



Research Article

Morphometric analysis of alluvial fans around anticlines in the Fars Zagros (Case study: the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat Anticlines)

Fariba Karmi^{1*} , Davoud Mokhtari¹, Shahram Bahrami², Seyed Hamidreza Fatemi¹

1-Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, Tabriz University, Tabriz, Iran

2-Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 03 Apr 2026 Accepted: 19 May 2026

Extended Abstract

Introduction

Alluvial fans represent prominent depositional landforms that have developed across extensive areas of Iran, particularly in arid and semi-arid regions. These geomorphological features form at the transition zone where fluvial streams descend from steep mountainous terrains to low-gradient plains, leading to a rapid decrease in sediment transport capacity and initiating deposition. The widespread development of alluvial fans dates back to the Quaternary period, and these structures have often served as suitable substrates for human activities and settlement expansion. From a process-based perspective, alluvial fans are primarily categorized into two main types: those formed by debris flows and those resulting from alluvial processes or sheet floods. The piedmont alluvial fans in arid and semi-arid regions are direct reflections of the complex interplay between tectonic, erosional, climatic, and sedimentary processes. Within the Zagros Folded Belt, and specifically in the Fars Zagros, the evolution of anticlines within the framework of active Alpine-Himalayan tectonics has created conditions for the activity of marginal alluvial fans, which act as sensitive geomorphic indicators of tectonic movements. The primary objective of this research is to conduct a comparative assessment of the morphometric indices of alluvial fans marginal to three active anticlines in the northeastern part of Lar (Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat anticlines) and to analyze the controlling role of tectonics in their geometry, dimensions, and evolution. To achieve this, by simultaneously examining the morphometric characteristics of the alluvial fans and their upstream drainage basins, an attempt has been made to elucidate the relationship between quantitative indices and the relative intensity of tectonic activity. Iran, as part of the Alpine-Himalayan orogenic belt, is situated within one of the most tectonically active regions globally. Among these, the Zagros Mountains hold a unique position due to their prominent uplift, shortening, and extensive seismicity, making them a focal point for tectonic studies. The anticlines of the Fars Zagros, owing to their persistent tectonic activity, provide an ideal setting for studying the evolution of marginal alluvial fans. The process of anticline growth and uplift can directly influence the morphometry, morphology, and evolutionary trajectory of these alluvial fans. Numerous national and international studies have indicated that alluvial fans are among the most sensitive geomorphic features to tectonic activity, and changes in their morphology and morphometry are a direct manifestation of active tectonic movements. Research conducted on the Zagros have revealed that tectonic activities have effectively controlled the morphometry of alluvial fans. For example, Bahrami (2013) evaluated the effects of active tectonics on the morphometry of alluvial fans around Danekhoshk anticline in the Folded Zagros.

Citation: Karmi, F. et al, 2026. Morphometric analysis of alluvial fans around anticlines in the Fars Zagros, *Res. Earth. Sci.* 17(1), (169-198) DOI: 10.48308/esrj.2026.243825.1320

* Corresponding author E-mail address: fkarami@tabrizu.ac.ir



In this study, the geometric and morphometric properties of alluvial fans including area, topographic slope, width to length ratio, sweep angle as well as dip of anticline layers were calculated. Results showed that parameters such as sweep angle of alluvial fans has a positive relationship with dip anticline layers, and alluvial fans with higher values of sweep angle and width to length ratio reveals the tectonically more active segments of Danekhosk anticline. Also, the weak relationship between the morphometric parameters of drainage basin (area and topographic slope) and parameters of alluvial fans is likely due to the complex karstic features of the drainage basins that make a complicated hydrologic system. The mentioned study has confirmed that, although climate can also affects aggradation of alluvial fans, tectonic activities effectively control the morphometric properties of alluvial fans.

Materials and Methods

The study area is located in Fars Province, Larestan County, within the Zagros Folded structural zone. Its geographical coordinates range between 28°00' and 28°13' North latitude and 54°29' to 55°39' East longitude. The prevailing climate of the region is hot and arid, with an average annual precipitation of approximately 200 mm recorded at surrounding stations (Zarrin-Dasht and Lar) and an average annual temperature of around 24-25°C. Geologically, the studied anticlines are primarily composed of the Asmari-Jahrom, Aghajari, Bakhtiari, Tarbur, Razak, Gachsaran, and Mishan formations. The presence of active folding and some salt diapirs indicates the high tectonic dynamism of the area. Along the margins of these three anticlines, a total of 125 alluvial fans, along with their associated drainage basins, were identified and analyzed. The Chah-Nahr anticline exhibits the highest frequency with 74 alluvial fans, while the Dasht-Kenar and Sherkat anticlines comprise 25 and 26 fans, respectively. This research has adopted a descriptive-analytical approach, utilizing Digital Elevation Models (DEM), Geographic Information Systems (GIS), and remote sensing principles to evaluate morphometric indices and analyze their relationship with tectonic activities. Remote sensing techniques, Geographic Information Systems (GIS), and statistical analyses were employed. In the initial phase, geological maps at scales of 1:100,000 and 1:250,000 were collected and digitized. Subsequently, to extract topographic parameters, a Digital Elevation Model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 meters (ALOS PALSAR data) was utilized. After performing geometric corrections and mosaicking, layers of topographic slope, elevation, and drainage network were extracted. The boundaries of alluvial fans and their corresponding drainage basins were manually delineated using satellite imagery and Google Earth Pro software, and then converted into polygons within the ArcGIS Pro 5.3.4 environment. The extracted data were processed for numerical calculations and organization in Excel software, and finally, statistical analyses were conducted using SPSS 27 software. The morphometric indices for alluvial fans included Area (Fa), Sweep Angle (Sa), Width-to-Length Ratio (W/L), Topographic Slope (Sf), and the Modified Fan-Conicality Index (FCIR). The FCIR was used as a measure to assess the degree of deviation of the actual fan shape from an ideal geometric form, and consequently, to evaluate the influence of tectonics. Values greater than zero indicate a more significant impact of tectonic processes on the alluvial fan's geometry. Furthermore, to analyze the evolutionary status of the drainage basins, indices such as Basin Area (Ba), Basin Shape (Bs), Circularity Ratio (Cr), Hypsometric Integral (Hi), and Mean Basin Slope (S) were calculated. To examine significant differences between groups, a one-way Analysis of Variance (ANOVA) test with the Tukey post-hoc test was employed. To investigate correlation relationships between parameters, Pearson's correlation coefficient was used. Additionally, alluvial fans were classified based on their structural position into two groups: "Central Anticlinal Zone" and "Axial Foredeep," and based on their spatial arrangement into "Coalescent (overlapping)" and "Discontinuous" groups, to explore the role of structural position and sedimentary interactions in morphometric variations.

Results and Discussion

The results indicated that the area of alluvial fans ranged from 0.006 to 12.5 km². The sweep angle varied between 38 and 240 degrees, and the width-to-length ratio ranged from 0.074 to 2.245, implying considerable diversity in the geometry of the alluvial fans. The fan topographic slopes varied from 0.9% and 17%, with higher values predominantly observed in the alluvial fans of the Chah-Nahr anticline. The maximum FCIR value (approximately 3.33) was recorded in an alluvial fan located around Dasht-Kenar anticline, indicating a significant deviation from the ideal conical shape of fan and a substantial influence of tectonics.

In the comparative analysis among alluvial fans of the three studied anticlines, the ANOVA test results showed that the mean fan area and topographic slope differed significantly between the anticlines, while the differences in sweep angle, width-to-length ratio, and FCIR between anticlines were not statistically significant. On average, the alluvial fans surrounding the Sherkat anticline exhibited larger areas and higher FCIR values, which indicate a more prominent role of tectonic activities or specific structural conditions of this anticline in creating greater fan irregularity. Comparing the alluvial fans in the central and plunge zones revealed that in the central anticlinal regions, the average area, width-to-length ratio, topographic slope, and FCIR were higher, whereas the sweep angle was greater in the plunge areas. This pattern might suggest that in the central regions, due to greater uplift and steeper slopes, the system's energy increased, and leading to steeper and more geometrically irregular alluvial fans. Conversely, in the plunge zones, with a relative decrease in topographic slope, the alluvial fans experienced more lateral expansion, resulting in an increased sweep angle. The examination of coalesced and un-coalesced alluvial fans also showed that coalesced fans, on average, had larger areas, steeper slopes, and higher FCIR values compared to un-coalesced fans. This could be attributed to spatial constraints along the anticline margins, high rates of sediment deposition, and the simultaneous lateral progradation of alluvial fans in response to tectonic uplift. Results of drainage basin parameters indicated that higher values of the Basin Shape Index (Bs) and Hypsometric Integral (Hi) were predominantly observed in the basins of the Dasht-Kenar anticline, suggesting a relatively younger topography and a greater influence of recent tectonic activities. In contrast, higher Circularity Ratio values in some basins of the Chah-Nahr anticline indicate more erosion and a tendency towards more rounded shapes. Statistical correlations demonstrated a significant positive relationship between basin area and fan area, as well as between basin topographic slope and fan topographic slope, indicating a direct dependency of alluvial fan characteristics on the morphometric conditions of the upstream basin. Numerous studies (Alavi, 1994; Heydari, 2007; Alipoor et al., 2011, Jafari et al., 2023; Delchiaro et al., 2023) have shown that the Zagros belt is one of the most tectonically active fold belts in the world, and the lateral and vertical movements of folds in this region play a significant role in the evolution and morphometry of their landforms. A quantitative analysis of 125 alluvial fans around the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat anticlines indicates that the tectonic activities of the anticlines, including their vertical and lateral growth and flank slopes, have a decisive role in the morphometry of the alluvial fans and their upstream drainage basins

Conclusion

Overall, the findings of this research indicate that the morphometric indices of alluvial fans, particularly the modified fan conformity index (FCIR), topographic slope, and area, are effective tools for assessing the relative degree of tectonic activities in active fold zones. The observed differences among the anticlines, as well as among different structural positions, demonstrate that the lateral growth and heterogeneous uplift of anticlines play a decisive role in controlling the geometry and evolution of marginal alluvial fans. Therefore, quantitative analysis of alluvial fans can be employed as a complementary approach in neotectonic studies and the assessment of the geodynamic evolution of arid and semi-arid regions.

Keywords: Alluvial fan, Active tectonics, Anticline, Fars Zagros, Morphometry.

تحلیل مورفومتری مخروطافکنه‌های اطراف تاقدیس‌ها در زاگرس فارس (مطالعه موردی: تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کنار و شرکت)

فریبا کریمی^{۱*} ID، داود مختاری^۱، شهرام بهرامی^۲، سید حمیدرضا فاطمی^۱

۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۵/۰۱/۱۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۵/۰۲/۲۹

چکیده گسترده

مقدمه

مخروطافکنه‌ها از مهم‌ترین لندفرم‌های تراکمی هستند که در مناطق مختلف ایران بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش دارند. این اشکال ژئومورفولوژیکی زمانی شکل می‌گیرند که جریان‌های آبی از نواحی پرشیب کوهستانی وارد دشت‌های کم‌شیب شده و به دنبال کاهش توان حمل رسوب، فرایند رسوب‌گذاری آغاز می‌شود. مخروطافکنه‌ها عمدتاً در دوره کواترنری توسعه یافته و به عنوان بستر مناسب برای فعالیت‌های انسانی و گسترش سکونتگاه‌ها شناخته می‌شوند. از نظر فرایندی، این اشکال به دو دسته اصلی مخروط‌های ناشی از جریان‌های واریزه‌ای و مخروط‌های ناشی از فرایندهای آبرفتی یا جریان‌های صفحه‌ای تقسیم می‌شوند. مخروطافکنه‌ها از مهم‌ترین لندفرم‌های تراکمی پاکوهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌روند که ویژگی‌های مورفولوژیکی و مورفومتری آن‌ها بازتابی مستقیم از برهم‌کنش فرایندهای تکتونیکی، فرسایشی، اقلیمی و رسوبی است. در کمربند چین‌خورده زاگرس، بخصوص در زاگرس فارس، رشد و تکامل تاقدیس‌ها در چارچوب تکتونیک فعال آلپ - هیمالیا، شرایطی فراهم کرده است که مخروطافکنه‌های پیرامونی به‌عنوان شاخص‌های حساس ژئومورفیک نسبت به حرکات تکتونیکی عمل کنند. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی مقایسه‌ای شاخص‌های مورفومتری مخروطافکنه‌های اطراف سه تاقدیس فعال در شمال‌شرق لار (تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کنار و شرکت) و تحلیل نقش تکتونیک در کنترل هندسه، ابعاد و تکامل آن‌هاست. در این راستا، تلاش شده است با تحلیل همزمان ویژگی‌های مخروطافکنه‌ها و حوضه‌های آبریز بالادست آن‌ها، ارتباط میان شاخص‌های کمی و شدت نسبی فعالیت‌های تکتونیکی تبیین شود. ایران به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا، یکی از فعال‌ترین مناطق تکتونیکی جهان است. در این میان، رشته‌کوه زاگرس جایگاهی ویژه دارد؛ چراکه به‌عنوان یکی از فعال‌ترین مناطق چین‌خورده - رانده در کشور، با فرایندهای بالآمدگی، کوتاه‌شدگی و لرزه‌خیزی گسترده شناخته می‌شود. تاقدیس‌های زاگرس فارس به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی مداوم، شرایط مناسبی برای مطالعه تکامل مخروطافکنه‌های حاشیه‌ای فراهم می‌آورند. رشد و بالآمدگی تاقدیس‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم بر مورفومتری، مورفولوژی و تکامل مخروطافکنه‌ها تأثیرگذار باشد. مخروطافکنه‌ها از حساس‌ترین عوارض ژئومورفیک نسبت به فعالیت‌های تکتونیکی به شمار می‌آیند و تغییرات مورفولوژی و مورفومتری آن‌ها بازتابی مستقیم از حرکات زمین‌ساختی فعال است.

استناد: کریمی، ف. و همکاران، ۱۴۰۵. تحلیل مورفومتری مخروطافکنه‌های اطراف تاقدیس‌ها در زاگرس فارس، پژوهشهای دانش زمین:

DOI: 10.48308/esrj.2026.243825.1320 (۱۶۹-۱۹۸)، (۱)۱۷

E-mail: fkarami@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



پژوهش‌های انجام‌شده در زاگرس بیانگر این است که فعالیت‌های تکتونیکی به طور موثری مورفومتری مخروط افکنه‌ها را تحت تاثیر قرار داده‌اند. بهرامی (۲۰۱۳)، تاثیر تکتونیک فعال بر مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها پیرامون تاقدیس دهنه‌خشک در زاگرس چین خورده را ارزیابی کرده است. در این مطالعه، ویژگی‌های هندسی و مورفومتریک مخروط‌افکنه‌ها شامل مساحت، شیب توپوگرافی، نسبت عرض به طول، زاویه جاروب و شیب لایه‌های تاقدیس دارند، و مخروط‌افکنه‌های با زاویه جاروب و نسبت عرض به طول بالا نمایانگر بخش‌های فعال‌تر تکتونیکی تاقدیس هستند. همچنین مشاهده شد که ارتباط ضعیف بین ویژگی‌های حوزه آبریز (شیب و مساحت) و پارامترهای مخروط‌ها احتمالاً به دلیل وجود اشکال کارستی پیچیده در حوضه‌های آبریز است که سیستم‌های هیدرولوژیک پیچیده‌ای ایجاد می‌کند. این مطالعه تأکید کرده است که فعالیت تکتونیکی نقش برجسته‌ای در توسعه مورفومتریک مخروط‌افکنه‌ها دارد، هرچند اقلیم نیز ممکن است بر رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه تأثیر بگذارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان فارس و در محدوده شهرستان لارستان واقع شده و از نظر ساختاری در زون زاگرس چین‌خورده قرار می‌گیرد. این محدوده بین عرض‌های جغرافیایی ۲۸ درجه و ۰۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی قرار دارد. اقلیم منطقه گرم و خشک بوده و میانگین بارش سالانه در ایستگاه‌های پیرامونی زرین‌دشت و لار حدود ۲۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حدود ۲۴ تا ۲۵ درجه سلسیوس است. از نظر زمین‌شناسی، تاقدیس‌های مورد مطالعه از سازندهای آسماری - جهرم، آجاجاری، بختیاری، تاربور، رازک، گچساران و میشان تشکیل شده‌اند و حضور چین‌خوردگی‌های فعال و برخی گندهای نمکی، بیانگر پویایی بالای تکتونیکی منطقه است. در حاشیه این سه تاقدیس، در مجموع ۱۲۵ مخروط‌افکنه به همراه حوضه‌های آبریز مرتبط با آن‌ها شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت. تاقدیس چانه‌ر ۷۴ مخروط‌افکنه، بیشترین تعداد مخروط‌افکنه‌ها را به خود اختصاص داده و تاقدیس‌های دشت کنار و شرکت به ترتیب دارای ۲۵ و ۲۶ مخروط‌افکنه هستند. پژوهش حاضر با رویکردی توصیفی - تحلیلی و با بهره‌گیری از روش‌های سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل‌های آماری انجام شد. در مرحله نخست، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ گردآوری و رقومی‌سازی گردید. سپس به منظور استخراج پارامترهای توپوگرافی، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر (داده‌های ALOS PALSAR) استفاده شد. پس از انجام تصحیحات هندسی و موزاییک‌سازی، لایه‌های شیب، ارتفاع و شبکه زهکشی استخراج گردید. مرز مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Google Earth Pro به صورت دستی ترسیم و سپس در محیط ArcGIS Pro 5.3.4 به پلیگون تبدیل شد. داده‌های استخراج‌شده برای محاسبات عددی و سازمان‌دهی در نرم‌افزار Excel پردازش و در نهایت تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها شامل مساحت (Fa)، زاویه جاروب (Sa)، نسبت عرض به طول (W/L)، شیب مخروط‌افکنه (Sf) و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده (FCIR) بود. شاخص FCIR به عنوان معیاری برای سنجش میزان انحراف شکل واقعی مخروط از حالت ایده‌آل هندسی و در نتیجه ارزیابی تأثیر تکتونیک مورد استفاده قرار گرفت؛ به طوری که مقادیر بالاتر از صفر در این شاخص بیانگر تأثیر بیشتر فرآیندهای زمین‌ساختی بر هندسه مخروط‌افکنه است. همچنین برای تحلیل وضعیت تکاملی حوضه‌های آبریز، شاخص‌های مساحت حوضه (Ba)، شاخص شکل حوضه (Bs)، ضریب گردواری (Cr)، انتگرال هیپسومتری (Hi) و شیب متوسط حوضه (S) محاسبه شد. به منظور بررسی تفاوت‌های معنادار میان گروه‌ها، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی Tukey و برای بررسی روابط همبستگی میان پارامترها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. علاوه بر این، مخروط‌افکنه‌ها بر اساس موقعیت ساختاری به دو گروه منطقه مرکزی تاقدیس و فرود محوری و نیز بر اساس وضعیت فضایی به دو گروه بهم‌پیوسته (دارای همپوشانی) و ناپیوسته طبقه‌بندی شدند تا نقش موقعیت ساختاری و تعاملات رسوبی در تغییرات مورفومتری تحلیل شود.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که مساحت مخروط‌افکنه‌ها بین ۰/۰۰۶ تا ۱۲/۵ کیلومتر مربع متغیر است. زاویه جاروب بین ۳۸ تا ۲۴۰ درجه و نسبت عرض به طول بین ۰/۰۷۴ تا ۲/۲۴۵ تغییر می‌کند که بیانگر تنوع قابل توجه در هندسه مخروط‌افکنه‌هاست. شیب

توپوگرافی مخروط‌افکنه‌ها بین حدود ۰/۹ تا ۱۷ درصد متغیر بوده و مقادیر بالاتر عمدتاً در مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس چاه‌نهر مشاهده شد. بیشترین مقدار FCIR (حدود ۳/۳۳) در یکی از مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس دشت کنار ثبت گردید که نشان‌دهنده انحراف شدید از حالت مخروطی ایده‌آل و تأثیر قابل توجه تکتونیک است. در تحلیل مقایسه‌ای مخروط‌افکنه‌های سه تاقدیس مورد مطالعه، نتایج آزمون ANOVA نشان داد که میانگین مساحت و شیب مخروط‌افکنه‌ها بین تاقدیس‌ها تفاوت معنادار دارد، در حالی که تفاوت زاویه جاروب، نسبت عرض به طول و FCIR از نظر آماری معنادار نبود. به‌طور میانگین، مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس شرکت دارای مساحت و FCIR بالاتری هستند که می‌تواند نشان‌دهنده نقش پررنگ‌تر فعالیت‌های تکتونیک و یا شرایط ساختاری خاص این تاقدیس در ایجاد بی‌قوارگی بیشتر مخروط‌ها باشد. مقایسه مخروط‌افکنه‌های مناطق مرکزی و فرود محوری نشان داد که در مناطق مرکزی تاقدیس‌ها، میانگین مساحت، نسبت عرض به طول، شیب و FCIR بیشتر است، در حالی که زاویه جاروب در مناطق فرود محوری مقادیر بالاتری دارد. این الگو می‌تواند بیانگر آن باشد که در مناطق مرکزی، به دلیل بالآمدگی بیشتر و شیب‌های تندتر، انرژی سیستم افزایش یافته و مخروط‌افکنه‌ها شیب‌دارتر و از نظر هندسی نامنظم‌تر شده‌اند. در مقابل، در فرودهای محوری با کاهش نسبی شیب تاقدیس، مخروط‌افکنه‌ها گسترش جانبی بیشتری یافته‌اند که به افزایش زاویه جاروب منجر شده است. بررسی مخروط‌افکنه‌های بهم‌پیوسته و ناپیوسته نیز نشان داد که مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی، به‌طور میانگین دارای مساحت، شیب و FCIR بیشتری نسبت به مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته هستند. این امر می‌تواند ناشی از محدودیت فضایی در حاشیه تاقدیس‌ها، نرخ بالای رسوب‌گذاری و پیشروی جانبی همزمان چند مخروط در پاسخ به بالآمدگی‌های تکتونیک باشد. در بخش حوضه‌های آبریز، نتایج بیانگر آن است که مقادیر بالاتر شاخص شکل حوضه (Bs) و انتگرال هیپسومتری (Hi) عمدتاً در حوضه‌های پیرامون تاقدیس دشت کنار مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده جوان‌تر بودن نسبی توپوگرافی و تأثیر بیشتر فعالیت‌های اخیر تکتونیک است. در مقابل، مقادیر بالاتر ضریب گردواری در برخی حوضه‌های تاقدیس چاه‌نهر بیانگر توسعه بیشتر فرسایش و گرایش به شکل‌های گردتر است. همبستگی‌های آماری نشان داد که بین مساحت حوضه و مساحت مخروط‌افکنه، و نیز بین شیب حوضه و شیب مخروط‌افکنه، رابطه مثبت و معناداری وجود دارد که بیانگر وابستگی مستقیم ویژگی‌های مخروط‌افکنه به شرایط مورفومتری حوضه بالادست است. زاگرس یکی از فعال‌ترین کمربندهای چین‌خورده از نظر فعالیت‌های تکتونیک در جهان است و حرکات جانبی و عمودی چین‌ها در این منطقه نقش مهمی در تکامل و مورفومتری لندفرم‌های آن‌ها دارد. تحلیل کمی ۱۲۵ مخروط‌افکنه پیرامون تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کنار و شرکت نشان می‌دهد که فعالیت‌های تکتونیک تاقدیس‌ها شامل رشد عمودی و جانبی تاقدیس‌ها و همچنین شیب پهلوها، نقش تعیین‌کننده‌ای در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های بالادست آنها داشته است.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها، به‌ویژه ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده (FCIR)، شیب و مساحت، ابزارهایی کارآمد برای ارزیابی نسبی شدت فعالیت‌های تکتونیک در زون‌های چین‌خورده فعال هستند. تفاوت‌های مشاهده شده میان تاقدیس‌ها و نیز میان موقعیت‌های ساختاری مختلف، بیانگر آن است که رشد جانبی و بالآمدگی ناهمگن تاقدیس‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل هندسه و تکامل مخروط‌افکنه‌های حاشیه‌ای دارد. بنابراین، تحلیل کمی مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند به‌عنوان رویکردی مکمل در مطالعات نئوتکتونیک و ارزیابی پویایی زمین‌ساختی مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: تکتونیک فعال، تاقدیس، زاگرس فارس، مخروط‌افکنه، مورفومتری.

مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها از مهم‌ترین لندفرم‌های تراکمی هستند که در مناطق مختلف ایران بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش دارند. این اشکال ژئومورفولوژیکی زمانی شکل می‌گیرند که جریان‌های آبی از نواحی پرشیب کوهستانی وارد دشت‌های کم‌شیب شده و به دنبال کاهش توان حمل رسوب، فرایند رسوب‌گذاری آغاز می‌شود (Mohammadnezhad et al, 2012). مخروط‌افکنه‌ها عمدتاً در دوره کواترنری توسعه یافته و به عنوان بستر مناسب برای فعالیت‌های انسانی و گسترش سکونتگاه‌ها شناخته می‌شوند (Esmaeili et al, 2013). تکامل مخروط‌افکنه‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین لندفرم‌های پایکوهی، حاصل تعامل پیچیده‌ای از عوامل متعددی همچون فعالیت‌های تکتونیکی (Leleu et al, 2009; Bahrami, 2013; Winsemann et al, 2022)، شرایط اقلیمی (Dorn, 1988; Waters et al, 2024)، سنگ‌شناسی (Lecce, 1991; Peng et al, 2024)، تغییرات سطح اساس (Arzani, 2012; Harvey, 2005) و ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز (Bowman, 2023; Bahrami et al, 2024; Oghuchi and Ohmori, 1994) و فعالیت‌های انسانی (Sorriso-Valvo et al, 1998; and Pati, 2022) هستند. در میان این عوامل، تغییرات اقلیمی و حرکات تکتونیکی مهم‌ترین نقش را در کنترل تحول سیستم‌های مخروط‌افکنه ایفا می‌کنند (Lee et al, 1999). ایران به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - همالیا، یکی از فعال‌ترین مناطق تکتونیکی جهان است (Bahrami et al, 2024). در این میان، رشته‌کوه زاگرس جایگاهی ویژه دارد؛ چرا که به عنوان یکی از فعال‌ترین مناطق چین‌خورده - رانده در کشور، با فرآیندهای بالآمدگی، کوتاه‌شدگی و لرزه‌خیزی گسترده شناخته می‌شود (Ramsey et al, 2008; Bahrami and Shayan, 2013). تاقدیس‌های زاگرس فارس به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی مداوم، شرایط مناسبی برای مطالعه تکامل مخروط‌افکنه‌های حاشیه‌ای فراهم می‌آورند. رشد و بالآمدگی تاقدیس‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم بر مورفومتری، مورفولوژی و تکامل مخروط‌افکنه‌ها تأثیرگذار باشد. مطالعات متعددی در ایران و جهان نشان داده‌اند که مخروط‌افکنه‌ها از حساس‌ترین عوارض ژئومورفیک نسبت به فعالیت‌های تکتونیکی به شمار می‌آیند و تغییرات

مورفولوژی و مورفومتری آن‌ها بازتابی مستقیم از حرکات تکتونیکی فعال است. پژوهش‌های انجام شده در دامنه شمالی توده کوهستانی میشوداغ (Mokhtari and Khayyam, 2003, Mokhtari et al, 2007) نشان داد که عملکرد گسل‌های فعال منجر به شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های چندبخشی، تلسکوپی، بریدگی رأس، تغییر زاویه جاروب و تفاوت در محل بخش فعال مخروط‌افکنه‌ها شده است؛ به‌گونه‌ای که الگوی فعالیت مخروط‌افکنه‌ها در بخش‌های شرقی و غربی منطقه، بازتاب‌دهنده تفاوت در سبک و شدت تکتونیک فعال است. در مطالعات دیگر، نقش فعالیت‌های نفوختکتونیکی در کنترل ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها در مناطق مختلف ایران از جمله دشت قزوین، البرز جنوبی، ارتفاعات جغتای و ایران مرکزی مورد تأکید قرار گرفته است (Maghsoudi et al, 2012; Amirahmadi and Ebrahimi, 2015, Jamalabadi et al, 2018; Ghahraman et al, 2022). این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بالآمدگی‌های تکتونیکی، جابه‌جایی‌های گسلی و تغییر سطح اساس محلی، از عوامل اصلی افزایش حجم مخروط‌افکنه‌ها، تشکیل مخروط‌های چندبخشی و تقطیع‌شده و تغییر در شیب و نیمرخ طولی آن‌ها هستند. همچنین در برخی مناطق، غلبه فرایندهای رودخانه‌ای بر مخروط‌افکنه‌های کشیده با زاویه جاروب کوچک گزارش شده که متأثر از شرایط تکتونیکی و مورفوکلیمایی کنونی است. بررسی روابط کمی میان پارامترهای مورفومتری و شاخص‌های تکتونیکی نشان می‌دهد که حجم مخروط‌افکنه‌ها بیش از آنکه تابع مساحت آن‌ها باشد، به نرخ بالآمدگی حوضه‌ها و موقعیت آن‌ها نسبت به گسل‌های فعال وابسته است (Rajabi et al, 2025; Najafi et al, 2020). این مطالعات نشان می‌دهند که وجود گسل‌های معکوس، نرمال و امتدادلغز در بالادست حوضه‌های آبریز، نقش تعیین‌کننده‌ای در تکامل هندسی، الگوی زهکشی و میزان برش سطحی مخروط‌افکنه‌ها دارد. در مقیاس جهانی نیز پژوهش‌های متعددی بر نقش غالب تکتونیک در کنترل مورفولوژی و مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها تأکید دارند. بهرامی (Bahrami, 2013)، در زاگرس نشان داد که شاخص‌هایی مانند زاویه جاروب، نسبت عرض به طول و میزان بریدگی رأس مخروط‌ها، همبستگی مثبت و معناداری با شیب لایه‌های پهلوی تاقدیس دارند. همچنین کاراتاش و بولتون (Karataş and

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شهرستان لارستان استان فارس قرار دارد. این منطقه از جنوب به شهر لار محدود می‌شود و اقلیم گرم و خشکی دارد. از شمال هم به شهر زرین دشت محدود می‌شود. منطقه مورد مطالعه شامل سه تاقدیس چاه‌نهر، دشت کنار و شرکت است که در قسمت شمال شرقی شهر لار قرار دارند. در حاشیه این سه تاقدیس در مجموع ۱۲۵ مخروط‌افکنه و حوضه‌های آبریز مرتبط با آن‌ها شناسایی شدند (شکل ۱). محدوده‌ای که مخروط‌افکنه‌ها در آن واقع شده‌اند، بین عرض جغرافیایی $17^{\circ} 17' 00''$ تا $28^{\circ} 28' 46''$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ} 29' 54''$ تا $55^{\circ} 39' 56''$ شرقی قرار دارد. تاقدیس طویل چاه نهر در یک کیلومتری شمال روستای چاه نهر واقع شده است. طول این تاقدیس $68/42$ کیلومتر و عرض آن $6/72$ کیلومتر است. حداکثر ارتفاع این تاقدیس 1906 متر و حداقل ارتفاع آن 790 متر می‌باشد. در حاشیه این تاقدیس، 74 مخروط‌افکنه شناسایی شده است. تاقدیس دشت کنار در 10 کیلومتری شمال روستای رمیجان واقع شده است و تاقدیس نسبتاً طولی است. طول این تاقدیس، $46/06$ کیلومتر و حداکثر عرض آن $9/24$ کیلومتر است. حداکثر ارتفاع این تاقدیس 1785 متر و حداقل ارتفاع آن 655 متر است. در حاشیه این تاقدیس، 25 مخروط‌افکنه شناسایی گردیده است. تاقدیس شرکت که در 5 کیلومتری جنوب روستای مهرآباد واقع شده است و طول آن $27/23$ کیلومتر و حداکثر عرض آن $9/25$ کیلومتر است. حداکثر ارتفاع این تاقدیس 1488 متر و حداقل ارتفاع آن 690 متر می‌باشد. در حاشیه این تاقدیس، 26 مخروط‌افکنه شناسایی شده است (شکل ۱). همچنین تاقدیس‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از سازندهای آسماری- جهرم، آجاجاری، بختیاری، تارپور، رازک، گچساران و میشان تشکیل شده‌اند. از نظر زمین‌شناسی ساختمانی، منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس چین‌خورده قرار دارد که مجموعه‌ای از تاقدیس‌ها و ناودیس‌هایی است که در میان این چین‌خورده‌گی‌ها، گنبد‌های نمکی نفوذ کرده‌اند. این زون بخشی از کمربند کوهزایی زاگرس است که در اثر همگرایی و برخورد صفحه عربی با صفحه اوراسیا در سنوزوئیک تشکیل شده و به صورت یک کمربند چین‌خورده با روند کلی شمال‌غرب - جنوب‌شرق مشخص

(Boulton, 2019)، در جنوب ترکیه گزارش کردند که مخروط‌افکنه‌های مجاور گسل‌های فعال، دارای شیب تندتر، ارتفاع نسبی بیشتر و سطح محدودتر بوده و مخروط‌افکنه‌های قدیمی‌تر و دور از گسل‌ها، سطح گسترده‌تر و شیب ملایم‌تری دارند. نتایج پژوهش‌های عددی و آزمایشگاهی گارسیا-استیو و وینسنت (Garcia- Estève et al, 2021, Vincent et al, 2022) نیز نشان می‌دهد که تغییر نرخ جابه‌جایی‌های تکتونیکی به سرعت در شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها بازتاب می‌یابد و بازخورد میان فرایندهای سطحی و حرکات تکتونیکی در شکل‌گیری نهایی مخروط‌افکنه‌ها نقش مهمی دارد. همچنین مطالعات اوزپالات (Özpalat et al, 2022) در زون‌های کششی فعال نشان می‌دهد که تکتونیک با کنترل شیب، انرژی سیستم و فضای رسوب‌گذاری، عامل درجه اول در تکامل مخروط‌افکنه‌ها بوده و اقلیم و لیتولوژی در مرتبه دوم اهمیت قرار می‌گیرند. علاوه بر این، پژوهش‌هایی مانند ساوی و همکاران (Savi et al, 2020) و قهرمان و ناگی (Ghahraman and Nagy, 2024) نشان داده‌اند که تغییرات مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک، می‌تواند به‌عنوان شاخصی قابل اعتماد برای ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در مناطقی با داده‌های زمین‌شناسی محدود مورد استفاده قرار گیرد. همچنین جیانگ و همکاران (Jiang et al, 2025) نشان دادند که حتی فعالیت‌های ماگمایی متراکم نیز می‌توانند از طریق بالابردگی پوسته‌ای، زمینه‌ساز تشکیل مخروط‌افکنه‌های وسیع و تغییر در الگوی رسوب‌گذاری شوند. در مجموع، مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که مخروط‌افکنه‌ها ابزارهایی کارآمد برای بازسازی تاریخچه فعالیت‌های تکتونیکی، به‌ویژه در محیط‌های تاقدیسی فعال، محسوب می‌شوند و تحلیل همزمان ویژگی‌های مورفولوژیکی و مورفومتری آن‌ها می‌تواند شواهد معتبری از شدت و سبک تکتونیک فعال ارائه دهد. با این وجود، بررسی مقایسه‌ای مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌ها در زاگرس فارس کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مقایسه‌ای شاخص‌های ژئومورفومتری مخروط‌افکنه‌های واقع در حاشیه تاقدیس‌های زاگرس فارس انجام می‌شود تا نقش فرآیندهای تکتونیکی در توسعه و تکامل این لندفرم‌ها تبیین گردد.

(کنگلوما و سنگ آهک با سن زمین‌شناسی میوسن) می‌باشد. تاقدیس دشت کُناَر به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازند آسماری - جهرم، سازند میشان (مارن و سنگ آهک با سن زمین‌شناسی میوسن)، سازند گچساران (سنگ آهک، مارن و کنگلوما با سن زمین‌شناسی میوسن) می‌باشد. در تاقدیس شرکت، حوضه‌های بالادست مخروط‌افکنه‌ها تنها شامل سازند گچساران می‌باشد. نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های زرین‌دشت و لار هستند. میانگین سالانه بارش و دمای ایستگاه سینوپتیک زرین‌دشت (دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۵) در شمال منطقه مورد مطالعه، به ترتیب ۲۰۶/۸۳ میلی‌متر و ۲۴/۵ سلسیوس، و در ایستگاه لار در جنوب منطقه مورد مطالعه، به ترتیب ۱۹۷/۷۷ میلیمتر و ۲۴/۹ سلسیوس در بازه زمانی ۳۱ سال (۱۹۹۴-۲۰۲۵) می‌باشد. ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز بالادست آن‌ها به‌طور خلاصه و جداگانه در جدول ۱ و جدول ۲ آورده شده است.

می‌شود. ساختارهای غالب در این زون، تاقدیس‌ها و ناودیس‌های طویل و موازی هستند که توالی‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک را در بر می‌گیرند. وجود واحدهای تبخیری عمیق (نظیر تبخیرات قاعده‌ای سازند هرمز) زمینه را برای ایجاد ساختارهای دیپیری فراهم کرده است؛ به‌گونه‌ای که در پی تنش‌های تراکمی و به دلیل رفتار پلاستیک و چگالی کمتر این لایه‌های نمکی نسبت به سنگ‌های پوششی، نمک‌ها به سمت بالا مهاجرت کرده و به صورت گنبد‌های نمکی در میان چین‌ها نفوذ کرده‌اند. حضور این گنبد‌های نمکی، با ایجاد تغییر در هندسه چین‌ها، ایجاد گسل‌های فرعی و موضعی و نیز جابجایی و برهم‌زدن پیوستگی لایه‌ها، باعث پیچیدگی بیشتر در الگوی ساختاری منطقه شده است (Alavi, 2007; Jahani et al, 2009; Zarei et al, 2023). تاقدیس چاه نهر شامل سازند تاربور (سنگ آهک و مارن با سن زمین‌شناسی کرتاسه)، سازند ساچون (سنگ آهک و سیلت با سن زمین‌شناسی پالئوسن)، سازند آسماری- جهرم (سنگ آهک، دولومیت و مارن با سن زمین‌شناسی الیگوسن پیشین)، سازند بختیاری

جدول ۱: خلاصه مورفومتری مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کُناَر و شرکت

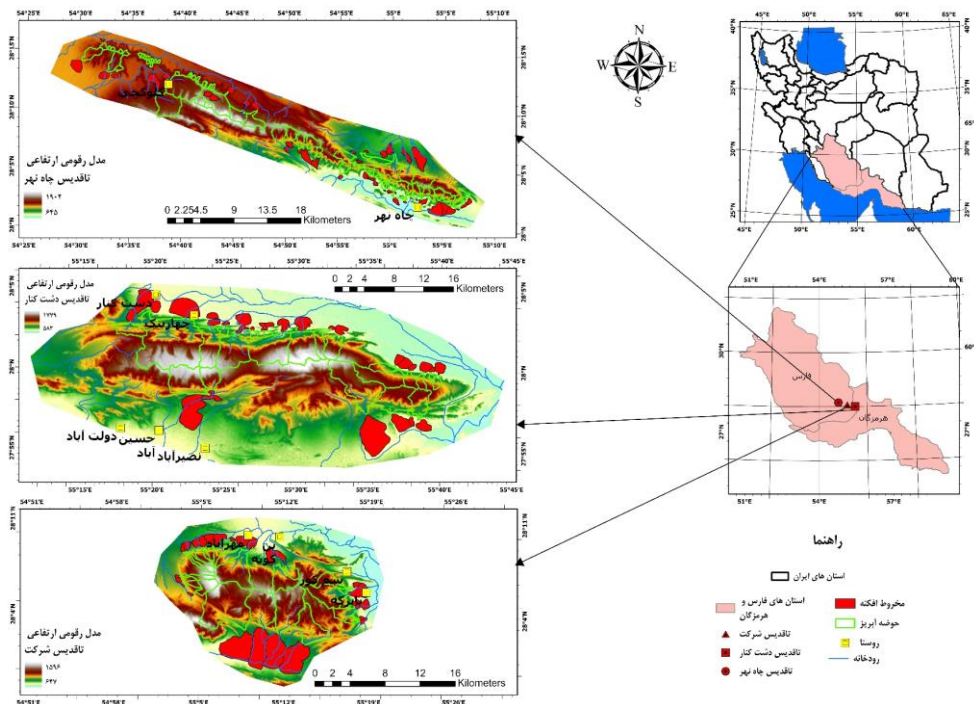
Table 1: Summary of Morphometric Characteristics of Alluvial Fans Around of the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat Anticlines

| نام تاقدیس | تعداد مخروط‌افکنه (N) | حداقل ارتفاع مخروط‌افکنه (m) | حداکثر ارتفاع مخروط‌افکنه (m) | حداقل مساحت مخروط‌افکنه (KM ²) | حداکثر مساحت مخروط‌افکنه (KM ²) | حداقل شیب مخروط‌افکنه (%) | حداکثر شیب مخروط‌افکنه (%) |
|------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|--|---|---------------------------|----------------------------|
| چاه‌نهر | 74 | 690 | 1519 | 0.006 | 4.62 | 0.91 | 17.09 |
| دشت کُناَر | 25 | 643 | 909 | 0.13 | 10.4 | 1.12 | 4.93 |
| شرکت | 26 | 691 | 933 | 0.01 | 12.5 | 1.58 | 6.58 |

جدول ۲: خلاصه مورفومتری حوضه‌های آبریز بالادست مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کُناَر و شرکت

Table 2: Summary of Morphometric Characteristics of the Upstream Drainage Basins of the Alluvial Fans Around of the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat Anticlines

| نام تاقدیس | تعداد حوضه آبریز (N) | حداقل ارتفاع حوضه (m) | حداکثر ارتفاع حوضه (m) | حداقل مساحت حوضه (KM ²) | حداکثر مساحت حوضه (KM ²) | حداقل شیب حوضه (%) | حداکثر شیب حوضه (%) |
|------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|
| چاه‌نهر | 74 | 676 | 1701 | 0.03 | 16.6 | 21.99 | 96.13 |
| دشت کُناَر | 25 | 629 | 1304 | 0.30 | 34.35 | 26.19 | 55.23 |
| شرکت | 26 | 712 | 1345 | 0.08 | 32.14 | 20.6 | 48.44 |



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه و مدل‌های ارتفاعی سه تاقدیس چاه‌نهر، دشت‌کنار و شرکت

Fig. 1: Map of the study area and digital elevation models of the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat anticlines

مخروط‌گرایی اصلاح شده (FCIR) می‌باشد (جدول ۳). همچنین شاخص‌های مورفومتری مرتبط با حوضه‌های آبریز شامل مساحت (Ba)، شاخص شکل حوضه (Bs)، شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)، ضریب گردواری (Cr) و شیب متوسط حوضه آبریز برحسب درصد (S) می‌شود (جدول ۴). جهت محاسبه شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز مرتبط با آن‌ها، ابتدا محدوده مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های به‌صورت دقیق در محیط Google earth Pro به صورت دستی ترسیم شد و سپس مساحت، طول و عرض و شیب هریک از مخروط‌افکنه‌ها در محیط نرم‌افزار مذکور، محاسبه شد. همچنین برای محاسبه شیب و مساحت هریک از حوضه‌های آبریز پس از ترسیم محدوده آن‌ها، محدوده هریک بر روی مدل رقومی ارتفاعی جای‌گذاری و سپس شیب متوسط محاسبه شد. در نهایت جدول ویژگی‌ها به نرم‌افزار Excel منتقل شد تا محاسبات عددی و سازمان‌دهی داده‌ها انجام گردد. به منظور بررسی تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی تاقدیس‌ها بر ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها، مخروط‌افکنه‌های منطقه بر اساس موقعیت ساختاری نسبت به تاقدیس‌ها و نیز نحوه گسترش فضایی آن‌ها طبقه‌بندی شدند. در این راستا، با استفاده از داده‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های

مواد و روش‌ها

این پژوهش با رویکرد توصیفی - تحلیلی و بر پایه ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای، سنجش‌ازدور، GIS و تحلیل‌های آماری انجام شد. در مرحله نخست، اطلاعات پایه ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی تاقدیس‌ها از منابع کتابخانه‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی موجود با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ پردازش نقشه‌های پایه، از نرم‌افزار ArcGIS Pro 5.3.4 استفاده شد. سپس به‌منظور تولید مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه مورد مطالعه، از داده‌های ماهواره ALOS PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شد. این داده‌ها پس از تصحیحات هندسی و موزاییک‌سازی، مبنای استخراج پارامترهای توپوگرافی و شیب قرار گرفتند. برای تکمیل اطلاعات، تطبیق عوارض و کنترل صحت تفسیرها، بازدیدهای میدانی از محدوده تاقدیس‌ها و مخروط‌افکنه‌ها انجام گرفت. تصاویر و مشاهدات میدانی به عنوان داده کمکی در تحلیل ژئومورفولوژی و تعیین مرز عوارض مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص‌های مورفومتری مورد استفاده در این پژوهش برای مخروط‌افکنه‌ها شامل مساحت (Fa)، زاویه جاروب (Sa)، نسبت عرض به طول (W/L)، شیب توپوگرافی برحسب درصد (Sf) و ضریب

تداخل فضایی به دو دسته مخروط‌افکنه‌های دارای هم‌پوشانی و مخروط‌افکنه‌های فاقد هم‌پوشانی تقسیم شدند. معیار این طبقه‌بندی، میزان تداخل هندسی و ادغام مرز مخروط‌افکنه‌های مجاور بر پایه شواهد مورفولوژیکی بود. این تفکیک با هدف تحلیل نقش محدودیت‌های توپوگرافی، تغییرات فضای رسوب‌گذاری و تأثیر رشد تکتونیکی تاقدیس‌ها بر نحوه توسعه و گسترش مخروط‌افکنه‌ها صورت گرفت.

زمین‌شناسی و تحلیل‌های مورفومتری، مخروط‌افکنه‌ها از نظر موقعیت قرارگیری به دو گروه شامل: (۱) مخروط‌افکنه‌های واقع در نواحی فرود محوری تاقدیس‌ها و (۲) مخروط‌افکنه‌های واقع در نواحی مرکزی تاقدیس‌ها تفکیک شدند. این تقسیم‌بندی با هدف ارزیابی اثر موقعیت ساختاری تاقدیس‌ها در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های بالادست آنها انجام گرفت. همچنین، مخروط‌افکنه‌ها بر اساس الگوی گسترش جانبی و میزان

جدول ۳: شاخص‌های مورفومتری برای ارزیابی فعالیت نسبی تکتونیک مخروط‌افکنه‌ها

Table 3: Morphometric Indices for Assessing the Relative Tectonic Activity of Alluvial Fans

| منبع | اجزای شاخص | شاخص‌های کمی |
|---|---|-----------------------------------|
| (Shoshta and Marh, 2021) | مساحت پلانیمتری کل مخروط افکنه | مساحت مخروط افکنه |
| (Bahrami, 2013) | زاویه بین حاشیه مخروط در رأس مخروط افکنه | زاویه جاروب |
| (Bahrami, 2013; Ghahraman and Nagy, 2024) | W: بیشترین مقدار عرض مخروط افکنه L: فاصله عمودی بین رأس تا قاعده مخروط افکنه (طول) | $W/L \text{ Ratio} = \frac{W}{L}$ |
| - | $\Delta H = H_{max} - H_{min}$ H_{max} : بیشترین ارتفاع مخروط افکنه H_{min} : کمترین ارتفاع مخروط افکنه L: طول مخروط افکنه | $Sf = \frac{\Delta H}{L} * 100$ |
| (Bahrami et al, 2024) | ضریب مخروط‌گرایی | $FCIR = FCI - 1 $ |

جدول ۴: شاخص‌های مورفومتری برای ارزیابی فعالیت نسبی تکتونیک حوضه‌های آبریز

Table 4: Morphometric Indices for Evaluating the Relative Tectonic Activity of Drainage Basins

| منبع | اجزای شاخص | شاخص کمی |
|---------------------------|--|---|
| (Irfan et al, 2025) | مساحت کل پلانیمتری حوضه آبریز | مساحت حوضه آبریز |
| (El Hamdouni et al, 2008) | Bl: طول حوضه از سرچشمه تا دهانه یا خروجی حوضه Bw: عرض حوضه که در وسیع‌ترین نقطه‌ی آن اندازه‌گیری می‌شود | $B_s = \frac{Bl}{Bw}$ |
| (Othman and Omar, 2023) | Hmax: حداکثر ارتفاع حوضه Hmean: میانگین ارتفاع حوضه Hmin: حداقل ارتفاع حوضه | $H_t = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$ |
| (Spagnolo et al, 2017) | براساس DEM | شیب متوسط حوضه آبریز |
| (Bahrami, 2022) | A: مساحت حوضه آبریز برحسب کیلومتر مربع P: محیط حوضه آبریز برحسب کیلومتر مربع | $CR = \left(\frac{4 \times \pi \times A}{P^2} \right)$ |

پارامترهای مرتبط با مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های بالادست آن‌ها از آزمون T-Test استفاده شده است (شکل ۲). همچنین برای محاسبه همبستگی میان پارامترها، از روش همبستگی پیرسون استفاده شد.

در انتها، برای تحلیل و استنباط روابط آماری بین پارامترهای مرتبط با مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های بالادست آن‌ها از نرم‌افزار SPSS27 استفاده شده است. برای مقایسه پارامترهای کمی بین تاقدیس‌ها از آزمون Anova استفاده گردید. برای تحلیل و مقایسه روابط آماری بین تمامی



شکل ۲: روند جریان پژوهش

Fig. 2: Research Workflow

بحث و نتایج

متغیر است که بیشترین مقدار آن با مقدار ۲/۲۴۵ مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۱۵ تاقدیس چاه‌نهر و کمترین مقدار آن با مقدار ۰/۰۷۴ مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۲۶ تاقدیس چاه‌نهر می‌باشد. بیشترین مقدار پارامتر ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۲۵ تاقدیس دشت کنار با مقدار ۳/۳۳۸ و کمترین مقدار آن مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۳ تاقدیس چاه‌نهر با مقدار ۰/۰۵۵ می‌باشد. بیشترین شیب توپوگرافی مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۵ تاقدیس چاه‌نهر ۱۷/۰۸۷ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۱۴ تاقدیس چاه‌نهر با مقدار ۰/۹۰۶ درصد می‌باشد. جدول ۶ تفاوت میانگین شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها را در گروه‌های مختلف نمایش می‌دهد.

نتایج مربوط به مساحت (Fa)، زاویه جاروب (Sa)، نسبت عرض به طول (W/L)، ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده (FCIR) و شیب مخروط‌افکنه (Fs) در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مساحت مخروط‌افکنه‌ها، از ۰/۰۰۶ تا ۱۲/۵ کیلومتر مربع متغیر است و بیشترین مقدار آن مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۱ تاقدیس شرکت و کمترین مقدار آن مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۵ تاقدیس چاه‌نهر می‌باشد. زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌ها نیز از ۳۸ درجه تا ۲۴۰ درجه متغیر است که بیشترین مقدار این پارامتر مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۶۳ تاقدیس چاه‌نهر (۲۴۰ درجه) و کمترین مقدار آن مربوط به مخروط‌افکنه شماره ۵۳ تاقدیس چاه‌نهر (۳۸ درجه) است. مقدار پارامتر نسبت عرض به طول مخروط‌افکنه‌ها بین ۰/۰۷۴ تا ۲/۲۴۵

جدول ۵: پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌های تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کنار و شرکت

Table 5: Quantitative Parameters of the Alluvial Fans of the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat Anticlines

| نام مخروط افکنه | مساحت (کیلومتر مربع) | زاویه جاروب (°) | نسبت عرض به طول | ضریب مخروط‌گرایی | ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده | شیب مخروط افکنه (درصد) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| چاه نهر ۱ | 0.55 | 95 | 0.669 | 2.096 | 1.096 | 3.645 |
| چاه نهر ۲ | 0.42 | 73 | 0.361 | 2.381 | 1.381 | 3.830 |
| چاه نهر ۳ | 0.1 | 111 | 0/958 | 1.055 | 0.055 | 2.726 |
| چاه نهر ۴ | 0/035 | 112 | 0.941 | 1.390 | 0.390 | 4.930 |

| | | | | | | |
|--------|-------|-------|--------|-----|-------|------------|
| 17.087 | 0.061 | 0.939 | 1/916 | 131 | 0.006 | چاه نهر ۵ |
| 5.074 | 0.496 | 1.496 | 1.017 | 121 | 1.23 | چاه نهر ۶ |
| 6.429 | 1.476 | 2.476 | 0.529 | 93 | 1.36 | چاه نهر ۷ |
| 6.001 | 0.652 | 1.652 | 1.015 | 113 | 3.34 | چاه نهر ۸ |
| 2.164 | 2.590 | 3.590 | 0.469 | 116 | 0.78 | چاه نهر ۹ |
| 4.067 | 1.454 | 2.454 | 0.840 | 125 | 0.13 | چاه نهر ۱۰ |
| 2.726 | 0.468 | 1.468 | 0.655 | 75 | 0.06 | چاه نهر ۱۱ |
| 3.863 | 2.961 | 3.961 | 0.347 | 98 | 0.07 | چاه نهر ۱۲ |
| 6.847 | 0.166 | 1.166 | 1.149 | 82 | 0.11 | چاه نهر ۱۳ |
| 0.906 | 0.947 | 1.947 | 0.572 | 84 | 0.66 | چاه نهر ۱۴ |
| 9.670 | 0.454 | 0.546 | 2.245 | 76 | 0.24 | چاه نهر ۱۵ |
| 2.377 | 1.018 | 2.018 | 0.676 | 104 | 0.23 | چاه نهر ۱۶ |
| 2.890 | 1.431 | 2.431 | 0.516 | 97 | 0.06 | چاه نهر ۱۷ |
| 1.858 | 0.175 | 0.825 | 0.792 | 51 | 0.4 | چاه نهر ۱۸ |
| 4.432 | 1.364 | 2.364 | 0.574 | 126 | 0.16 | چاه نهر ۱۹ |
| 6.397 | 0.670 | 1.670 | 0.690 | 103 | 0.2 | چاه نهر ۲۰ |
| 2.371 | 0.074 | 1.074 | 0.710 | 53 | 0.15 | چاه نهر ۲۱ |
| 6.418 | 1.782 | 2.782 | 0.734 | 125 | 0.11 | چاه نهر ۲۲ |
| 8.387 | 0.093 | 0.907 | 0.701 | 53 | 0.64 | چاه نهر ۲۳ |
| 4.822 | 0.424 | 1.424 | 1.126 | 115 | 0.33 | چاه نهر ۲۴ |
| 7.844 | 0.131 | 1.131 | 0.708 | 52 | 1.17 | چاه نهر ۲۵ |
| 4.892 | 1.705 | 2.705 | 0.074 | 95 | 2 | چاه نهر ۲۶ |
| 5.513 | 0.729 | 1.729 | 0.897 | 113 | 0.3 | چاه نهر ۲۷ |
| 8.114 | 0.425 | 1.425 | 0.954 | 108 | 0.85 | چاه نهر ۲۸ |
| 5.173 | 1.156 | 2.156 | 0.565 | 83 | 0.58 | چاه نهر ۲۹ |
| 2.240 | 1.066 | 2.066 | 0.434 | 60 | 2.69 | چاه نهر ۳۰ |
| 2.862 | 0.373 | 1.373 | 0.979 | 115 | 0.65 | چاه نهر ۳۱ |
| 5.922 | 0.074 | 1.074 | 1.258 | 90 | 0.03 | چاه نهر ۳۲ |
| 5.439 | 0.113 | 0.887 | 1.211 | 65 | 0.07 | چاه نهر ۳۳ |
| 3.727 | 0.508 | 1.508 | 1.061 | 90 | 0.63 | چاه نهر ۳۴ |
| 2.944 | 0.020 | 0.980 | 1.237 | 109 | 1.45 | چاه نهر ۳۵ |
| 1.888 | 0.123 | 1.123 | 1.084 | 96 | 2.71 | چاه نهر ۳۶ |
| 4.355 | 0.547 | 1.547 | 1.099 | 100 | 0.25 | چاه نهر ۳۷ |
| 7.742 | 1.044 | 2.044 | 0.807 | 112 | 0.25 | چاه نهر ۳۸ |
| 6.491 | 2.272 | 3.272 | 0.465 | 101 | 0.27 | چاه نهر ۳۹ |
| 8.689 | 0.968 | 1.968 | 0.492 | 76 | 0.3 | چاه نهر ۴۰ |
| 4.390 | 1.284 | 2.284 | 0.547 | 93 | 0.39 | چاه نهر ۴۱ |
| 10.609 | 0.851 | 1.851 | 0.658 | 86 | 0.09 | چاه نهر ۴۲ |
| 7.569 | 0.555 | 1.555 | 0.749 | 68 | 0.056 | چاه نهر ۴۳ |
| 7.342 | 0.977 | 1.977 | 0.870 | 123 | 0.058 | چاه نهر ۴۴ |
| 11.255 | 0.404 | 1.404 | 1.081 | 97 | 0.04 | چاه نهر ۴۵ |
| 9.724 | 0.036 | 1.036 | 0.806 | 39 | 0.02 | چاه نهر ۴۶ |
| 9.238 | 1.070 | 2.070 | 1.248 | 90 | 0.01 | چاه نهر ۴۷ |
| 8.300 | 1.234 | 2.234 | 1.109 | 90 | 0.01 | چاه نهر ۴۸ |
| 10.264 | 0.433 | 1.433 | 1.054 | 108 | 0.039 | چاه نهر ۴۹ |
| 6.640 | 0.088 | 1.088 | 1.063 | 75 | 0.066 | چاه نهر ۵۰ |
| 7.407 | 0.047 | 1.047 | 0.9999 | 49 | 0.036 | چاه نهر ۵۱ |
| 7.156 | 0.066 | 1.066 | 1.293 | 88 | 0.009 | چاه نهر ۵۲ |
| 16.254 | 0.309 | 0.691 | 0.764 | 38 | 0.059 | چاه نهر ۵۳ |
| 4.231 | 0.240 | 1.240 | 0.953 | 88 | 0.028 | چاه نهر ۵۴ |
| 9.692 | 0.170 | 1.170 | 1.079 | 92 | 0.1 | چاه نهر ۵۵ |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------------|
| 5.671 | 0.403 | 1.403 | 1.003 | 115 | 0.05 | چاه نهر ۵۶ |
| 7.127 | 0.212 | 1.212 | 0.775 | 69 | 0.022 | چاه نهر ۵۷ |
| 7.958 | 1.114 | 2.114 | 0.529 | 73 | 0.04 | چاه نهر ۵۸ |
| 7.531 | 0.446 | 1.446 | 0.632 | 68 | 0.035 | چاه نهر ۵۹ |
| 8.499 | 0.257 | 1.257 | 0.855 | 85 | 0.036 | چاه نهر ۶۰ |
| 4.988 | 1.376 | 2.376 | 0.594 | 103 | 0.81 | چاه نهر ۶۱ |
| 6.991 | 0.019 | 0.981 | 1.117 | 84 | 0.93 | چاه نهر ۶۲ |
| 2.369 | 1.077 | 2.077 | 1.261 | 240 | 0.95 | چاه نهر ۶۳ |
| 4.532 | 0.599 | 1.599 | 0.893 | 66 | 0.96 | چاه نهر ۶۴ |
| 3.182 | 0.645 | 1.645 | 0.635 | 100 | 1.06 | چاه نهر ۶۵ |
| 2.303 | 0.976 | 1.976 | 0.775 | 133 | 0.32 | چاه نهر ۶۶ |
| 3.877 | 1.216 | 2.216 | 0.607 | 91 | 0.061 | چاه نهر ۶۷ |
| 6.089 | 0.550 | 1.550 | 0.462 | 57 | 0.16 | چاه نهر ۶۸ |
| 5.837 | 0.185 | 1.185 | 0.876 | 68 | 0.18 | چاه نهر ۶۹ |
| 2.286 | 0.568 | 1.568 | 0.776 | 115 | 0.24 | چاه نهر ۷۰ |
| 2.323 | 0.050 | 1.050 | 0.871 | 65 | 0.9 | چاه نهر ۷۱ |
| 2.593 | 0.064 | 0.936 | 1.135 | 65 | 1.37 | چاه نهر ۷۲ |
| 2.523 | 1.253 | 2.253 | 0.258 | 50 | 1.49 | چاه نهر ۷۳ |
| 2.826 | 0.994 | 1.994 | 0.385 | 54 | 4.62 | چاه نهر ۷۴ |
| 3.793 | 2.527 | 3.527 | 0.409 | 132 | 1.92 | دشت کنار ۱ |
| 3.772 | 2.742 | 3.742 | 0.479 | 122 | 7.68 | دشت کنار ۲ |
| 2.441 | 0.435 | 1.435 | 0.641 | 72 | 10.4 | دشت کنار ۳ |
| 2.045 | 0.511 | 1.511 | 0.666 | 78 | 2.8 | دشت کنار ۴ |
| 3.288 | 1.622 | 2.622 | 0.495 | 117 | 0.52 | دشت کنار ۵ |
| 2.427 | 0.675 | 1.675 | 0.782 | 107 | 1.59 | دشت کنار ۶ |
| 1.684 | 0.131 | 0.869 | 0.832 | 57 | 1.26 | دشت کنار ۷ |
| 3.080 | 0.320 | 1.320 | 0.718 | 76 | 0.28 | دشت کنار ۸ |
| 1.676 | 0.005 | 1.005 | 0.981 | 89 | 1.1 | دشت کنار ۹ |
| 3.753 | 0.244 | 1.244 | 0.512 | 64 | 0.46 | دشت کنار ۱۰ |
| 1.461 | 0.655 | 1.655 | 0.817 | 125 | 1.36 | دشت کنار ۱۱ |
| 1.128 | 0.435 | 1.435 | 0.673 | 80 | 0.86 | دشت کنار ۱۲ |
| 3.032 | 0.152 | 1.152 | 1.260 | 110 | 1.11 | دشت کنار ۱۳ |
| 4.702 | 0.033 | 1.033 | 2.017 | 202 | 0.25 | دشت کنار ۱۴ |
| 4.134 | 0.240 | 1.240 | 1.176 | 105 | 2.24 | دشت کنار ۱۵ |
| 2.290 | 0.839 | 1.839 | 0.855 | 109 | 1.35 | دشت کنار ۱۶ |
| 2.237 | 0.216 | 1.216 | 1.097 | 87 | 0.55 | دشت کنار ۱۷ |
| 2.314 | 1.131 | 2.131 | 0.701 | 100 | 0.37 | دشت کنار ۱۸ |
| 3.082 | 0.426 | 1.426 | 0.907 | 103 | 0.13 | دشت کنار ۱۹ |
| 1.889 | 1.257 | 2.257 | 0.724 | 92 | 2.59 | دشت کنار ۲۰ |
| 4.932 | 0.104 | 0.896 | 1.936 | 137 | 0.29 | دشت کنار ۲۱ |
| 2.381 | 0.702 | 1.702 | 0.842 | 128 | 1.67 | دشت کنار ۲۲ |
| 2.297 | 0.079 | 0.921 | 1.556 | 123 | 5.97 | دشت کنار ۲۳ |
| 2.970 | 0.868 | 1.868 | 0.842 | 135 | 1.26 | دشت کنار ۲۴ |
| 2.562 | 3.338 | 4.338 | 0.476 | 143 | 5.11 | دشت کنار ۲۵ |
| 2.229 | 0.115 | 0.885 | 1.040 | 67 | 12.5 | شرکت ۱ |
| 2.180 | 2.717 | 3.717 | 0.400 | 142 | 10.1 | شرکت ۲ |
| 2.167 | 1.065 | 2.065 | 0.626 | 110 | 10.7 | شرکت ۳ |
| 1.580 | 1.524 | 2.524 | 0.617 | 105 | 7.53 | شرکت ۴ |
| 4.664 | 2.191 | 3.191 | 0.482 | 131 | 0.48 | شرکت ۵ |
| 6.580 | 1.305 | 2.305 | 0.690 | 110 | 0.27 | شرکت ۶ |
| 3.150 | 0.935 | 1.935 | 0.592 | 86 | 1.65 | شرکت ۷ |
| 5.686 | 1.590 | 2.590 | 0.549 | 119 | 0.54 | شرکت ۸ |
| 2.459 | 1.132 | 2.132 | 0.754 | 101 | 3.35 | شرکت ۹ |
| 2.664 | 0.954 | 1.954 | 0.739 | 104 | 0.55 | شرکت ۱۰ |
| 3.449 | 1.861 | 2.861 | 0.333 | 69 | 1.53 | شرکت ۱۱ |
| 3.116 | 2.497 | 3.497 | 0.431 | 137 | 1.98 | شرکت ۱۲ |
| 2.006 | 0.864 | 1.864 | 0.626 | 98 | 1.56 | شرکت ۱۳ |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------------|
| 2.754 | 0.195 | 0.805 | 0.986 | 65 | 2.14 | شرکت ۱۴ |
| 4.511 | 0.204 | 1.204 | 0.946 | 78 | 0.01 | شرکت ۱۵ |
| 3.732 | 0.109 | 1.109 | 1.267 | 87 | 0.26 | شرکت ۱۶ |
| 4.628 | 1.319 | 2.319 | 0.706 | 118 | 1.95 | شرکت ۱۷ |
| 4.500 | 0.437 | 1.437 | 0.968 | 98 | 1.28 | شرکت ۱۸ |
| 5.487 | 0.721 | 1.721 | 0.695 | 95 | 1.21 | شرکت ۱۹ |
| 4.652 | 1.074 | 2.074 | 0.717 | 107 | 0.99 | شرکت ۲۰ |
| 4.882 | 0.423 | 1.423 | 0.719 | 95 | 0.97 | شرکت ۲۱ |
| 3.514 | 0.410 | 1.410 | 0.525 | 103 | 0.91 | شرکت ۲۲ |
| 4.374 | 1.781 | 2.781 | 0.559 | 143 | 0.24 | شرکت ۲۳ |
| 3.927 | 0.697 | 1.697 | 0.970 | 140 | 0.42 | شرکت ۲۴ |
| 4.009 | 0.657 | 1.657 | 0.751 | 110 | 0.13 | شرکت ۲۵ |
| 4.579 | 0.742 | 1.742 | 0.625 | 100 | 0.26 | شرکت ۲۶ |
| 5 | 0.80 | 1.77 | 0.824 | 97.1 | 1.260 | میانگین |
| 3 | 0.71 | 0.74 | 0.341 | 29.2 | 2.219 | انحراف معیار |
| 59 | 89 | 42 | 41 | 30 | 176 | ضریب تغییرات |

جدول ۶: مقایسه میانگین شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها در گروه‌های مختلف

Table 6: Comparison of the Mean Morphometric Indices of Alluvial Fans in Different Groups

| مخروط‌افکنه‌های فاقد همپوشانی | مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی | مخروط‌افکنه‌های مرکزی | مخروط‌افکنه‌های فرود محوری | پارامتر |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1.08 | 1.36 | 1.30 | 1.16 | مساحت (Km ²) |
| 95 | 98 | 95 | 101 | زاویه جاروب (°) |
| 0.88 | 0.78 | 0.84 | 0.77 | نسبت عرض به طول |
| 0.61 | 0.92 | 0.80 | 0.77 | ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده |
| 4.39 | 4.93 | 4.90 | 4.34 | شیب (/) |
| 48 | 77 | 85 | 40 | تعداد (N) |

مخروط‌افکنه شماره ۱۰ تاقدیس دشت کنار و کمترین مقدار با ۰/۲۲۶ به حوضه بالادست مخروط‌افکنه شماره ۷۰ تاقدیس چاه‌نهر تعلق دارد. ضریب گردواری حوضه آبریز مخروط‌افکنه شماره ۱۵ تاقدیس شرکت با مقدار ۰/۷۶۸ دارای بیشترین مقدار و حوضه بالادست مخروط‌افکنه شماره ۲۲ تاقدیس شرکت با مقدار ۰/۲۱۴ دارای کمترین مقدار شاخص مذکور است. بیشترین مقدار پارامتر شیب توپوگرافی مربوط به حوضه آبریز مخروط‌افکنه شماره ۵۳ تاقدیس (۹۶ درصد) و کمترین مقدار این پارامتر مربوط به حوضه آبریز مخروط‌افکنه شماره ۲۳ تاقدیس شرکت (۲۱ درصد) است.

در پارامترهای مربوط به حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه (جدول ۷)، بیشترین مقدار مساحت حوضه آبریز (برحسب کیلومتر مربع) با مقدار ۳۴/۳۵ مربوط به حوضه بالادست مخروط‌افکنه شماره ۲۳ تاقدیس دشت کنار و کمترین مقدار مربوط به حوضه بالادست مخروط‌افکنه شماره ۵ تاقدیس چاه‌نهر با مقدار ۰/۰۳۴ می‌باشد. در شاخص شکل حوضه، بیشترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه بالادست مخروط‌افکنه شماره ۲۲ شرکت با مقدار ۸/۲۲۳ و کمترین مقدار آن مربوط به حوضه بالادست مخروط‌افکنه شماره ۲۵ تاقدیس دشت کنار با مقدار ۰/۲۶۷ می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص انتگرال هیپسومتری با مقدار ۰/۶۶۲ به حوضه بالادست

جدول ۷: پارامترهای کمی حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت‌کنار و شرکت

Table 7: Quantitative Parameters of the Drainage Basins of the Alluvial Fans of the Chah-Nahr, Dasht-Kenar, and Sherkat Anticlines

| شیب | ضریب گردواری | انتگرال هیپسومتری | شکل حوضه | مساحت (کیلومتر مربع) | نام مخروط افکنه |
|-----|--------------|-------------------|----------|----------------------|-----------------|
| 44 | 0.371 | 0.390 | 1.045 | 1.882 | چاه نهر ۱ |
| 43 | 0.315 | 0.537 | 3.584 | 0.480 | چاه نهر ۲ |

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|--------|------------|
| 39 | 0.660 | 0.367 | 1.102 | 1.157 | چاه نهر ۳ |
| 44 | 0.568 | 0.477 | 2.217 | 0.201 | چاه نهر ۴ |
| 41 | 0.437 | 0.556 | 3.709 | 0.034 | چاه نهر ۵ |
| 48 | 0.486 | 0.570 | 2.118 | 0.846 | چاه نهر ۶ |
| 57 | 0.544 | 0.484 | 1.137 | 1.450 | چاه نهر ۷ |
| 56 | 0.620 | 0.480 | 1.240 | 1.972 | چاه نهر ۸ |
| 52 | 0.490 | 0.470 | 1.787 | 1.653 | چاه نهر ۹ |
| 50 | 0.374 | 0.643 | 2.265 | 0.952 | چاه نهر ۱۰ |
| 51 | 0.530 | 0.557 | 2.356 | 2.075 | چاه نهر ۱۱ |
| 49 | 0.591 | 0.574 | 2.328 | 1.316 | چاه نهر ۱۲ |
| 47 | 0.614 | 0.435 | 1.575 | 0.273 | چاه نهر ۱۳ |
| 48 | 0.586 | 0.347 | 1.308 | 4.885 | چاه نهر ۱۴ |
| 57 | 0.516 | 0.447 | 2.491 | 0.754 | چاه نهر ۱۵ |
| 50 | 0.590 | 0.405 | 1.735 | 1.198 | چاه نهر ۱۶ |
| 42 | 0.683 | 0.436 | 1.367 | 0.551 | چاه نهر ۱۷ |
| 36 | 0.411 | 0.550 | 2.040 | 1.196 | چاه نهر ۱۸ |
| 60 | 0.622 | 0.544 | 2.092 | 0.469 | چاه نهر ۱۹ |
| 61 | 0.684 | 0.477 | 1.267 | 0.746 | چاه نهر ۲۰ |
| 57 | 0.610 | 0.342 | 2.020 | 0.511 | چاه نهر ۲۱ |
| 65 | 0.457 | 0.470 | 3.349 | 0.309 | چاه نهر ۲۲ |
| 77 | 0.705 | 0.432 | 0.996 | 0.480 | چاه نهر ۲۳ |
| 41 | 0.668 | 0.317 | 1.454 | 1.951 | چاه نهر ۲۴ |
| 52 | 0.700 | 0.468 | 1.720 | 1.053 | چاه نهر ۲۵ |
| 54 | 0.630 | 0.531 | 1.057 | 3.147 | چاه نهر ۲۶ |
| 48 | 0.523 | 0.481 | 1.989 | 2.241 | چاه نهر ۲۷ |
| 55 | 0.545 | 0.501 | 1.184 | 3.042 | چاه نهر ۲۸ |
| 45 | 0.522 | 0.502 | 1.446 | 4.926 | چاه نهر ۲۹ |
| 23 | 0.583 | 0.344 | 1.016 | 12.255 | چاه نهر ۳۰ |
| 32 | 0.627 | 0.358 | 1.548 | 16.610 | چاه نهر ۳۱ |
| 54 | 0.553 | 0.415 | 2.535 | 0.230 | چاه نهر ۳۲ |
| 58 | 0.546 | 0.435 | 1.133 | 0.240 | چاه نهر ۳۳ |
| 40 | 0.512 | 0.333 | 1.178 | 0.748 | چاه نهر ۳۴ |
| 34 | 0.516 | 0.356 | 2.260 | 4.157 | چاه نهر ۳۵ |
| 25 | 0.519 | 0.344 | 2.422 | 3.875 | چاه نهر ۳۶ |
| 38 | 0.666 | 0.387 | 1.201 | 0.789 | چاه نهر ۳۷ |
| 56 | 0.694 | 0.464 | 1.263 | 0.211 | چاه نهر ۳۸ |
| 52 | 0.747 | 0.554 | 0.907 | 0.309 | چاه نهر ۳۹ |
| 52 | 0.721 | 0.473 | 1.208 | 0.301 | چاه نهر ۴۰ |
| 43 | 0.595 | 0.502 | 1.134 | 0.547 | چاه نهر ۴۱ |
| 57 | 0.583 | 0.502 | 1.154 | 0.239 | چاه نهر ۴۲ |
| 49 | 0.539 | 0.578 | 1.355 | 0.278 | چاه نهر ۴۳ |
| 52 | 0.568 | 0.566 | 2.152 | 0.208 | چاه نهر ۴۴ |
| 54 | 0.663 | 0.514 | 1.720 | 0.222 | چاه نهر ۴۵ |
| 63 | 0.563 | 0.510 | 1.485 | 0.163 | چاه نهر ۴۶ |
| 58 | 0.632 | 0.533 | 1.963 | 0.158 | چاه نهر ۴۷ |
| 46 | 0.611 | 0.480 | 1.863 | 0.188 | چاه نهر ۴۸ |
| 50 | 0.709 | 0.511 | 1.447 | 0.169 | چاه نهر ۴۹ |
| 58 | 0.713 | 0.440 | 1.109 | 0.314 | چاه نهر ۵۰ |
| 78 | 0.576 | 0.571 | 1.586 | 0.162 | چاه نهر ۵۱ |
| 59 | 0.605 | 0.338 | 2.687 | 0.098 | چاه نهر ۵۲ |
| 96 | 0.683 | 0.513 | 2.182 | 0.114 | چاه نهر ۵۳ |

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|--------|-------------|
| 57 | 0.616 | 0.565 | 1.084 | 0.356 | چاه نهر ۵۴ |
| 47 | 0.596 | 0.591 | 1.678 | 0.317 | چاه نهر ۵۵ |
| 51 | 0.626 | 0.503 | 1.839 | 0.474 | چاه نهر ۵۶ |
| 49 | 0.398 | 0.406 | 2.967 | 0.108 | چاه نهر ۵۷ |
| 49 | 0.445 | 0.560 | 3.351 | 0.154 | چاه نهر ۵۸ |
| 61 | 0.539 | 0.497 | 2.867 | 0.248 | چاه نهر ۵۹ |
| 46 | 0.590 | 0.529 | 2.677 | 0.355 | چاه نهر ۶۰ |
| 33 | 0.681 | 0.357 | 0.940 | 1.977 | چاه نهر ۶۱ |
| 41 | 0.711 | 0.519 | 1.043 | 1.025 | چاه نهر ۶۲ |
| 29 | 0.452 | 0.498 | 0.913 | 14.340 | چاه نهر ۶۳ |
| 37 | 0.600 | 0.457 | 0.825 | 4.676 | چاه نهر ۶۴ |
| 28 | 0.324 | 0.436 | 0.993 | 5.046 | چاه نهر ۶۵ |
| 43 | 0.445 | 0.309 | 0.872 | 4.099 | چاه نهر ۶۶ |
| 52 | 0.437 | 0.470 | 3.103 | 0.133 | چاه نهر ۶۷ |
| 57 | 0.674 | 0.487 | 0.913 | 0.316 | چاه نهر ۶۸ |
| 46 | 0.599 | 0.369 | 0.971 | 0.511 | چاه نهر ۶۹ |
| 22 | 0.344 | 0.226 | 1.547 | 0.728 | چاه نهر ۷۰ |
| 31 | 0.423 | 0.335 | 0.399 | 2.639 | چاه نهر ۷۱ |
| 39 | 0.302 | 0.401 | 0.986 | 8.591 | چاه نهر ۷۲ |
| 40 | 0.553 | 0.377 | 1.248 | 5.093 | چاه نهر ۷۳ |
| 41 | 0.525 | 0.409 | 0.626 | 5.883 | چاه نهر ۷۴ |
| 42 | 0.539 | 0.507 | 0.999 | 11.425 | دشت کنار ۱ |
| 51 | 0.700 | 0.555 | 1.141 | 4.619 | دشت کنار ۲ |
| 40 | 0.392 | 0.347 | 1.944 | 16.867 | دشت کنار ۳ |
| 36 | 0.551 | 0.577 | 0.761 | 9.876 | دشت کنار ۴ |
| 48 | 0.714 | 0.422 | 1.214 | 0.306 | دشت کنار ۵ |
| 39 | 0.524 | 0.575 | 1.377 | 5.513 | دشت کنار ۶ |
| 40 | 0.719 | 0.524 | 1.590 | 1.172 | دشت کنار ۷ |
| 37 | 0.491 | 0.475 | 2.447 | 0.425 | دشت کنار ۸ |
| 34 | 0.501 | 0.638 | 1.561 | 1.460 | دشت کنار ۹ |
| 29 | 0.651 | 0.662 | 1.507 | 2.055 | دشت کنار ۱۰ |
| 26 | 0.341 | 0.571 | 2.995 | 8.642 | دشت کنار ۱۱ |
| 30 | 0.499 | 0.535 | 2.721 | 2.397 | دشت کنار ۱۲ |
| 47 | 0.694 | 0.472 | 1.632 | 4.433 | دشت کنار ۱۳ |
| 46 | 0.324 | 0.450 | 3.117 | 3.375 | دشت کنار ۱۴ |
| 46 | 0.558 | 0.558 | 0.987 | 10.707 | دشت کنار ۱۵ |
| 39 | 0.571 | 0.450 | 1.263 | 14.007 | دشت کنار ۱۶ |
| 49 | 0.693 | 0.332 | 0.770 | 0.507 | دشت کنار ۱۷ |
| 48 | 0.689 | 0.340 | 1.100 | 0.612 | دشت کنار ۱۸ |
| 45 | 0.658 | 0.340 | 1.257 | 0.741 | دشت کنار ۱۹ |
| 37 | 0.631 | 0.480 | 1.184 | 11.818 | دشت کنار ۲۰ |
| 47 | 0.618 | 0.289 | 0.944 | 1.028 | دشت کنار ۲۱ |
| 41 | 0.474 | 0.478 | 2.151 | 9.355 | دشت کنار ۲۲ |
| 40 | 0.506 | 0.492 | 1.052 | 34.354 | دشت کنار ۲۳ |
| 40 | 0.504 | 0.407 | 1.203 | 2.468 | دشت کنار ۲۴ |
| 55 | 0.363 | 0.326 | 0.367 | 4.161 | دشت کنار ۲۵ |
| 35 | 0.505 | 0.367 | 0.872 | 32.148 | شرکت ۱ |
| 35 | 0.603 | 0.422 | 1.378 | 15.061 | شرکت ۲ |
| 35 | 0.489 | 0.453 | 1.624 | 19.718 | شرکت ۳ |
| 30 | 0.475 | 0.347 | 1.174 | 12.108 | شرکت ۴ |
| 42 | 0.485 | 0.572 | 2.710 | 0.939 | شرکت ۵ |

| | | | | | |
|----|-------|-------|-------|--------|--------------|
| 42 | 0.331 | 0.490 | 3.940 | 0.281 | شرکت ۶ |
| 43 | 0.581 | 0.404 | 1.895 | 3.659 | شرکت ۷ |
| 48 | 0.520 | 0.437 | 2.547 | 0.859 | شرکت ۸ |
| 37 | 0.424 | 0.389 | 1.942 | 11.320 | شرکت ۹ |
| 45 | 0.274 | 0.539 | 3.396 | 4.914 | شرکت ۱۰ |
| 39 | 0.602 | 0.311 | 1.562 | 2.448 | شرکت ۱۱ |
| 33 | 0.400 | 0.411 | 1.232 | 7.895 | شرکت ۱۲ |
| 46 | 0.474 | 0.364 | 1.137 | 15.517 | شرکت ۱۳ |
| 28 | 0.422 | 0.226 | 2.621 | 4.067 | شرکت ۱۴ |
| 23 | 0.768 | 0.555 | 1.863 | 0.085 | شرکت ۱۵ |
| 30 | 0.566 | 0.430 | 1.219 | 1.105 | شرکت ۱۶ |
| 41 | 0.442 | 0.328 | 3.040 | 1.580 | شرکت ۱۷ |
| 36 | 0.515 | 0.349 | 1.908 | 1.416 | شرکت ۱۸ |
| 31 | 0.443 | 0.340 | 3.329 | 0.653 | شرکت ۱۹ |
| 37 | 0.390 | 0.458 | 3.078 | 2.096 | شرکت ۲۰ |
| 36 | 0.266 | 0.569 | 4.452 | 2.279 | شرکت ۲۱ |
| 26 | 0.214 | 0.539 | 8.223 | 1.142 | شرکت ۲۲ |
| 21 | 0.616 | 0.469 | 2.092 | 0.322 | شرکت ۲۳ |
| 28 | 0.232 | 0.580 | 6.092 | 2.120 | شرکت ۲۴ |
| 25 | 0.428 | 0.551 | 2.229 | 1.324 | شرکت ۲۵ |
| 28 | 0.474 | 0.632 | 1.816 | 4.094 | شرکت ۲۶ |
| 44 | 0.540 | 0.460 | 1.832 | 3.623 | میانگین |
| 12 | 0.120 | 0.091 | 1.061 | 5.749 | انحراف معیار |
| 27 | 22 | 19 | 57 | 158 | ضریب تغییرات |

خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه ها و حوضه‌های بالادست آنها مورد ارزیابی قرار گیرد. مقایسه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس‌ها نشان داد که مساحت مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس شرکت (۲/۴۴ کیلومتر مربع) نسبت به تاقدیس‌های چاه‌نهر و دشت کنار بیشتر است. همچنین میانگین زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس دشت کنار (۱۰۸ درجه) نسبت به مخروط‌افکنه‌های پیرامون دو تاقدیس دیگر بیشتر است. پارامتر نسبت عرض به طول در مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس چاه‌نهر بیشتر از مخروط‌افکنه‌های دو تاقدیس دیگر است. ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس شرکت (۱/۰۶) بیشتر از مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس‌های چاه‌نهر و دشت کنار است. همچنین پارامتر شیب در مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس چاه‌نهر (۶ درصد) بیشتر از مخروط‌افکنه‌های پیرامون دو تاقدیس دیگر مورد مطالعه دیگر است (شکل ۳).

به طور کلی، مناطق فرود محوری تاقدیس‌ها از نظر سنی جوان‌تر و دارای فرسایش کمتری نسبت به مناطق مرکزی تاقدیس‌ها هستند (Bahrami et al, 2020). در این پژوهش، جهت بررسی نقش موقعیت‌های ساختاری فرود محوری و مناطق مرکزی تاقدیس‌ها در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های بالادست آنها مخروط‌افکنه‌ها به دو گروه منطقه فرود محوری (Plunge Area) و منطقه مرکزی (Central Area) تاقدیس طبقه‌بندی شدند. علاوه بر این، بررسی مخروط‌افکنه‌ها نشان داد که برخی از مخروط‌افکنه‌ها طی مراحل تکامل خود دچار همپوشانی شده‌اند. بر این اساس، آن‌ها در دو گروه مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته (Coalesced Alluvial Fans) و مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته (Un-Coalesced Alluvial Fans) نیز تفکیک گردیدند تا تفاوت‌های مورفومتری آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. علاوه بر آن مخروط افکنه‌ها به سه گروه مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس شرکت، حاشیه تاقدیس چاه‌نهر و تاقدیس دشت کنار تقسیم شدند تا نقش ویژگی‌های هر تاقدیس در

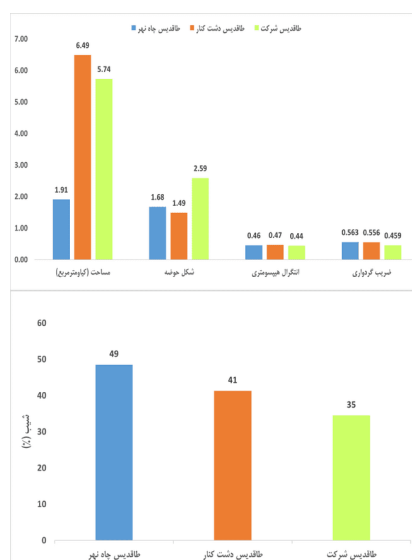


شکل ۳: مقایسه میانگین پارامترهای کمی مرتبط با مخروط‌افکنه‌های پیرامون سه تاقدیس منطقه مورد مطالعه

Fig. 3: Comparison of the mean values of quantitative parameters associated with the alluvial fans around the three anticlines in the study area

حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس دشت کنار نسبت به حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های دو تاقدیس مورد مطالعه دیگر بیشتر می‌باشد. میانگین شاخص ضریب گردواری (۰/۵۶۳) در حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس چاه‌نهر نسبت به حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس‌های دشت کنار و شرکت بیشتر است. همچنین میانگین شیب متوسط حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس چاه نهر (۴۹ درصد) نسبت به حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های دو تاقدیس مورد مطالعه دیگر بیشتر است (شکل ۴).

در بررسی میانگین پارامترهای مربوط به حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میانگین پارامتر مساحت حوضه آبریز (۶/۴۹ کیلومتر مربع) در حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس شرکت، نسبت به حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های دو تاقدیس چاه‌نهر و دشت کنار بیشتر است. همچنین میانگین شاخص شکل حوضه در حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون تاقدیس شرکت (۲/۵۹) بیشتر از حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های دو تاقدیس مورد مطالعه دیگر است. میانگین شاخص انتگرال هیپسومتری (۰/۴۷) در



شکل ۴: مقایسه میانگین پارامترهای کمی مرتبط با حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون سه تاقدیس منطقه مورد مطالعه

Fig. 4: Comparison of the mean values of quantitative parameters associated with the drainage basins of the alluvial fans surrounding the three anticlines in the study area

محوری تاقدیس‌های مذکور است. همچنین نتایج مقایسه میانگین پارامتر زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌ها در مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مخروط‌افکنه‌های مناطق مرکزی نشان داد که میانگین زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری (۱۰۱ درجه) بیشتر از میانگین مخروط‌افکنه‌های مناطق مرکزی تاقدیس‌ها است (شکل ۵).

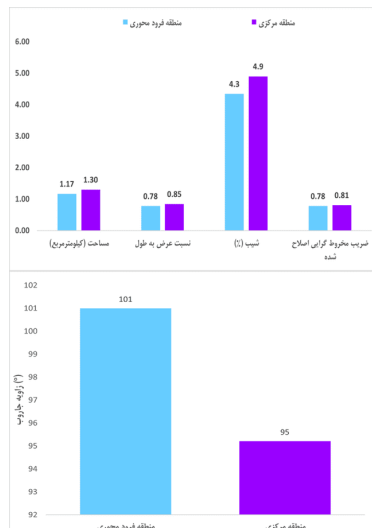
بررسی میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌ها بر اساس موقعیت قرارگیری آنها در دو گروه منطقه فرود محوری و منطقه مرکزی تاقدیس‌ها (جدول ۶) نشان داد که میانگین پارامترهای مساحت، نسبت عرض به طول، شیب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده به ترتیب (۱/۳۰، ۰/۸۵، ۴/۹ و ۰/۸۱) در مخروط‌افکنه‌های مناطق مرکزی سه تاقدیس چاه‌نهر، دشت‌کنار و شرکت بیشتر از مقدار پارامترهای مذکور در مخروط‌افکنه‌های واقع شده در مناطق فرود



شکل ۵: مقایسه میانگین پارامترهای کمی مرتبط با مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مرکزی سه تاقدیس منطقه مورد مطالعه
 Fig. 5: Comparison of the mean values of quantitative parameters associated with the alluvial fans in the plunge and central zones of the three anticlines in the study area

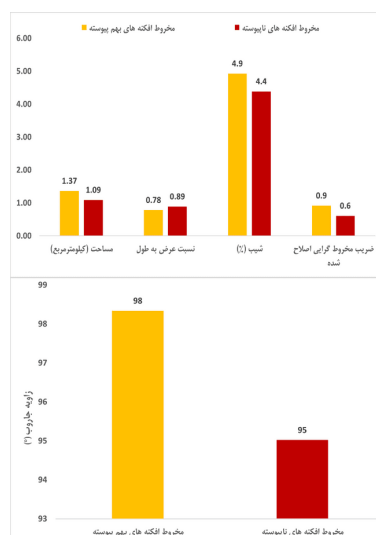
همپوشانی) است. همچنین میانگین زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته (۹۸ درجه) بیشتر از مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته پیرامون سه تاقدیس مورد مطالعه است. میانگین نسبت عرض به طول مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی در مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته (۰/۸۹) بیشتر از میانگین مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته است. میانگین پارامتر شیب مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته (۴/۹ درصد) بیشتر از میانگین شیب مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته در پیرامون تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. میانگین ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده در مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته (۰/۹) بیشتر از میانگین مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته است (شکل ۷).

مقایسه میانگین پارامترهای مرتبط با حوضه‌های آبریز سه تاقدیس مورد مطالعه نتایج نشان داد که در مناطق مرکزی مقدار میانگین پارامترهای مساحت، ضریب گردواری و شیب به ترتیب (۴/۱۰، ۰/۵۶ و ۴۷ درصد) بیشتر از مقدار میانگین پارامترهای مذکور در حوضه‌های آبریز مناطق فرود محوری تاقدیس‌ها است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار میانگین پارامترهای شکل حوضه و انتگرال هیپوسومتری در مناطق فرود محوری (به ترتیب ۲/۳۶ و ۰/۴۹) بیشتر از حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های مناطق مرکزی تاقدیس‌های مورد مطالعه است (شکل ۶). همچنین نتایج نشان داد که میانگین مساحت مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته (دارای همپوشانی) (۱/۳۷ کیلومتر مربع) بیشتر از میانگین مساحت مخروط‌افکنه‌های ناپیوسته (فاقد



شکل ۶: مقایسه میانگین پارامترهای کمی مرتبط با حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مرکزی سه تاقدیس منطقه مورد مطالعه

Fig. 6: Comparison of the mean values of quantitative parameters associated with the drainage basins of the alluvial fans in the plunge and central zones of the three anticlines in the study area



شکل ۷: مقایسه میانگین پارامترهای کمی مرتبط با مخروط‌افکنه‌های بهم پیوسته (دارای همپوشانی) و ناپیوسته (فاقد همپوشانی) پیرامون سه تاقدیس مورد مطالعه

Fig. 7: Comparison of the mean values of quantitative parameters associated with the coalesced (overlapping) and un-coalesced (non-overlapping) alluvial fans around the three studied anticlines

جاروب، نسبت عرض به طول و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده) محاسبه شده در مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌ها تفاوت معناداری ندارد (جدول ۸). همچنین نتایج آزمون Anova نشان داد که در حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های پیرامون سه تاقدیس مورد مطالعه، میانگین پارامترهای مساحت، شکل حوضه، ضریب گرداوری و شیب متوسط حوضه آبریز دارای تفاوت معناداری هستند درحالی‌که پارامتر انتگرال هیپسومتری بین حوضه‌های آبریز در سه تاقدیس مورد مطالعه دارای

برای بررسی اینکه آیا میانگین پارامترهای کمی در سه گروه مخروط‌افکنه‌های حاشیه سه تاقدیس مورد مطالعه دارای تفاوت معناداری هستند یا خیر؟ از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد. نتایج آزمون نشان داد که میانگین پارامتر مساحت در مخروط‌افکنه‌های حاشیه سه تاقدیس مورد مطالعه دارای تفاوت معناداری است. همچنین میانگین پارامتر شیب نیز در مخروط‌افکنه‌های حاشیه سه تاقدیس مورد مطالعه دارای تفاوت معناداری است در حالی که میانگین سایر پارامترهای کمی (زاویه

معناداری در میانگین شیب مخروط‌افکنه‌های واقع در مناطق فرود محوری و مناطق مرکزی تاقدیس‌ها وجود دارد ($p = 0.022$). این یافته‌ها حاکی از آن است که تفاوت معناداری بین سایر پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌ها در مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس‌ها وجود ندارد (جدول ۱۰).

تفاوت معناداری نیست (جدول ۹). برای مقایسه میانگین پارامترهای مورفومتری مخروط‌افکنه‌های واقع در مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس‌ها از آزمون t مستقل استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین مساحت در مخروط‌افکنه‌های واقع در مناطق فرود محوری تاقدیس‌ها دارای تفاوت معناداری با مساحت مخروط‌افکنه‌ها در مناطق مرکزی تاقدیس‌ها است ($p < 0.001$). همچنین تفاوت

جدول ۸: مقایسه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه در آزمون Anova و آزمون Tukey's post-hoc و کدهای مربوطه (کد ۱: تاقدیس چاه نهر، کد ۲: تاقدیس دشت کنار و کد ۳: تاقدیس شرکت)

Table 8: Comparison of the mean quantitative parameters of the marginal alluvial fans of the anticlines in the study area using ANOVA and Tukey's post-hoc tests and their corresponding codes (Code 1: Chah-Nahr anticline, Code 2: Dasht-Kenar anticline, and Code 3: Sherkat anticline)

| پارامتر | مساحت | زاویه جاروب | نسبت عرض به طول | شیب توپوگرافی | ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده |
|---|-------|-------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| ANOVA test (بین مخروط‌افکنه‌های تاقدیس‌ها) | 0 | 0.014 | 0.106 | 0 | 0.101 |
| Tukey's post -hoc test تاقدیس‌ها برای مقایسه | 1-2 | 0.004 | 0.030 | 0.764 | 0.889 |
| | 1-3 | 0 | 0.091 | 0.182 | 0.020 |
| | 2-1 | 0.004 | 0.030 | 0.764 | 0 |
| | 2-3 | 0.846 | 0.916 | 0.111 | 0.351 |
| | 3-1 | 0 | 0.091 | 0.182 | 0.020 |
| | 3-2 | 0.846 | 0.916 | 0.111 | 0.351 |

جدول ۹: مقایسه میانگین پارامترهای کمی حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه در آزمون Anova و آزمون Tukey's post-hoc و کدهای مربوطه (کد ۱: تاقدیس چاه نهر، کد ۲: تاقدیس دشت کنار و کد ۳: تاقدیس شرکت)

Table 9: Comparison of the mean quantitative parameters of the drainage basins of the alluvial fans of the anticlines in the study area using ANOVA and Tukey's post-hoc tests and their corresponding codes (Code 1: Chah-Nahr anticline, Code 2: Dasht-Kenar anticline, and Code 3: Sherkat anticline)

| پارامتر | مساحت | شکل حوضه | انتگرال هیپسومتری | شیب | ضریب گردواری |
|---|-------|----------|-------------------|-------|--------------|
| ANOVA test (بین حوضه‌های تاقدیس‌ها) | 0 | 0 | 0.526 | 0 | 0 |
| Tukey's post -hoc test تاقدیس‌ها برای مقایسه | 1-2 | 0.001 | 0.690 | 0.858 | 0.010 |
| | 1-3 | 0.007 | 0 | 0.680 | 0 |
| | 2-1 | 0.001 | 0.690 | 0.856 | 0.010 |
| | 2-3 | 0.871 | 0 | 0.505 | 0.059 |
| | 3-1 | 0.007 | 0 | 0.680 | 0 |
| | 3-2 | 0.871 | 0 | 0.505 | 0.059 |

جدول ۱۰: نتایج آزمون T برای مقایسه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس‌های مورد مطالعه

Table 10: Results of the t-test for comparing the mean quantitative parameters of the alluvial fans in the plunge and central zones of the anticlines in the study area

| پارامتر | P. Value ((Sig. 2-tailed)) |
|----------------------------|----------------------------|
| مساحت | <0.001 |
| زاویه جاروب | 0.171 |
| نسبت عرض به طول | 0.903 |
| شیب | 0.022 |
| ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده | 0.634 |

مناطق فرود محوری و مناطق مرکزی تاقدیس ها تفاوت معناداری وجود دارد. این در حالی است که در پارامتر مساحت حوضه آبریز ($p = 0.101$) تفاوت معناداری بین حوضه‌های آبریز م مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس ها وجود ندارد (جدول ۱۱).

همچنین آزمون t مستقل برای مقایسه ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز تاقدیس‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که بین پارامترهای شکل حوضه ($p = 0.003$)، انتگرال هیپسومتری ($p = 0.029$)، ضریب گردواری ($p = 0.008$) و شیب متوسط حوضه آبریز ($p < 0.001$) در

جدول ۱۱: نتایج آزمون T برای مقایسه میانگین پارامترهای کمی حوضه‌های آبریز مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه

Table 11: Results of the t-test for comparing the mean quantitative parameters of the drainage basins of the alluvial fans in the plunge and central zones of the anticlines in the study area

| پارامتر | P. Value ((Sig. 2-tailed)) |
|----------------------|----------------------------|
| مساحت | 0.101 |
| شکل حوضه آبریز | 0.003 |
| انتگرال هیپسومتری | 0.029 |
| ضریب گردواری | 0.008 |
| شیب متوسط حوضه آبریز | <0.001 |

تفاوت معناداری وجود دارد، در حالی که در سایر پارامترها در مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی و فاقد همپوشانی تفاوت معناداری وجود نداشت. این امر بیانگر آن است که همپوشانی مخروط‌افکنه‌ها عمدتاً بر ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده تأثیر گذار بوده است (جدول ۱۲).

به منظور بررسی تأثیر همپوشانی بر ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌ها، مقایسه‌ای بین مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی و فاقد همپوشانی با آزمون t مستقل صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بین مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی و مخروط‌افکنه‌های فاقد همپوشانی تنها در پارامتر ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده

جدول ۱۲: نتایج آزمون T برای مقایسه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی و فاقد همپوشانی تاقدیس‌های مورد مطالعه

Table 12: Results of the t-test for comparing the mean quantitative parameters of the coalesced and un-coalesced alluvial fans of the anticlines in the study area

| پارامتر | P. Value ((Sig. 2-tailed)) |
|----------------------------|----------------------------|
| مساحت | 0.502 |
| زاویه جاروب | 0.539 |
| نسبت عرض به طول | 0.089 |
| شیب | 0.292 |
| ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده | 0.010 |

متوسط حوضه آبریز رابطه معکوس و معنادار دارد. پارامتر نسبت عرض به طول مخروط افکنه با پارامتر شیب مخروط‌افکنه دارای رابطه مثبت و معنادار است، در حالی که با پارامتر ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده دارای رابطه منفی و معنادار می‌باشد. پارامتر شیب مخروط‌افکنه با پارامترهای انتگرال هیپسومتری، ضریب گردواری حوضه آبریز و شیب حوضه آبریز رابطه مثبت معنادار دارد؛ در حالی که پارامتر مذکور با ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده و مساحت حوضه آبریز رابطه منفی معنادار دارد. از طرفی دیگر، پارامتر ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده با

ماتریس همبستگی پیرسون بین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز مرتبط با آن‌ها در حاشیه تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید (جدول ۱۳). نتایج نشان می‌دهد مساحت مخروط‌افکنه با مساحت حوضه آبریز همبستگی قوی مثبت دارد در حالی که با شیب مخروط‌افکنه، شکل حوضه، انتگرال هیپسومتری و شیب متوسط حوضه آبریز رابطه منفی معناداری دارد. پارامتر زاویه جاروب با پارامترهای نسبت عرض به طول و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده رابطه مثبت و معناداری دارد؛ در حالی که با پارامتر ضریب گردواری حوضه آبریز و شیب

با پارامتر شیب مخروط‌افکنه و شکل حوضه آبریز دارای رابطه مستقیم و معناداری است، در حالی که پارامتر مذکور با مساحت مخروط‌افکنه دارای رابطه معکوس و معناداری را نشان می‌دهد. میان پارامتر ضریب گردواری حوضه آبریز با پارامترهای شیب مخروط‌افکنه و شیب متوسط حوضه آبریز رابطه مثبت و معناداری وجود دارد، در حالی که میان پارامتر مذکور با پارامترهای زاویه جاروب و شکل حوضه آبریز رابطه منفی و معناداری وجود دارد. پارامتر شیب متوسط حوضه آبریز نیز با پارامترهای شیب مخروط‌افکنه و ضریب گردواری حوضه آبریز رابطه مستقیم و معناداری دارد، در حالی که پارامتر مذکور با پارامترهای مساحت مخروط‌افکنه، زاویه جاروب و مساحت حوضه آبریز رابطه معکوس و معناداری دارد.

پارامترهای مساحت مخروط‌افکنه و زاویه جاروب مخروط‌افکنه رابطه مثبت و معنادار دارد؛ در حالی که با پارامترهای نسبت عرض به طول و شیب مخروط‌افکنه رابطه معکوس و معناداری دارد. نتایج نشان می‌دهد که پارامتر مساحت حوضه آبریز با پارامتر مساحت مخروط‌افکنه رابطه مثبت و معناداری دارد، در حالی که این پارامتر با پارامترهای شیب مخروط‌افکنه، شکل حوضه آبریز و شیب متوسط حوضه آبریز رابطه منفی و معناداری دارد. در مورد پارامتر شکل حوضه آبریز نتایج نشان می‌دهد که این پارامتر با پارامتر انتگرال هیپسومتری رابطه مستقیم و معناداری دارد، در حالی که با پارامترهای مساحت مخروط‌افکنه، مساحت حوضه آبریز و ضریب گردواری رابطه معکوس و معناداری دارد. پارامتر انتگرال هیپسومتری حوضه آبریز نیز

جدول ۱۳: ماتریس همبستگی پیرسون بین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز مرتبط با آن‌ها در حاشیه تاقدیس‌های مورد مطالعه

Table 13: Pearson correlation matrix between the quantitative parameters of the alluvial fans and their associated drainage basins at the margins of the anticlines in the study area

| پارامتر | مساحت مخروط‌افکنه | زاویه جاروب | نسبت عرض به طول | شیب مخروط‌افکنه | ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده | مساحت حوضه آبریز | شکل حوضه آبریز | انتگرال هیپسومتری | ضریب گردواری | شیب متوسط حوضه آبریز |
|----------------------------|-------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------|----------------|-------------------|--------------|----------------------|
| مساحت مخروط‌افکنه | 1 | | | | | | | | | |
| زاویه جاروب | 0.060 | 1 | | | | | | | | |
| نسبت عرض به طول | -0.144 | 0.210** | 1 | | | | | | | |
| شیب مخروط‌افکنه | -0.344** | -0.165 | 0.280** | 1 | | | | | | |
| ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده | 0.221* | 0.359** | -0.597** | -0.178* | 1 | | | | | |
| مساحت حوضه آبریز | 0.747** | 0.169 | 0.018 | -0.420** | 0.055 | 1 | | | | |
| شکل حوضه آبریز | -0.181* | 0.113 | 0.038 | 0.136 | -0.165 | -0.218* | 1 | | | |
| انتگرال هیپسومتری | -0.191** | 0.020 | -0.080 | 0.284** | 0.037 | -0.143 | 0.252** | 1 | | |
| ضریب گردواری | -0.113 | -0.234** | 0.004 | 0.248* | -0.053 | -0.173 | -0.549** | -0.011 | 1 | |
| شیب متوسط حوضه آبریز | -0.225* | 0.243** | 0.046 | 0.578** | 0.002 | -0.126 | 0.159 | 0.359** | 0.319** | 1 |

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

نشان داده‌اند که زاگرس یکی از فعال‌ترین کمربندهای چین‌خورده از نظر فعالیت‌های تکتونیکی در جهان است و حرکات افقی و عمودی چین‌ها در این منطقه نقش مهمی

بحث

مطالعات متعدد (Alavi, 1994; Heydari, 2007; Alipoor et al, 2011, Jafari et al, 2023; Delchiaro et al, 2023)

در تکامل و مورفومتری لندفرم‌های آن‌ها دارد. مطالعات انجام شده روی تاقدیس‌های زاگرس فارس (Ramsey et al, 2008; Bahrami et al, 2020) بیانگر رشد عمودی و جانبی تاقدیس‌ها است. از شواهد ژئومورفیک رشد عمودی تاقدیس‌ها می‌توان به دره‌های V شکل و جبهه‌های مستقیم کوهستانی، و از شواهد رشد جانبی تاقدیس‌ها می‌توان به دره‌های متروک (wind gap)، شبکه زهکشی چنگالی شکل نامتقارن، و حوضه‌های هلالی شکل در بخش فرود محوری تاقدیس‌ها اشاره کرد (Bahrami et al, 2020). تحلیل کمی ۱۲۵ مخروط‌افکنه پیرامون تاقدیس‌های چاه‌نهر، دشت کنار و شرکت نشان می‌دهد که فعالیت‌های تکتونیکی تاقدیس‌ها شامل رشد طولی یا جانبی تاقدیس‌ها و شیب پهلوها، نقش تعیین‌کننده‌ای در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها داشته است. بررسی روابط میان ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و ساختارهای تکتونیکی منطقه نشان می‌دهد که تکامل این نهشته‌ها به‌طور مستقیم تحت تأثیر رشد فعال تاقدیس‌ها قرار داشته است. رشد طولی و جانبی تاقدیس‌ها با ایجاد تغییر در گرادیان توپوگرافی و جابه‌جایی شبکه زهکشی، موجب تغییر در الگوی فرسایش، انتقال و رسوب‌گذاری شده است. همچنین تشدید شیب پهلوهای تاقدیس در اثر فعالیت‌های تکتونیکی، سبب افزایش توان جریان و ظرفیت حمل رسوب گردیده که این فرایند در تغییر ابعاد، شیب، تقارن و الگوی گسترش مخروط‌افکنه‌ها انعکاس یافته است. از سوی دیگر، تفاوت در میزان فعالیت تکتونیکی در بخش‌های مختلف تاقدیس‌ها می‌تواند علت اصلی ناهمگونی مورفومتری مخروط‌افکنه‌های منطقه باشد. در مجموع، نتایج بیانگر آن است که مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها شاخص مناسبی برای ارزیابی شدت و الگوی فعالیت تکتونیکی تاقدیس‌های منطقه محسوب می‌شود. مقدار بالای میانگین پارامترهایی مانند زاویه جاروب (۹۷ درجه)، نسبت عرض به طول (۰/۸۳) و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده (۰/۷۹) در مخروط‌افکنه‌های حاشیه این تاقدیس‌ها را می‌توان به فعالیت‌های تکتونیکی این تاقدیس‌ها نسبت داد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین در زاگرس و سایر کمربندهای چین‌خورده فعال (Bahrami, 2013; Karataş and Boulton, 2019) همخوانی دارد. تفاوت‌های مشاهده شده بین مخروط‌افکنه‌های پیرامون سه تاقدیس مورد مطالعه، بازتابی از تفاوت در ویژگی‌های ساختاری، لیتولوژیکی و

میزان فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی است. در تاقدیس چاه‌نهر، باریک بودن تاقدیس، شیب زیاد پهلوها و حضور هوگ‌بک‌های پی‌درپی، منجر به تشکیل حوضه‌های کوچک‌تر، کشیده‌تر و مخروط‌افکنه‌هایی با شکل‌های غیرایده‌آل و بی‌قواره شده است. در تاقدیس چاه‌نهر، فشردگی و شیب بیشتر پهلوها از یک طرف و فرسایش، وجود هوگ‌بک‌ها و گسل‌های معکوس از طرف دیگر باعث ایجاد مخروط‌افکنه‌های قارچی شکل (مخروط‌افکنه‌های شماره ۲۵، ۲۶ و ۶۴) و افزایش شاخص ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در حاشیه آن شده است (شکل ۸). شواهد ژئومورفیک نشان می‌دهد که تاقدیس دشت کنار جوان‌تر و کمتر فرسایش یافته‌تر از دو تاقدیس دیگر است. از طرفی وجود هوگ‌بک‌ها در پهلوهای تاقدیس مذکور نقش مهمی در افزایش زاویه جاروب و نسبت عرض به طول مخروط‌افکنه‌های حاشیه آن داشته است. این وضعیت نشان‌دهنده کنترل ساختاری قوی بر گسترش جانبی مخروط‌افکنه‌ها است. بیشترین مقادیر زاویه جاروب ثبت شده در منطقه نیز مربوط به مخروط‌افکنه‌های حاشیه این تاقدیس می‌باشد که بیانگر ناپایداری نسبی سیستم رسوبی تحت تأثیر حرکات تکتونیکی است. در مقابل، تاقدیس شرکت به دلیل گسترش سازندهای فرسایش‌پذیر، به‌ویژه واحدهای آهکی - ماری، دارای حوضه‌های بزرگ‌تر و مخروط‌افکنه‌هایی با مساحت بیشتر است. افزایش FCIR در برخی مخروط‌افکنه‌های این تاقدیس، بیش از آن‌که ناشی از محدودیت فضایی باشد، به رشد جانبی تاقدیس و همپوشانی مخروط‌افکنه‌ها مرتبط است. این همپوشانی‌ها نشان‌دهنده تعامل پیچیده بین تولید رسوب، فضای جای‌گیری و فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد. مقایسه مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس‌ها نشان داد که مناطق فرود محوری دارای حوضه‌های جوان‌تر، کشیده‌تر و مخروط‌افکنه‌هایی با زاویه جاروب بیشتر هستند، در حالی‌که مناطق مرکزی با حوضه‌های بزرگ‌تر، دایره‌ای‌تر و مخروط‌افکنه‌هایی با FCIR بالاتر مشخص می‌شوند. این الگو بازتابی از تفاوت در شدت فرسایش، تمرکز تنش‌های ساختاری و تکامل تدریجی تاقدیس‌ها است. همبستگی‌های معنادار بین پارامترهای مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز آن‌ها، به‌ویژه ارتباط مثبت مساحت مخروط‌افکنه با مساحت حوضه و

به‌عنوان عامل تأمین‌کننده رسوب در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها نقش اساسی دارند، اما الگوی نهایی توسعه، هندسه و سازمان فضایی این اشکال عمدتاً تحت تأثیر چارچوب تکتونیکی و پویایی‌های ساختاری منطقه قرار دارد. از این‌رو، مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخصی ژئومورفولوژیک برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی و تغییرات مورفودینامیکی در حاشیه تاقدیس‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های ژئومورفیک قابل اعتماد برای ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی اخیر در زاگرس فارس مورد استفاده قرار گیرند. هرچند بطور کلی مقدار پارامترهای زاویه جاروب، نسبت عرض به طول و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده در تاقدیس‌های مورد مطالعه بالا است، با این وجود ویژگی‌های هندسی و فرسایشی در تاقدیس‌های مورد مطالعه یکسان نیست و این موضوع باعث تفاوت در ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌ها شده است. نتایج نشان می‌دهد که تاقدیس چاه‌نهر، به دلیل عرض کم (۶/۷ کیلومتر)، طول زیاد (۶۸ کیلومتر) و دیواره‌های بسیار پرشیب، باعث شکل‌گیری حوضه‌های کوچک‌تر (میانگین ۱/۹۱ کیلومتر مربع) و مخروط‌افکنه‌های بی‌قواره‌تر شده است. وجود هوگ‌بک‌های پیاپی و گسل‌های معکوس در پهلوی این تاقدیس نیز باعث ایجاد مخروط‌افکنه‌های قارچی‌شکل و افزایش چشمگیر شاخص FCIR در این تاقدیس شده است. در تاقدیس دشت‌کنار، که جوان‌تر و کمتر فرسایش‌یافته‌تر از دو تاقدیس دیگر است، وجود هوگ‌بک‌های فراوان و همچنین رشد جانبی پهلوی تاقدیس‌ها باعث افزایش زاویه جاروب و نسبت W/L مخروط‌افکنه‌ها شده است. بیشترین زاویه جاروب در منطقه مورد مطالعه مربوط به مخروط‌افکنه‌های شماره ۱۴ تاقدیس دشت‌کنار با زاویه ۲۰۲ درجه و شماره ۶۳ تاقدیس چاه‌نهر با ۲۴۰ درجه می‌باشد (شکل ۹). میانگین مقادیر مساحت و FCIR مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس شرکت بیش از دو تاقدیس دیگر است. دلیل این موضوع وجود سازند فرسایش‌پذیر چمپه (آهک و مارن) در حوضه‌های آبخیز تاقدیس شرکت است که باعث فرسایش شدید، تولید رسوب فراوان و تشکیل مخروط‌افکنه‌های بزرگ‌تر شده است. بالاتر بودن FCIR در برخی مخروط‌ها (مثل مخروط

ارتباط منفی آن با شیب، نشان می‌دهد که اگرچه ویژگی‌های حوضه‌های بالادست نقش مهمی در تأمین رسوب دارند، اما شکل نهایی مخروط‌افکنه‌ها به‌طور عمده تحت کنترل شرایط تکتونیکی و ساختاری قرار دارد. همبستگی‌های معنادار بین پارامترهای مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و ویژگی‌های حوضه‌های آبریز بالادست نشان می‌دهد که میان فرآیندهای تأمین رسوب در حوضه و الگوی رسوب‌گذاری در مخروط‌افکنه‌ها یک ارتباط ژئومورفولوژیک مستقیم برقرار است. رابطه مثبت بین مساحت مخروط‌افکنه و مساحت حوضه آبریز بیانگر آن است که حوضه‌های وسیع‌تر به دلیل گستردگی سطح فرسایش، شبکه زهکشی توسعه‌یافته‌تر و توان بالاتر در تولید و انتقال رسوب، حجم بیشتری از مواد آواری را به پایکوه منتقل می‌کنند. این امر موجب افزایش نرخ رسوب‌گذاری و در نتیجه گسترش سطحی و جانبی مخروط‌افکنه‌ها می‌شود. در مقابل، رابطه منفی میان مساحت مخروط‌افکنه و شیب حوضه آبریز نشان می‌دهد که با افزایش شیب، انرژی جریان و توان حمل رسوب افزایش یافته و بخش قابل توجهی از رسوبات در بالادست مخروط افکنه ته نشین می‌شوند که این امر باعث افزایش ضخامت آبرفت و کاهش مساحت مخروط‌افکنه‌ها می‌شود. با وجود این، الگوی نهایی مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها صرفاً تابع ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز نیست و نقش کنترل‌کننده عوامل تکتونیکی نیز به‌طور قابل توجهی در این میان مشاهده می‌شود. رشد و فعالیت تکتونیکی تاقدیس‌ها از طریق تغییر گرادیان توپوگرافی، ایجاد ناپیوستگی‌های ساختاری، جابه‌جایی مسیر آبراهه‌ها و رشد طولی تاقدیس‌ها، شرایط انتقال و رسوب‌گذاری رسوبات را دگرگون می‌کند. در چنین شرایطی، بالآمدگی تدریجی تاقدیس می‌تواند با افزایش شیب دامنه‌های مجاور و ایجاد محدودیت‌های مورفولوژیک، موجب تمرکز جریان‌های آبرفتی در بخش‌های خاصی از جبهه کوهستان شود و در نتیجه الگوی پراکنش، شکل هندسی و میزان گسترش مخروط‌افکنه‌ها را کنترل کند. علاوه بر این، تغییرات فضایی در شدت فعالیت تکتونیکی می‌تواند باعث ناهمگونی در نرخ فرسایش حوضه‌ها و حجم رسوبات ورودی به مخروط‌افکنه‌ها گردد. در مجموع، نتایج همبستگی‌ها نشان می‌دهد که هرچند ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز

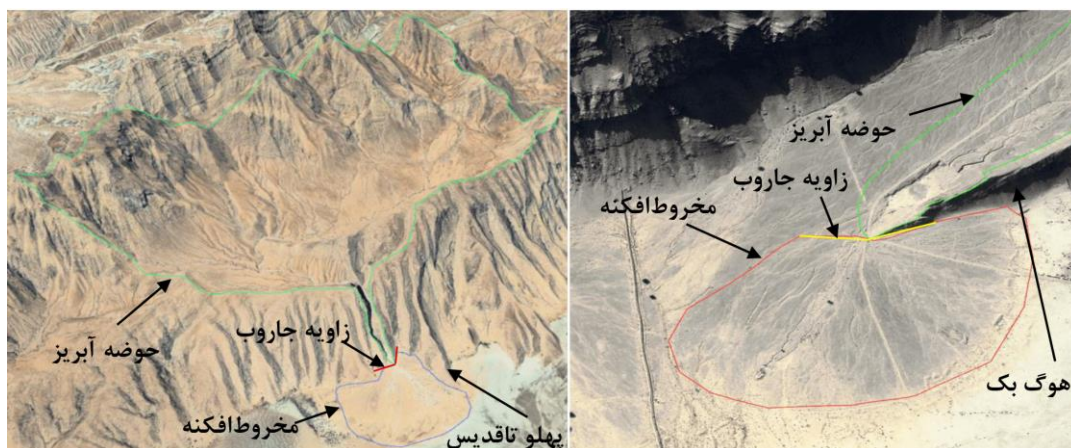
حوضه‌های کوچک‌تر، کشیده‌تر، جوان‌تر (Hi کمتر) و مخروط‌افکنه‌هایی با زاویه جاروب بیشتر است که عامل این امر کنترل ساختاری شدیدتر و تمرکز انرژی جریان در این مناطق می‌باشد، درحالی که مناطق مرکزی تاقدیس‌ها دارای حوضه‌های بزرگ‌تر، دایره‌ای‌تر، پرشیب‌تر و مخروط‌افکنه‌های بی‌قواره‌تر (FCIR بیشتر) است (شکل ۱۰) که عامل آن فرسایش بیشتر، حضور هوگ‌بک‌ها و شکل‌گیری همپوشانی در مخروط‌افکنه‌های این مناطق است.

شماره ۲) نیز ناشی از رشد جانبی تاقدیس و محدود شدن فضا برای گسترش مخروط است که به تشکیل مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی منجر شده است. در دو تاقدیس چاه‌نهر و دشت کنار، وجود هوگ‌بک‌های متوالی و فرسایش لایه‌های سست بین آنها باعث پیشروی مخروط‌افکنه‌ها به سمت بالادست و ایجاد شکل‌های غیرایده‌آل یا نافرمان شده است. نمونه بارز آن مخروط شماره ۲ در دشت کنار است (شکل ۱۰). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق فرود محوری تاقدیس‌ها دارای



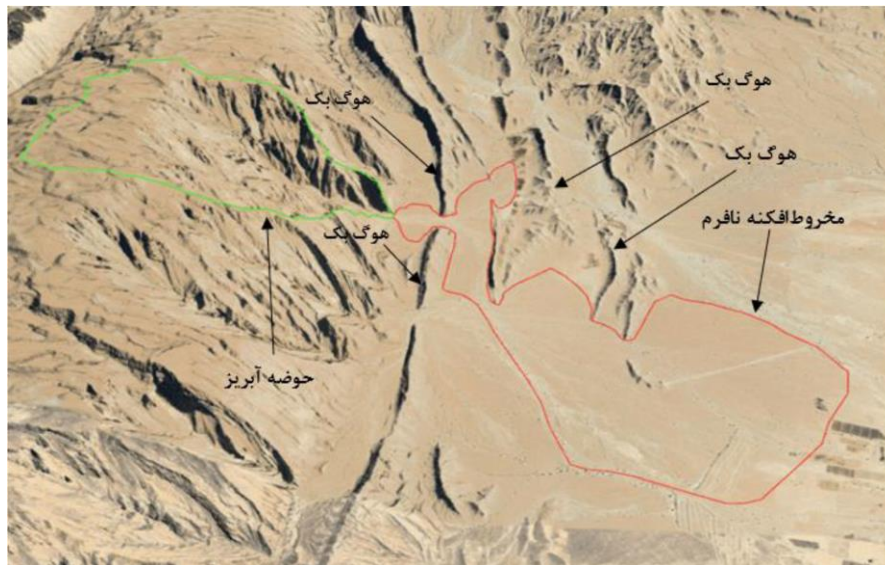
شکل ۸: مخروط‌افکنه‌های قارچی شکل در مجاورت تاقدیس چاه‌نهر، تصویر سمت راست مخروط‌افکنه‌های شماره ۲۵ و ۲۶ و تصویر سمت چپ مخروط‌افکنه شماره ۶۴

Fig. 8: Mushroom-shaped alluvial fans near the Chah-Nahr anticline, In the right image: alluvial fans No. 25 and 26; in the left image: alluvial fan No. 64



شکل ۹: تأثیر رشد جانبی تاقدیس‌ها و وجود هوگ‌بک‌ها در افزایش زاویه جاروب منطقه مورد مطالعه. تصویر سمت راست مخروط‌افکنه شماره ۱۴ تاقدیس دشت کنار و تصویر سمت چپ مخروط‌افکنه شماره ۶۳ تاقدیس چاه‌نهر

Fig. 9: Effect of lateral growth of anticlines and the presence of hogbacks on the increase of scarp slope in the study area, Right image: alluvial fan No. 14 of Dasht-Kenar anticline; left image: alluvial fan No. 63 of Chah-Nahr anticline



شکل ۱۰: مخروط‌افکنه شماره ۲ تاقدیس دشت کنار (نمونه‌ای از مخروط‌افکنه‌های نافرمد)

Fig. 10: Alluvial fan No. 2 of Dasht-Kenar anticline (an example of pine-shaped alluvial fans)

کمر بند چین‌خورده فعال را ارائه می‌دهد. بررسی مخروط‌افکنه‌های دارای همپوشانی نشان داد که همپوشانی عمدتاً بر افزایش بی‌قوارگی و مقدار FCIR اثرگذار است و نقش مهمی در تغییر شکل هندسی مخروط‌افکنه‌ها دارد. همبستگی‌های معنادار بین پارامترهای مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های بالادست آن‌ها نیز بیانگر تعامل پیچیده بین تولید رسوب و کنترل‌های تکتونیکی است. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها، به ویژه ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده، می‌توانند ابزار مناسبی برای شناسایی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در مناطق چین‌خورده فعال مانند زاگرس فارس باشند. این یافته‌ها می‌تواند در مطالعات نئوتکتونیکی، ارزیابی مخاطرات ژئومورفیک و برنامه‌ریزی کاربری زمین در مناطق پایکوهی مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش تکتونیک در کنترل مورفومتری مخروط‌افکنه‌های حاشیه تاقدیس‌های زاگرس فارس انجام شد. نتایج نشان داد که فعالیت‌های تکتونیکی تاقدیس‌ها عامل اصلی در شکل‌گیری، تکامل و بی‌قوارگی مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه است. تفاوت‌های معنادار در پارامترهای مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز آن‌ها بین سه تاقدیس چاه‌نهر، دشت‌کنار و شرکت، بیانگر تأثیر مستقیم ویژگی‌های ساختاری، لیتولوژی و میزان فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی است. افزایش ضریب مخروط‌گرایی اصلاح‌شده، زاویه جاروب و نسبت عرض به طول در بسیاری از مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهد که این لندفرم‌ها از حالت ایده‌آل هندسی فاصله گرفته و تحت تأثیر رشد طولی و جانبی تاقدیس‌ها، محدودیت‌های فضایی و تمرکز تنش‌های زمین‌ساختی قرار دارند. همچنین تفاوت‌های مورفومتری بین مخروط‌افکنه‌های مناطق فرود محوری و مرکزی تاقدیس‌ها، الگویی روشن از تکامل فضایی مخروط‌افکنه‌ها در یک

References

- Alavi, M., 1994. Tectonics of Zagros Orogenic Belt of Iran, New Data and Interpretation. *Tectonophysics*, v. 229, p. 211-238.
- Alavi, M., 2007. Structural of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, v. 307, p. 1064-1095.

- Amirahmadi, A. and Ebrahimi, M., 2015. The Influence of Active Tectonic on the Alluvial Fan Morphology Using Geomorphological Indicators at Structural Boundaries in Southern Alborz, *Geographic Space*, v. 15, p. 259-288 (In Persian).

- Arzani, N., 2012. Catchment lithology as a major control on alluvial megafan development,

- Kohrud Mountain range, central Iran. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 37(1.7), p. 726-740.
- Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danehkhoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*, v. 180, p. 217-230.
- Bahrami, S. and Shayan, S., 2013. Evaluating the effect of tectonic in the morphometric characteristics of drainage systems and triangular facets of Danehkhoshk anticline. *Geographical Researcher*; v. 28(3), p. 199-212 (In Persian).
- Bahrami, S., Capolongo, D. and Rahdan Mofrad, M., 2020. Morphometry of drainage basins and stream networks as an indicator of active fold growth (Gorm anticline, Fars Province, Iran). *Geomorphology*, v. 355, 107086.
- Bahrami, S., 2022. Analysis of confluence angle of drainages and its relation to morphometric properties of drainage basins in the Zagros Simply Folded Belt, Iran. *Geomorphology*, v. 400, 108091.
- Bahrami, S., Ehteshami Moeinabadi, M. and Fatemi, S.H.R., 2024. Quantitative analysis of morphometry of alluvial fans developed along Dehshir strike-slip fault, v. 13(2), p. 71-88 (In Persian).
- Bowman, D., 2023. Constraints of the Base-Level Altitude. In: *Base-level Impact: A Geomorphic Approach*, D. Bowman (eds.), Springer, p. 5-11.
- Delchiaro, M., Seta, M.D., Martino, S., Nozaem, R. and Moumeni, M., 2023. Tectonic deformation and landscape evolution inducing mass rock creep driven landslides: the Loumar case-study (Zagros Fold and Thrust Belt, Iran). *Tectonophysics*, v. 846, 229655.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. and Keller, E., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, v. 96(1-2), p. 150-173.
- Esmaeili, R., Hosseinzadeh, M.M. and Torabi Goudarzi, M., 2013. Analysis of the Effects of Neotectonics on Alluvial Fans of the Northern Slopes of Alborz, Mazandaran Province, Nowshahr. First Conference of the Quaternary Association of Iran, University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran. (In Persian).
- Ghahraman, K., Zanganeh Asadi, M.A. and Akbari, E., 2022. Quantitative comparison of morphometric indices and alluvial fan toes in arid regions with emphasis on Central Iran. *Physical Geography Research*, v. 4(2), p. 243-256 (In Persian).
- Ghahraman, K. and Nagy, B., 2024. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans in an arid region, northeast Iran, *Physical Geography*, v. 45(N.5), p. 581-604.
- Garcia Estève, C., Caniven, Y., Cattin, R., Dominguez, S. and Sylvain, R., 2021. Morphotectonic Evolution of an Alluvial Fan: Results of a Joint Analog and Numerical Modeling Approach. *Geoscience*, v. 11(10), 412 p.
- Harvey, A.M., 2005. Differential effects of base-level, tectonic setting and climatic change on quaternary alluvial fans in the northern great Basin, Nevada, USA. *Geological Society of London*, v. 251(1), p. 117-131.
- Heydari, S., 2007. The impact of geology and geomorphology on cave and rock shelter archaeological site formation, preservation, and distribution in the Zagros mountains of Iran. *Special Issue: Eastern Mediterranean and Near Eastern Geoarchaeology: Part 2*, v. 22(6).
- Huang, T., Cao, H. and Xiong, L., 2025. Deep learning delineates alluvial fans driven by topographic knowledge and imagery. *Catena*, v. 256, 109089.
- Irifan, M., Bali, S.B., Afzal, A. and Topal, S., 2025. Morphology and controls of the alluvial fan systems along the Zanskar Shear Zone, Northwest Himalaya, India. *Geomorphology*, v. 472, 109607.
- Jafari, A., Ao, S., Jamei, S. and Ghasemi, H., 2023. Evolution of the Zagros sector of Neo-Tethys: Tectonic and magmatic events that shaped its rifting, seafloor spreading and subduction history. *Earth-Science Reviews*, v. 241, 104419.
- Jahani, S., Callot, J.P., Letouzey, J. and De Lamotte, D.F., 2009. The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran: Structures, evolution, and relationships between salt plugs, folding, and faulting. *Tectonics*, v. 28(6).
- Jamalabadi, J., Zanganeh asadi, M. and 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*, v. 29(3), p. 35-56 (In Persian).
- Jiang, Y., Tang, X., Fu, X., Zhong, R. and Zhu, W., 2025. Differential geological responses and geodynamic mechanisms of major Cenozoic tectonic Movements in the East China Sea Shelf basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 284, 106569.
- Karataş, A. and Boulton, S., 2019. Morphometric characteristics of alluvial fans in Southern Turkey: implications for fault activity in the Anatolia, Arabia, Africa Triple Junction Region. *Academia Journal of Environmental Science*, v. 7(3), p. 009-029.
- Lecce, S.A., 1990. The alluvial fan problem. *Alluvial fans: A field approach*, p. 3-24.
- Lecce, S.A., 1991. Influence of lithologic erodibility on alluvial fan area, western White Mountains,

- California and Nevada. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 16 (1), p. 11-18.
- Leleu, S., Ghiene, J.F. and Manatschal, G., 2009. Alluvial fan development and morpho-tectonic evolution in response to contractional fault reactivation (Late Cretaceous-Paleocene), Provence, France, *Basin Research*, v. 21, p. 157-187.
- Maghsoudi, M., Ebrahimkhani, N. and Yamani, M., 2012. The Effect of Neotectonic on Haji Arab Fan (Qazvin Plain) by sedimentologic and morphometric data. *Geography*, v. 33, p. 87-106 (In Persian).
- Mohammadnejad, V., Asghari, S. and Golmohammadzadeh, B., 2012. Morphometric Analysis of Alluvial Fans on the Southern Slopes of the Eastern Alborz. First Conference of the Iranian Geomorphology Association, University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran. (In Persian).
- Mokhtari Koshki, D. and Khayyam, M., 2003. Evaluation of Tectonic Activity Based on the Morphology of Alluvial Fans Case Study: Alluvial Fans of the Northern Slopes of Mishow Dagh. *Geographical Research*, v. 35(1), p. 1-10 (In Persian).
- Mokhtari, D., Karami, F. and Bayati Khatibi, M., 2007. Differential Features of Alluvial Fans Controlled by Quaternary Tectonic Activities around Misho-Dagh Mountainous Area (Northwest of Iran). *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, v. 11(0), p. 257-292 (In Persian).
- Najafi, E., Faraji Monfared, A. and Ahmadi, M., 2025. Spatial Distribution of Alluvial Fans for Evaluating Tectonic Activity: A Case Study from the Southern Kharqan Mountain Range, Hamadan Province. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, v. 25(76), p. 92-109 (In Persian).
- Oguchi, T. and Ohmori, H., 1994. Analysis of relationship among alluvial fan area, source basin area, basin slope and sediment yield. *Zeitschrift fur Geomorphologie N.F.* v. 38, p. 405-420.
- Othman, A.T. and Omar, A.A., 2023. Evaluation of relative active tectonics by using geomorphic indices of the Bamo anticline, Zagros Fold-Thrust Belt, Kurdistan Region of Iraq. *Heliyon* 9, e17970.
- Özpolat, E., Yıldırım, C., Görüm, T., Gosse, J.C., Şahiner, E., Akif Sarıkaya, M. and Owen, L.A., 2022. Three-dimensional control of alluvial fans by rock uplift in an extensional regime: Aydın Range, Aegean extensional province, *Scientific Reports*, v. 12 (1), 15306.
- Patel, N.K. and Pati, P., 2022. Mapping of the Buried Paleochannels on the Terminal Fans in the Western Ganga Plain: A Geomorphological and Ground Penetrating Radar-based Approach. *Journal of the Geological Society of India*, v. 98, p. 525-537.
- Peng, Z., Yu, X. and Li, S., 2024. Aggradation and reworking of an alluvial fan in response to climate changes on the south bank of Lake Qinghai, NE Tibetan Plateau, *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 264(10), 106073.
- Rajabi, M., Mokhtari, D. and Hashemian, M.E., 2020. Analysis of Quantitative Relationship between the Volume of Alluvial Fans and its Relationship Active Tectonic (Case study: Northern Slopes of Alluvial Fans in Bozqush). *Journal of Geography and Planning*, v. 23(70), p. 123-143 (In Persian).
- Ramsey, L.A., Walker, R.T. and Jackson, J., 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. *Basin Res.*, v. 20, p. 23-48.
- Shayan, S., Sharifikia, M.R. and Zare, G., 2013. Neotectonic, morphoclimatic and anthropogenic agents in Appearance and Genesis of alluvial fans (Case study: Garmsar alluvial fan). *Geography and Environmental Planning*, v. 24(2), p. 75-88 (In Persian).
- Sorriso-Valvo, M., Antronico, L. and Le Pera, E., 1998. Controls on modern fan morphology in Calabria, Southern Italy. *Geomorphology*, v. 24, p. 169-187.
- Spagnolo, M., Pellitero, R., Barr, I.D., Ely, J.C., Pellicer, X.M. and Rea, B.R., 2017. ACME, a GIS tool for automated cirque metric extraction. *Geomorphology*, v. 278, p. 280-286.
- Vincent, L.T., Eaton, B.C., Leenman, A.S. and Jakob, M., 2022. Secondary Geomorphic Processes and Their Influence on Alluvial Fan Morphology, Channel Behavior and Flood Hazards. *JGR Earth Surfer*, v. 127(2), e2021JF006371.
- Waters, J.V., Jones, S.J. and Armstrong, H.A., 2010. Climatic controls on late Pleistocene alluvial fans, Cyprus. *Geomorphology*, v. 115, p. 228-251.
- Winsemann, J., Hartmann, T., Lang, J., Fälber, R. and Lauer, T., 2022. Depositional architecture and aggradation rates of sand-rich, supercritical alluvial fans: Control by autogenic processes or high frequency climatic oscillations? *Sedimentary Geology*, v. 440, 106238.
- Zarei, E., Faghieh, A., Soleimani, M. and Zarei, S., 2023. Assessment of relative tectonic activity in the Lar region, Zagros Fold-Thrust Belt, SW Iran: Insights from geomorphometric analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 49, p. 1199-1213.