



Institute of Geography



Quantitative Comparison of Morphometric Indices and Alluvial Fan Toes in Arid Regions with Emphasis on Central Iran

Kaveh Ghahraman^a, Mohammad Ali Zanganeh Asadi^{b*}, Elahe Akbari^c

^a. Ph.D. Student in Geomorphology, Department of Physical Geography, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

^b. Associate Professor in Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

^c. Assistance Professor of Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Extended Abstract

Introduction

Alluvial fans are important geomorphic landforms due to their advantages and their hazards. Many researchers in different aspects have investigated alluvial fans. A sudden change in the topographic slope at the mountain front and a decrease in stream power are proposed as the main factors of alluvial fan formation. However, the relationship between alluvial fans and active depositional processes on the surface of alluvial fans, the relationship between the area and the slope of the alluvial fans with geomorphic and geologic characteristics of their basins and investigating the morphology of alluvial fans using quantitative characteristics have been widely studied by many researchers, few studies have focused on the topographic characteristics of alluvial fan toes. The slope is a useful morphometric indicator to distinguish alluvial fans from other depositional landforms distributed on the pediment. The aim of this study is to quantitatively investigate the morphometry and slope changes on the alluvial fan toes of an arid region in order to distinguish them from other depositional landforms on the pediments. Therefore, we analyzed the slope of 40 alluvial fans and their morphometric characteristics in central Iran.

Materials and methods

To investigate alluvial fans' morphometric characteristics, we first selected 40 alluvial fans in central Iran using satellite images. We chose a minimum length of 2000 meter for the alluvial fan selection. Next, six morphometric parameters including the overall slope of the alluvial fan (SO), mean slope of the area above the fan toe (SA), mean slope of the area below the fan toe (SB), the ratio of SA to SB (RS), the total length of the alluvial fan (L) and the sweep angle (AF) were measured. The slope of the alluvial fans was calculated using the study area SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Digital Elevation Model (DEM) with a 30-meter spatial resolution. The digital elevation model was converted to the UTM (Universal Transverse Mercator) coordinate system since we used the metric measurements in this study. The overall slope of the alluvial fans, alluvial fan length, and alluvial fan sweep angle were measured using

*. Corresponding author (ma.zanganehasadi@hsu.ac.ir)

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339882.1007683>

Received: 26 March 2022; Received in revised form: 30 May 2022; Accepted: 28 July 2022

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

the digital elevation model and QGIS software. To calculate the slope of the area above and the area below the alluvial fan toe line, we first created a buffer with 250 meters distance from the toe line. This distance was applied to avoid unwanted errors. Each buffer has 1000 meters distance. Generally, we used Google Earth pro, ArcMap, QGIS, and the digital elevation model of the study area to measure the morphometric characteristics of the fans and SPSS to apply the statistical calculations.

Result and discussion

To calculate the morphometric parameters and to analyze the slope changes of the alluvial fan toes, we first selected 40 alluvial fans in Central Iran. Afterward, the sweep angle, alluvial fan length, overall slope of the alluvial fan, the average slope of the area above the fan toe, and the average slope of the area below the fan toe were calculated. According to Table 1, the most considerable sweep angle equals 156.12 degrees on the alluvial fan number 31. The smallest sweep angle belongs to the alluvial fan number 1 with the value of 14.7 degrees. Among the studied alluvial fans, the alluvial fan No. 17 has the shortest length (2076.679 m), and the alluvial fan No. 26, with a length of 44569.45 m, is the most elongated alluvial fan. In terms of overall slope, fan No. 17 has the highest value in slope (3.38 degrees), and the alluvial fan No. 16 has the lowest (1.64 degrees). Most of the studied alluvial fan have a slope of 2 to 2.5 degrees in terms of the slope of the area above and below the fan toe. The mean overall slope for the studied fans is 2.27 degrees. In terms of the RS factor, most of the fans are distributed in the range of 1 to 1.5. Generally, the slope decreases from the apex to the toe in an alluvial fan. The most important factors for the slope changes on the surface of the alluvial fans include flow velocity reduction, reducing the flow power, and reducing the channel width to depth ratio. Tectonic activity is also one of the essential factors in determining and changing the slope of alluvial fans. Sometimes due to severe tectonic uplift, new sediments deposit on the young and elevated surfaces of the alluvial fan, leading to steep slopes on the surface of the alluvial fan. Based on the results, with increasing the alluvial fan length, the slope of the area above the fan toe decreases. The same correlation can be seen between the length of the fan and the overall slope. The negative correlation between alluvial fan overall slope and alluvial fan length in this study is consistent with the results of other studies.

Conclusion

In an alluvial fan system, the apex of the fan is the steepest part, and the slope decreases to the fan toe. Different factors such as tectonics, stream discharge, sediment materials, etc., affect the slope of the alluvial fan. This study showed that most of the studied alluvial fans have straight profiles. The alluvial fan's straight profile indicates that the materials from the catchments area have been transported during the catastrophic flooding events and preserved on the alluvial fan surface for an extended period. The similarity between the fan's overall slope and the slope of the area above the fan toe is a sign of inactivity of erosional processes. When SA is smaller than SO, the alluvial fan will have a concave profile. The results of this study are also consistent with other studies showing that the arid region alluvial fans have a greater slope than humid regions fans. The RS values in the studied alluvial fans reflect the effect of fluvial processes on the slope changes on fan toes. It also shows that erosional processes have been inactive for a long time in the studied fans.

Keywords: Alluvial fan, Arid regions, Morphometric Parameters, Central Iran.

مقایسه کمی شاخص‌های مورفومتریکی و تغییرات شیب قاعده مخروط‌افکنه‌های مناطق خشک با تأکید بر ایران مرکزی

کاوه قهرمان - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اتوش لورند، بوداپست، مجارستان
محمدعلی زنگنه اسدی^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
الهه اکبری - استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

مخروط‌افکنه‌ها به دلایل مختلف از جمله خاک حاصلخیز، منابع آب زیرزمینی، توپوگرافی ملایم و از طرفی مخاطرات طبیعی متعدد مانند فرونشست، زمین‌لرزه و سیلاب، همواره مورد توجه انسان‌ها بوده‌اند. بنابراین درک صحیح و دقیق این لندفرم از جنبه‌های گوناگون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق ویژگی‌های کمی مورفومتریکی و تغییرات شیب قاعده ۴۰ مخروط‌افکنه در ایران مرکزی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. بر این اساس ابتدا مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی توسط تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شده و محدوده هر کدام از آنها تعیین گردید. در این مطالعه مخروط‌افکنه‌های با طول حداقل ۲ کیلومتر انتخاب شدند. در مراحل بعدی، شیب کلی مخروط‌افکنه (SO)، شیب بخش بالایی قاعده (SA)، شیب بخش پایینی قاعده (SB)، نسبت شیب بخش بالایی به بخش پایینی (RS)، زاویه جاروب (AF) و طول مخروط‌افکنه (L) برای تمامی مخروط‌ها محاسبه گردید. تفاوت در شاخص‌های محاسبه شده علاوه بر مشخص کردن شرایط اقلیمی و فرآیندهای رسوبی مسلط بر مخروط‌افکنه، عاملی برای تشخیص مخروط‌افکنه‌ها از سایر عوارض تراکمی پدیمت محسوب می‌شود. نتایج نشان داد که نیم‌رخ طولی اکثر مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه با توجه به ویژگی‌های شیب، صاف است. شباهت شاخص SA و SO نشان‌دهنده حفظ شیب مخروط‌افکنه‌ها در شرایط اقلیمی خشک و عدم وقوع فرآیندهای فرسایشی است. مقادیر شاخص RS نشان داد که تفاوت چندانی در شیب بخش بالایی و پایینی قاعده مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه وجود ندارد. این موضوع نیز حاکی از عدم وجود فعالیت‌های فرسایشی قابل توجه در قاعده مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه است. همچنین نتایج نشان داد که در مخروط‌افکنه‌هایی که طول آنها زیاد و زاویه جاروب آنها کوچک است، فرآیندهای رودخانه‌ای تسلط دارند.

واژگان کلیدی: مخروط‌افکنه، مناطق خشک، مورفومتری، ایران مرکزی.

مقدمه

از میان لندفرم‌های دوره کواترنری، مخروط‌افکنه‌ها همواره به عنوان یکی از مهمترین عوارض ژئومورفولوژیک سطح زمین مورد توجه محققان بوده‌اند و از جنبه‌های مختلف همچون مخاطرات طبیعی، مباحث مهندسی، ژئومورفولوژی و غیره مورد بررسی قرار گرفته‌اند (گورابی و کریمی، ۱۳۹۱: ۸۹). دانشمندان عامل اصلی ایجاد مخروط‌افکنه‌ها را تغییر ناگهانی شیب توپوگرافیک در محل جبهه کوهستان و به دنبال آن کاهش قدرت جریان رودخانه بیان می‌کنند (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۰۰). با وجود اینکه رابطه مخروط‌افکنه‌ها با فرآیندهای تراکمی فعال در سطح مخروط‌افکنه (هاروی، ۱۹۹۲: ۱۲۵؛ سایتو و اوگوچی، ۲۰۰۵: ۱۴۷)، رابطه مساحت و شیب مخروط‌افکنه‌ها با ویژگی‌های ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی حوضه‌آبریز آنها (دی چنت و همکاران، ۱۹۹۹: ۶۴۱؛ جمال آبادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۵) و همچنین مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از ویژگی‌های کمی (کروستا و فراتینی، ۲۰۰۴: ۲۶۷؛ شایان، ۱۳۸۲: ۹۹) به شکل گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته، مطالعات چندانی در رابطه با تعیین ویژگی‌های توپوگرافیک قاعده مخروط‌افکنه‌ها صورت نپذیرفته است. همین موضوع باعث شده که ابهامات ژئومورفولوژیکی همچون چگونگی تشخیص مخروط‌افکنه‌ها از تالوس‌ها، دشت سیلابی و سایر عوارض تراکمی پدیدمت، بدون پاسخ باقی بماند. علاوه بر این بررسی کمی مخروط‌افکنه‌ها با روش‌های معمول، مشکل، زمانبر و نیازمند تجهیزات مختلف است. یکی از شاخص‌های مورفومتریکی که می‌توان توسط آن مخروط‌افکنه‌ها را از سایر عوارض تراکمی بازشناخت، شیب است (هاشیموتو و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۰). مخروط‌افکنه‌ها را بر اساس شیب توپوگرافیک می‌توان به سه بخش فوقانی با شیب زیاد، بخش میانی با شیب متوسط و بخش انتهایی یا قاعده مخروط‌افکنه با شیب کم تقسیم کرد (صدوق و همکاران، ۱۳۹۷: ۲). به طور کلی شیب مخروط‌افکنه‌ها بین ۱ تا ۶ درجه و در مواردی که شعاع مخروط‌افکنه کوچک باشد، بین ۱ تا ۱۲ درجه متغیر است (سایتو و اوگوچی، ۲۰۰۵: ۱۵۰؛ استین‌استریت و مک‌کارتی، ۱۹۹۳: ۱۱۸). گرچه عوامل مختلفی از جمله تکتونیک، تأمین رسوب توسط حوضه‌آبریز، و فراهمی فضای تجمع نیز در تعیین شیب بخش‌های مختلف مخروط‌افکنه مؤثر هستند، با این حال دبی به عنوان اولین عامل تعیین کننده شیب مخروط‌افکنه شناخته می‌شود (بومن، ۲۰۱۹: ۲۷).

از جمله مطالعات صورت گرفته در ارتباط با مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها در ایران می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. خیام و مختاری کشکی (۱۳۸۲) عملکرد فعالیت‌های تکتونیک براساس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مورفولوژی مخروط‌افکنه شاخص مناسبی برای ارزیابی فعالیت تکتونیک در مناطق مختلف است. رامشت و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی تأثیر تکتونیک جنبا بر مورفولوژی مخروط‌افکنه درختگان در منطقه شهداد را بررسی کردند. براساس یافته‌های این تحقیق، وجود تراس، بالآمدگی رسوب نئوژن و گسل‌های متعدد از شواهد فعالیت و تأثیر تکتونیک بر مخروط‌افکنه به شمار می‌روند. گورابی و یمانی (۱۳۹۱) روابط کمی ویژگی‌های مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی و مخروط‌افکنه‌های آنها در ایران مرکزی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ۲۱ عامل مورفولوژیک و ۳۰ حوضه و مخروط‌افکنه در ایران مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که الگوی کلی همبستگی بین پارامترهای محاسبه شده در ایران مرکزی با الگوی نواحی دیگر یکسان است. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط‌افکنه‌های شمال دامغان را مورد ارزیابی قرار دادند. محققان در این تحقیق ۱۶ مخروط‌افکنه در قسمت شمالی دامغان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که فعالیت گسل در منطقه مورد مطالعه منجر به جابه‌جایی شبکه اصلی در رأس مخروط‌افکنه، تغییر موقعیت رسوبگذاری در مخروط‌افکنه، ایجاد سطوح مختلف بالا آمده، متروک ماندن سطح مخروط‌افکنه‌ها، جابه‌جایی نقطه تقطیع، بالآمدگی رسوب مخروط‌افکنه‌ای و جابه‌جایی افقی شبکه زهکشی در سطح مخروط‌افکنه شده است. به‌طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از همبستگی برخی روابط مورفومتریکی مخروط‌افکنه‌ها می‌باشد.

محققان غیر ایرانی فراوانی نیز اقدام به بررسی مخروط‌افکنه‌ها نموده‌اند. هاروی (۱۹۸۷) در مطالعه‌ای رابطه مورفولوژی و رسوبگذاری در سطح مخروط‌افکنه را مورد بررسی قرار داد. وی در این تحقیق مدلی برای مورفولوژی و رسوبگذاری مخروط‌افکنه‌های مناطق خشک ارائه داد. نتایج نشان داد که حفر در محل نقطه انقطاع، در مخروط‌افکنه‌های پرشیب رایج‌تر است. وی دلیل این موضوع را اختلاف زیاد بین شیب مخروط‌افکنه و شیب کانال در این مخروط‌افکنه‌ها بیان کرد. میلانا و روزیچکی (۱۹۹۹) در یک تحقیق در آرژانتین، نقش شیب مخروط‌افکنه‌ها به عنوان عاملی برای حمل رسوب را در مورد ۳۷ مخروط‌افکنه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شیب تنها عامل کنترل‌کننده انتقال رسوب در سطح مخروط‌افکنه نیست بلکه سرعت به تعادل رسیدن شیب مخروط‌افکنه بعد از اعمال تغییرات بیرونی نیز در ضریب انتقال رسوب به سطح مخروط‌افکنه مؤثر است. سایتو و اوگوچی (۲۰۰۵) شیب و سایر عناصر مورفومتریکی مخروط‌افکنه مانند مساحت و نرخ ناهمواری حوضه آبریز را برای ۶۹۰ مخروط‌افکنه مورد بررسی قرار دادند. نتیجه این تحقیق نشان داد که برخلاف نظریات قبلی که شیب مخروط‌افکنه را محدود به حداکثر ۱/۵ درجه می‌دانستند، اشکال مخروطی یا شبه مخروطی که داری شیب بیشتر از ۱/۵ درجه هستند نیز باید به عنوان مخروط‌افکنه شناخته شوند. تغییر ناگهانی شیب جریان بعد از عبور از قاعده مخروط‌افکنه یکی از موضوعاتی است که به ندرت مورد بحث قرار گرفته است. با بررسی تغییرات شیب در قاعده مخروط‌افکنه‌ها می‌توان شواهد مورفومتریکی برای تشخیص مخروط‌افکنه‌ها از سایر عوارض مجاور آنها، سرگذشت ژئومورفیک و فرآیندهای فعال در سطح مخروط‌افکنه را شناسایی کرد. هدف از انجام این تحقیق شکل‌سنجی و بررسی تغییرات شیب اجزای قاعده مخروط‌افکنه‌ها به منظور تشخیص آنها از سایر عوارض تراکمی پدیمت است. همچنین کمی‌سازی ویژگی‌های مورفومتریکی و شیب قاعده مخروط‌افکنه‌ها و مقایسه روابط بین پارامترهای مورفومتریکی قاعده مخروط‌افکنه که روشن‌کننده نحوه عملکرد فرآیندهای فرسایشی و تراکمی در سطح مخروط‌افکنه است، از دیگر اهدافی است که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. بر همین اساس ۴۰ مخروط‌افکنه در ایران مرکزی با حداقل طول ۲۰۰۰ متر، به منظور مقایسه کمی شاخص‌های مورفومتریکی و تغییرات شیب قاعده مخروط‌افکنه‌ها مورد بررسی گرفت.

روش پژوهش

در این پژوهش با هدف بررسی مورفومتری و شیب قاعده مخروط‌افکنه‌ها، ابتدا ۴۰ مخروط‌افکنه در محدوده ایران مرکزی با طول حداقل ۲۰۰۰ متر انتخاب شد. دلیل انتخاب بر اساس طول ۲۰۰۰ متری این بوده است که با توجه به اندازه مخروط‌افکنه، پارامترهای مورفومتریکی با دقت مناسبی قابل استخراج باشند. انتخاب و تعیین حدود مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفت. در مرحله بعد، شاخص‌های مورفومتریکی شامل شیب کلی مخروط‌افکنه (SO)، طول مخروط‌افکنه (L)، زاویه جاروب (AF)، میانگین شیب قسمت بالایی قاعده (SA)، میانگین شیب قسمت پایینی قاعده (SB) و نسبت میانگین شیب قسمت بالایی و پایینی (RS) محاسبه گردید. میانگین شیب قسمت بالایی قاعده عبارت است از میانگین شیب بخش حائل در محدوده بالایی قاعده که در داخل محدوده مخروط‌افکنه قرار گرفته و بنابراین بخشی از مخروط‌افکنه محسوب می‌شود. این در حالی است که میانگین شیب قسمت پایینی قاعده، نشان‌دهنده میانگین شیب محدوده حائل در بخش پایینی خط قاعده و بیرون از مرز

- 1 Overall slope
- 2 Alluvial fan length
- 3 Alluvial fan Apex Angle
- 4 Mean slope of the buffer above the fan toe
- 5 Mean slope of the buffer below the fan toe
- 6 The ratio of SA and SB

مخروط‌افکنه است. مقادیر عددی شاخص‌های مذکور در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور محاسبه شیب، از مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. لایه رستری شیب، بعد از تغییر سیستم مختصات مدل رقومی ارتفاعی از سیستم مختصات جغرافیایی به مرکاتور معکوس جهانی (UTM)، در محیط نرم‌افزار ARCMAP ایجاد شد. تغییر مختصات به دلیل استفاده از واحدهای اندازه‌گیری متریک در این تحقیق صورت پذیرفت. در شکل ۲ اشکال الف ویژگی‌های ارتفاعی و شکل ۲ اشکال ب نقشه شیب مخروط‌افکنه شماره پانزده به عنوان نمونه ارائه شده است. پارامترهای شیب کلی، میانگین شیب قسمت بالایی و پایینی قاعده مخروط‌افکنه، طول مخروط‌افکنه و زاویه جاروب در محیط نرم‌افزار QGIS محاسبه شدند.

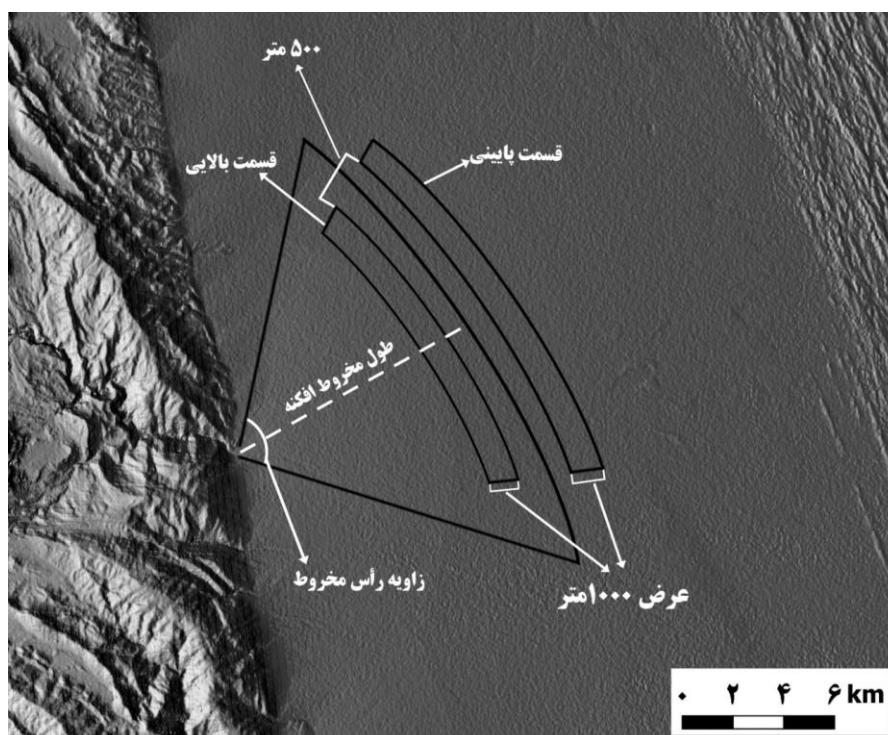
جدول شماره ۱. مقادیر پارامترهای مورفومتریک محاسبه شده

شماره مخروط‌افکنه	زاویه جاروب (درجه)	طول مخروط (متر)	میانگین شیب قسمت پایینی قاعده (درجه)	میانگین شیب قسمت بالایی قاعده (درجه)	نسبت میانگین شیب قسمت بالایی و پایینی	شیب کلی مخروط (درجه)
۱	۱۴/۷	۵۰۳۰/۵۳۷	۱/۸۸	۲/۵۹	۱/۳۸	۲/۳۵
۲	۱۱۲/۷۷	۳۴۲۵/۴۷۳	۱/۶۲	۲/۲۲	۱/۳۷	۲/۲۶
۳	۹۵/۴۷	۳۴۸۷/۸۹۳	۱/۷۲	۲/۴۰	۱/۴۰	۲/۴۹
۴	۲۹/۷۴	۵۱۰۸/۶۴۸	۲/۰۰	۲/۳۷	۱/۱۸	۲/۵۲
۵	۶۸/۰۳	۴۱۲۴/۷۴۲	۲/۵۴	۲/۴۶	-/۹۷	۲/۴۹
۶	۷۹/۴۲	۳۹۰۷/۷۶۷	۱/۷۵	۳/۱۸	۱/۸۲	۲/۶۶
۷	۸۹/۸۵	۳۳۵۳/۶۹۷	۱/۵۶	۲/۶۶	۱/۷۱	۲/۵۸
۸	۶۷/۳۵	۸۱۰۹/۹۹۶	۱/۵۵	۲/۲۹	۱/۴۸	۲/۲۵
۹	۳۳/۵۶	۷۵۵۲/۹۷۲	۱/۲۵	۲/۲۶	۱/۸۱	۲/۱۵
۱۰	۶۳/۵۱	۱۰۶۶۸/۹۰۷	۱/۸۴	۲/۱۴	۱/۱۷	۱/۹۳
۱۱	۴۵/۸۴	۱۳۶۱۶/۳۳۴	۱/۵۶	۱/۸۰	۱/۱۶	۱/۸۵
۱۲	۴۹/۱۸	۱۹۰۵۲/۹۷۴	۱/۵۴	۲/۰۳	۱/۳۱	۱/۸۶
۱۳	۵۶/۲۳	۲۳۴۰۸/۲۲۷	۲/۰۱	۱/۸۶	-/۹۳	۲/۰۶
۱۴	۸۸/۱۴	۲۹۹۷۱/۵۸۹	۳/۱۱	۲/۷۵	-/۸۸	۱/۹۶
۱۵	۷۲/۸۱	۲۱۱۰۱/۲۹۲	۲/۳۱	۲/۰۷	-/۹۰	۲/۰۸
۱۶	۸۴/۱	۱۱۰۶۴/۹	۱/۵۲	۱/۷۷	۱/۱۶	۱/۶۴
۱۷	۷۲/۲۴	۲۰۷۶/۶۷۹	۱/۵۲	۳/۵۶	۱/۹۵	۳/۳۸
۱۸	۴۱/۰۲	۱۲۶۴۶/۸۷۲	۱/۴۳	۱/۷۷	۱/۲۴	۱/۸۲
۱۹	۸۶/۹۷	۱۸۶۷۵/۴۵۵	۱/۴۳	۲/۰۶	۱/۴۴	۱/۹۳
۲۰	۷۲/۹۹	۶۵۷۸/۰۵۷	۲/۰۰	۲/۴۴	۱/۲۲	۲/۰۱
۲۱	۴۸/۸۹	۴۷۹۲/۳۱۳	۳/۴۲	۲/۰۶	-/۶۰	۲/۲۹
۲۲	۱۱۸/۹۵	۱۴۱۴۱/۸۵۴	۲/۲۶	۲/۰۶	-/۹۱	۲/۴۷
۲۳	۱۳۶/۴	۱۵۵۸۵/۳۵۴	۲/۲۶	۲/۱۰	-/۹۳	۲/۰۲
۲۴	۸۷/۲۱	۱۳۳۷۷/۹۴۱	۱/۷۹	۱/۷۴	-/۹۷	۱/۷۰
۲۵	۷۶/۷۹	۱۱۹۵۶/۳۴۷	۴/۲۸	۳/۱۲	-/۷۳	۲/۶۰
۲۶	۸۶/۸	۴۴۵۶۹/۴۴۹	۲/۹۹	۲/۳۶	-/۷۹	۲/۱۲
۲۷	۶۹/۳۲	۱۷۱۶۹/۰۷۳	۳/۲۸	۲/۲۹	-/۷۰	۲/۴۲
۲۸	۴۷/۶۵	۱۱۹۳۸/۲۴۷	۲/۴۷	۱/۹۰	-/۷۷	۲/۰۰
۲۹	۴۷/۵۱	۱۴۵۳۹/۲۸۵	۲/۵۴	۲/۲۹	-/۹۰	۲/۱۳
۳۰	۸۶/۳۲	۱۵۳۲۳/۱۴۷	۲/۱۰	۲/۱۵	۱/۰۳	۲/۳۷
۳۱	۱۵۶/۱۲	۱۰۴۱۵/۲۲۹	۱/۱۶	۱/۶۹	۱/۴۵	۱/۸۲
۳۲	۶۰/۷۹	۲۸۲۳/۶۷۲	۲/۰۸	۲/۵۸	۱/۲۴	۲/۵۵

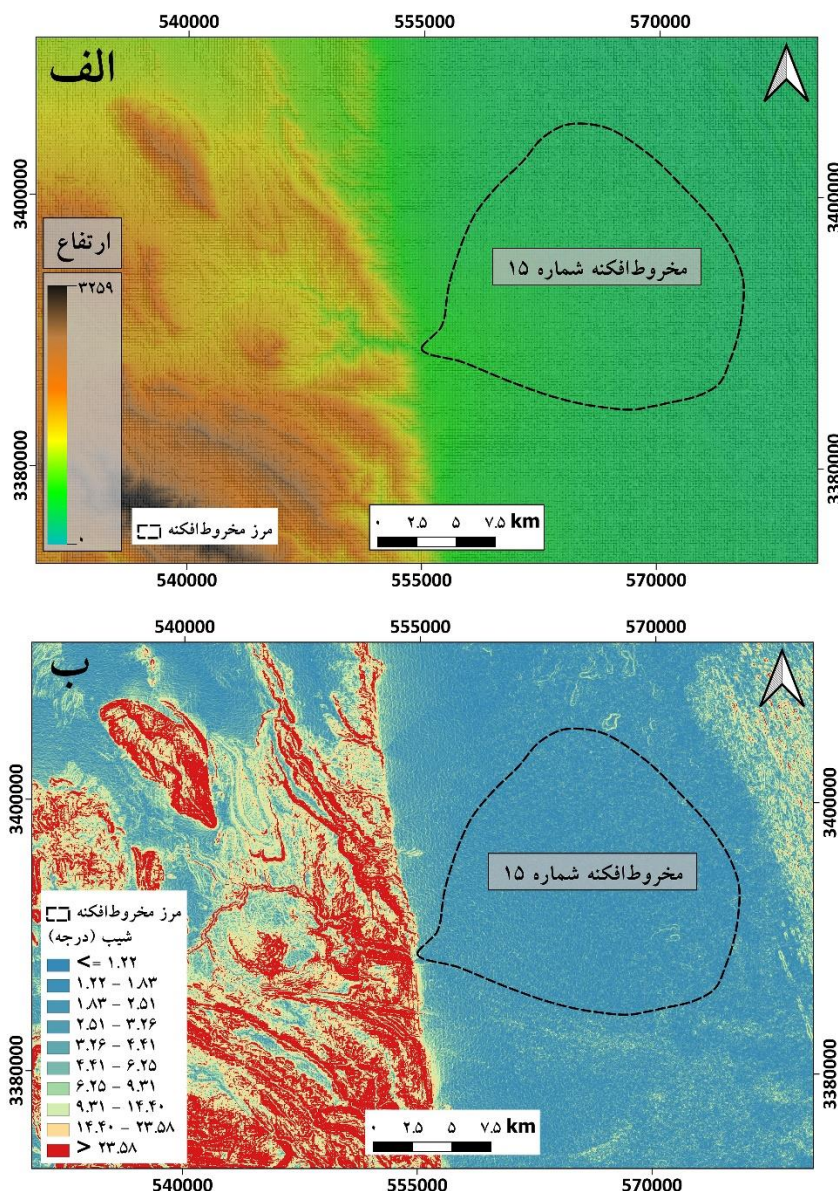
۲/۹۶	۱/۷۷	۳/۱۱	۱/۷۶	۳۱۶۰/۴۲۳	۳۷/۵۵	۳۳
۲/۴۹	۰/۸۸	۲/۶۶	۳/۰۲	۶۶۱۹/۶۷	۷۳/۳۴	۳۴
۲/۶۶	۱/۱۶	۲/۷۵	۲/۳۶	۷۹۶۱/۸۷۵	۳۴/۱۹	۳۵
۲/۰۱	۰/۳۷	۱/۸۶	۴/۹۸	۵۴۷۸/۳۹۷	۷۸/۶	۳۶
۲/۰۴	۱/۰۷	۲/۰۳	۱/۹۰	۳۳۴۷/۴۲۴	۶۹/۲۲	۳۷
۲/۶۸	۲/۰۸	۲/۴۰	۱/۱۶	۴۱۴۷/۱۹۸	۶۹/۷	۳۸
۳/۱۵	۱/۹۷	۲/۹۰	۱/۴۷	۳۰۸۸/۰۳	۸۲/۵۲	۳۹
۲/۰۱	۰/۹۲	۲/۰۶	۲/۲۳	۹۹۱۸/۴۸۹	۷۱/۳۴	۴۰

قسمت بالایی و پایینی قاعده مخروط‌افکنه توسط یک محدوده حائل (بافر) تعیین شد. همانطور که در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است، اندازه بافر ۱۰۰۰ متر و فاصله آن از خط قاعده و مرز جانبی مخروط‌افکنه ۲۵۰ متر تعیین شد. این فاصله به منظور کاهش خطای احتمالی در تعیین مرز مخروط‌افکنه اعمال گردید. بررسی تغییرات شیب قاعده مخروط‌افکنه با استفاده از نیمرخ طولی رودخانه اصلی، توسط برخی محققین پیشنهاد شده است (أحمري، ۱۹۹۱: ۹۸). با این حال به دلیل اینکه محل رودخانه در سطح مخروط‌افکنه معمولاً به طرفین تغییر مسیر پیدا می‌کند، نمی‌توان از نیمرخ طولی به عنوان شاخصی مناسب برای بررسی تغییرات شیب قاعده مخروط‌افکنه استفاده کرد. به‌علاوه، مخروط‌افکنه‌ها همیشه دارای اشکال هندسی منظم نیستند. بنابراین شیب خطی که از بخش محدودی از قاعده عبور می‌کند را نمی‌توان به سایر قسمت‌های آن تعمیم داد. پس از تعیین بافر برای تمامی مخروط‌افکنه‌ها، میانگین شیب هر بافر با استفاده از لایه رستری شیب و نرم‌افزار QGIS محاسبه گردید.

به طور کلی در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، نرم افزارهای گوگل ارث، ARCMAP و QGIS استفاده شده است. همچنین از نرم افزار SPSS به منظور بررسی رابطه آماری بین پارامترهای مختلف استفاده شده است.



شکل شماره ۱. نمای شماتیک از نحوه اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتریکی مخروط‌افکنه



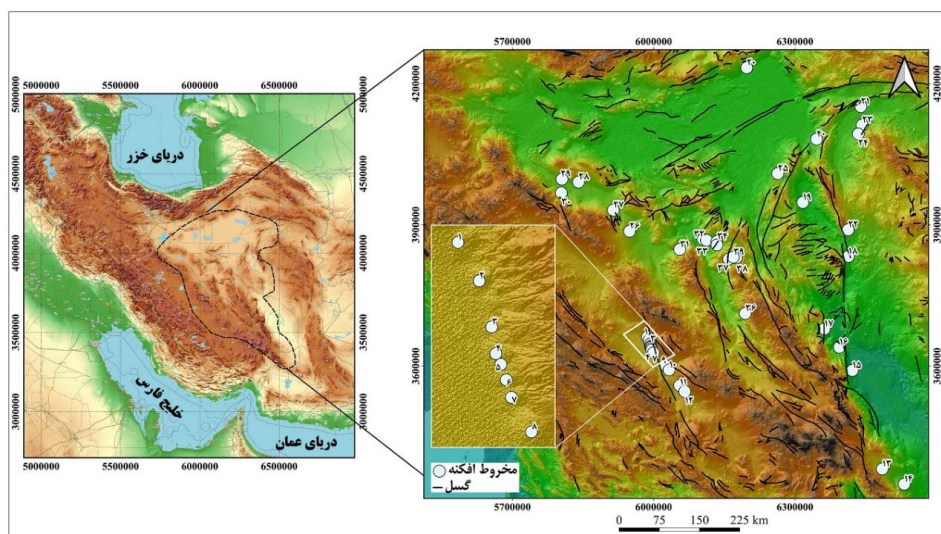
شکل شماره ۲. نمونه‌ای از نقشه ارتفاع (الف) و نقشه شیب (ب) در مخروط افکنه‌های مورد مطالعه (مخروط افکنه شماره ۱۵)

محدوده مورد مطالعه

مخروط افکنه‌های مورد مطالعه در این تحقیق در محدوده مثلثی شکل داخل فلات ایران، موسوم به ایران مرکزی قرار گرفته‌اند. واحد ایران مرکزی، به دلیل وسعت زیاد و تفاوت‌های ساختاری، به واحدهای کوچکتر ژئومورفولوژیکی تقسیم شده است (جمال‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۰؛ علائی طالقانی، ۱۳۹۶: ۲۲۱). در محدوده مرزهای سیاسی ایران، مخروط افکنه‌های ایران مرکزی به دلیل تشکیل و تکامل در شرایط مساعد، از نمونه‌های شاخص در بررسی مخروط افکنه‌ها به شمار می‌روند. از نظر زمین‌شناسی، زون ایران مرکزی یکی از بزرگترین و پیچیده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران بشمار می‌رود. عملکرد گسل‌ها باعث شده تا ایران مرکزی به صورت قطعاتی جدا، همراه با ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوت باشد. گسل‌های نایبند، درونه، پشت بادام، نایبندی، ترود، کلمرد و دهشیر از جمله مهمترین گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه به شمار می‌روند. در مجموع کلیه تحولات توپوگرافیک، زمین‌شناسی، کانساری و زمین‌لرزه‌ای ایران مرکزی با حرکات گسلی در ارتباط بوده و ساختمان شکسته بر چین‌خورده و آتشفشانی غلبه دارد

(علائی طالقانی، ۱۳۹۶: ۲۲۱). نهشته‌های کواترنری مواد تشکیل‌دهنده مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه هستند. از نظر اقلیمی، براساس طبقه بندی اقلیمی کوپن، محدوده مورد مطالعه در کلاس‌های BSK و BWK قرار می‌گیرد که حاکی از اقلیمی بیابانی و نیمه خشک است.

به طور کلی ۴۰ مخروط‌افکنه مورد بررسی، در استان‌های کرمان، یزد، اصفهان، سمنان، خراسان رضوی و خراسان جنوبی پراکنده هستند. براساس مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه، بیشینه ارتفاع در کل محدوده برابر با ۵۵۹۹ متر و کمینه ارتفاع ۱۰۱ متر می‌باشد. شمالی‌ترین مخروط‌افکنه در استان سمنان و جنوبی‌ترین مخروط‌افکنه در استان کرمان واقع شده است. همچنین غربی‌ترین و شرقی‌ترین مخروط‌افکنه‌ها به ترتیب در استان‌های اصفهان و کرمان قرار گرفته‌اند. شکل ۳ پراکندگی و موقعیت مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل شماره ۳. نقشه پراکندگی و موقعیت مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه

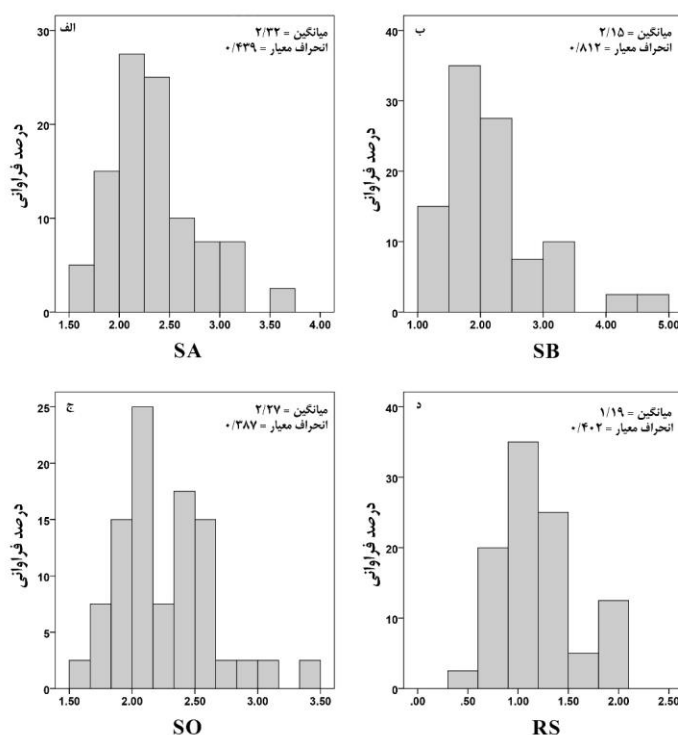
بحث و یافته‌ها

برای محاسبه ویژگی‌های مورفومتریکی و بررسی تغییرات شیب قاعده مخروط‌افکنه‌ها، ابتدا ۴۰ مخروط‌افکنه در ایران مرکزی انتخاب شد و سپس زاویه جاروب، طول مخروط‌افکنه، شیب کلی مخروط‌افکنه، میانگین شیب قسمت بالایی قاعده، میانگین شیب قسمت پایینی قاعده و نسبت میانگین شیب قسمت بالایی قاعده به قسمت پایینی قاعده مخروط‌افکنه محاسبه شد. بر اساس نتایج جدول ۱، بزرگترین زاویه جاروب معادل ۱۵۶/۱۲ درجه و متعلق به مخروط‌افکنه شماره ۳۱ و کوچکترین زاویه جاروب مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۱ با مقدار ۱۴/۷ درجه است. از میان مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی مخروط‌افکنه شماره ۱۷ دارای کمترین طول (۲۰۷۶/۶۷۹ متر) و مخروط‌افکنه شماره ۲۶ با طولی معادل ۴۴۵۶۹/۴۵ متر کشیده‌ترین مخروط‌افکنه به‌شمار می‌رود. به عقیده پارکر و همکاران (۱۹۹۸) طول مخروط‌افکنه تابع نسبت حجم رسوب به میزان فرورانش است. چنانچه نرخ فرورانش زیاد باشد، فضای انباشت در مدت زمان کمتری ایجاد می‌شود؛ در حالی که نرخ پایین فرورانش به تشکیل مخروط‌افکنه‌هایی با طول بیشتر منجر می‌شود که ضخامت رسوب در رأس آن کمتر و در بخش میانی مخروط‌افکنه زیاد است. به‌لحاظ شیب کلی، مخروط‌افکنه شماره ۱۷ بیشترین میزان شیب (۳/۳۸ درجه) و مخروط‌افکنه شماره ۱۶ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند (۱/۶۴ درجه). به طور کلی اگر مواد تشکیل‌دهنده مخروط‌افکنه بیشتر از مواد واریزه‌ای باشد و مواد آبرفتی سهم کمتری را به خود اختصاص داده باشند، شیب متوسط مخروط‌افکنه بیشتر خواهد بود. در میان مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی، کمترین

میانگین شیب بخش حائل بالایی قاعده مخروط‌افکنه مربوط به مخروط شماره ۳۱ و معادل $1/69$ درجه و بیشترین آن مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۱۷ با شیبی معادل $3/56$ درجه می‌باشد. همینطور کمترین میزان میانگین شیب بخش پایینی قاعده مخروط‌افکنه برابر با $1/16$ درجه در مخروط‌افکنه‌های ۱۳ و ۳۸ و بیشترین مقدار معادل $4/98$ درجه در مخروط‌افکنه شماره ۳۶ می‌باشد. قاعده مخروط‌افکنه‌ها به دلایلی همچون کاهش نیروی جریان و ذخیره شدن بخش عمده‌ای از مواد رسوبی در قسمت میانی مخروط‌افکنه، در مقایسه با رأس و قسمت میانی از شیب کمتری برخوردار هستند.

توزیع فراوانی شیب

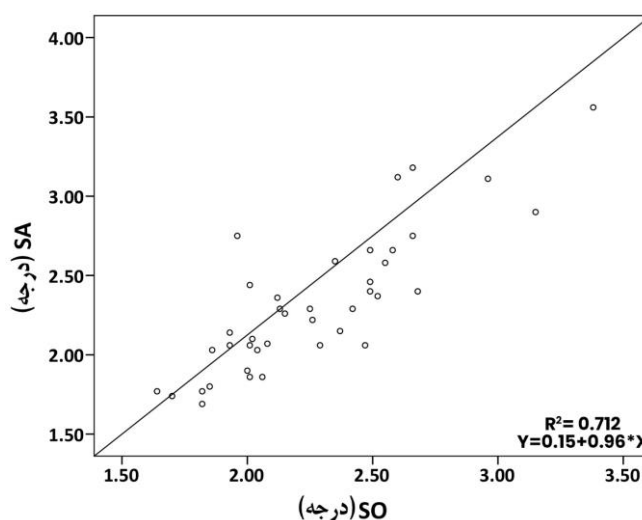
همانطور که در شکلاکف و شکلب دیده می‌شود، بیشترین فراوانی شیب در بخش بالایی و پایینی قاعده مخروط‌افکنه، در بازه ۲ تا $2/5$ درجه توزیع شده است. در مجموع میانگین شیب در قسمت بالایی قاعده مخروط‌افکنه‌ها $2/32$ درجه و در قسمت پایینی قاعده $2/15$ درجه محاسبه شده است. از مجموع ۴۰ مخروط‌افکنه مورد بررسی، بیشترین فراوانی شاخص شیب کلی مخروط‌افکنه مربوط به شیب ۲ درجه است، و میانگین شاخص شیب کلی، $2/27$ درجه محاسبه گردید (شکلج). شکلد نشان‌دهنده فراوانی شاخص RS (نسبت SA به SB) است. براساس هیستوگرام، بیشترین فراوانی شاخص RS در بازه ۱ تا $1/5$ قرار دارد و میانگین شاخص RS، عدد $1/19$ را به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی در سطح مخروط‌افکنه، مقدار شیب از رأس به سمت پایین دست کاهش می‌یابد، و در قاعده مخروط‌افکنه به پایین‌ترین حد خود می‌رسد. مهمترین عوامل کاهش شیب از رأس به سمت قاعده شامل کاهش دبی، کاهش نیروی جریان، تغییر مواد بستری و کاهش نسبت عرض به عمق کانال‌ها می‌شود. فعالیت‌های تکتونیکی نیز از جمله عوامل مهم در تعیین و تغییر شیب در مخروط‌افکنه‌ها به‌شمار می‌روند، به‌طوری که گاهی در اثر بالآمدگی شدید تکتونیکی از طریق حمل رسوب جدید بر سطوح جوان و مرتفع مخروط‌افکنه، منجر به ایجاد شیب‌های تند در سطح مخروط‌افکنه می‌شوند (بومن، ۲۰۱۹: ۳۴).



شکل شماره ۴. هیستوگرام درصد فراوانی پارامترهای مربوط به شیب مخروط‌افکنه

رابطه SA و SO

شکل رابطه شیب قسمت بالایی قاعده مخروط‌افکنه و شیب کلی مخروط‌افکنه را نمایش می‌دهد. براساس شکل، بیشتر نقاط در اطراف خط رگرسیون پراکنده شده‌اند. این نوع از پراکندگی نقاط حاکی از نیمرخ طولی صاف در اکثر مخروط‌افکنه‌ها است. در صورتی که مقادیر SA کوچکتر از SO باشند، نیمرخ طولی مخروط‌افکنه مقعر خواهد بود. برعکس مقادیر بزرگتر SA نسبت به SO نشان‌دهنده نیمرخ محدب مخروط‌افکنه است.

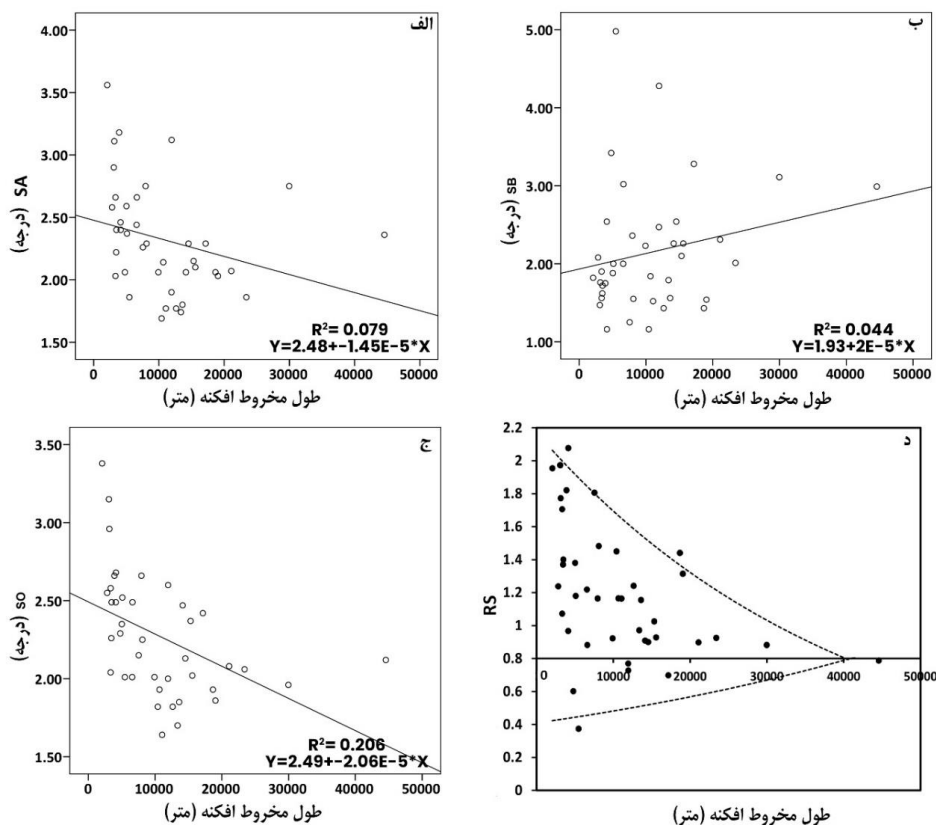


شکل شماره ۵. نمودار رابطه شیب قسمت بالایی قاعده مخروط‌افکنه (SA) و شیب کلی مخروط‌افکنه (SO)

رابطه پارامترهای مختلف شیب با طول مخروط‌افکنه

در شکل رابطه پارامترهای مختلف شیب با طول مخروط‌افکنه نشان داده شده است. گرچه در مجموع امکان بررسی رابطه همه پارامترها نسبت به هم وجود دارد، در این مطالعه، رابطه پارامترهای مختلف شیب در مخروط‌افکنه با طول مخروط‌افکنه و زاویه جاروب، که با توجه به هدف تحقیق، از اهمیت بیشتری برخوردار است، مورد بحث قرار گرفت. با توجه به شکل الف، با افزایش طول مخروط‌افکنه، شیب قسمت بالایی قاعده کاهش پیدا می‌کند. مشابه همین روند در شکل ج مشاهده می‌شود، به طوری که با افزایش طول مخروط‌افکنه، شیب کلی مخروط کاهش می‌یابد. رابطه معکوس شیب مخروط‌افکنه و طول مخروط‌افکنه در این تحقیق با نتایج سایر مطالعات همخوانی دارد (بیومونت، ۱۹۷۲: ۲۵۱؛ هاشیموتو و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۰). بنابراین نتایج نشان می‌دهند که مخروط‌افکنه‌های کشیده دارای شیب ملایم‌تری هستند.

برخلاف شیب کلی و بافر بالایی قاعده مخروط‌افکنه، شیب قسمت پایینی قاعده با افزایش طول، افزایش یافته است. به عبارتی بخش‌های مجاور قاعده‌ی مخروط‌افکنه‌های کشیده (که بیرون از مرز مخروط‌افکنه قرار دارند)، شیب بیستری نسبت به مخروط‌افکنه‌هایی با طول کمتر دارند. با این حال تراکم نقاط در شکل ب، به این معنی است که اگرچه با افزایش طول مخروط‌افکنه، شیب بخش پایینی قاعده نیز افزایش پیدا می‌کند، اما مقدار این تغییرات بسیار ناچیز است. شکل د حاکی از کاهش شاخص RS با افزایش طول مخروط‌افکنه است. شکل د نشان می‌دهد که در مخروط‌افکنه‌هایی که طول آنها بین ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ متر است، تفاوت شیب بخش بالایی و پایینی قاعده مخروط‌افکنه‌ها بیشتر از مخروط‌افکنه‌هایی است که طول آنها بزرگتر از ۲۵۰۰۰ متر است. به عبارتی در مخروط‌افکنه‌هایی که طول آنها از ۲۵۰۰۰ متر بیشتر است، بین بخش بالایی و پایینی قاعده مخروط‌افکنه به لحاظ شیب، تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود.

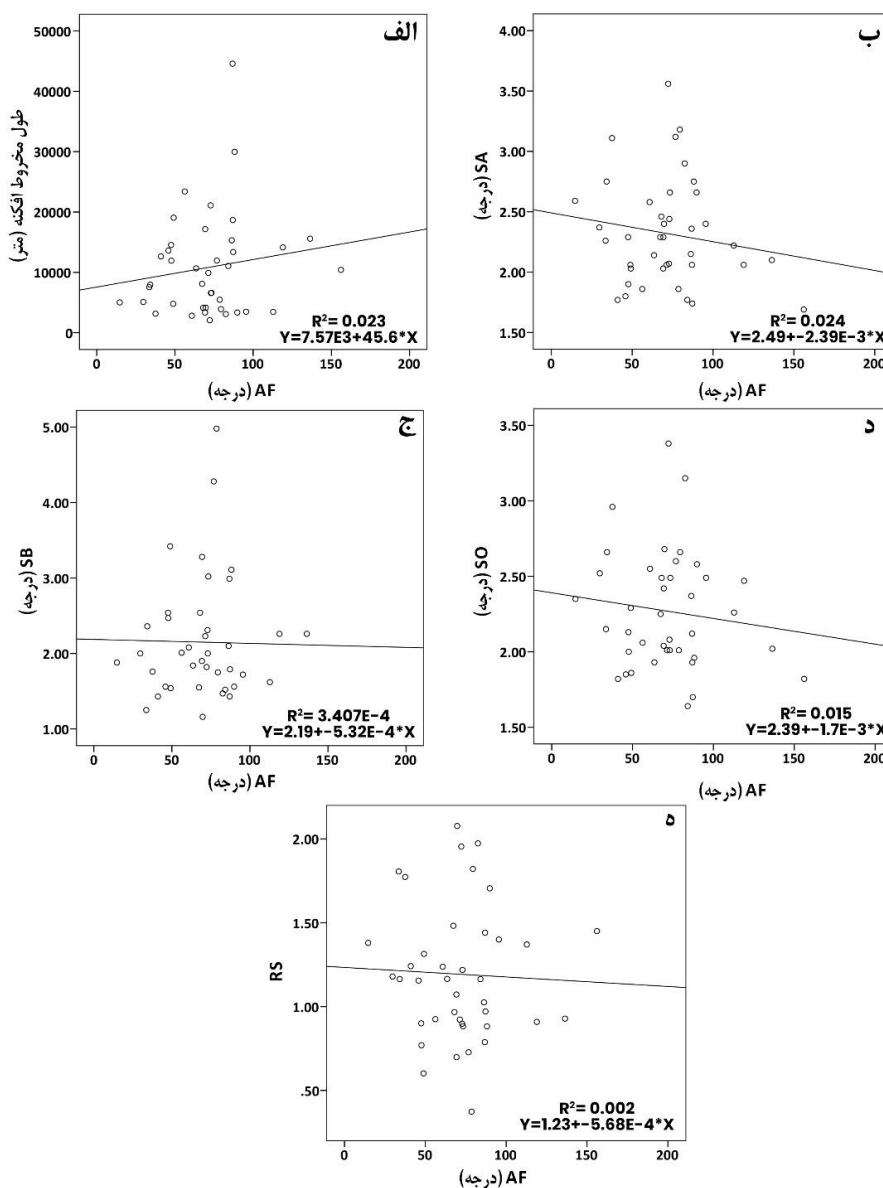


شکل شماره ۶. نمودار رابطه پارامترهای مختلف شیب با طول مخروط افکنه

رابطه پارامترهای مختلف با زاویه جاروب

رابطه بین طول مخروط افکنه، شیب بافر بالایی و پایینی قاعده مخروط افکنه، شیب کلی مخروط افکنه و شاخص RS در شکل نمایش داده شده است. به طور کلی خط رگرسیون و ضریب تعیین در شکل حاکی از عدم همبستگی در میان پارامترهای مختلف با زاویه رأس مخروط افکنه هستند. در میان مخروط افکنه‌های مورد بررسی، مخروط افکنه‌هایی که طول آنها بین ۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر است، عموماً دارای زاویه جاروب بین ۵۰ تا ۱۰۰ درجه هستند. گرچه در مواردی، مخروط افکنه‌هایی با طول کمتر از ۱۵۰۰۰ متر، دارای زاویه جاروب بیشتر از ۱۲۰ درجه بوده‌اند (شکل الف). ضریب تعیین با مقدار ۰/۰۲۳ در شکل شکالف، نشان‌دهنده همبستگی بسیار ناچیز بین طول مخروط افکنه و زاویه جاروب است. با این حال باید توجه داشت که در بررسی رابطه طول مخروط افکنه و زاویه جاروب، نسبت عرض به طول مخروط افکنه نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در مخروط افکنه‌هایی که نسبت عرض به طول بیشتر باشد، زاویه جاروب بزرگتر است. شکلب نیز از عدم وجود همبستگی قابل قبول بین شیب بخش بالایی قاعده مخروط افکنه و زاویه جاروب خبر می‌دهد، به طوری که ضریب تعیین معادل ۰/۰۲۴ محاسبه شده است. تراکم نقاط در شکلب نشان می‌دهد که اکثر مخروط افکنه‌هایی که شیب بخش بالایی قاعده آنها بین ۲ تا ۲/۵ درجه است، دارای زاویه جاروب ۵۰ تا ۱۰۰ درجه هستند. همین شباهت در پراکندگی نقاط بین شیب کلی مخروط افکنه و زاویه جاروب نیز مشاهده می‌شود (شکلد). ضریب تعیین با مقدار ۰/۰۱۵ بر عدم وجود همبستگی قابل قبول بین شیب کلی مخروط افکنه و زاویه جاروب اشاره می‌کند. با توجه به شکلج، تراکم نقاط نشان می‌دهد که مخروط افکنه‌هایی که شیب بخش پایینی قاعده آنها کوچکتر از ۲ درجه است، دارای زاویه جاروب بین ۵۰ تا ۸۰ درجه هستند؛ با این حال هیچ همبستگی بین شیب بخش پایینی قاعده مخروط افکنه و زاویه جاروب مشاهده نمی‌شود. همانند سایر پارامترها، شاخص RS نیز هیچ همبستگی با زاویه جاروب

نشان نمی‌دهد ($R^2 = 0/002$). نتایج حاصل از بررسی رابطه پارامترهای بالا با زاویه جاروب، با نتایج سایر مطالعات مبنی بر عدم وجود همبستگی بین زاویه جاروب و پارامترهای مختلف، مطابقت دارد (هاشیموتو و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۹)



شکل شماره ۷. رابطه بین پارامترهای مختلف با زاویه جاروب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اطلاعات مورفومتریکی قاعده ۴۰ مخروط‌افکنه در ایران مرکزی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی ویژگی‌های توپوگرافیک مخروط‌افکنه‌ها می‌توان شرایط ژئومورفیک و فرآیندهای فرسایشی/تراکمی آنها را ارزیابی و تبیین نمود. بررسی پارامترهای مختلف مورفومتریکی مخروط‌افکنه در این تحقیق، منعکس کننده شرایط ژئومورفیک و فرآیندهای تراکمی در سطح مخروط‌افکنه است. به طور کلی شیب مخروط‌افکنه‌ها از رأس به سمت قاعده روند کاهشی دارد. رأس مخروط‌افکنه پرشیب‌ترین قسمت و قاعده آن دارای کمترین میزان شیب است. عوامل متعددی همچون تکتونیک، دبی، نوع مواد و غیره در تعیین شیب مخروط‌افکنه نقش دارند. برای مثال مخروط‌افکنه‌هایی که رسوب آنها عموماً از مواد کوهرفتی تشکیل شده باشد در مقایسه با مخروط‌افکنه‌هایی که از مواد آبرفتی تشکیل شده‌اند،

شیب تندتری دارند، و بزرگتر و کشیده‌تر هستند. بررسی شیب مخروط‌افکنه‌ها علاوه بر نمایش سرگذشت تراکمی/فرسایشی مخروط‌افکنه، تفاوت این لندفرم با سایر اشکال تراکمی سطح پدیمت را نیز آشکار می‌سازد. نتایج بررسی رابطه شیب بخش بالایی قاعده مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه با شیب کلی آنها (شکل) نیمرخ طولی صاف اکثر مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. نیمرخ طولی صاف حاکی از آن است که مواد رسوبی که از حوضه آبریز طی سیلاب‌های مختلف به سطح مخروط‌افکنه انتقال داده شده، برای مدت طولانی در سطح مخروط‌افکنه باقی مانده و در آنجا حفظ شده‌اند. شباهت شیب بخش بالایی قاعده مخروط‌افکنه و شیب کلی آن نشان‌دهنده عدم فعالیت‌های فرسایشی شدید و تسلط شرایط آب‌وهوایی خشک در منطقه مورد مطالعه است. میانگین شیب بخش بالایی قاعده و شیب کلی (شکل‌الف و شکل‌ج) نیز نشان‌دهنده شباهت شیب در این دو بخش است. این شباهت در شیب می‌تواند بیانگر قدرت حمل رسوب در سطح مخروط‌افکنه باشد؛ به طوری که مواد رسوبی طول مخروط‌افکنه را طی کرده و در قاعده مخروط متراکم شده‌اند. بنابراین شیب مخروط‌افکنه تا پدیده سیلابی و کاتاستروفیک بعدی که منجر به حمل مقادیر زیاد مواد رسوبی به سطح مخروط‌افکنه می‌شود، ثابت و بدون تغییر باقی مانده است. چنانچه SA (شیب بخش بالایی قاعده) کوچکتر از SO (شیب کلی مخروط‌افکنه) باشد، نیمرخ مخروط‌افکنه مقعر و برعکس زمانی که SA بزرگتر از SO باشد، نشان از محدب بودن نیمرخ طولی مخروط‌افکنه خواهد بود. همچنین حمل مداوم رسوب از قاعده مخروط‌افکنه منجر به مقعر شدن نیمرخ مخروط‌افکنه می‌شود.

نتایج سایر مطالعات (هاشیموتو و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۲۶؛ سایتو و اوگوچی، ۲۰۰۵: ۱۴۷) نشان می‌دهد که در مخروط‌افکنه‌های مناطق مرطوب، شیب مخروط‌افکنه‌ها در مقایسه با مناطق خشک بسیار تعدیل شده است و معمولاً مقدار آن کمتر از یک درجه است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که شیب اکثر مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه به طور میانگین بین ۱/۵ تا ۲ درجه است. این موضوع نشان از عدم فعالیت‌های فرسایشی یا تراکمی شدید در سطح مخروط‌افکنه‌ها و بیانگر تسلط شرایط آب‌وهوایی خشک در آنها است.

بر اساس شکل د، شاخص RS با افزایش طول مخروط‌افکنه به سمت ۰/۸ میل می‌کند. همچنین در برخی از مخروط‌افکنه‌هایی که طول آنها بیشتر است، زاویه جاروب کوچک است. این موضوع کشیدگی مخروط‌افکنه را نشان می‌دهد. مخروط‌افکنه‌های کشیده، همانند دشت‌های سیلابی به شدت تحت تأثیر فرآیندهای رودخانه‌ای قرار دارند (استین‌استریت و مک‌کارتی، ۱۹۹۳: ۱۲۷). از طرفی مقادیر شاخص RS در مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه حاکی از ثبات و عدم وقوع فعالیت‌های فرسایشی در مدت زمان طولانی در قاعده مخروط‌افکنه است. به طور کلی، ویژگی‌های شیب در مخروط‌افکنه‌ها و مناطق پایین‌دستی آنها به عوامل مختلفی از جمله شدت پراکنده شدن رسوب، لندفرم‌های تراکمی سطح مخروط‌افکنه و فرآیندهای رودخانه‌ای در سطح مخروط‌افکنه وابسته است. هاشیموتو و همکاران نیز (۲۰۰۸: ۱۲۶) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که در مخروط‌افکنه‌های مناطق خشک عوامل رودخانه‌ای نقش کمتری در تغییر شیب قاعده مخروط‌افکنه دارند. با این حال عوامل دیگری مانند اندازه ذرات، روند توسعه مخروط‌افکنه و غیره نیز در تعیین ویژگی‌های شیب در سطح مخروط‌افکنه دخیل هستند که می‌باید در تحقیقات بعدی نقش و رابطه آنها با سایر پارامترهای مورفومتریک مخروط‌افکنه مورد ارزیابی قرار بگیرد.

نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات شاخص RS در مخروط‌های ایران مرکزی، در مخروط‌افکنه‌های کوچکتر بیشتر از مخروط‌افکنه‌های بزرگ است؛ بطوری که مقادیر بزرگتر از ۱/۶ در مخروط‌افکنه‌هایی که طول آنها بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر است مشاهده می‌شوند. همچنین نتایج نشان داد که شباهت میانگین شیب بخش بالایی قاعده (۲/۳۲) و شیب کلی مخروط‌افکنه (۲/۲۷) و از طرفی شباهت شاخص SA و SB بیانگر تسلط اقلیم خشک و عدم فعالیت فرآیندهای فرسایشی در مخروط‌افکنه است (شکل). یکی از مهمترین عواملی که منجر به افزایش شیب بخش پایینی قاعده

مخروط‌افکنه می‌شود، فعالیت رودخانه محوری در بخش‌های مجاور قاعده مخروط‌افکنه است. مطالعه ویژگی‌های مورفومتریکی مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از ابزارها و شاخص‌های ساده و در دسترس، ژئومورفولوژیست‌ها را قادر می‌سازد تا درک بهتری از ویژگی‌های توپوگرافیک مخروط‌افکنه‌ها بدست آورند. اگرچه مدل‌های رقومی ارتفاعی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی همواره در مطالعات ژئومورفولوژیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در این تحقیق با رویکردی جدید و ساده، از این ابزار در مطالعات ژئومورفولوژیک مخروط‌افکنه استفاده شده است. یکی از مهمترین مزایای استفاده از این روش کاهش اندازه‌گیری‌های میدانی در مناطق وسیع و مناطقی است که دسترسی به آنها ناممکن یا دشوار است. نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان در قالب اطلاعات تکمیلی در مطالعات و پروژه‌های عمرانی و تحقیقاتی مورد استفاده قرار داد. انتخاب مخروط‌افکنه‌ها بر اساس ژئومورفولوژی، رابطه ویژگی‌های مورفومتریکی مخروط‌افکنه با سایر عوامل مانند تکتونیک و اقلیم از جمله مواردی است که در تحقیقات آینده می‌بایست به آنها پرداخته شود.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) جمال آبادی، ج؛ زنگنه اسدی، م. و امیراحمدی، ا. (۱۳۹۷). روابط کمی بین حجم مخروط افکنه‌ها و ارتباط آن‌ها با تکتونیک فعال (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های دامنه جنوبی ارتفاعات جغتای). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۷۱(۳)، ۵۶-۳۵.
- ۲) خیام، م. و مختاری کشکی، د. (۱۳۸۲). ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشو داغ). پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۴، ۱۰-۱.
- ۳) رامشت، م؛ سیف، ع؛ شاه زیدی، س. س. و انتظار، م. (۱۳۸۸). تأثیر تکتونیک جنب‌بر مورفولوژی مخروط افکنه درختگان در منطقه شهداد کرمان. جغرافیا و توسعه، ۱۶، ۴۶-۲۹.
- ۴) شایان، س. (۱۳۸۲). ویژگی‌های ژئومورفومتریکی مخروط افکنه حوضه گاماسیاب. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۶، ۹۹-۱۱۳.
- ۵) صدوق، ح؛ حسین زاده، م. م؛ رضایی، خ؛ رحمانی، ا. و چزغه، س. (۱۳۹۷). تأثیرات ناشی از ساختار رسوبی مخروط‌افکنه‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی و مهندسی خاک (مخروط‌افکنه‌های چیتگر و کن). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷(۳)، ۱۷-۱.
- ۶) علائی طالقانی، م. (۱۳۹۶). ژئومورفولوژی ایران. چاپ ۹، تهران: قومس.
- ۷) گورابی، ا. و کریمی، م. (۱۳۹۱). روشی جدید در استخراج مخروط‌افکنه‌ها از مدل رقومی ارتفاع. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱(۳)، ۱۰۰-۸۹.
- ۸) گورابی، ا. و یمانی، م. (۱۳۹۱). ارتباط کمی ویژگی‌های مورفولوژیک حوضه‌های زهک‌شی و مخروط‌افکنه‌های آن‌ها در ایران مرکزی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱(۲)، ۱۶-۱.
- ۹) مقصودی، م؛ باقری شکری، س. و مینایی، م. (۱۳۸۸). بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های دامنه تاقدیس قلاجه). جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۷(۱۲)، ۱۲۴-۹۹.
- ۱۰) یمانی، م؛ مقصودی، م؛ قاسمی، م. و محمدنژاد، و. (۱۳۹۱). شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط افکنه‌های شمال دامغان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۲)، ۱۸-۱.

References

- 1) Beaumont, P. (1972). Alluvial fans along the foothills of the Elburz Mountains, Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 12(4), 251-273.
- 2) Bowman, Dan. (2019). *Principles of Alluvial Fan Morphology*. Israel: Springer.
- 3) Crosta, G., & Frattini, P. (2004). Controls on modern alluvial fan processes in the central Alps, Northern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(3), 267-293.
- 4) De Chant, L., Pease, P., & Tchakerian, V. (1999). Modelling alluvial fan morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(7), 641-652.

- 5) Goorabi, A., & Karimi, M. (2020). A new method to extract alluvial fans from DEM. *Association of Quantitative Geomorphology*, 1(3), 89-100. [in Persian].
- 6) Goorabi, A., & Yamani, M. (2012). Quantitative morphometric relationship between watersheds and alluvial fans in central Iran. *Quantitative Geomorphological Research*, 1(2), 1-16. [in Persian].
- 7) Jamalabadi, J., zanganeh asadi, M., amirahmadi, A. (2018). Quantitative Relationships between the Volume of Alluvial Fans and its Relation to Active Tectonics (Case study: Alluvial Fans of Southern Slopes of Joghatay Mountains). *Geography and Environmental Planning*, 29(3), 35-56. [in Persian].
- 8) Harvey, A.M. (1987). Alluvial Fan dessection: relationships between morphology and sedimentation. *Geological Society*, 35(1), 87-103.
- 9) Harvey, A.M. (1992). The influence of sedimentary style on the morphology and development of alluvial fans. *Israel Journal of Earth Science*, 41, 123-137.
- 10) Hashimoto, A., Oguchi, T., Hayakawa, Y., Lin, Z., Saito, K., & Wasklewicz, T. A. (2008). GIS analysis of depositional slope change at alluvial-fan toes in Japan and the American Southwest. *Geomorphology*, 100(1-2), 120-130.
- 11) Kayam, M., & Mokhtari Kashki, D. (2003). Analyzing tectonic activities based on alluvial fan morphometry. *Geographical Research Quarterly*, 44, 1-10. [in Persian].
- 12) Maghsoudi, M., Bagheri, S., & Mina'ee, M. (2009). Evaluation of Tectonic role on appearing and Change of Alluvial fans (Case Study of alluvial fan on the hillshade of Ghalajeh Synclinal). *Journal of Geography and Regional Development*, 7(12), 1-12.
- 13) Milana, J. P., & Ruzycski, L. (1999). Alluvial fan slope as a function of sediment transport efficiency. *Journal of Sedimentary Research*, 69(3), 553-562.
- 14) Ohmori, H. (1991). Changes in the mathematical function type describing the longitudinal profile of river through an evolutionary process. *Journal of Geology*, 99(1), 97-100.
- 15) Parker, G., Paola, C., Whipple, K., & Mohrig, D. (1998). Alluvial fans formed by channelized fluvial and sheet flow. I: Theory. *Journal of Hydraulic engineering*, 124(10), 985-995 .
- 16) Ramesht, M., Seif, A., Shahzeidei, S., & Entezarei, M. (2009). The Influence of Active Tectonic on Morphology of Derakhtangan Alluvial Fan of (Shahdad in Kerman). *Geography and Development Iranian Journal*, 7(16), 29-46. [in Persian].
- 17) Saddough, H., Hoseinzadeh, M., Rezaee, K., Rahmani, I., & Chezgheh, S. (2019). The Effects of Structural characteristics of Alluvial fans on mechanical and engineering properties of soil (Chitgar and Kan Alluvial fans). *Quantitative Geomorphological Research*, 7(3), 1-17. [in Persian].
- 18) Saito, K., Oguchi, T. (2005). Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines. *Geomorphology*, 70(1), 147-162.
- 19) Shayan, S. (2003). Geomorphic characteristics of GAMASIAB basin. *Geographical Research Quarterly*, 46, 99-113. [in Persian].
- 20) stanistreet, I G., & McCarthy, T.S. (1993). The Okavango Fan and the classification of subareial fan systems. *Sedimentary Geology*, 85(1-4), 115-133.
- 21) Yamani, M., Maghsoudi, M., Ghassemi, M., & Mohammadnejad, V. (2012). Morphologic and Morphometric Evidence for Active Tectonic Effects on Alluvial Fans in North Damghan. *Physical Geography Research Quarterly*, 44(2), 1-18. [in Persian].