



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 36, Issue 1, No.97, 2025, pp. 183- 204

Received: 07/04/2025 Accepted: 21/06/2025

Identification of Braided Channels on the Islamabad Alluvial Fan in Yazd Ardakan Basin

Seyyed Mahdi Pazhuhan Pourbagher Kordi 

Assistant professor, Department of Geography, Payam-e Noor University, Tehran, Iran

M.Pourbagher@pnu.ac.ir

Abstract

Braided channels are subsidiary branches of riverine flows that primarily develop on the surfaces of alluvial fans and, occasionally, across floodplains. These channels serve as vital pathways for distributing floodwater across alluvial fans, making their accurate identification essential for predicting natural hazards, such as floods and erosion, and conducting effective environmental management. In the Islamabad Alluvial Fan of Yazd, the expansion of floodwaters has led to the formation of erosional landforms, such as gullies created by surface runoff. If not properly managed, these features pose significant risks to critical infrastructure, particularly transportation networks, which was a central focus of this research. The primary objective of this study was to create a high-accuracy spatial map of these flood channels. By utilizing GeoEye satellite imagery and a contrast difference detection algorithm, an image segmentation-based approach was employed to semi-automatically extract the spatial distribution of braided channels. Implementing this method on the eCognition platform using an object-based processing approach revealed that the generated polygons aligned well with the surface morphology of the alluvial fan. They effectively delineated features, such as gully patterns, braided channel networks, and floodwater dispersal routes. Additionally, the active area of the Islamabad Alluvial Fan was identified and visualized. These findings marked a significant advancement in flood risk management and the protection of ecosystems in arid regions. This research concluded that the contrast-based segmentation method had proven highly effective in detecting the morphology of alluvial fans. It successfully identified the approximately conical shape of the Islamabad Alluvial Fan, which was left-skewed, and detected the surface distributary channels in a semi-automatic manner through polyline drawing. The success of this method in capturing the form and surface features of the Islamabad Alluvial Fan was attributed to its simultaneous use of spectral information and morphological characteristics, such as size, slope, and shape of the landform.

Keywords: Segmentation, Contrast, Flood Spreading, Braided Channels, Islamabad, Yazd.

Introduction

Braided channels are dynamic, branching subsidiary channels of river systems found in a variety of geographical environments, including the surfaces of alluvial fans, river deltas, mountainous gravel streams, sandy-bed rivers, and sedimentary plains. These channels are a significant focus for scientists across multiple disciplines. For

*Corresponding Author

Pourbagher, S. M .(2025). Identification of braided channels on the Islamabad alluvial fan in Yazd Ardakan Basin. *Geography and Environmental Planning*, 36 (1), 183 - 204 .

2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2025.144804.1717

geomorphologists, braided channels commonly found in high-altitude and periglacial regions are important for understanding erosion and sediment transport. For water resource and civil engineers, identifying these channels is crucial in the design of dams, water intake systems, and water transfer channels, all of which face threats from reservoir sedimentation due to high sediment transport and erosion rates. Braided channels serve as vital conduits for distributing floodwaters on alluvial fans, playing a central role in shaping hydrological and geomorphological processes. Economically, the alluvial deposits associated with braided channels form significant hydrocarbon reservoirs and are important sources of sand and gravel. These channels consist of numerous alluvial pathways that continuously separate and rejoin around sediment bars and islands, creating an intricate structure that resembles a braided rope. The formation and evolution of braided channels depend on water dynamics and watershed characteristics. As primary pathways for flood distribution on alluvial fans, their identification is critical for flood management. If not properly recognized and managed, braided channels can pose significant risks to regional infrastructure. Therefore, understanding and identifying these channels is essential for predicting natural hazards, such as floods and erosion, and conducting effective environmental management.

Materials & Methods

Modern techniques for analyzing landform features utilize object-based patterns and satellite image segmentation as essential tools for extracting and classifying geomorphological landforms. In this research, the spatial distribution of braided channels on the Islamabad Alluvial Fan in Yazd was semi-automatically detected using the contrast difference method. This approach employs a hierarchical segmentation strategy, breaking down images from whole to parts by dividing features into smaller, homogeneous sub-units. The method focuses on variations in pixel brightness, converting image features into binary regions (black and white). By determining spectral thresholds, dark and bright areas are separated through the delineation of distinct polygons. This technique enables identification of locations where braided channels form, which are critical for understanding areas prone to hazardous flood distribution and represent the active sections of the alluvial fan. The study concentrated on the Islamabad Alluvial Fan within the Yazd-Ardakan Watershed near Taft County, where frequent flooding had resulted in erosional landforms, including gullies formed by surface runoff. The uncontrolled expansion of these features posed significant risks to critical infrastructure, particularly transportation networks, highlighting the importance of this research. The primary objective of this study was to create a high-precision spatial map of flood channels to enhance flood risk mitigation strategies. To achieve this, GeoEye satellite imagery characterized by high spatial resolution and a contrast difference detection algorithm—an advanced image segmentation technique—were employed. This semi-automatic method was implemented on the E-Cognition platform using an object-based image analysis approach. The results demonstrated that the generated polygons closely aligned with the surface morphology of the alluvial fan, accurately depicting details, such as gullies, braided channel networks, and flood distribution pathways with remarkable precision. Additionally, the active section of the Islamabad Alluvial Fan was effectively identified and visualized.

Research Findings

One of the primary achievements of this method that captured researchers' attention was the radial pattern of braided channels observed in the output maps. This pattern illustrated the branching distribution of channels radiating from a central core and exhibited remarkable morphological consistency with Bristow's (1993) findings regarding the formation dynamics of alluvial fans in arid environments.

Other significant findings of this study included:

≠ **Spatial Mapping Accuracy:** Integration of GeoEye imagery with object-based methods allowed for the precise extraction of braided channels at a spatial scale, significantly enhancing the resolution of flood hazard maps.

≠ **Identification of Active Fan Section:** By mapping the concentration of primary braided channels, the study revealed that the most active channels were predominantly located in the distal section (base) of the Islamabad Alluvial Fan.

≠ **Morphological Alignment:** The mapped polygons exhibited a strong correlation with the fan's surface features, confirming the method's reliability in complex arid environments. Geometric analysis revealed a left-skewed conical shape at the fan's base.

≠ **Risk Reduction:** Identification of active fan zones and erosion hotspots provided valuable insights for infrastructure protection and flood risk management.

Discussion of Results & Conclusion

Based on the results and findings of this research, it could be concluded that the majority of braided channels had formed in the distal section, or approximately at the base, of the Islamabad Alluvial Fan, which was also where the active section of the fan was located. The hierarchical whole-to-part algorithm based on contrast difference detection used in this study effectively identified the general morphology of the asymmetric conical alluvial fan and surface details, such as braided channels, through continuous polygonal lines. This method worked by gradually dividing image features into smaller subunits, continuing the segmentation process until spectral-spatial homogeneity criteria were met in each unit. The final homogeneous units were referred to as "image objects". Since these objects were derived from the hierarchical decomposition of large-scale features, this approach was also known as the "nested decomposition algorithm". The success of this method could be attributed to the integration of spectral data from electromagnetic reflection values across different bands with morphometric parameters, such as shape, density, and drainage patterns. While spectral data alone might not effectively distinguish landforms with similar reflectance, their combination with indices—such as the pyramidal shape coefficient characteristic of alluvial fans—significantly enhanced classification accuracy. These results signified a pioneering advancement in flood risk management and ecosystem protection in arid regions. The findings suggested that the presence of braided channels indicated high flow discharge and a significant concentration of coarse-grained sediments, such as sand, within the riverine system. Thus, identifying these channels in older sedimentary layers could be interpreted as evidence of past wet periods or frequent flood events. This characteristic positioned braided channels as vital tools for reconstructing historical climatic changes and conducting geomorphological studies as their formation patterns were directly linked to long-term moisture and hydrological fluctuations. This research underscored the importance of identifying braided channels as a critical factor in flood risk management, soil erosion reduction, and maintaining hydrological balance. Furthermore, these aquatic networks were not only valuable sources of construction materials, but their unregulated exploitation could lead to irreparable consequences for arid ecosystems. Consequently, this study demonstrated that the proposed method was an effective tool for monitoring morphological changes, identifying high-risk flood areas, and promoting the sustainable management of natural resources.

Acknowledgements

This study is part of the approved research project No. 210, which was dated April 23, 2023 and titled "Identification of Floodplain Hairpin Channels on the Islamabad Alluvial Fan". The project was made possible through the generous financial support of the esteemed Provincial Research Council. We extend our heartfelt gratitude and appreciation to the honorable members of this council for their support.

پروپوزیشن گاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



مقاله پژوهشی

شناسایی کانال‌های گیسویی پخش سیلاب روی مخروط‌افکنه اسلام‌آباد در حوضه یزد اردکان

سیدمهدی پژوهان (پورباقر کردی)*^{ID}، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

M.Pourbagher@pnu.ac.ir

چکیده

کانال‌های گیسویی به شاخه‌های فرعی جریان‌های رودخانه‌ای اطلاق می‌شوند که عمدتاً روی سطوح مخروط‌افکنه‌ها و در مواردی نیز در گستره دشت‌سرها شکل می‌گیرند. این کانال‌ها به‌عنوان مسیرهای اصلی توزیع سیلاب در مخروط‌افکنه‌ها عمل می‌کنند و شناسایی دقیق آن‌ها در پیش‌بینی مخاطرات طبیعی سیل، فرسایش و مدیریت زیست محیطی حائز اهمیت است. در مخروط‌افکنه اسلام‌آباد یزد، گسترش سیلاب به تشکیل لندفرم‌های فرسایشی ناشی از جریان‌های سطحی مثل آبکندها منجر شده که در صورت عدم مهار، خطری جدی برای زیرساخت‌های حیاتی مانند شبکه‌های حمل‌ونقل محسوب می‌شوند که مهم‌ترین مسئله این تحقیق است. هدف اصلی این پژوهش، تهیه نقشه مکانی این کانال‌های سیلابی با دقت بالا است. در این مطالعه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای GeoEye (چشم زمین) و الگوریتم تشخیص اختلاف کنتراست که روشی مبتنی بر قطعه‌بندی تصاویر است، توزیع فضایی کانال‌های گیسویی به صورت نیمه‌خودکار استخراج شد. نتایج پیاده‌سازی این روش در پلتفرم نرم‌افزاری E-Cognition با رویکرد پردازش شیء‌گرا نشان داد که خطوط چندضلعی یا پلی‌گون ترسیم‌شده، همسو با ریخت‌شناسی سطح مخروط‌افکنه است و جزئیاتی مانند الگوی آبکندها، شبکه کانال‌های گیسویی و مسیرهای پخش سیلاب را با دقت بالایی آشکار می‌سازند. همچنین بخش فعال مخروط‌افکنه اسلام‌آباد شناسایی و در قالب تصویر آورده شد. این یافته‌ها گامی مؤثر در مدیریت ریسک سیلاب و حفاظت از اکوسیستم‌های مناطق خشک محسوب می‌شود. براساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش قطعه‌بندی مبتنی بر اختلاف تباین، کارایی بالایی در تشخیص فرم مخروط‌افکنه‌ها نشان داده است. این روش توانسته است علاوه بر تشخیص فرم واقعی تقریباً مخروطی مخروط‌افکنه اسلام‌آباد که با اریب به سمت چپ است، کانال‌های گیسویی سطح مخروط‌افکنه مذکور را هم به صورت نیمه‌خودکار با ترسیم خطوط پلی‌لاین به خوبی شناسایی کند. دلیل موفقیت این روش در تشخیص فرم و عوارض سطح مخروط‌افکنه اسلام‌آباد، بهره‌گیری هم‌زمان از اطلاعات طیفی و ویژگی‌های مورفولوژیکی مثل اندازه، شیب و شکل این لندفرم است.

واژه‌های کلیدی: قطعه‌بندی، اختلاف تباین یا کنتراست، کانال‌های گیسویی، پخش سیلاب یا سیلاب‌رو، اسلام‌آباد یزد

*نویسنده مسئول

پژوهان، سیدمهدی. (۱۴۰۴). شناسایی کانال‌های گیسویی پخش سیلاب روی مخروط‌افکنه اسلام‌آباد در حوضه یزد اردکان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۶، (۱)، ۲۰۴-۱۸۳.



مقدمه

کانال‌های گیسویی^۱ در محیط‌های مختلف جغرافیایی، از جمله روی سطح مخروط افکنه‌ها (شکل ۱-الف)، روی دلتای رودخانه‌ها (شکل ۱-ب)، نهرهای کوهستانی سنگ‌ریزه‌ای و رودخانه‌های بستر ماسه‌ای (شکل ۱-ج) و نیز سراسر دشت‌های رسوبی (شکل ۱-د) یافت می‌شوند. کانال‌های گیسویی موضوع مشترک و مهم برای دانشمندان حوزه‌های مختلف علمی است؛ برای مثال برای ژئومورفولوژیست‌ها، این عوارض که در مناطق مرتفع و پیش‌بخندان فراوان یافت می‌شوند، از نظر فرسایش و انتقال رسوب مورد توجه هستند و برای مهندسان آب و عمران در طراحی سدها، سیستم‌های آبگیر و کانال‌های انتقال آب که تهدید به پر شدن مخازن از رسوبات به علت نرخ بالای انتقال رسوب و فرسایش هستند، شناسایی این کانال‌ها اجتناب‌ناپذیر است. همچنین تهدیدی برای سازه‌های درون کانال مانند پایه‌های پل، جاده‌ها و راه‌آهن‌ها ایجاد می‌کند و در نهایت کانال‌های گیسویی برای زمین‌شناسان، عوامل مهم رسوب‌گذاری را تشکیل می‌دهند و مسئول تجمع بسیاری از توالی‌های رسوبی هستند؛ بنابراین، سفره‌های زیرزمینی ارزشمند، مخازن هیدروکربنی و مکان‌هایی را برای تجمع مواد معدنی سنگین تشکیل می‌دهند (Bristow & Best, 1993, p. 1). از نظر اقتصادی، رسوبات آبرفتی کانال‌های گیسویی مخازن هیدروکربنی در خورتوجهی را تشکیل می‌دهند، به طوری که برخی از میدان‌های نفتی غول‌پیکر جهان را تشکیل می‌دهند و در بسیاری از استان‌های نفتی یافت می‌شوند (Martin, 1993, p. 333). کانال‌های گیسویی، مکان‌هایی برای رسوب و تجمع مواد معدنی سنگین نیز هستند. آبرفت‌های کانال‌های بافته‌شده یا گیسویی در جریان‌های نوسانی شامل مجموعه‌ای از «منابع نقطه‌ای» محلی است که به صورت جداگانه ممکن است مواد معدنی سنگین را در یک رویداد قبلی متمرکز یا پراکنده کرده باشند (Smith & Minter, 1980, p. 1) و ذخایر مهم شن و ماسه نیز هستند (Bristow & Best, 1993, p. 8). این رودخانه‌ها (کانال‌های بریده‌بریده) بیشتر در مناطق کم‌سکنه یافت می‌شوند و به قدری پویا هستند که اندازه‌گیری‌های درجا برای آن‌ها تقریباً غیرممکن هستند. این کانال‌ها از مجراهای آبرفتی متعددی تشکیل شده‌اند که در اطراف میله‌ها و جزایر رسوبی، مرتب از هم جدا و دوباره به هم می‌پیوندند و ساختار درهم‌تنیده‌ای را تشکیل می‌دهند که شبیه به قیطان گیسویی به نظر می‌آید (Nykanen et al., 1998, p. 1795). مکانیسم تشکیل و تحول کانال‌های گیسویی به دینامیک آب و ویژگی‌های حوضه آبخیز بستگی دارد؛ این کانال‌ها بستر اصلی پخش سیلاب روی مخروط افکنه‌ها هستند (یمانی و مقصودی، ۱۳۸۲، ص. ۱۰۳) که اگر شناسایی و کنترل نشوند، ممکن است تهدیدی برای سازه‌های منطقه باشند؛ بنابراین، شناسایی مکان آن‌ها به علت پخش سیلاب اهمیت دارد. کانال‌های گیسویی، بستر جریان‌ات آبی با شیب نسبتاً زیاد، کم‌عمق اما با عرض زیادی هستند که در مناطق کوهستانی و نیمه‌کوهستانی به صورت بُریده‌بُریده در تصاویر ماهواره‌ای مشاهده می‌شوند. علت اصلی این شکل‌شناسی حضور و گسترش بارها^۲ و جزایر رسوبی^۳ است که باعث ناپایداری رودخانه می‌شود و مسیر جریان را به صورت چندرشته‌ای و در مجاری متعدد کم‌عمق و به شکل

1 Braided channels

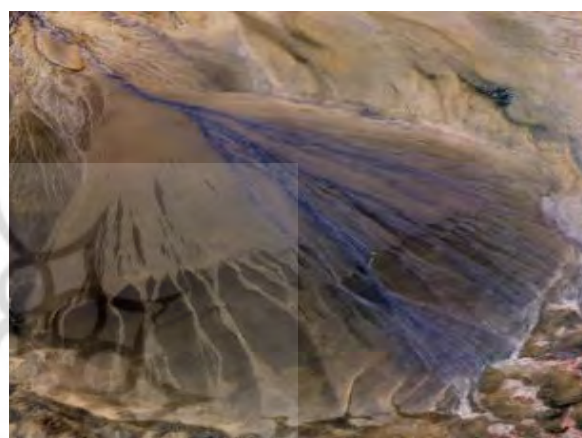
2 Bar

3 Island bar

نایب‌سته و متقاطع درمی‌آورد (تلوری، ۱۳۸۳، ص. ۲۶۲). این بستر رودها به دلیل شباهت خیالی به رشته‌های بافته‌شده موی بلند انسان به کانال گیسویی معروف شده‌اند (Bates & Jackson, 1987). وجود آبراهه بریده‌شده در بخش بالادستی مخروط افکنه‌ها، پدیده‌های شایع در بیشتر مخروط افکنه‌های منطقه کوهستانی است (مختاری و همکاران، ۱۳۸۶، ص. ۲۷۰). در این تحقیق، توزیع فضایی کانال‌های گیسویی روی مخروط افکنه اسلام‌آباد یزد به صورت نیمه اتوماتیک توسط روش اختلاف تباین یا کنتراست کشف شده است. محل شکل‌گیری کانال‌های گیسویی در واقع محل پخش سیلاب‌های خطرناک و به عبارتی بخش فعال مخروط افکنه را نشان می‌دهد که با این روش کشف می‌شوند. خشک‌رودها نیز از عوارض قابل استخراج روی مخروط افکنه است که با همین روش شناسایی می‌شوند.



ب



الف



د

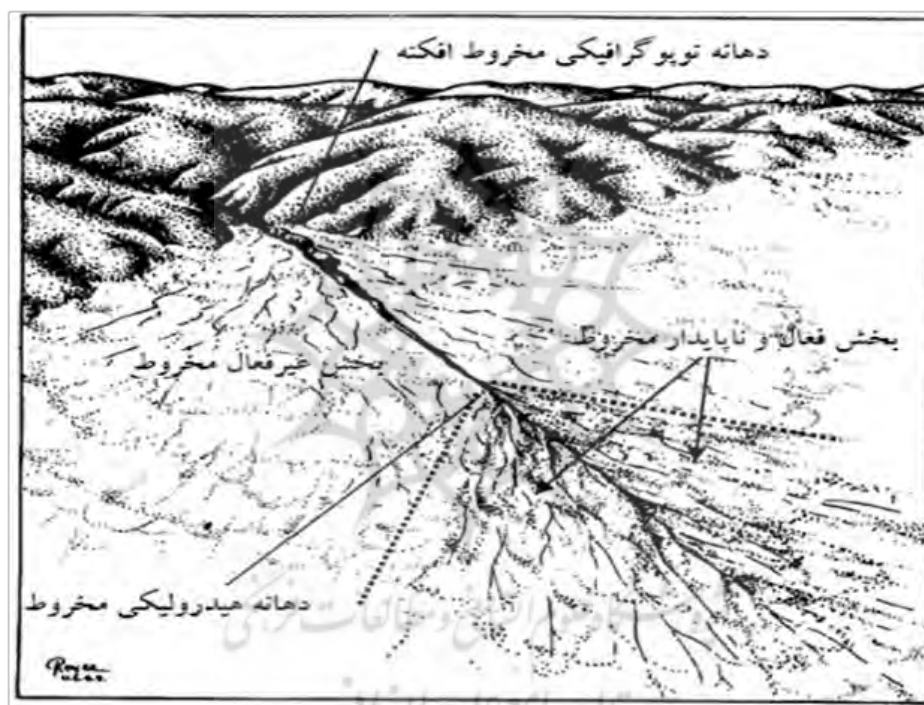


ج

شکل ۱: کانال‌های گیسویی در محیط‌های مختلف جغرافیایی الف: روی سطح مخروط افکنه ب: روی سطح دلتای رودخانه‌ها ج: رودخانه‌های بستر ماسه‌ای د: روی دشت‌های رسوبی (Bristow & Best, 1993).

Figure 1. Braided Channels in Various Geographical Environments: (a) On the surface of an alluvial fan (b) On the surface of river deltas (c) In sandy-bed rivers (d) On alluvial plains (Bristow & Best, 1993)

مخروط افکنه‌ها از نظر خطر سیل خیزی به دودسته تقسیم می‌شوند: مخروط‌های فعال و مخروط‌های غیرفعال. قسمت‌های بالادستی کانال‌ها که به دره‌های موجود در دهانه توپوگرافیکی مخروط ختم می‌شوند، بخش غیرفعال و پایدار مخروط را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). از ویژگی‌های این قسمت از مخروط، وجود کانال‌های آب‌بندی و پایداری است که می‌تواند دبی سیل ۱۰۰ ساله را بدون سیلابی کردن منطقه با خود حمل کند؛ زیرا این منطقه محل پخش سیلاب‌های برق‌آسا و رسوب‌گذاری ناگهانی و فرسایش نهشته‌هاست که دائماً در حال تغییر و تحول است (FEMA, 2016, p. 3). علت ناپایداری این منطقه، فرایندهای رسوبی فعال و تغییرات مکرر به دلیل جریان‌های سیلابی است. در صورتی که حجم رسوبات تخریبی مخروط افکنه‌ها زیاد باشد، آنگاه دشت‌سرها را با ضخامت نسبتاً زیاد می‌پوشانند (محمودی، ۱۳۸۷، ص. ۱۰۳).



شکل ۲: بخش فعال و غیرفعال همراه با انواع دهانه مخروط (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2016).

Figure 2. Active and Inactive Zones and Types of Fan Apexes. (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2016)

بهرامی و بهرامی (۱۳۹۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای QuickBird و تحلیل شاخص‌های الگوی زهکشی (مانند تراکم کانال‌ها) همراه با بررسی تنوع رنگی سطح مخروط افکنه‌ها در منطقه زاگرس چین‌خورده، موفق به تفکیک بخش‌های فعال (سیل‌خیز) و غیرفعال مخروط افکنه‌ها شدند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که مخروط افکنه‌های قدیمی با الگوی زهکشی همگرا یا شبکه‌ای درختی عموماً غیرفعال هستند، در حالی که مخروط افکنه‌های جوان و فعال دارای الگوی زهکشی واگرا، شاخه‌شاخه و متقاطع هستند. همچنین، بخش‌های غیرفعال به دلیل رنگ تیره‌تر در تصاویر ماهواره‌ای، امکان شناسایی و تفکیک‌پذیری بالاتری دارند (بهرامی، ۱۳۹۰، ص. ۱۰۲).

گورابی و کریمی با به‌کارگیری فن قرینه‌سازی مدل رقومی ارتفاع، مرزهای مخروط افکنه مروست در جنوب استان یزد را با دقت تعیین کردند. این روش مبتنی بر تحلیل توپوگرافی و انطباق هندسی لندفرم‌ها بود (گورابی و کریمی، ۱۳۹۱، ص. ۹۷). همچنین شایان و همکاران با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر مشابهت، لندفرم‌های مناطق خشک مرنجاب را در هفت گروه، از جمله «مخروط افکنه» دسته‌بندی کردند. براساس نقشه تولیدشده، کلاس مخروط افکنه بیشترین وسعت منطقه مطالعه‌شده را به خود اختصاص داده بود (شایان و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۲۵).

حمیدی کرمانشاهی (۱۴۰۰) تأثیر مورفودینامیک کانال‌های گیسویی مخروط افکنه‌ها و عوارض ماسه‌ای را بر مخاطرات جاده‌ای محور گرمسار-قم به طور جامع در قالب پایان‌نامه بررسی کرده است. در این تحقیق از ترکیبی از داده‌های اقلیمی، مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. ابزارهای اصلی پژوهش شامل نرم‌افزارهای تخصصی ArcGIS، Gradistate، WRPLOT، Sandrose و SPSS بوده‌اند. روش تحقیق در سه مرحله اصلی انجام پذیرفته است که در اینجا فقط نتایج مرتبط با این تحقیق آورده شد: براساس روش پایش تغییرات، نرخ جابه‌جایی کانال‌های گیسویی در برخی مخروط افکنه‌ها (۲۰،۵ متر) چهار برابر سایر مخروط افکنه‌ها (۵،۵ متر) بوده است. عدم مدیریت پویایی کانال‌های گیسویی در مخروط افکنه‌ها می‌تواند تهدید جدی برای زیرساخت‌های منطقه ایجاد کند. در تحقیقی دیگر توسط **رنجبر و همکاران (۱۴۰۲)** تحولات کانال‌های گیسویی در بخش شرقی مخروط افکنه کرج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. توسعه شهری و عملیات کانال‌کشی در بخش‌های غربی و مرکزی مخروط افکنه کرج، به تخریب سیستم طبیعی کانال‌های گیسویی منجر شده است. مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق به‌صورت زیر بوده است:

ناپایداری سیستم کانال‌ها: کانال‌های گیسویی در بازه زمانی مطالعه‌شده از پایداری مکانی برخوردار نبوده و مسیر آن‌ها به‌طور نامنظم متأثر از سیلاب‌های فصلی تغییر کرده است.

الگوی انشعابات: شاخه‌های اصلی پس از خروج از دامنه‌های کوهستانی به‌صورت واگرا تقسیم شده و شبکه‌ای گسترده با الگوهای موازی، درهم و واگرا را تشکیل داده‌اند. با نزدیک شدن به قاعده مخروط افکنه، بر تعداد انشعابات افزوده می‌شود.

در پژوهشی پیشرو توسط میلیارسی با ترکیب شاخص تفاضل نرمال‌شده باندهای ۱ و ۳ سنجنده TM و الگوریتم قطعه‌بندی مبتنی بر رشد ناحیه، مخروط افکنه‌ها را از نظر پتانسیل سیل‌خیزی به سه بخش طبقه‌بندی کرد:

۱. منطقه کم‌خطر در بخش رأس مخروط؛ ۲. منطقه با خطر متوسط در میانه مخروط و ۳. منطقه پرخطر در قاعده مخروط که بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیلاب دارد (Miliarezi, 1999, p. 5).

در پژوهشی دیگر توسط سولباک و ویند در بررسی پتانسیل سیل‌خیزی مخروط افکنه‌ها از مدل‌های چندمقیاسه (مولتی‌رزولوشن) بهره گرفتند. این محققان به جای استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع، مدل‌های اسپلاین مبتنی بر شبکه مثلثاتی نامنظم را به‌عنوان روشی کارآمدتر در مطالعات ژئومورفولوژیک و شناسایی عوارض پیشنهاد دادند. به باور آن‌ها، این رویکرد دقت بالاتری در بازنمایی ناهمواری‌های پیچیده سطح زمین دارد (Sulebak & Vind, 2003, p. 232).

همچنین پژوهشگرانی با اعمال الگوریتم قطعه‌بندی چندسطحی بر روی داده‌های منطقه دره مرگ آمریکا، فرایند شناسایی مخروط‌افکنه‌ها را در چهار سطح مختلف رزولوشن (از درشت‌دانه تا ریزدانه) آزمودند. یافته‌ها نشان داد که سطوح سوم و چهارم قطعه‌بندی (با جزئیات بالاتر) بیشترین کارایی را در تشخیص مرزها و ویژگی‌های ریخت‌شناختی مخروط‌افکنه‌ها دارند. این نتیجه، اهمیت انتخاب مقیاس مناسب در پردازش تصاویر سنجش‌ازدور را برجسته می‌سازد (Argialas & Tzotsos, 2004, P. 6).

این تحقیق با هدف شناسایی و ترسیم شبکه‌های توزیع سیلاب، بر تحلیل ریخت‌شناسی مخروط‌افکنه اسلام‌آباد یزد در منطقه‌ای خشک تا نیمه‌خشک متمرکز شده است. تمرکز اصلی بر بررسی الگوهای زهکشی سطحی و کانال‌های انشعابی است که نقش کلیدی در پخش سیلاب و شکل‌دهی به ساختار مورفولوژیک این مخروط‌افکنه ایفا می‌کنند.

در تحقیقی جدیدتر توسط لیو و همکاران به رسوبات مخروط‌افکنه و سیستم‌های پخش‌کنی کانال گیسویی در رودخانه گرتو در کشور چین پرداخته شد. آنها در ابتدا براساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، خصوصیات ریخت‌شناسی کانال‌ها با روش داده‌های حاصل از عکس‌برداری هوایی با پهپاد و سنجش از دور، سیستم پخش‌کنی کانال گیسویی گرتو را به سه کمر بند رخساره‌ای تقسیم کردند: پروگزیمال (نزدیک به منبع)، میانی و دیستال (دور از منبع). شیب بخش دیستال رودخانه گرتو کمترین مقدار و شیب بخش پروگزیمال آن بیشتر از بخش میانی است. همچنین آنها نتیجه گرفتند که در بخش دیستال (که شیب بسیار کم می‌شود) رودخانه شریانی (کانال گیسویی) به رودخانه مائندری تبدیل می‌شوند (Liu et al., 2024).

تحلیل بیش از ۴۰۰ مگافن رودخانه‌ای (با طول بیش از ۳۰ کیلومتر) در حوضه‌های رسوبی قاره‌ای نشان می‌دهد که تغییرات ژئومورفولوژیکی کانال در این سیستم‌های رودخانه‌ای پخش‌کنی یا کانال‌های گیسویی عموماً به‌صورت پیش‌بینی‌پذیر با افزایش فاصله از رأس مخروط رفتار می‌کنند. این تغییرات می‌توانند شامل این موارد باشند: کاهش دبی جریان، کاهش انتقال مواد بستر و اندازه ذرات رسوبی، کاهش توان جریان، کاهش کلی عرض کانال، کاهش کلی عمق کانال، افزایش رفتار انشعابی، و تغییرپذیری بیشتر در میزان پیچان‌رودی هستند (Davidson et al., 2013, p. 82).

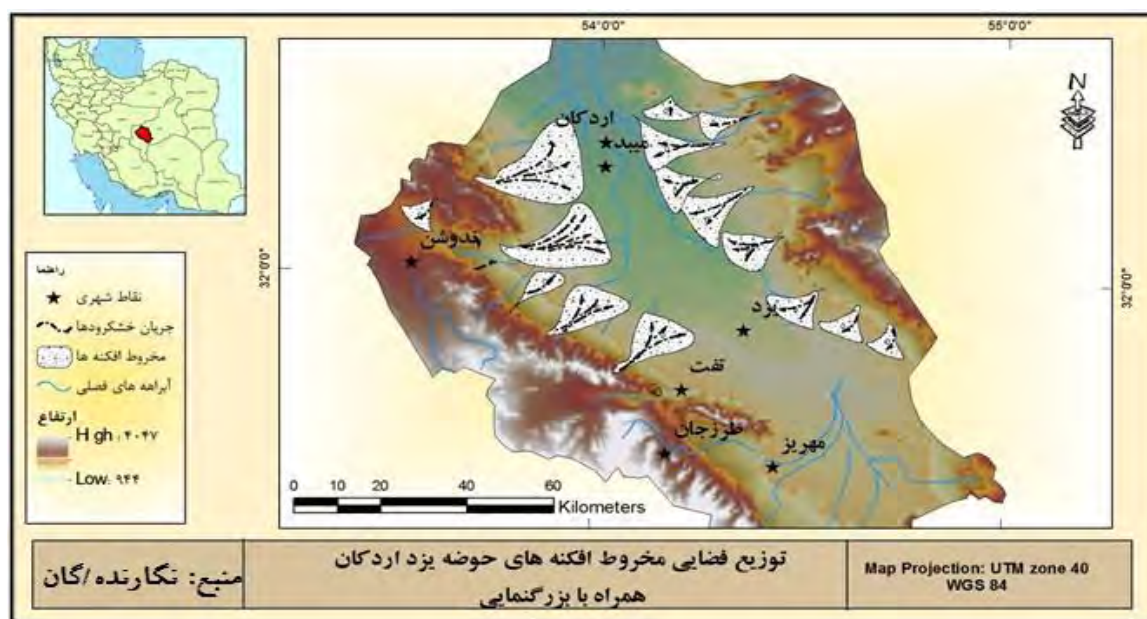
روش‌شناسی و متغیرهای پژوهش

در روش‌های نوین تحلیل عوارض زمین‌ریخت‌شناسی، الگوهای مبتنی بر شیء‌گرایی و تقسیم‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان ابزارهایی کلیدی برای استخراج و تفکیک لندفرم‌های ژئومورفولوژی به کار گرفته می‌شوند (Martin et al., 2012, p. 10). پژوهش حاضر، از استراتژی قطعه‌بندی سلسله‌مراتبی (از کل به جزء) استفاده کرده است که در آن، عوارض موجود در تصاویر به زیرواحدهای کوچک‌تر با ویژگی‌های همگن تقسیم می‌شوند. در این مطالعه، الگوریتم تشخیص اختلاف کنتراست در پلتفرم نرم‌افزاری E-Cognition (با رویکرد شیء‌گرا) برای شناسایی کانال‌های سیلابی مخروط‌افکنه اسلام‌آباد به کار رفته است.

در حوزه پردازش تصاویر رستری، اشیای تصویری به مجموعه‌ای از پیکسل‌های هم‌جوار اطلاق می‌شود که در فرایند قطعه‌بندی به‌عنوان واحدهای معنادار تعریف می‌شوند. این اشیاء، برخلاف پیکسل‌های منفرد، حاوی لایه‌های

اطلاعاتی غنی‌تری همچون ویژگی‌های مورفومتریک (شکل، اندازه، نسبت ابعاد)، ارتباطات توپولوژیک (هم‌جواری، مجاورت) و پارامترهای طیفی-مکانی هستند که امکان طبقه‌بندی دقیق‌تر لندفرم‌ها را فراهم می‌کنند (Asselen & Seijmonsbergen, 2006, p. 310). الگوریتم مذکور با تمرکز بر تفاوت در میزان روشنایی پیکسل‌ها، عوارض تصویری را به مناطق دوتایی (سیاه و سفید) تبدیل می‌کند. در این فرایند، با تعیین آستانه‌های طیفی، نواحی تیره و روشن از طریق ترسیم چندضلعی‌های مجزا تفکیک می‌شوند (Martin et al., 2012, p. 15). مهم‌ترین خروجی این روش، شناسایی کانال‌های گیسویی (شبکه‌های انشعابی سیلاب‌رو) در سطح مخروط افکنه اسلام‌آباد است که به‌عنوان شواهدی کلیدی از الگوی زهکشی منطقه تحلیل شده‌اند.

حوضه مطالعه‌شده در این پژوهش، حوضه آبریز یزد اردکان با مساحتی بالغ بر ۱۵۹۵۰ کیلومترمربع است که در مرکز ایران و بین مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است (اختصاصی، ۱۳۸۳، ص. ۵۶۹). از نظر ژئومورفولوژیک، این حوضه از شمال به دشت پوشیده از نمک (پلایای) اردکان، از جنوب به رشته‌کوه‌های شیرکوه، از شرق به زیرحوضه خراق و از غرب به زیرحوضه ندوشن محدود می‌شود. مخروط افکنه‌ها یکی از اصلی‌ترین لندفرم‌های این حوضه هستند که مساحت درخورتوجهی از حوضه را دربر گرفته است. حدود ۸۰ درصد حوضه مذکور را اراضی با شیب کمتر از ۱۵ درصد شامل دشت‌ها، پدیمت‌ها و مخروط افکنه‌ها تشکیل می‌دهد و ۲۰ درصد آن را کوه‌ها و تپه‌ها با شیب بیشتر از ۱۵ درصد تشکیل می‌دهد. از مهم‌ترین مزایای شناسایی مخروط افکنه‌ها به‌دلیل ارتباط با سفره‌های آب زیرزمینی، منابع بالقوه تأمین آب منطقه است (شکل ۳). متوسط بارندگی در بسیاری از نقاط این دشت کمتر از ۶۵ میلیمتر در سال است و بیشتر از ۷۰ درصد آن در فصل زمستان رخ می‌دهد. تراکم پوشش گیاهی از صفر تا ۲۰ درصد متغیر است و گونه غالب آن را در حال حاضر درمنه دشتی تشکیل می‌دهد. بیش از ۴۰ درصد مساحت دشت را اراضی لخت و بدون پوشش گیاهی با تراکم کمتر از ۲ درصد دربرمی‌گیرد. از نظر توپوگرافی هم، ناهمواری‌های حوضه آبریز یزد در دو دسته مناطق کوهستانی و دشتی تقسیم می‌شوند و مهم‌ترین عارضه کوهستانی، شیرکوه نام دارد و ارتفاع بلندترین قله آن به ۴۰۷۵ متر می‌رسد. این کوه‌ها مربوط به دوره ژوراسیک است و دارای روند شمال غرب-جنوب شرق هستند (علائی طالقانی، ۱۴۰۰).



شکل ۳: موقعیت محدوده مطالعاتی (مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد اردکان) (نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 3. Location of the study area (Alluvial fans of the Yazd-Ardakan basin) (Authors, 2024–2025)

در این تحقیق برای استخراج کانال‌های گیسویی پخش سیلاب یا سیلاب‌روها از مخروط‌افکنه روستای اسلام‌آباد در شهرستان تفت استفاده شده است. دیاگرام روش تحقیق در شکل (۴) آورده شد.

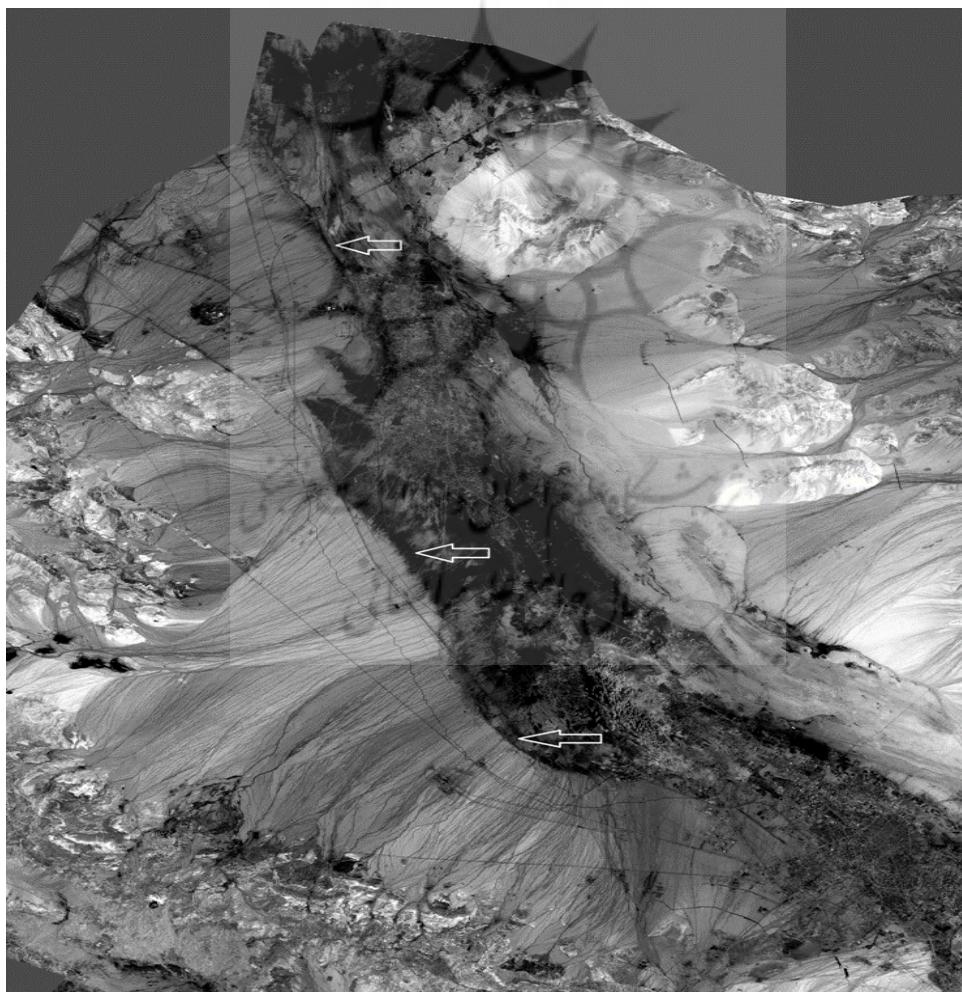


شکل ۴: دیاگرام روش تحقیق (نویسندگان، ۱۴۰۴)

Figure 4. Methodology Flowchart (Authors, 2025)

یافته‌های پژوهش

نخستین دستاورد کاربردی این روش در پژوهش حاضر که توجه پژوهشگران را به خود معطوف ساخت، الگوی افشانه‌ای بودن کانال‌های گیسویی در نقشه‌های خروجی بود (مراجعه شود به شکل‌های ۴ و ۷). این الگو که نشان‌دهنده پراکندگی کانال‌ها به صورت انشعابی از یک کانون مرکزی است، از نظر ریخت‌شناسی با یافته‌های ارائه‌شده در اثر کلاسیک بریستو (Bristow & Best, 1993) درباره دینامیک شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها در محیط‌های خشک همخوانی درخور توجهی دارد. این هم‌پوشانی علمی نه تنها اعتبار روش به کار گرفته شده را تقویت می‌کند، بلکه گواهی بر پایداری الگوهای ژئومورفیک در مقیاس‌های مکانی مختلف است. الگوی افشانه‌ای بودن شبکه کانال‌های گیسویی و محدوده پراکندگی مکانی آن که در نقشه‌های خروجی با نشانگرهای فلش دار در شکل ۵ مشخص شده‌اند، به وضوح بیانگر سازوکار پخش سیلاب و جهت‌گیری غالب جریان‌های سطحی در سطح مخروط افکنه است. این ویژگی‌ها نه تنها ساختار مورفولوژیک منطقه را شکل می‌دهند، بلکه نشانگر پویایی هیدرولوژیک مخروط افکنه در پاسخ به رویدادهای سیلابی هستند.

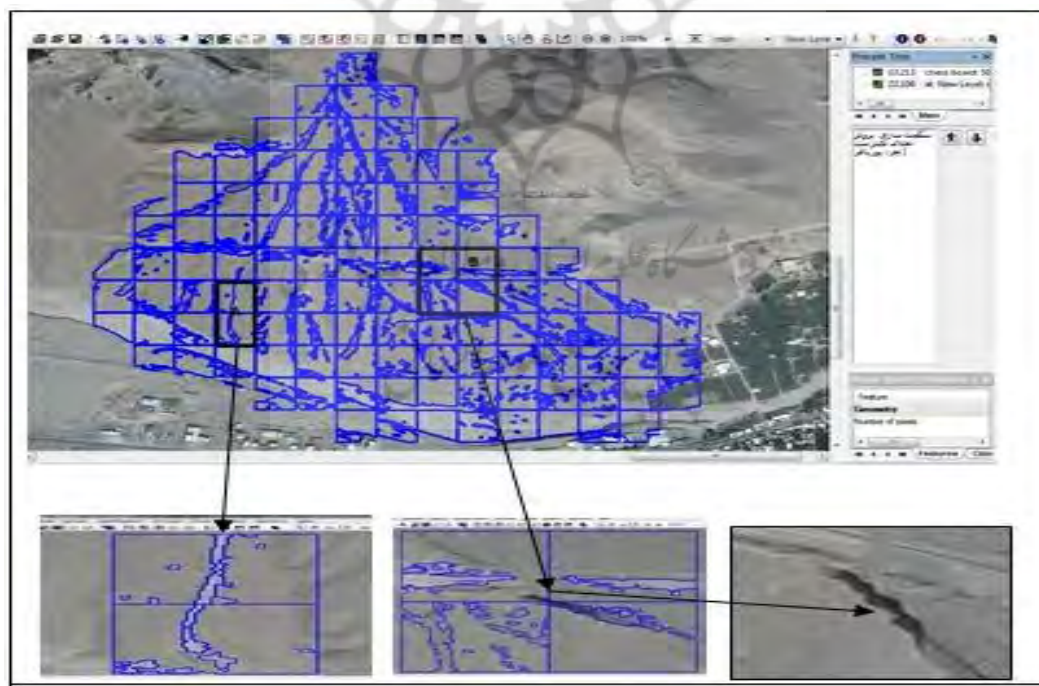


شکل ۵: استخراج افشانه‌ای بودن کانال‌های گیسویی پخش سیلاب و گستردگی آن که با فلش مشخص شده است (نویسندگان، ۱۴۰۳).

Figure 5. Extraction of Braided Channel Distributivity, Flood Spreading Patterns, and Their Spatial Extent, Indicated by Arrows. (Authors, 2024-2025)

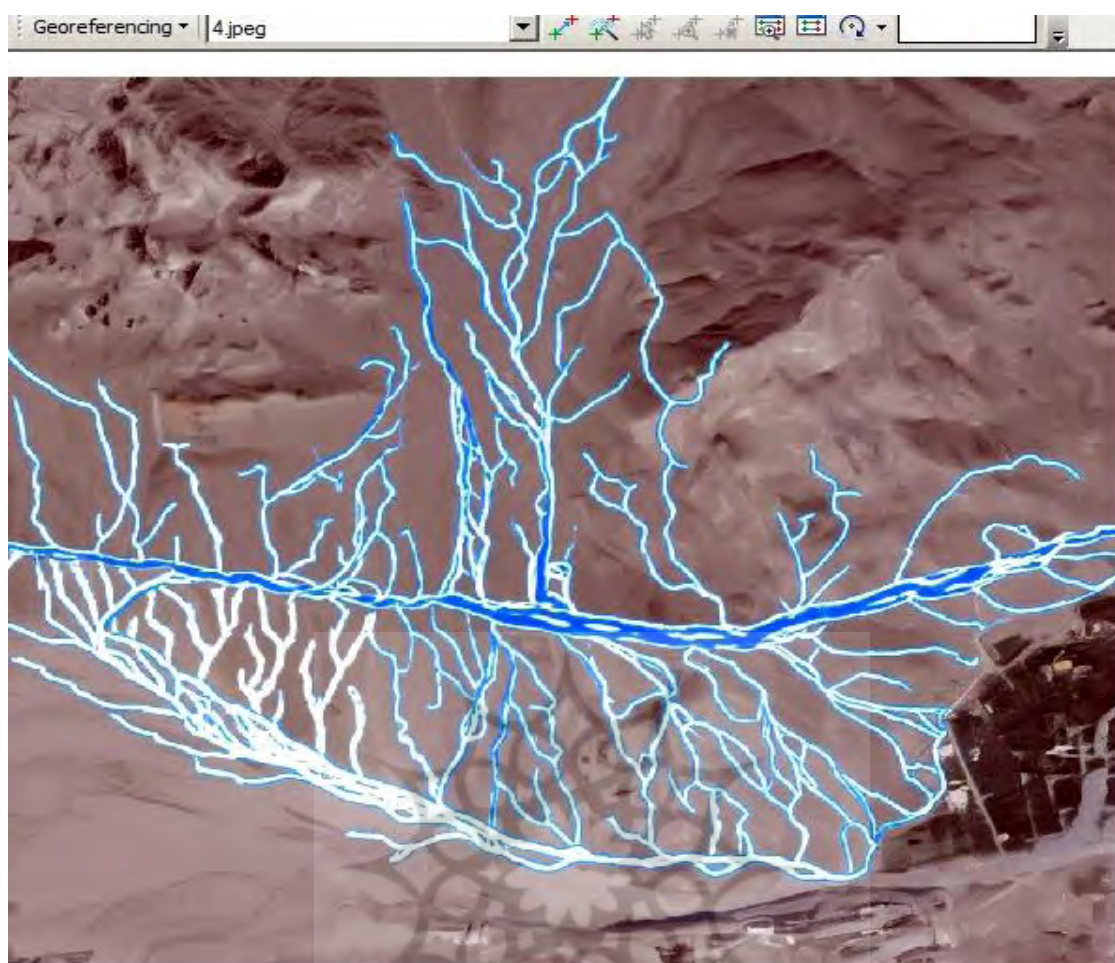
سایر نتایج حاصل از اجرای الگوریتم قطعه‌بندی براساس اختلاف تباین یا کنتراست در شناسایی کانال‌های مذکور در شکل‌های ۶ تا ۱۰ آمده است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با به‌کارگیری الگوریتم مذکور، کانال‌های گیسویی به‌عنوان مسیرهای اصلی انتقال سیلاب، با دقت بالا از طریق مرزهای چندضلعی بسته یا پلی‌گون شناسایی و ترسیم شدند (شکل‌های ۶ و ۸). نمونه‌های A و B در شکل ۶، بخش‌های بزرگ‌نمایی شده از خروجی این روش هستند که به ترتیب مناطق مستعد آب‌گرفتگی و لندفرم‌های فرسایشی را ناشی از فعالیت سیلاب نمایش می‌دهند. این لندفرم‌ها که در ادبیات علوم زمین با عنوان «فرسایش آب‌بندی» یا «گالی» شناخته می‌شوند، حاصل نفوذ و تخریب جریان‌های سیلابی در بسترهای ناپایدار هستند. نقطهٔ رأس گالی که بی‌ثبات‌ترین بخش این عوارض هستند، در نمونهٔ B به‌وضوح رصد می‌شود؛ جایی که سایهٔ ایجادشده در امتداد دیوارهٔ گالی نشانگر توسعهٔ فعال این عارضه به سمت بالادست است. این پدیده نه تنها سبب تشدید فرسایش پس‌روی‌کننده می‌شود، بلکه با گسترش تدریجی، خطرات جدی برای زیرساخت‌های انسانی مانند راه‌ها، سکونتگاه‌ها و اراضی کشاورزی به همراه دارد. قابل‌ذکر است که کانال‌های گیسویی، سیستم‌های سازنده و رسوب‌گذار هستند، درحالی‌که فرسایش خندقی سیستم‌های مخرب و فرسایشی محسوب می‌شود. هر دو پدیده به شرایط هیدرولوژیکی و شیب زمین وابسته‌اند، اما نتایج ژئومورفیک متفاوتی ایجاد می‌کنند. کاربرد کانال‌های گیسویی در مدیریت منابع آب و شناسایی مناطق مستعد ذخیرهٔ رسوبات (برای مثال در اکتشاف نفت و گاز) است.



شکل ۶: نتایج حاصل از قطعه‌بندی روی مخروط‌افکنهٔ اسلام‌آباد یزد؛ قطعات پایینی نمونه‌های بزرگ‌نمایی شده باکس نمونه‌های A و B که به ترتیب کانال‌های گیسویی سیل‌رو و عوارض حاصل از سیلاب، معروف به فرسایش آب‌بندی را نشان می‌دهد (نویسندگان، ۱۴۰۳).

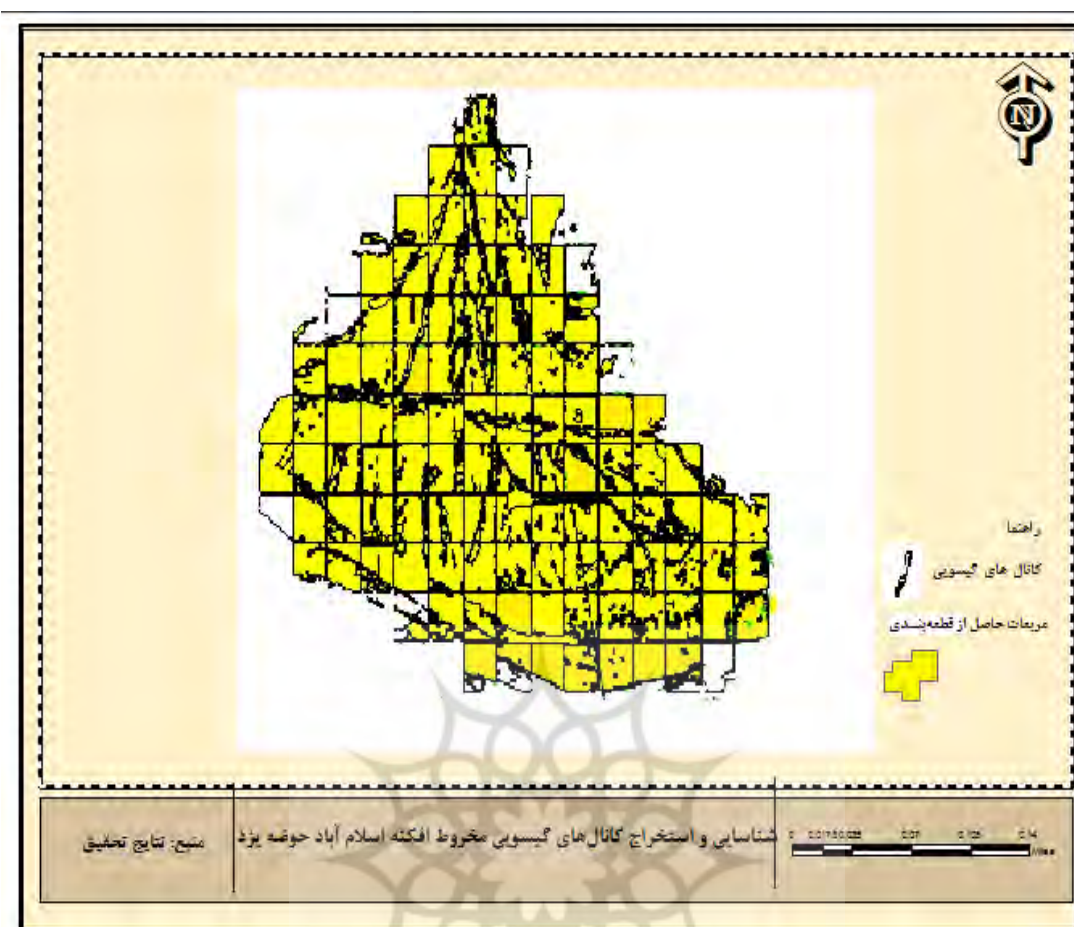
Figure 6. Results of segmentation on the IslamAbad-Yazd alluvial fan; Lower sections show magnified samples from Boxes A and B, demonstrating braided flood channels and gully erosion features formed by flooding, respectively (Authors, 2024-2025)



شکل ۷: نمایش دیگری از کانال‌های فعال روی مخروط افکنه اسلام‌آباد (نویسندگان، ۱۴۰۴).

Figure 7. Alternative representation of active channels on the IslamAbad alluvial fan (Authors, 2025)

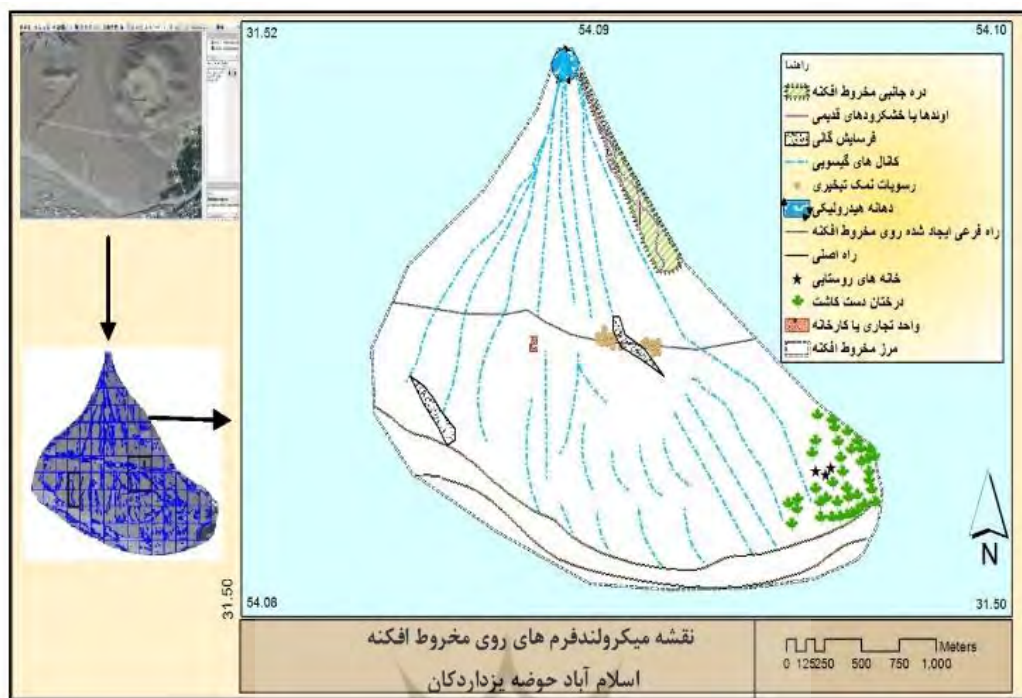
همان‌طور که در شکل ۸ مشهود است، در این روش ابتدا تصویر به سلول‌های مربعی شبکه‌ای یا شطرنجی تقسیم‌بندی می‌شود. سپس، اختلاف طیفی یا تباین بین پیکسل‌های تیره و روشن در هریک از این سلول‌ها از طریق ترسیم مرزهای پلی‌گونی تفکیک و تعیین حدود می‌شود. این فرایند امکان شناسایی دقیق ناحیه‌های همگن و ناهمگن را براساس ویژگی‌های نورسنجی فراهم می‌کند.



شکل ۸: کانال‌های گیسویی مخروط افکنه اسلام‌آباد با پلی‌لاین‌های مشکی استخراج و مشخص شده‌اند و مربع‌ها نیز حاصل از فرایند قطعه‌بندی در برنامه است (نویسندگان، ۱۴۰۴).

Figure 8. extracted braided channels of the IslamAbad alluvial fan, delineated with black polylines, with squares representing segmentation-derived features from the software processing (Authors, 2025)

داده‌های حاصل از این پژوهش در سامانه اطلاعات مکان با استفاده از قالب‌برداری یا وکتور ذخیره‌سازی و پردازش شده‌اند. این رویکرد امکان تجزیه و تحلیل مکانی پیشرفته، ویرایش پویا و ادغام با لایه‌های اطلاعاتی دیگر (مانند نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی) را فراهم می‌کند که به عنوان پایه‌ای کلیدی برای مدل‌سازی هیدرولوژیک و برنامه‌ریزی مدیریت سیلاب در منطقه مطالعه شده عمل می‌کند. (شکل ۹)



شکل ۹: بالا سمت چپ، تصویر ورودی مخروط افکنه اسلام‌آباد و شکل پایین سمت چپ، تصویر پردازش شده با الگوریتم تشخیص اختلاف طیفی یا کنتراست نمایش داده شده که به صورت نیمه خودکار قطعه‌بندی شده است. شکل سمت راست نیز چولگی به چپ در قاعده مخروط توسط نقشه برداری حاصل از این پردازش در سامانه اطلاعات مکان است (نویسندگان، ۱۴۰۳).

Figure 9. (A) Input image of Islamabad alluvial fan; (B) Processed image using semi-automated contrast-based segmentation; (C) Resulting GIS vector map that shows a leftward skewness at the base of the cone (Authors, 2024)

یکی دیگر از نتایج مهم این تحقیق نمایش بخش فعال مخروط افکنه اسلام‌آباد بود که از طریق نمایش تمرکز اصلی کانال‌های گیسویی در حالت جنرالیزاسیون یا تعمیم کلی کانال‌ها به دست آورده شد. در حالت مذکور عمده کانال‌های گیسویی فعال در بخش دیستال^۱ یا قاعده مخروط افکنه اسلام‌آباد متمرکز شده‌اند. (شکل ۱۰)

بخشی از مخروط افکنه را که متأثر از دوره‌های متناوب فرا-آفرایش رسوبی^۲ (تجمع مواد یا رسوب گذاری)، فرو-رویبایی بستر رودخانه^۳ (حفر عمیق تر کانال یا فرسایش) و تغییرات ناگهانی مسیر قرار دارد، بخش فعال مخروط افکنه می‌نامند (Government of Alberta, 2023, p. 2).

1 Distal

2 Aggradation

3 Channel incision



شکل ۱۰: به‌طور عمده کانال‌های گیسویی اصلی در بخش دیستال مخروط اسلام‌آباد مشاهده می‌شود (نویسندگان، ۱۴۰۴).

Figure 10. The primary braided channels are predominantly observed in the distal section of the IslamAbad alluvial fan (Authors, 2025).

نتیجه‌گیری

جریان‌های سطحی عموماً در قالب یک کانال پهن حرکت می‌کنند، اما در شرایط خاص، این جریان‌ها به چندین شاخه کوچک‌تر تقسیم می‌شوند و شبکه‌ای از کانال‌های شاخه‌شاخه (درهم‌تنیده) را تشکیل می‌دهند. این کانال‌ها که به‌طور مداوم منشعب شده و مجدداً به یکدیگر متصل می‌شوند، ساختاری پیچیده و شبکه‌ای مشابه بافت طناب یا گیس ایجاد می‌کنند و به همین دلیل به آن‌ها «کانال‌های گیسویی» اطلاق می‌شود. این شبکه‌های آبی، نقش اصلی را در توزیع سیلاب در پهنه مخروط‌افکنه‌ها ایفا می‌کنند.

وجود کانال‌های گیسویی نشانگر دبی جریان بالا و غلظت درخورتوجه رسوبات درشت‌دانه مانند ماسه در سیستم رودخانه‌ای است؛ ازاین‌رو، شناسایی این کانال‌ها در لایه‌های رسوبی قدیمی می‌تواند به‌عنوان شواهدی از دوره‌های مرطوب یا رخداد‌های سیلابی مکرر در گذشته تفسیر شود. این ویژگی، کانال‌های گیسویی را به ابزاری کلیدی در بازسازی تغییرات اقلیمی گذشته و مطالعات ژئومورفولوژی اقلیمی تبدیل می‌کند؛ زیرا الگوی تشکیل آن‌ها مستقیماً با نوسانات رطوبتی و هیدرولوژیکی بلندمدت مرتبط است.

بر پایه یافته‌های این پژوهش، روش‌های سلسله‌مراتبی (از کل به جزء) با تقسیم تدریجی عوارض تصویری به زیرواحدهای کوچک‌تر عمل می‌کنند، به گونه‌ای که فرایند تقسیم‌بندی تا تحقق معیارهای همگنی طیفی-مکانی در هر واحد ادامه می‌یابد. به این واحدهای همگن نهایی، «اشیای تصویری» اطلاق می‌شود. از آنجاکه این اشیا از تجزیه سلسله‌مراتبی عوارض بزرگ‌مقیاس به دست می‌آیند، این رویکرد به «الگوریتم تجزیه تودرتو» نیز شهرت دارد. این مرحله از پردازش به عنوان حساس‌ترین گام پیش از طبقه‌بندی شیء‌گرا در مطالعات ژئومورفولوژیک محسوب می‌شود؛ زیرا اشیای تصویری تولیدشده، پایه و اساس تفکیک‌پذیری لندفرم‌ها را در فرایند طبقه‌بندی رقم می‌زنند (Hoffmann & Vegt, 2001).

یافته‌های این پژوهش بر اهمیت شناسایی کانال‌های گیسویی به عنوان عاملی کلیدی در مدیریت ریسک سیلاب، کاهش فرسایش خاک و حفظ توازن هیدرولوژیک تأکید دارد. این شبکه‌های آبی نه تنها منبعی غنی از مصالح ساختمانی محسوب می‌شوند، بلکه بهره‌برداری غیراصولی از آن‌ها می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری برای اکوسیستم‌های خشک به همراه داشته باشد. تغییرات پیوسته مسیر جریان و فرسایش‌پذیری بالا در این کانال‌ها، مناطق مجاور را در معرض سیل‌های ناگهانی قرار می‌دهد. پژوهش حاضر با تمرکز بر مخروط‌افکنه اسلام‌آباد در حوضه یزد-اردکان، الگویی نوین برای نقشه‌برداری مکانی این عوارض ارائه کرده است. براساس نتایج، الگوریتم سلسله‌مراتبی کل به جزء مبتنی بر تشخیص اختلاف کنتراست که در این مطالعه به کار رفت، توانست با دقت بالا ریخت‌شناسی کلی مخروط‌افکنه با شکل نامتقارن مخروطی و جزئیات سطحی مانند کانال‌های گیسویی را از طریق خطوط چندضلعی پیوسته شناسایی کند. موفقیت این روش مرهون ادغام داده‌های طیفی مقادیر بازتابش الکترومغناطیس در باندهای مختلف با پارامترهای مورفومتریک مثل شکل، تراکم، الگوی زهکشی است. درحالی‌که داده‌های طیفی به تنهایی قادر به تفکیک لندفرم‌های با بازتابش مشابه نیستند، ترکیب آن‌ها با شاخص‌هایی مانند ضریب شکل هر می مشخصه مخروط‌افکنه‌ها دقت طبقه‌بندی را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

نرم‌افزار E-Cognition با پشتیبانی از هر دو دسته داده‌های طیفی و ریخت‌شناختی، امکان اجرا و توسعه این الگوریتم را فراهم می‌سازد؛ برای مثال، در این پژوهش، تراکم کانال‌های گیسویی، الگوی توزیع سیلاب و بخش‌های فعال مخروط‌افکنه با موفقیت تحلیل شدند. این رویکرد نیمه‌خودکار، گامی مؤثر در مدیریت هوشمند منابع آبی و کاهش مخاطرات محیطی در مناطق خشک به شمار می‌رود. مهم‌ترین نتایج این پژوهش، شناسایی فرم مخروط‌افکنه اسلام‌آباد، نشان دادن محدوده فعال این مخروط، آزمودن و پیاده‌سازی الگوریتم اختلاف تباین در شناسایی این لندفرم به طور نیمه‌خودکار بوده است.

تشکر و قدردانی

این مطالعه بخشی از پروژه پژوهشی مصوب با شماره ۲۱۰ مورخ ۱۴۰۲/۰۲/۰۳ با عنوان «شناسایی کانال‌های گیسویی پخش سیلاب روی مخروط‌افکنه اسلام‌آباد» است که با حمایت مالی شورای محترم پژوهشی استان به مرحله اجرا رسید. بدین وسیله از اعضای محترم این شورا کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

اختصاصی، محمدرضا، احمدی، حسن، فیض‌نیا، سادات، و بوشه، دتلف (۱۳۸۳). فرسایش بادی، رخساره‌ها و خسارات آن در حوضه دشت یزد- اردکان. منابع طبیعی/ایران، ۵۷(۴)، ۵۶۷-۵۸۱.

<https://www.sid.ir/paper/22833/fa>

بهرامی، شهرام، و بهرامی، کاظم (۱۳۹۰). ارزیابی تکنیک‌های ژئومورفولوژیکی جهت شناسایی مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید به منظور تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی در چهار مخروط‌افکنه در زاگرس چین‌خورده. جغرافیا و توسعه، ۹(۲۲)، ۸۹-۱۰۶.

https://gdij.usb.ac.ir/article_572.html

تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۳). اصول مقدماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. حمیدی کرمانشاهی، هدیه مقصودی، مهران، و محمدخان، شیرین (۱۴۰۰). تأثیر مورفودینامیک کانال‌های گیسویی مخروط‌افکنه‌ها و عوارض ماسه‌ای بر مخاطرات جاده‌ای محور گرمسار-قم [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران].

<https://lib.ut.ac.ir/site/catalogue/1578086>

رنجبر باروق، زهرا، قنواتی، عزت اله، کمانرودی کجوری، موسی، و احمدآبادی، علی. (۱۴۰۲). بررسی نقش ژئومورفولوژی در ارزیابی توان محیطی توسعه شهری با استفاده از روش امتیازدهی منطق ترجیح مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: کلانشهر کرج). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۱(۴)، ۸۴-۱۰۸.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_159124.html

شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، فرج‌زاده اصل، منوچهر، و احمدآبادی، علی (۱۳۹۱). طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک مرنجاب. سنجش از دور و GIS/ایران، ۴(۲)، ۱۹-۲۸.

https://gisj.sbu.ac.ir/article_94920.html

علایی طالقانی، محمود. (۱۴۰۰). ژئومورفولوژی ایران. نشر قومس.

گورابی، ابوالقاسم، و کریمی، محمد (۱۳۹۱). روشی جدید در استخراج مخروط‌افکنه‌ها از مدل رقومی ارتفاع. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱(۳)، ۸۹-۱۰۰.

https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77884.html

محمودی، فرج الله (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی اقلیمی. انتشارات دانشگاه پیام نور.

مختاری، داود، کریمی، فریبا، و بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۶). اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آنها. آمایش فضا و ژئوماتیک، ۱۱، ۲۵۷-۲۹۲.

<http://hsm.spm.modares.ac.ir/article-21-4111-fa.html>

یمانی، مجتبی، و مقصودی، مهران (۱۳۸۲). بررسی و تحول کانال‌های گیسویی در سطح. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۵(۲).

https://jrg.ut.ac.ir/article_10783.html

References

- Argialas, D. P., & Tzotsos, A. (2004). Automatic extraction of alluvial fans from ASTER L1 satellite data and a digital elevation model using object-oriented image analysis. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(35), 1-6. <https://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/251.pdf>

- Asselen, S., & Seijmonsbergen, A. C. (2006). Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. *Geomorphology*, 78, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.037>
- Bahrami, S., & Bahrami, K. (2011). Evaluation of geomorphological techniques for identifying old and new alluvial fans in order to determine flood-prone areas in four alluvial fans in the folded Zagros. *Journal of Geography and Development*, 9(22), 89–106. https://gdij.usb.ac.ir/article_572.html [In Persian].
- Bates, R. L., & Jackson, J. A. (1987). *Glossary of Geology*. American Geological Institute. <https://www.amazon.com/Glossary-Geology-Third-R-L-Bates/dp/0913312894>
- Bristow, C. S., & Best, J. L. (1993). Braided rivers: Perspectives and problems. *Geological Society, London, Special Publications*, 75(1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1993.075.01.01>
- Davidson, S. K., Hartley, A. J., Weissmann, G. S., Nichols, G. J., & Scuderi, L. A. (2013). Geomorphic elements on modern distributive fluvial systems. *Geomorphology*, 181, 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.008>
- Ekhtesasi, M. R., Ahmadi, H., Feiznia, S., & Busche, D. (2005). Wind erosion, facies and damages in Yazd-Ardakan plain. *Iranian Journal of Natural Resources*, 57(4), 567-583. <https://www.sid.ir/paper/22833/fa> [In Persian].
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2016). *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping on Alluvial Fans*. U.S. Department of Homeland Security. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-02/Alluvial_Fans_Guidance_Nov_2016.PDF
- Goorabi, A., & Karimi, M. (2013). New method for extraction of alluvial fans from digital elevation model. *Quantitative Geomorphological Researches*, 1(3), 89-100. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77884.html [In Persian].
- Government of Alberta. Environment and Protected Areas. (2023). *Alluvial Fan Terminologies, Processes, and Hazards*. <https://open.alberta.ca/publications/alluvial-fan-terminologies-processes-and-hazards>
- Hamidi-Kermanshahi, H. (2021). *The Impact of Distributary Channel Morphodynamics in Alluvial Fans and Aeolian Features on Road Hazards along the Qom-Garmsar Route* [Master's thesis, University of Tehran]. <https://lib.ut.ac.ir/site/catalogue/1578086> [In Persian].
- Hoffmann, A., & Vegt, J. W. (2001). New sensor systems and new classification methods: Laser and digital camera-data meet object-oriented strategies. *GIS - Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, 14(1), 18-23. <https://B2n.ir/kn1731>
- Liu, J., Zhang, C., Zhang, X., Zhu, R., & Shaohua, Z. (2024). Fluvial fan sedimentary characteristics of distributive fluvial system. *Scientific Reports*, 14, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72102-x>
- Mahmoudi, F. (2008). *Climatic geomorphology*. Payam Noor University Press. [In Persian].
- Martin, J. H. (1993). A review of braided fluvial hydrocarbon reservoirs: The petroleum engineer's perspective. *Geological Society, London, Special Publications*, 75(1), 333-367. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1993.075.01.20>
- Martin, K., Schroeder, W., & Lorensen, B. (2012). *Reference Book for eCognition® Developer 8.7.2*. Trimble Germany Press.
- Miliaresi, G. (1999, August). *Automated segmentation of alluvial fans to regions of high to intermediate flood hazard from Landsat thematic mapper imagery* [Paper presentation]. 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, Enschede, Netherlands. <https://B2n.ir/rw2088>
- Mokhtari, D., Karami, F., & 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*, 11, 257-292. <http://hsm.sp.modares.ac.ir/article-21-4111-fa.html> [In Persian].
- Nykanen, D. K., Fofoula-Georgiou, E., & Sapozhnikov, V. B. (1998). Study of spatial scaling in braided river patterns using synthetic aperture radar imagery. *Water Resources Research*, 34(7), 1795-1807. <https://doi.org/10.1029/98WR00940>

- Ranjbar-Barogh, Z., Ghanavati, E., Kamandroodi-Kajouri, M., & Ahmdabadi, A. (2023). Investigating the role of geomorphology in Assessment of the environmental Capacity of urban development using the GIS-based preference logic scoring method (case study: Karaj metropolis). *Quantitative Geomorphological Research*, 11(4), 84-108. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_159124.html [In Persian].
- Shayan, S., Yamani, M., Farajzadeh, M., & Ahmadabadi, A. (2013). A supervised classification of geomorphometric parameters to extract the geomorphologic landforms in dry regions (Case study: Maranjab region). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(2), 19-28. https://gisj.sbu.ac.ir/article_94920.html [In Persian].
- Smith, N. D., & Minter, W. E. L. (1980). Sedimentological controls of gold and uranium in two Witwatersrand paleoplacers. *Economic Geology*, 75(1), 1-14. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.75.1.1>
- Sulebak, J. S., & Vind, H. (2003). Multiresolution spline models and their applications in geomorphology. In *Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives* (pp. 221-237). TERRAPUB. <https://B2n.ir/ep8820>
- Teluri, A. (2004). *Basic Principles of River Engineering and Management*. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. [In Persian].
- Yamani, M., & Maghsoudi, M. (2003). Investigation and evolution of braided channels on the surface of alluvial fans (Case study: Tangouyeh alluvial fan in Sirjan pit). *Geographical Research*, 35(2). https://jrg.ut.ac.ir/article_10783.html?lang=fa [In Persian].

