در بررسی نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های تکتونیکی با شکل‌گیری، جایگزینی، شکل، وسعت، گسترش، ضخامت رسوبات و تکه‌تکه شدن مخروط‌افکنه‌ها نقش مهمی در تکامل مخروط‌افکنه‌های دامنه جنوبی آلاداغ داشته است. کمالی و همکاران [Kamali et al, 2019] در مطالعه گسل دورود براساس شاخص‌های ژئومورفیک مخروط‌افکنه‌ای به این نتیجه رسیدند که با توجه به نحوه پراکندگی مخروط‌افکنه‌های بزرگ و

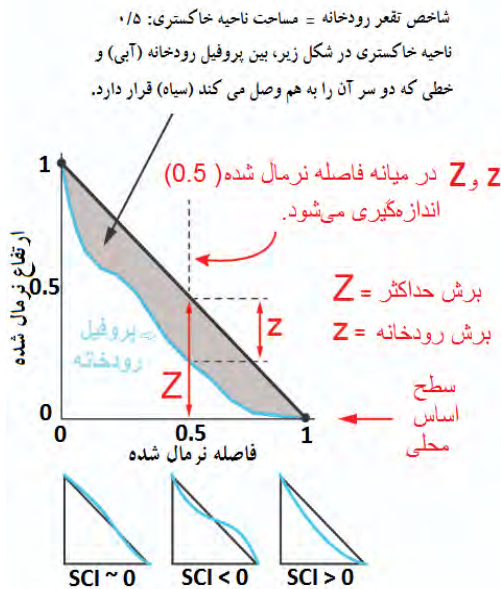
سبلان از نوع آتشفشان نقطه‌ای و مخروط آن از نوع مختلط است که از نظر ساختمان و حجم، شبیه آتشفشان‌های حاشیه قاره‌ای است، ولی از نظر ترکیب شیمیایی شباهتی با انواع حاشیه‌ای ندارد. گدازه‌های آن، مساحتی معادل ۱۲۰۰ کیلومترمربع را اشغال نموده‌اند و به علت فروریختگی دهانه، شکل مخروط به‌شدت قطعه‌قطعه شده است [Darvishzadeh, 2007]. تنوع سنگ‌شناسی رخنمون‌ها، مربوط به تشکیل واحدهای سنگی در فازهای مختلف آتشفشانی بوده و معلول شرایط خاص آن رویداد هست. لذا براساس واحدهای سنگی-زمانی موجود می‌توان، توالی سنگ چینه‌ای را به ترتیب برحسب افزایش سن مشخص نمود [Sahabi, 1999; Rajabi & Khatibi 2012]. رسوب‌ها و پادگان‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های متعلق به هولوسن که بیشتر در دره موئیل به چشم می‌خورند. روانه‌های گدازه‌ای تراکی‌آندزیتی، توفها و آذر آوری پلپوسن که قبل از تشکیل دهانه است که قاعده و قسمت وسیعی از مجموعه سبلان را به خود اختصاص می‌دهد (سبلان قدیم). روانه‌های گدازه‌ای تراکی-آندزیتی، گنبدها و لاهارهای پلئیسوسن پایانی که مربوط به بعد از تشکیل دهانه هستند (سبلان جدید). در آخرین مرحله قله‌های مهم سبلان جدید، مانند سلطان سبلان، کسرا و هرم در داخل کالدرای ساخته می‌شوند. براساس نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکین‌شهر و لاهرود [Amini, 1994; Babakhani & Khannazer, 1991] گسل‌های متعددی با روندهای غالباً شرقی-غربی، شمالی-جنوبی و شمال-غربی-جنوب‌شرقی به چشم می‌خورند. این گسل‌ها در شکل‌گیری دره‌ها، تراس‌ها، مخروط‌افکنه‌ها نقش اساسی داشته‌اند. از مهم‌ترین آنها می‌توان به گسل کالدرای، شیروان دره، قوتورسویی و موئیل اشاره کرد.

شرقی- غربی از هم جدا می‌شوند [Amini, 1994]. از نظر اقلیمی، کوهستان سبلان دارای آب‌وهوای سرد و خشک کوهستانی و فرورفتگی مشکین‌شهر، دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک هستند [Dallal oghli, 2003]. منطقه مورد مطالعه در طول دوره کواترنری به‌تناوب، تحت تأثیر دوره‌های یخچالی و بین یخچالی قرار داشته است [Khayyam, 1993]. براساس نقشه‌های توپوگرافی و مطالعات میدانی، چهار رودخانه خیاو، کرکری، شیروان دره و اونار از ارتفاعات سبلان سرچشمه می‌گیرند و بعد از عبور از فرورفتگی مشکین‌شهر وارد رودخانه قره‌سو می‌شوند. رودخانه قره‌سو به‌عنوان سطح اساس فرسایشی منطقه در انتهای فرورفتگی مشکین‌شهر با جهت شرقی-غربی به رودخانه اهر می‌پیوندد و در ادامه مسیر با ۹۰ درجه چرخش در جهت شمال، وارد دره رود شده و به‌سوی رودخانه ارس حرکت می‌کند و بعد از پیوستن به رودخانه ارس به دریای خزر می‌ریزد. جبهه کوهستان سبلان به‌شدت به‌وسیله رودخانه‌های مذکور که در جهت عمود بر جبهه کوهستان جریان دارند، بریده شده است. هر چهار رودخانه، گسل‌های هم نام خود را با روند جنوبی-شمالی دنبال می‌کنند [Sahabi, 1999; Rajabi & Khatibi, 2012]. حاصل رقابت بی‌امان بین عوامل تکتونیکی که توپوگرافی توده سبلان را ایجاد کرده و عوامل فرسایشی که توده مذکور را تخریب کرده، مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته است که تمام این فعل‌وانفعالات را در خود ثبت کرده است. از قله‌های معروف منطقه می‌توان به سلطان سبلان، هرم و کسرا اشاره کرد. طی دوره کواترنری، فعالیت‌های آتشفشانی مهمی در ایران وجود داشته که امروزه قله آنها ارتفاعات مهمی را تشکیل داده‌اند. براساس داده‌های موجود، برخی از آتشفشان‌ها حتی از قدیم (مثلاً سبلان از میوسن) نیز فعال بوده‌اند، ولی مخروط اصلی آنها در کواترنری ایجاد شده‌اند. آتشفشان

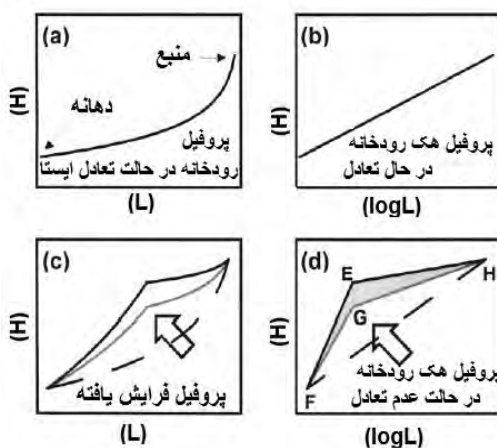


شکل ۱) موقعیت جغرافیایی دامنه شمالی سبلان و فرورفتگی مشکین‌شهر

محدب درمی‌آید (شکل ۳-d). کل منحنی پروفیل هک، نتیجه تجمع تأثیر نیروهای تکتونیکی در بلندمدت است. خط مستقیم بین منبع و دهانه رودخانه، می‌تواند به‌عنوان حالت تعادل رودخانه در شرایط تعادل دینامیک باشد. شیب این خط، گرادیان درجه‌بندی شده (تعادل) K نامیده می‌شود که نماینده قدرت رودخانه محسوب می‌شود. رودخانه‌های بزرگ دارای K بیشتر هستند [Chen et al, 2006]. شاخص برش رأس مخروط‌افکنه: این شاخص، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی نقش عوامل تکتونیکی و اقلیمی در تحول مخروط‌افکنه‌ها است. هنگامی که نرخ فرایش در جبهه کوهستان بیشتر از نرخ فرسایش باشد، مخروط‌افکنه جدید در رأس مخروط‌افکنه قدیمی و در واقع در محل جبهه کوهستان تشکیل می‌گردد. اما هنگامی که نرخ فرایش در جبهه کوهستان کمتر و یا برابر با نرخ فرسایش باشد، مخروط‌افکنه بریده می‌شود و مخروط‌افکنه جدید در پای مخروط‌افکنه قدیمی تشکیل می‌شود (شکل ۴) [Bull, 2008; Quigley et al, 2007; Viseras et al, 2003]



شکل ۲) روش محاسبه شاخص تقعر رودخانه‌ها [Zaprowski et al, 2005]



شکل ۳) نمودار مفهومی پروفیل هک [Chen et al, 2006]

در این بخش، شاخص‌ها و شواهد ژئومورفیک به‌منظور ردیابی نقش عوامل اقلیمی و تکتونیکی دوره کواترنری در تکوین و تحول ژئومورفولوژی سامانه‌های مخروط‌افکنه‌ای فرورفتگی مشکین‌شهر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این پژوهش، چهار مخروط‌افکنه، شامل خیابو، اونا، شیروان دره و کرکری و نیز حوضه‌های آبریز مربوط به هرکدام، به ترتیب، خیابو، اونا، شیروان دره و کرکری انتخاب گردید (شکل ۱). به دلیل عدم دسترسی به داده‌های اقلیم دیرینه، از شاخص‌ها، شواهد رسوبی، لوگ‌های زمین‌شناسی و همچنین، مطالعه میدانی استفاده شد. شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی به ترتیبی که در بخش روش‌شناسی آورده شده، مورد بحث قرار می‌گیرد.

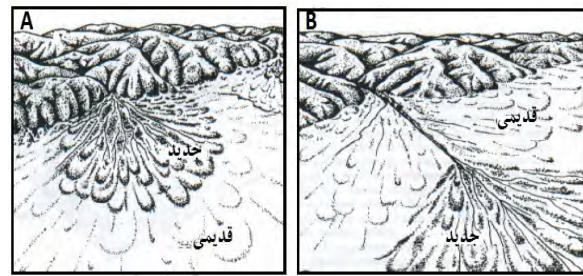
تحلیل شاخص تقعر رودخانه‌های منطقه، جهت ردیابی نقش اقلیمی و تکتونیکی: با توجه به شکل (۲) و براساس روش دمولین (۱۹۹۸) و زاپروفسکی (۲۰۰۵) به محاسبه و ترسیم شاخص تقعر رودخانه‌های اصلی منطقه اقدام شد و نتیجه آن مورد تجزیه و تحلیل واقع شد. نتیجه محاسبه شاخص مذکور نشان داد که همه رودخانه‌های منطقه با مقدارهای متفاوتی دارای تقعر مثبت هستند ($SCI > 0$). رودخانه‌های شیروان دره و کرکری به ترتیب بیشترین و کمترین تقعر را دارند. حوضه این دو رودخانه از نظر سنگ‌شناسی باهم متفاوت‌اند. به این صورت که حوضه رودخانه شیروان دره از توف و لاهار که عناصر سستی هستند، تشکیل شده، در صورتی که حوضه رودخانه کرکری از سنگ‌های سخت آذرین تشکیل شده است. به‌طور کلی این مورفولوژی (تقعر) ناشی از تأثیر فعالیت فرایندهای اقلیمی (فرسایش) و عدم فعالیت تکتونیکی است. زیرا در صورت وجود تکتونیک فعال، مورفولوژی رودخانه‌ها به صورت محدب می‌شد.

شاخص تقعر رودخانه از طریق رابطه بین ارتفاع نرمال شده و فاصله نرمال شده، محاسبه می‌گردد (شکل ۲). اولین تخمین در مورد میزان تعادل رودخانه از طریق درصد مساحت ناحیه بین نیم‌رخ واقعی رودخانه (رنگ آبی) و نیم‌رخ اولیه (رنگ سیاه) نسبت به مساحت کل حوضه صورت می‌گیرد. اگر پروفیل واقعی رودخانه، پایین‌تر از پروفیل اولیه باشد، رودخانه دارای تقعر مثبت ($SCI > 0$) بوده و نشان‌دهنده تأثیر اقلیم هست؛ ولی اگر پروفیل رودخانه، بالاتر از پروفیل اولیه باشد، رودخانه دارای تقعر منفی ($SCI < 0$) بوده و حاکی از تکتونیک فعال است. به همین ترتیب اگر پروفیل واقعی و اولیه رودخانه روی هم منطبق شوند، نشان‌دهنده تقعر تقریباً صفر ($SCI \sim 0$) است [Demoulin, 1998; Zaprowski et al, 2005].

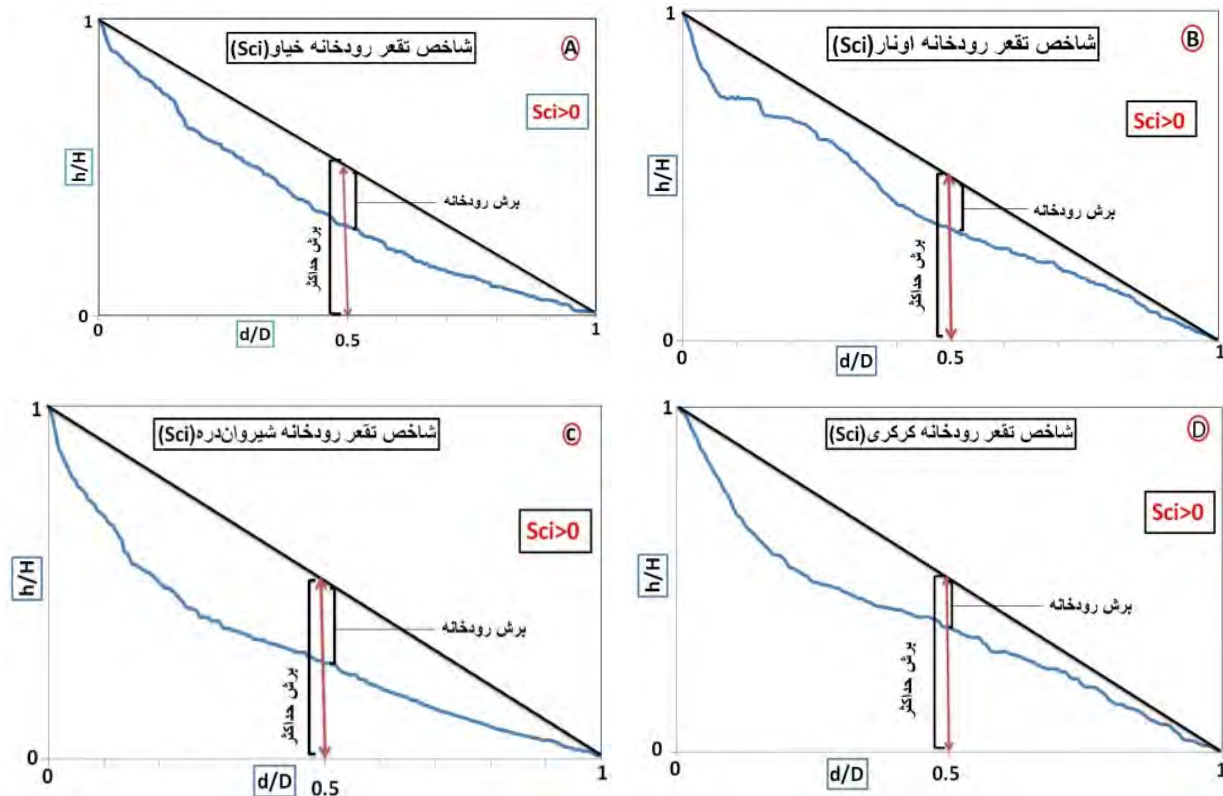
پروفیل طولی یک رودخانه در حال تعادل ایستا (شکل ۳-a) که نه عمل حفر و نه عمل انباشت انجام می‌دهد، در نمودار نیمه لگاریتمی به صورت یک خط راست است که به پروفیل هک معروف است (شکل ۳-b). به این صورت که اگر رودخانه از بین دستگاه‌های ساختاری فعال عبور کند (شکل ۳-c)، پروفیل هک آن به صورت

بحث

براساس مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، در دوره یخچالی (دوره مرطوب)، بارندگی به صورت مداوم وجود داشته و کف دره‌ها را به وسیله نهشته‌های یخچالی و روانه‌های گلی (لاهار) پر می‌کرده است. در دوره بین یخچالی (دوره نیمه‌خشک)، شرایطی مشابه امروز بر منطقه مستولی بوده [Rajabi & Khatibi, 2012] و رودخانه‌های سیلابی به حفر نهشته‌های سست و نرم پرداخته و تقعر رودخانه‌ها را افزایش داده‌اند (شکل ۵).



شکل ۴) وضعیت تکتونیک دو مخروط افکنه در مقایسه باهم، (A) تکتونیک فعال (B) تکتونیک غیرفعال [Keller & Pinter, 1996]



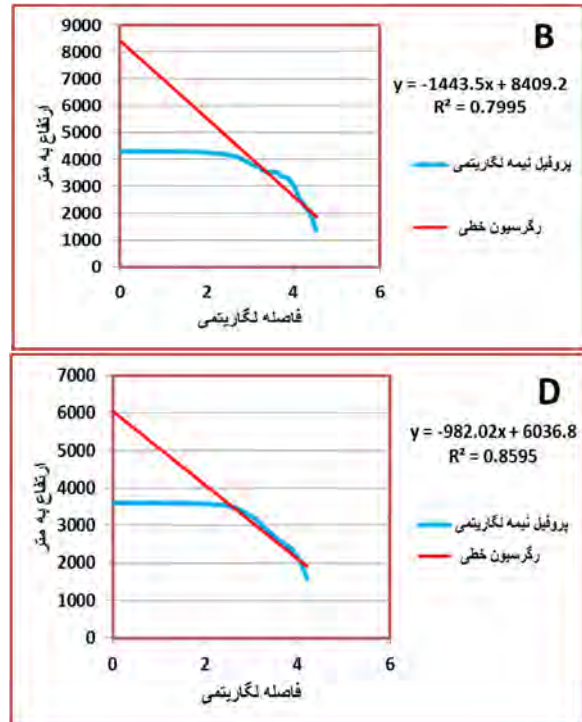
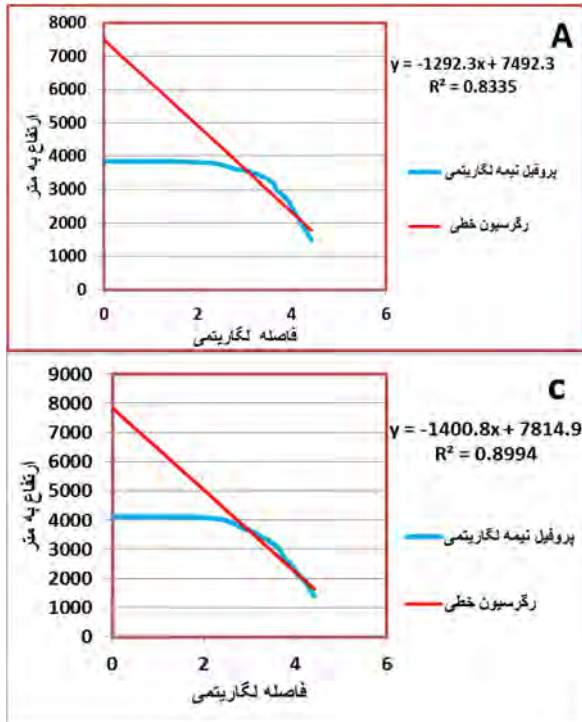
شکل ۵) شاخص تقعر رودخانه‌ها، (A) خیابا (B) اونار (C) شیروان دره (D) کرکری

نمودارهای ترسیمی (شکل ۶)، پروفیل طولی نیمه رودخانه‌های منطقه تفاوت فاحشی با این فرم، خصوصاً در بخش بالادست دارند. به این صورت که پروفیل نیمه لگاریتمی همه رودخانه‌ها در بالادست در پایین رگرسیون خطی و در پایین دست به غیر از رودخانه کرکری، تقریباً در بالای این خط قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین دلیل آن، می‌توان به حضور گسل کالدر ا اشاره کرد که به غیر از رودخانه کرکری، بقیه رودخانه‌ها را به صورت عرضی قطع می‌کند. در اثر عملکرد این گسل در دوره پلیستوسن، بالادست رودخانه‌ها پایین افتاده و پایین دست آنها بالا آمده است. در واقع این یک ناهموازی برجای مانده (متروک) است که رودخانه‌ها خود را با آن تطبیق داده‌اند، ولی هنوز به تعادل کامل نرسیده‌اند. تراس‌های بسیار مرتفع در دره رودخانه‌ها و سطح مخروط افکنه‌ها در همین بخش پایین دست قرار دارند. این شاخص نشان می‌دهد که رودخانه‌ها در مرحله گذرا هستند، یعنی از یک مرحله تکتونیک به یک مرحله غیر

تحلیل شاخص نمودار نیمه لگاریتمی رودخانه‌های منطقه، جهت ردیابی نقش عوامل اقلیمی و تکتونیک: تکامل لندفرم‌ها، نتیجه تعادل دینامیک بین بالآمدگی پوسته و فرسایش است. یکی از فرایندهای طبیعی تحول لندفرم، فرسایش رودخانه‌ای است [Bull, 2008; Burbank & Anderson, 2001]. مدل سیکل فرسایشی دیویس نشان می‌دهد که پروفیل طولی رودخانه‌ها در مرحله بلوغ، گرایش به حالت تعادل دارند. همچنین، مشاهدات و آنالیزهای تئوریک نشان می‌دهد که مدت زمان تحقق این عمل، حدود $(10^4 - 10^3)$ سال است [Chen et al, 2006]. با توجه به شکل ۳ و بر اساس روش چن و همکاران [Chen et al, 2006] به محاسبه و ترسیم شاخص نیمه لگاریتمی رودخانه‌های اصلی منطقه اقدام شد و نتایج حاصل از آن تجزیه و تحلیل گردید. همان طوری که در پیش گفته شد، پروفیل نیمه لگاریتمی رودخانه‌های در حال تعادل به صورت خط مستقیم است. این در حالی است که براساس

پایین‌دست) به عملکرد فرایند فرسایش یخچالی مربوط می‌شود. بر اساس مطالعات و مشاهدات میدانی از مورن‌ها، دره‌های یخچالی، سیرک‌ها، سنگ‌های صیقلی شده و سنگ‌های سرگردان و بررسی مدارک علمی موجود در این زمینه، حضور و حاکمیت متوالی دوره‌های یخچالی و بین یخچالی به اثبات رسیده است (شکل ۶- E) [Dallal oghli, 2003; khayyam, 1993; Rajabi & Khatibi, 2012]

تکتونیکی در حال حرکت هستند. در ضمن ضریب k که نشان‌دهنده قدرت جریان رودخانه‌هاست، در مورد رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه بسیار پایین است. این حالت می‌تواند ناشی از انباشت رسوب در بستر رودخانه‌ها باشد (شکل ۶- F). این شرایط با توجه به مطالعات میدانی و مشاهده مستقیم کاملاً مورد تأیید است. دلیل دیگر این نوع مورفولوژی رودخانه (تقعر در بالادست و تحدب در



شکل ۶) پروفیل نیمه‌لگاریتمی رودخانه‌های منطقه و شواهدی از دوره‌های یخچالی، (A) خیابو (B) اوتار (C) شیروان دره (D) کرکری (E) سنگ سرگردان (F) مورن‌ها (تیل‌ها)

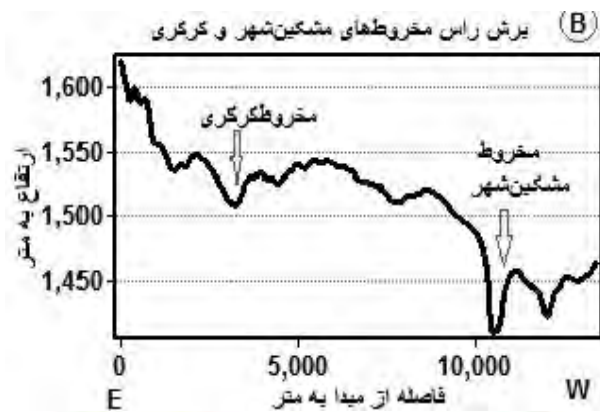
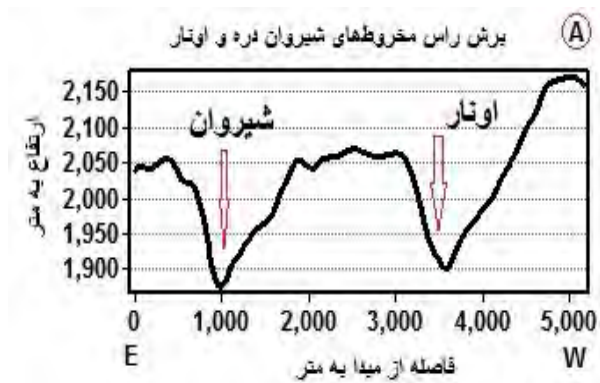
بررسی برش رأس مخروط‌افکنه‌های منطقه جهت ردیابی وضعیت تکتونیکی و شرایط اقلیمی: مخروط‌افکنه به‌عنوان یک پدیده مهم ژئومورفولوژیکی از اجزا و اندام‌های مهمی مانند رأس، کانال تغذیه‌کننده، برش رأس، نقطه تقاطع و بیشینه رسوبی فعال تشکیل شده است. از بین این اجزا، برش رأس مخروط‌افکنه جهت ردیابی وضعیت تکتونیکی و اقلیمی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. برش رودخانه در سطح مخروط‌افکنه، منجر به تشکیل پادگان‌های آبرفتی متعدد می‌گردد و این فرایند باعث می‌شود که لایه‌های درونی مخروط‌افکنه که در شرایط تکتونیکی و اقلیمی

متفاوت تشکیل شده در معرض دید قرار گیرد. در واقع برش رأس مخروط‌افکنه که در بعضی مواقع در سراسر آن کشیده می‌شود به‌عنوان یک آزمایشگاه و سایت ژئومورفولوژی عمل می‌کند و یک محقق را در درک آنچه در تشکیل و تحول مخروط‌افکنه مشارکت داشته یاری می‌رساند. دلایل بسیار زیاد و گاهی متضادی برای برش رأس مخروط‌افکنه مطرح شده است. بسیاری از زمین‌شناسان معتقدند که مواد موجود در رأس مخروط‌افکنه قبل از برش رأس مخروط‌افکنه نهشته‌گذاری شده است و نشان می‌دهد که تغییرات اساسی در رژیم اقلیمی و تکتونیکی اتفاق افتاده است. در بعضی

پیروکلاستیک ایجاد کرده، مانع حفر چاه در این مناطق شده است. این جریان نشانه آشکاری از فرایند تکتونیک-آتش‌فشان را نمایش می‌دهد که همزمان با فرونشست کالدرای سبلان در دوره پلیستوسن اتفاق افتاده است [Mousavi et al, 2011]. همان‌طوری که قبلاً ذکر شد، بنا به مطالعات میدانی و بررسی اسناد و نوشته‌های دیگران چنین استنباط می‌شود که کوهستان سبلان به دلیل برخورداری از ارتفاع زیاد (۴۸۱۱ متر) و نیز قرار گرفتن در عرض جغرافیایی بالا، تناوبی از دوره‌های یخچالی و بین یخچالی را تجربه کرده است. دوره‌های یخچالی این توده آتش‌فشانی، همزمان و همراه با فوران آتش‌فشانی آن در دوره پلیستوسن بوده است. این فرایند کاتاستروفیک با ایجاد جریان گلی یا لاهار (شکل ۷ - E و F). موجب پر شدن دره‌ها و شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها شده است. در این برهه زمانی مقدار رسوب بیشتر از مقدار آب بوده که نتیجه آن به نهشته شدن فراورده‌های آتش‌فشانی و یخچالی منجر شده است. درحالی‌که در دوره بین یخچالی، به واسطه کاهش رسوب و افزایش قدرت رودخانه‌ها، برش دره‌ها و رأس مخروط‌افکنه‌ها اتفاق افتاده است. براساس مطالعات کتابخانه‌ای، همه محققین در این مسیله که رسوب‌گذاری در دوره یخچالی و برش یا حفر در دوره بین یخچالی اتفاق افتاده است، متفق‌القول هستند که از جمله آنها می‌توان به خیام [Khayyam, 1993]، کومار و همکاران [Kumar et al, 2007]، کویتلی و همکاران [Quigley et al, 2007]، بلیر و مک‌فرسون [Blair & Mcpherson, 2009] و شریفی نجف‌آبادی [Sharifi Najaf Abadi, 2019] اشاره کرد.

بررسی نوع و اندازه دانه‌های آبرفتی و ضخامت آنها در بخش‌های مختلف مخروط‌افکنه‌ها: به لحاظ به هم‌پیوسته بودن مخروط‌افکنه‌ها و مشارکت فرایندهای مشابه در شکل‌گیری آنها، در این بخش به صورت یکپارچه، مورد مطالعه واقع می‌شوند. مهم‌ترین رخساره تشکیل‌دهنده مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی سبلان و حتی دامنه‌های شرقی و جنوبی آن، روانه‌های گلی یا لاهار هست که با قطعه‌سنگ‌های زاویه‌دار آتش‌فشانی در زمینه رسی و توفی مشخص می‌گردد. به عقیده دیدون و ژومن [Didon & Gemain, 1978]، این روانه‌ها در دوره‌های بارانی تشکیل شده‌اند [Dall Oghli, 2003]. ولی به نظر خیام [Khayyam, 1993] روانه‌های مذکور، حاصل آب ذوبان یخچال‌ها در مواقع فوران آتش‌فشان سبلان است. در هر صورت و به هر دلیلی که باشد، این پدیده مهم که به واسطه انرژی بسیار بالا به وقوع پیوسته، زمین‌چهره اصلی منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد و در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها نقش قاطع ایفا کرده است. توزیع فضایی وسیع این نهشته‌ها به عقیده خیلی از محققین ناشی از تغییرات اقلیمی است، زیرا اگر مربوط به فعالیت تکتونیک می‌شد، در بخش محدودی گسترش می‌یافت [Taghian, 2016; Motamed, 1994].

مورد، برش رأس مخروط‌افکنه آن قدر زیاد است که جاری شدن رودخانه در سطح مخروط‌افکنه را غیرممکن می‌سازد. چنین استنباط می‌شود که یک نوع آشفستگی در منبع رسوبی اتفاق افتاده و باعث شده تا سطح مخروط‌افکنه به مدت طولانی هیچ نوع رسوبی دریافت نکند. تغییرات اقلیمی و حرکات تکتونیک دو عامل مهم این آشفستگی محسوب می‌شوند [Hooke, 1965; Rustai et al, 2010]. محققان دیگر، برش رأس مخروط‌افکنه را به آرامش تکتونیک نسبت می‌دهند که به فرایندهای فرسایش، فرصت انجام چنین کاری را داده است [Bull, 2008; Pérez-Peña et al, 2010]. مشاهدات میدانی از سطوح و مقاطع مخروط‌افکنه‌ها و رسم پروفیل‌های مختلف عرضی از آنها، نشان می‌دهد که رأس همه مخروط‌افکنه‌ها (مشکین‌شهر، اونار، شیروان دره و کرکری) به شدت بریده‌شده و نقطه تقاطع به پایین‌دست منتقل شده است. برش رأس مخروط‌افکنه‌های اونار، شیروان دره، مشکین‌شهر و کرکری به ترتیب به حدود ۲۰۰، ۲۱۰، ۸۰ و ۲۰ متر می‌رسد (شکل ۷ - A و B). این برش در سراسر طول مخروط‌افکنه‌ها از رأس تا پای مخروط‌افکنه‌ها وجود دارد. کانال‌های عمیقی که به وسیله برش رودخانه در سطح مخروط‌افکنه‌ها ایجاد شده، رسوبات را از حوضه‌ها و نیز سطح مخروط‌افکنه‌ها به صورت دوباره‌کاری به قاعده و یا پای مخروط‌افکنه‌ها منتقل می‌کنند و در بخش پایین نقطه تقاطع، بیشینه رسوبی فعال یا مخروط‌افکنه‌های جدید را به وجود می‌آورند. برش رأس مخروط‌افکنه مشکین‌شهر به صورت خیلی عمیق در سراسر مخروط‌افکنه وجود دارد و به این طریق هیچ نوع رسوبی را از حوضه آبریز خود دریافت نمی‌کند. در صورتی‌که سایر مخروط‌افکنه‌ها مانند اونار، شیروان دره و کرکری در مواقع طغیانی رسوباتی را از کانال‌های برش یافته خود در بخش میانی مخروط‌افکنه‌ها دریافت می‌کنند. مطالعه مقاطع رسوبی (لایه‌نگاری) در محل برش مخروط‌افکنه‌ها و نیز لوگ‌های (نگاره‌های) زمین‌شناسی نشان می‌دهند که مخروط‌افکنه‌ها از تناوب و توالی نهشته‌های بسیار درشت‌دانه و بدون لایه‌بندی (قطعه‌سنگ‌ها و قلوه‌سنگ‌ها در زمینه گل) و بسیار ریزدانه و بدون لایه‌بندی (رس، سیلت، بقایای گیاهان و میان لایه‌هایی از ماسه) تشکیل شده است (شکل ۷ - C و D). به نظر خیلی از محققین از جمله مقصودی [Maghsoudi, 2008] نهشته‌های درشت‌دانه و بدون لایه‌بندی، نشان‌دهنده جریانی بانرژی بیشتر است که در شرایط آب و هوایی خشک دیده می‌شود و لایه‌های بسیار ریزدانه و بدون لایه‌بندی مشخص نشان از یک دوره آرامش و جریان صفحه‌ای بانرژی کم دارد. غیرازاین دولایه که به صورت چرخشی در دیواره دره‌های رودخانه‌ای موجود در سطح مخروط‌افکنه دیده می‌شوند، یک‌لایه پیروکلاستیک یا آذرآواری، لایه‌های مذکور را در مخروط‌افکنه‌های اونار و شیروان دره می‌پوشاند. این لایه در لوگ‌های زمین‌شناسی دیده نمی‌شود. به نظر می‌رسد که با توجه به توپوگرافی قابل‌ملاحظه که جریان



شکل ۷) برش رأس مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه و مقاطع رسوبی آن‌ها، (A) برش شیروان دره و اوتار (B) برش مشکین‌شهر و کرکری (C) دیواره دره اوتار (D) مخروط مشکین‌شهر (E) روانه‌های لاهار مخروط شیروان دره (F) روانه‌های لاهار دره خیابو

که از یک مرحله تکتونیک به یک مرحله غیرتکتونیک یا آرامش تکتونیک و از یک دوره یخچالی به یک دوره بین‌یخچالی مانند شرایط امروزی رسیده است.

تشکر و قدردانی: از متصدیان مجله وزین تحقیقات جغرافیایی به‌ویژه پروفیسور پاپلی یزدی به خاطر راهنمایی ارزنده و مساعدت لازم تشکر می‌گردد.

تأییدیه 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 (۴۰٪)؛ عقیل مددی (نویسنده دوم)، روش‌شناس/ پژوهشگر کمکی (۴۰٪)؛ موسی عابدینی (نویسنده سوم)، تحلیلگر آماری (۲۰٪)

منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- Blair TC, McPherson JG (2009). Processes and forms of alluvial fans. In: Parsons AJ, Abrahams AD, editors. *Geomorphology of desert environments*. Dordrecht: Springer. pp. 413-467.
- Bull WB (1972). Recognition of alluvial fan deposits in the stratigraphic record. Arizona: SEPM (Society for Sedimentary Geology).
- Bull WB (2008). Tectonic geomorphology of mountains: A new approach to Paleoseismology. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Bull WB (2011). Tectonically active landscapes. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Burbank DW, Anderson RS (2013). Tectonic geomorphology. *Environmental and Engineering Geoscience*. 19(2):198-200.
- Chen YC, Sung Q, Chen CN, Jean JS (2006). Variations in tectonic activities of the central and southwestern Foothills, Taiwan, inferred from river hack profiles. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*. 17(3):563.
- Demoulin A (1998). Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: The case of the Ardenne (Belgium, NW Europe). *Geomorphology*. 24(2-3):189-208.
- Harvey AM, Mather AE, Stokes M (2005). Alluvial fans: Geomorphology, sedimentology, dynamics introduction, a review of alluvial-fan research. *Geological Society*. 251(1):1-7.
- Hooke RL (1965). Alluvial fans. [Dissertation]. California: California Institute Technology.
- Kumar R, Suresh N, Sangode SJ, Kumaravel V (2007). Evolution of the quaternary alluvial fan system in the Himalayan foreland basin: Implications for tectonic and climatic decoupling. *Quaternary International*. 159(1):6-20.
- Pérez-Peña JV, Azor A, Azañón JM, Keller EA (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*. 119(1-2):74-87.
- Quigley MC, Sandiford M, Cupper ML (2007). Distinguishing tectonic from climatic controls on range-front sedimentation. *Basin Research*. 19(4):491-505.
- 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.

که در این منطقه، بالآمدگی تکتونیکی در طول نهشته‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها همچنان ادامه داشته است. خیام و مختاری [Khayyam & Mokhtari, 2004] نیز در مطالعات خود به همین نتیجه رسیده‌اند. همچنین با بررسی‌های انجام‌شده از مقاطع، می‌توان، ویژگی آبرفت‌های موجود در سطح مخروط‌افکنه را تجزیه و تحلیل نمود. در مقاطع بررسی‌شده، آبرفت‌هایی با ضخامت‌ها و دانه‌بندی متفاوت مشاهده گردید. این تفاوت، نشان از شرایط متفاوت محیط رسوب‌گذاری دارد. وجود دوره‌های خشک و دوره‌های بارانی، شرایط متفاوت رسوب‌گذاری را فراهم می‌کند [Maghsoudi, 2008].

پژوهش حاضر که در مورد نقش عوامل تکتونیکی و اقلیمی دوره کواترنری در تکوین و تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌های فرورفتگی مشکین‌شهر با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژی به انجام رسید، به نتایج قابل‌ملاحظه‌ای منجر شد که می‌توانند، زمینه‌های استفاده مفید از این مخروط‌افکنه‌ها را فراهم نمایند. اهم این نتایج عبارت‌اند: شاخص تقعر رودخانه نشان داد که رودخانه‌های منطقه به نسبت‌های متفاوت، دارای شاخص تقعر مثبت هستند ($Sci > 0$) که این مسیله نشان‌دهنده غلبه تأثیر عوامل اقلیمی بر فعالیت تکتونیکی است. شاخص نمودار نیمه لگاریتمی رودخانه که یکی از مهم‌ترین شاخص ژئومورفیک در نشان دادن فعالیت‌های تکتونیکی است، نشان داد که منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال است؛ زیرا پروفیل نیمه لگاریتمی رودخانه‌ها به صورت خط مستقیم نیست (عدم تعادل)، بلکه در بالادست دارای تقعر و در پایین‌دست داری تحدب است. شاخص برش رأس مخروط‌افکنه، بهترین گواه عدم فعالیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه است. در عوض نقش اقلیم با برش و حفر رأس مخروط‌افکنه‌های منطقه نمود پیدا می‌کند. در مناطق با تکتونیک فعال مخروط‌افکنه‌ها در نزدیکی جبهه کوهستان و به صورت واگرا یا گیسویی شکل می‌گیرند در صورتی‌که در منطقه مورد مطالعه به لحاظ آرامش تکتونیکی، جبهه کوهستان به صورت خلیجی درآمده و مخروط‌افکنه‌ها در داخل جبهه کوهستان پیشروی کرده‌اند. نهایتاً، لوگ‌های زمین‌شناسی و مطالعات میدانی، توالی لایه‌های رسوبی بسیار درشت (جریان پراثرژی) و بسیار ریز (جریان کمتر) را نمایش می‌دهد. این شرایط نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در طول دوره کواترنری تحت حاکمیت دوره‌های یخچالی (مرطوب و بارندگی مداوم) و دوره‌های بین یخچالی (خشک و طوفان تندری) قرار گرفته است. در دوره یخچالی رسوب‌گذاری و در دوره بین یخچالی برش مخروط‌افکنه‌ها صورت گرفته است. برداشت شن و ماسه جهت استفاده در کارهای عمرانی به لحاظ پایین بردن سطح اساس منطقه، تشدیدکننده عمل حفر مخروط‌افکنه‌ها است.

نتیجه‌گیری

چشم‌انداز سیلان به‌عنوان مهم‌ترین کنترل‌کننده مخروط‌افکنه‌های فرورفتگی مشکین‌شهر در یک مرحله گذار قرار دارد؛ به این معنی

- Jajrood fan). *Physical Geographic Research*. 40(65):73-92. [Persian]
- Motamed A (1994). *Geography quaternary*. 2nd Edition. Tehran: Samt. [Persian]
- Mousavi Z, Darvishzadeh A, Ghalamghas J, Abedini MV (2011). Discussion on stratigraphy questions at Sabalan volcano and Sabalan geothermal exploration project, Meshkinshahr, Iran. *GRC Transactions*. (35):931-934. [Persian]
- Rajabi M, Bayati Khatibi M (2012). *The geomorphology of northwest Iran*. 1st Edition. Tabriz: Tabriz University. [Persian]
- Rajabi M, Soleimani A (2013). Analysis and evaluation of the morphotectonic and neotectonic characteristics of the southern slopes of Sabalan mountains. *Geography and Planning*. 17(45):97-120. [Persian]
- Rustai S, Rajabi M, Zomorrodian, MJ, Moghami Moghim G (2009). The role of tectonic activities in the formation and development of alluvial fans in the southern slopes of Ala Dogh. *Geography and Development*. 7(13):137-156. [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]
- Sharifi Najafabadi R (2019). Glacial and tectonic evidence of late Quaternary in Cheshmeh - Langan basin of Isfahan. *Iranian Journal of Geographical Researches*. 33(2):223-237. [Persian]
- Taghian A (2016). Investigating the role of tectonic on the morphology, segmentation and evolution of Moghar fan (north of Ardestan). *Geographical Research*. 30(1):119-134. [Persian]
- Yamani M, Maghsoudi M (2003). The role of tectonics and climate change on the development of alluvial fans (case study, alluvial fans of Sirjan graben). *Desert*. 8(1):151-138. [Persian]
- Whittaker AC (2012). How do landscapes record tectonics and climate?. *Lithosphere*. 4(2):160-164.
- Zaprowski BJ, Pazzaglia FJ, Evenson EB (2005). Climatic influences on profile concavity and river incision. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 110(F3).
- Amini B (1994). Geological map of Meshkinshahr, Scale, 1: 100000, Sheet 5566. Geological Survey of Iran. [Persian]
- Babakhani A, Khanazareh N (1991). Geological map of Lahrood, Scale, 1: 100000, Sheet 5567. 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 accumulation plain of Meshkinshahr. *Geographical Researches*. 35(45):1-12. [Persian]
- Darvish Zade A (2007). *Volcanology*. 4th Edition. Tehran: Payam Noor University. [Persian]
- Goorabi A, Karimi M (2012). The effect of active tectonics and climate change on the development of Marvast alluvial fan, central Iran. *Applied Geosciences Research*. 12(27):7-30. [Persian]
- Kamali Z, Heyhat MR, Nazari H, Mehdi Khatib M (2018). Investigation of Drood fault (Southwestern Iran) based on geological and geomorphologic studies of alluvial fans. *Geography and Development*. 16(53):51-68. [Persian]
- Khayyam M (1993). An attempt on the constructional and volcanic morphology of the Azerbaijani plateau with emphasis on Sabalan volcanic mass. *Journal of Faculty of Literature and Humanities, Tabriz University*. 36(146-147):32-50. [Persian]
- Khayyam M, Mokhtari D (2003). Evaluation of the role of tectonic activities based on the alluvial fans morphology (case study: Alluvial fans of the northern Misho-Dagh's). *Geographical Research*. 35(1):1-10. [Persian]
- Maghsoudi M (2008). Investigating the factors affecting the development of the fans geomorphology (case study: