



Identification of Areas Suitable for Constructing Ski Resorts Using GIS (Case Study: Abidar Mountain in Sanandaj County)

Ayub Mohammadi^{1*} 

1. Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. (Corresponding author).
Email: ayub.mohammadi@uok.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article Type: Research Article Article History: Received: 03 November 2025 Revised: 16 December 2025 Accepted: 31 January 2026 Published: 29 March 2026 Use Your Device to Scan and Read the Article Online  Keywords: Site-selection, Remote Sensing, Geographic Information System, Fuzzy Model, Sanandaj.	Paying attention to various factors, including sustainable development, distance and proximity to factors, is very important in choosing suitable locations. This study evaluates the appropriate location of a ski resort in the Abidar Tourism Mountain in Sanandaj by combining remote sensing and geographic information system. For this purpose, geological maps, Sentinel 2 satellite images, and ALOS-Pulsar DEM were prepared, and twelve environmental factors including altitude, slope, aspect, geology, faults, land cover, distance from the river, river density, distance from roads, road density, safe haven, and distance to landslide locations were extracted from them and prepared as GIS layers. Multi-criteria and fuzzy decision-making methods were used to manage uncertainty and weight the criteria. Two modes, including a fuzzy model with OR and AND operators, were used. The classification results show that based on the fuzzy OR operator, the area of suitable areas for runway construction is 4.30 km² and unsuitable areas are 6.10 km². Based on the fuzzy AND operator, the area of suitable areas is 0.87 km² and unsuitable areas are 9.53 km². Comparison of the models reveals that the choice of fuzzy operator has a significant impact on the extent of suitable areas and the AND model provides a more conservative result. The findings also show that the slope, elevation, and aspect factors with coefficients of 0.28, 0.20, and 0.12, respectively, play the most role in determining suitability. This study suggests that a hybrid framework be used for final decision-making; initial safe areas are identified with the AND model and then supplemented with the OR results and field visit for final selection. The research results can provide clear guidance for local planners in selecting safe and efficient sites for developing ski resort infrastructure.

Cite this article: Mohammadi, A. (2026). Identification of Areas Suitable for Constructing Ski Resorts Using GIS (Case Study: Abidar Mountain in Sanandaj County). *Environmental Research in Mountainous Regions*, 2(1), 32-46. <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144857.1036>



© The Author(s) retain the copyright

Publisher: University of Kurdistan

Extended Abstract

Introduction

Natural, social, cultural, and economic factors play a significant role in shaping settlement patterns and infrastructure siting, while advances in remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) have facilitated the integration of topographic, hydrological, and land-use data for more precise spatial decision-making. In this context, multicriteria decision-making methods, particularly fuzzy logic, enhance the reliability of site suitability assessments by providing systematic criteria weighting, addressing uncertainty, and defining flexible boundaries between suitable and unsuitable areas. In Kurdistan Province and Sanandaj, the lack of a standardized ski resort has encouraged the use of mountain passes and roads during snowy periods, increasing the risks of traffic accidents, avalanches, and injuries, while informal ski tracks may contribute to vegetation degradation, soil erosion, slope instability, and long-term socioeconomic costs. Previous studies indicate that integrating digital elevation models, topographic indices, climatic and geological data within a GIS framework, together with multicriteria decision-making and fuzzy logic, provides an effective approach for identifying suitable ski resort locations. Accordingly, this study evaluates Mount Abidar in Sanandaj using a set of environmental criteria and compares the fuzzy AND and OR operators. The AND operator generates more conservative and restricted suitability zones, whereas the OR operator produces broader suitable areas. The findings provide an operational framework for ski resort site selection, risk reduction, environmental protection, and sustainable tourism development in mountainous regions.

Methodology

The study area encompasses Mount Abidar on the outskirts of Sanandaj, with a maximum elevation of approximately 2,364 m and a total area of about 10.4 km². The mountainous terrain is characterized by variable slopes, valleys, and a semi-arid montane climate with snowy winters, providing favorable conditions for winter tourism and recreational activities while influencing slope stability and snow persistence. Spatial datasets included an ALOS

PALSAR digital elevation model for extracting elevation, slope, aspect, and drainage networks; Sentinel-2 imagery acquired on February 22, 2024, for mapping roads and land use; and official geological maps for identifying faults and lithological units. Additional layers comprised river and road distance and density, landslide-prone areas, and potential emergency shelter locations. The datasets were clipped, reprojected, reclassified, and quality-controlled using authoritative sources and field verification. A GIS-based fuzzy logic approach was then applied, with criteria selected and weighted based on expert judgment and previous studies. Appropriate fuzzy membership functions standardized the spatial criteria into continuous suitability values. Finally, the fuzzy layers were integrated using the minimum (AND) and maximum (OR) operators. The AND operator represented a conservative, risk-averse approach, whereas the OR operator provided a more permissive suitability assessment. The resulting maps identified spatially prioritized areas suitable for further field verification and socioeconomic assessment for ski resort development.

Results and Discussion

The input layers were classified into five categories using the Natural Breaks (Jenks) method in ArcGIS 10.5 and normalized according to ski-site suitability criteria. Topographic factors, particularly slope, elevation, and aspect, exerted the greatest influence on suitability, with northern aspects considered more favorable because of lower solar radiation and greater snow retention. Land-use analysis indicated greater development in the lower and eastern sectors, while western and higher slopes remained less developed. Geological assessment identified two lithological units, with flysch receiving a higher suitability weight due to its greater relative competence. Fault-distance analysis also indicated generally more favorable conditions in the southern sectors. Fuzzy analysis revealed substantial differences between aggregation rules. The conservative minimum (AND) operator classified 9.53 km² as unsuitable and only 0.87 km² as suitable for ski-piste development, whereas the permissive maximum (OR) operator identified approximately 4.30 km² as suitable and 6.10 km² as unsuitable. These differences

demonstrate the strong influence of aggregation rules and membership functions on suitability outcomes and represent a major source of uncertainty. Accordingly, the AND model is recommended for identifying priority low-risk areas, while the OR model can be used to expand candidate zones for further investigation. Final site selection should incorporate field validation, updated high-resolution elevation data, and safety constraints related to faults, hydrology, landslides, land-use compatibility, and emergency access.

Conclusion

Fuzzy logic implemented within a GIS environment effectively identifies and prioritizes suitable and unsuitable zones for ski piste development on Abidar Mountain. Twelve environmental and infrastructural criteria (including slope, elevation, aspect, geology, distance from faults, hydrological networks, roads and shelter proximity) were integrated using standardized fuzzy membership

functions. Comparative results show that the aggregation rule substantially determines suitability extent: the AND operator produced a conservative suitable area of approximately 0.87 km², whereas the OR operator yielded a larger suitable area of approximately 4.30 km²—underscoring the need for parametric sensitivity and uncertainty analysis. A phased decision making algorithm is recommended: first adopt the conservative AND output to identify priority safety zones, then evaluate OR identified candidate areas through field inspection, socio economic assessment, and infrastructure planning. High DEM accuracy, rigorous field validation, and stakeholder engagement are critical to ensure safety, environmental sustainability, and social acceptance. The proposed RS–GIS–fuzzy framework offers a practical tool to support local planning and can be generalized to other areas exposed to hydrological and landslide hazards, provided outputs are complemented by environmental impact assessments, economic social appraisals, and participatory processes.

Ethical Considerations

Funding

According to the corresponding author, this research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Author Contributions

The author has carried out all stages of the research.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The author declares that no artificial intelligence (AI) tools were used in the writing of this manuscript.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Data Availability Statement

The data are available upon request from the author.

Acknowledgments

The author wishes to express sincere gratitude to all individuals, organizations, and institutions that contributed to the preparation of this article.



شناسایی پهنه‌های مستعد احداث پیست اسکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: کوه آبیدر در شهرستان سنندج)

ایوب محمدی^{*۱}

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: ayub.mohammadi@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این پژوهش، مکان‌یابی مناسب پیست اسکی در کوه گردشگری آبیدر سنندج را با تلفیق سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. برای این منظور نقشه زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و مدل رقومی ارتفاعی آلوس-پالسار تهیه شد و از آنها دوازده فاکتور محیطی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، گسل، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فاصله از جاده‌ها، تراکم جاده‌ها، پناهگاه امن و فاصله تا مکان‌های لغزش زمین استخراج و به‌صورت لایه‌های GIS آماده شدند. برای مدیریت عدم قطعیت و وزن‌دهی معیارها از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و فازی استفاده شد. دو رویکرد مدل‌سازی شامل مدل فازی با عملگر حداکثر OR و مدل فازی با عملگر حداقل AND به کار گرفته شدند تا سازگاری و حساسیت نتایج نسبت به گزینه‌های ترکیب معیارها سنجیده شود. نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که بر مبنای عملگر فازی OR، مساحت مناطق مناسب برای احداث پیست ۴/۳۰ کیلومترمربع و نامناسب ۶/۱۰ کیلومترمربع است. بر مبنای عملگر فازی AND، مساحت مناطق مناسب ۰/۸۷ کیلومترمربع و نامناسب ۹/۵۳ کیلومترمربع است. مقایسه عملکرد مدل‌ها نشان می‌دهد که انتخاب عملگر فازی تأثیر قابل‌توجهی بر گستره نواحی مناسب دارد و مدل AND نتیجه‌ای محافظه‌کارانه‌تر ارائه می‌دهد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که معیارهای شیب، ارتفاع و جهت شیب به ترتیب با ضرایب ۰/۲۸، ۰/۲۰ و ۰/۱۲، بیشترین نقش را در تعیین مکان مناسب دارند و معیارهای ایمنی شامل فاصله از گسل‌ها، مکان‌های لغزش و رودخانه‌ها باید آستانه‌ای سخت‌گیرانه داشته باشند. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که برای تصمیم‌گیری نهایی در خصوص انتخاب مکان مناسب از چارچوب ترکیبی استفاده شود؛ نواحی امن اولیه با مدل AND مشخص شوند و سپس و برای انتخاب نهایی با نتایج OR و بازدید میدانی تکمیل شوند. نتایج پژوهش می‌تواند راهنمایی روشنی برای برنامه‌ریزان محلی در انتخاب سایت ایمن تفریحی-ورزشی اسکی باشد.
تاریخچه مقاله: دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹	
از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید	
واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل فازی، سنندج	

استناد: محمدی، ایوب. (۱۴۰۵). شناسایی پهنه‌های مستعد احداث پیست اسکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: کوه آبیدر در شهرستان سنندج). پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۲ (۱)، ۳۲-۴۶. <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144857.1036>



مقدمه

عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی در شکل‌دادن الگوهای سکونت‌گزینی و استفاده بهینه از سرزمین نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. پیست‌های اسکی به‌عنوان زیرساخت‌های مهم تفریحی-ورزشی علاوه بر فراهم کردن فرصت‌های تفریح و سلامت، می‌توانند محرک‌های اقتصادی در سطوح منطقه‌ای و کشوری مانند اشتغال، توسعه خدمات گردشگری، و درآمد پایدار برای کسب‌وکارهای محلی را ایجاد کنند. طراحی و مکان‌یابی صحیح پیست‌های اسکی مستلزم درک درست از پارامترهای محیطی (مانند ارتفاع، شیب و جهت شیب)، زیرساختی (دسترسی جاده‌ای و امکانات امدادی) و بوم‌محیطی (پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و هیدرولوژی) است. تکنیک‌های مدرن سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی به‌همراه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی، امکان تلفیق داده‌ها و وزن‌دهی علمی معیارها را فراهم می‌سازند؛ در نتیجه تصمیم‌گیری‌های مکانی برای پیست اسکی می‌تواند همزمان دقیق‌تر و سازگارتر با ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی شود (وانگ و یانگ^۱، ۲۰۲۱؛ مایا^۲ و همکاران، ۲۰۲۳؛ کاراکوش^۳، ۲۰۲۴).

در بسیاری از مناطق کوهستانی کشور، به‌ویژه در استان کردستان و شهر سنندج، نبود پیست‌های اسکی استاندارد و سامان‌دهی شده باعث شده در روزهای برفی جمعیت قابل‌توجهی برای تفریح و استفاده از برف به گردنه‌ها (مثل: گردنه صلوات‌آباد در سنندج)، شیب‌های نایمن و حاشیه جاده‌های کوهستانی هجوم آورند. این الگوهای استفاده غیررسمی و خودسرانه به افزایش حوادث جاده‌ای، بهمن، لغزش و آسیب به محیط‌زیست منجر می‌شود و ظرفیت‌های عملیات امدادی را تحت فشار قرار می‌دهد. از سوی دیگر، تبدیل غیرمجاز و غیرکارشناسانه قطعات زمین با مالکیت‌ها و کاربری‌های مختلف به پیست می‌تواند به تخریب پوشش گیاهی، تشدید فرسایش، و افزایش احتمال رخدادهای زمین‌لغزشی بیانجامد. فقدان ارزیابی‌های مکانی، برنامه‌ریزی مشارکتی و معیارهای فنی منجر به بروز هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای ساکنان محلی و دستگاه‌های اجرایی خواهد شد.

توسعه زیرساخت‌های گردشگری زمستانی از جمله پیست‌های اسکی می‌تواند به توزیع متوازن فرصت‌های اقتصادی در مناطق غیرشهری کمک کند و نقش مهمی در سیاست توسعه منطقه‌ای ایفا نماید. مناطق کوهستانی ایران به‌دلیل تنوع ارتفاعی و اقلیمی ظرفیت‌های بالقوه‌ای برای گردشگری زمستانی دارند، منتهی تحقق این امر تنها با برنامه‌ریزی مبتنی بر داده و ارزیابی ریسک ممکن است. در استان کردستان، کمبود زیرساخت‌های ایمن و استاندارد برای ورزش‌های زمستانی موجب رفتارهای تفریحی پرخطر و آسیب‌پذیری جوامع محلی شده است. کوه آبیدر سنندج به دلیل نزدیکی به شهر و دسترسی نسبی خوب برای ساکنین، کاندیدای بالقوه‌ای برای توسعه پیست سازمان‌دهی شده است؛ اما حساسیت‌های زمین‌شناسی، کاربری زمین و هیدرولوژیک، نیازمند ارزیابی‌های دقیق مکانی و سازگاری با معیارهای حفاظت محیطی است. برنامه‌ریزی نادرست می‌تواند به جابه‌جایی ناصحیح جمعیت‌های محلی، تکه‌تکه شدن ساختارهای اجتماعی، و از دست رفتن خدمات اکوسیستمی منجر شود؛ در طرف دیگر، طراحی مناسب و مشارکتی پیست‌ها می‌تواند اشتغال محلی، ارتقای مهارت‌های خدماتی و حفاظت از منابع طبیعی را تسهیل کند (استرووسکایا^۴، ۲۰۲۲؛ خو^۵ و همکاران، ۲۰۲۳).

سرمایه‌گذاری هدفمند در پیست‌های استاندارد و مکان‌یابی مبتنی بر تحلیل ریسک می‌تواند بار عملیات اضطراری و هزینه‌های بازسازی جاده‌ها و زیرساخت‌ها را کاهش دهد. همچنین، به‌کارگیری روش‌های فازی و تکنیک‌های GIS اجازه می‌دهد تا قضاوت‌های کارشناسی، وزن‌دهی معیارها و عدم قطعیت‌های محیطی به‌صورت بهینه و سیستماتیک وارد مدل‌های تصمیم‌گیری شود و نتایج قابل‌پذیرش‌تری برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان ارائه گردد. ارائه چارچوبی کاربردی برای مکان‌یابی پیست اسکی که ریسک‌های محیطی، هیدرولوژیک و زمین‌لغزشی را در نظر گیرد، می‌تواند به‌عنوان نمونه‌ای برای سایر مناطق کوهستانی ایران با شرایط مشابه، مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که داده‌محوری و شفافیت در فرآیند مکان‌یابی، ابزارهای بهتری برای تعامل با مالکان زمین، جوامع محلی، و دستگاه‌های اجرایی فراهم می‌کند و خطرات تنش‌های اجتماعی را کاهش می‌دهد.

این پژوهش با تمرکز بر مجموعه‌ای از فاکتورهای محیطی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، گسل، پوشش زمین، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فاصله از جاده‌ها، تراکم جاده‌ها، پناهگاه‌های امن و فاصله تا نواحی لغزش، رویکردی مقایسه‌ای با دو روش مدل‌سازی شامل مدل فازی با عملگر OR (حداکثر فازی) و مدل فازی با عملگر AND (حداقل فازی) را برای ارزیابی مکان‌یابی پیست اسکی در کوه آبیدر سنندج را برای اولین بار ارائه می‌دهد. در مجموع، این پژوهش چارچوبی عملیاتی و قابل اجرا در محیط GIS فراهم می‌آورد که با روش‌های فازی، عدم قطعیت‌های کارشناسی را مدیریت می‌کند و نتایج قابل اطمینان‌تری برای انتخاب مکان مناسب پیست اسکی ارائه

1- Wang, & Yang

2- Maaiah

3- Karakuş

4- Ostrovskaia

5- Xu

می‌دهد. یافته‌ها می‌توانند راهنمای تصمیم‌گیری بهینه برای شهرداری، مدیریت بحران و جامعه محلی باشند و به کاهش مخاطرات، حفاظت از منابع طبیعی و توسعه گردشگری پایدار در منطقه مورد مطالعه کمک کنند.

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

شناسایی پهنه‌های مناسب فرایندی چندمعیاره و علمی است که هدف آن ارزیابی و رتبه‌بندی مکان‌ها بر اساس معیارهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی است تا بهترین مکان‌ها برای یک هدف مشخص (مثلاً پیست اسکی) انتخاب شوند. پیست اسکی به‌عنوان یک زیرساخت تفریحی-ورزشی نیازمند تطابق با معیارهای مهمی مثل توپوگرافی (شیب، جهت شیب، ارتفاع)، پایداری زمین (زمین‌شناسی و زمین‌لغزش) و دسترسی (شبکه راه) است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که شیب مناسب، قرارگیری خارج از نواحی مستعد لغزش و نزدیکی حساب‌شده به راه‌های سرویس‌دهی از مهم‌ترین شروط فنی و ایمنی برای احداث پیست اسکی هستند (گابدرخمانف^۱ و حسینی، ۲۰۱۹؛ اوزتاش^۲، ۲۰۲۵). فاکتورهای محیطی در تحلیل مکان‌یابی شامل پارامترهای توپوگرافی، هیدرولوژیک، زمین‌شناسی، پوشش زمین و مولفه‌های دسترسی می‌باشند. کاربرد هر فاکتور باید بر اساس نقش آن در کاهش ریسک‌های فیزیکی و ارتقای قابلیت بهره‌برداری تعریف و آستانه‌های حفاظتی مناسب تعیین شود (الستون و دراپر^۳، ۲۰۱۲).

سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور ابزارهای کاربردی در مطالعات مکان‌یابی هستند؛ RS منبع داده‌های مکانی مثل تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاعی را فراهم می‌آورد و GIS امکان تلفیق، پردازش و تحلیل لایه‌های مکانی را برای تولید نقشه‌های مناسبیت فراهم می‌سازد (نسايف^۴ و همکاران، ۲۰۲۰؛ الخرجی^۵ و همکاران، ۲۰۲۳).

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند منطق فازی و توابع عضویت، عدم قطعیت و مرزبندی‌های نرم بین «مناسب» و «نامناسب» را مدل‌سازی می‌کنند؛ ترکیب فازی با عملگرهای AND (حداقل فازی) و OR (حداکثر فازی) نحوه سخت‌گیری در تلفیق معیارها را تعیین می‌کند و نقش مهمی در نتایج دارد. مطالعات مقایسه‌ای بین این دو مدل نشان داده‌اند که مدل AND رویکردی محافظه‌کارانه ایجاد می‌کند در حالی که مدل OR نتایج گسترده‌تری ارائه می‌دهد (ایسالو و همکاران، ۲۰۱۳؛ ذوقی و همکاران، ۱۳۹۵). مدل رقومی ارتفاع و شاخص‌های توپوگرافی به‌عنوان مبنای استخراج شیب، جهت شیب و تحلیل هیدرولوژیک، کاربرد اساسی دارد؛ دقت و وضوح مکانی یک DEM مستقیماً بر صحت نقشه‌های نهایی تأثیر می‌گذارد. از مدل رقومی ارتفاع همچنین برای استخراج شبکه رودخانه استفاده می‌شود که برای تحلیل ریسک سیلاب و تعیین بافرهای حفاظتی اهمیت دارد (سابو^۶ و همکاران، ۲۰۱۵؛ مونوث و گویال^۷، ۲۰۱۹).

انتخاب مکان‌های مناسب باید تعادل بین اهداف توسعه‌ای و حفاظت از محیط‌زیست را رعایت کند؛ اثرات بر فرسایش، پوشش گیاهی، منافع محلی و کیفیت آب‌های زیرسطحی باید در ارزیابی اقتصادی و اجتماعی وارد شود تا تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها پایدار و مورد پذیرش جامعه محلی باشند. کاربرد GIS و RS در مکان‌یابی پیست اسکی در مطالعات داخلی و خارجی نشان داده است که ترکیب تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی، همراه با تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع، می‌تواند نقشه‌های اولویت‌بندی عملی و علمی تولید کند (وحیدنیا و همکاران، ۱۳۸۷؛ ربیاتی^۸ و همکاران، ۲۰۲۲)؛ با این حال مهم‌ترین چالش‌ها شامل دسترسی به داده‌های دقیق مکانی و تلفیق نتایج با ملاحظات اقتصادی و اجتماعی است که نیازمند رویکرد میان‌رشته‌ای است.

در پژوهش‌های پیشین داخلی و خارجی، استفاده از GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و فازی در مکان‌یابی مطالعاتی همچون محل دفن زباله، نیروگاه‌های بادی، سایت‌های صنعتی، پیست اسکی مراکز بهداشتی و به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌کار رفته است و ثابت کرده است که استفاده از این رویکردها نتایجی کاربردی برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از GIS و سنجش‌ازدور در مکان‌یابی پیست‌های اسکی، امکان تحلیل هم‌زمان عوامل ایمنی، طبیعی، زیست‌محیطی و زیرساختی را فراهم می‌سازد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و فازی در ArcGIS ابزارهای کاربردی برای وزن‌دهی و تلفیق داده‌ها هستند. از جمله این پیشینه‌های علمی که پایه‌ای معتبر برای طراحی چارچوب پژوهش حاضر در کوه آیدر سنجندج را فراهم می‌کند، به شرح زیر است: فرجی و همکاران، ۱۳۹۲ در پژوهشی با عنوان مکان‌یابی پیست اسکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در استان کردستان، به بررسی نقش عوامل اقلیمی و طبیعی در تعیین مکان مناسب برای ایجاد پیست اسکی پرداختند. آن‌ها از مدل AHP در ArcGIS استفاده کردند و نشان

1- Gabdrakhmanov

2- Öztaş

3- Elston & Draper

4- Nsaif

5- Elkhachy

6- Szabó

7- Munoth & Goyal

8- Tripathi

دادند که ارتفاع، جهت شیب، شیب و نزدیکی به جاده از مهم‌ترین معیارها در مکان‌یابی پست اسکی محسوب می‌شوند. لحمیان (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای درباره مکان‌یابی محل مناسب دفن پسماند شهر ساری، از GIS و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرد و اهمیت تلفیق همزمان داده‌های محیطی و اجتماعی را در مکان‌یابی نشان داد. این مطالعه الگویی مناسب برای پروژه‌های مشابه از جمله مکانیابی پست‌های اسکی ارائه می‌دهد. سیاح نیا (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان مکانیابی خدمات شهری در شهرهای جدید با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی (مطالعه موردی: محل دفن پسماند شهر جدید پردیس)، اهمیت ترکیب رویکرد منطق فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های محیطی در مکان‌یابی را به خوبی نشان داد.

فنگ^۱ و همکاران (۲۰۲۳) از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی و آنتروپی استفاده کردند. آنها نه معیار مکانی شامل تراکم جمعیت، دسترسی حمل‌ونقل، نزدیکی به مراکز درمانی و فرودگاه، کاربری زمین و زیرساخت‌ها، ریسک بلایا، مراکز خدماتی را استفاده کردند. نتایج نشان داد که در بین تمامی فاکتورها، تراکم جمعیت بیشترین وزن و اثر را در مکان‌یابی پژوهش آنها داشته است. سیواک و کورجنیچ^۲ (۲۰۲۳) با استفاده از مدل تحلیل چندمعیاره مکانی (MCA) در محیط GIS با استانداردسازی پارامترها و وزن‌گذاری مبتنی بر اهمیت معیارها، مکان‌های بهینه پست اسکی در کانتون ساریو را شناسایی کردند. آنها از پارامترهای ژئومورفولوژیکی شامل ارتفاع و شیب و داده‌های اقلیمی مانند عمق پوشش برف و دمای میانگین هوا بهره بردند. نتایج آنها نشان داد که با تحلیل ترکیبی مدل رقومی ارتفاعی و وزن‌دهی، مکان‌های مناسب اسکی مانند بیلاسنیسا، ترسکاوایا و یاهورینا شناسایی و بصری‌سازی شدند و پایداری نتایج به روش تحلیل سیستماتیک تأیید شد.

پژوهش‌های داخلی و خارجی نشان داده‌اند که مکان‌یابی پست‌های اسکی نیازمند رویکردی چندمعیاره و میان‌رشته‌ای است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزارهای اصلی، امکان تلفیق داده‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیک و اجتماعی را فراهم کرده و نقشه‌های مناسب مکانی تولید می‌کند. مطالعات بالا نشان داده‌اند که معیارهایی مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، نزدیکی به جاده، تراکم جمعیت و شرایط اقلیمی بیشترین نقش را در تعیین مکان‌های بهینه دارند. همچنین، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و منطق فازی توانسته‌اند عدم قطعیت داده‌ها و مرزبندی‌های بین مناسب و نامناسب را مدیریت کنند و نتایج کاربردی برای تصمیم‌گیرندگان ارائه دهند. باوجود پیشرفت‌های قابل توجه در حوزه مکان‌یابی مبتنی بر GIS و سنجش‌ازدور، همچنان شکاف‌های کاربردی در این زمینه مشاهده می‌شود. نخست آن‌که بخش عمده‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده در ایران ماهیتی پراکنده دارند و کمتر شاهد مطالعات جامع، یکپارچه در مقیاس منطقه‌ای هستیم. این کمبود به‌ویژه در استان کردستان و شهر سنندج محسوس است؛ جایی که به‌رغم نیاز جدی به زیرساخت‌های تفریحی زمستانی، مطالعات علمی نظام‌مند برای مکان‌یابی پست‌های اسکی استاندارد بسیار محدود بوده است. دومین شکاف به تمرکز بیش از حد مطالعات پیشین بر عوامل طبیعی و فنی بازمی‌گردد. بسیاری از تحقیقات صرفاً به معیارهای توپوگرافی، زمین‌شناسی یا هیدرولوژیک پرداخته‌اند و کمتر به ابعاد اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی مکان‌یابی توجه کرده‌اند. این در حالی است که پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مکان‌یابی نادرست می‌تواند به بروز ناهنجاری‌های فرهنگی، افزایش هزینه‌های عمومی و کاهش پذیرش اجتماعی پروژه‌های مکان‌یابی منجر شود.

پژوهش حاضر با تمرکز بر کوه آبیدر سنندج، نوآوری‌های چندگانه‌ای ارائه می‌دهد. نخست، تلفیق جامع معیارهای محیطی شامل داده‌های توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت شیب)، زمین‌شناسی (گسل‌ها، لغزش‌ها)، هیدرولوژیک (شبکه رودخانه‌ها و تراکم آن‌ها)، کاربری اراضی، پناهگاه امن و دسترسی (شبکه راه‌ها و تراکم جاده‌ها) در یک چارچوب یکپارچه GIS. دوم، مقایسه دو رویکرد فازی (AND و OR) برای تحلیل حساسیت یافته‌ها و ارائه چارچوبی جهت انتخاب مدل مناسب بر اساس سطح محافظه‌کاری یا گستردگی یافته‌ها. سوم، توجه ویژه به شرایط خاص سنندج، از جمله تراکم جمعیت در روزهای برفی، فشار بر نیروهای امدادی و استفاده غیرمجاز از اراضی، که در مطالعات پیشین کمتر بررسی شده است. چهارم، ارائه نقشه‌های مناسب مکانی که می‌تواند به‌طور مستقیم در تصمیم‌گیری‌ها، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های گردشگری و کاهش هزینه‌های عمومی ناشی از حوادث مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، این مطالعه با پر کردن شکاف‌های موجود و ارائه چارچوبی علمی، الگویی برای مکان‌یابی ایمن و پایدار پست‌های اسکی در مناطق کوهستانی ایران فراهم می‌آورد. رویکرد پیشنهادی نه‌تنها به کاهش مخاطرات طبیعی کمک می‌کند، بلکه فرصت‌های توسعه گردشگری پایدار و اشتغال محلی را نیز تقویت خواهد کرد. این امر می‌تواند به ارتقای تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی استان کردستان و افزایش جایگاه آن در توسعه گردشگری زمستانی منجر شود.

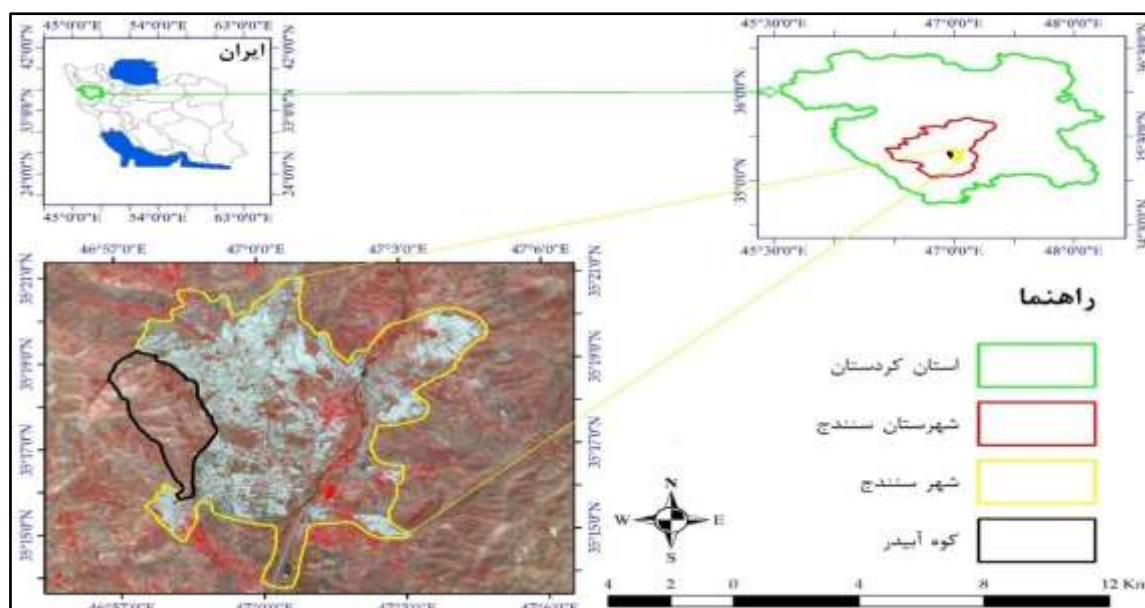
1- Feng

2- Sivac & Korjenic

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

کوه آبیدر با ارتفاع ۲۳۶۴ متر و مساحت مطالعاتی حدود ۱۰/۴ کیلومتر مربع در مجاورت شهر سنندج، با برخورداری از توپوگرافی تپه‌ماهوری، دره‌ها، چشمه‌ها و چشم‌اندازهای منحصربه‌فرد، پتانسیل بالایی برای توسعه گردشگری، طبیعت‌گردی و رونق اقتصادی - اجتماعی منطقه دارد؛ همچنین اقلیم نیمه‌خشک و معتدل کوهپایه‌ای آن با زمستان‌های سرد و برفی، فرصت مناسبی را برای گردشگری زمستانی فراهم می‌کند، هرچند بهره‌برداری پایدار از این ظرفیت‌ها نیازمند ارزیابی‌های دقیق محیطی، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی است تا از آسیب‌هایی مانند فرسایش خاک، تخریب زیستگاه و خطرات احتمالی برای بازدیدکنندگان پیشگیری شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

منبع: نقشه پایه سازمان نقشه‌برداری ایران، ۱۴۰۰

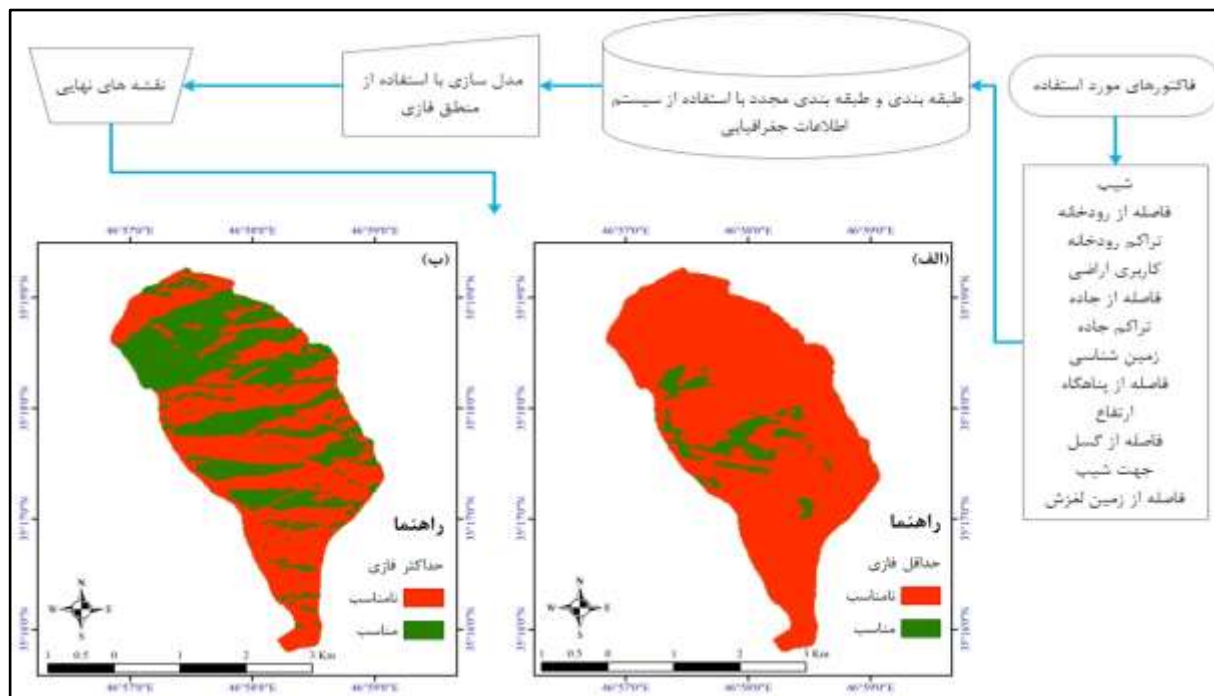
روش تحقیق

پارامترهای محیطی شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب، نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری فیزیکی مکان‌ها و رفتار هیدرولوژیکی ایفا می‌کنند؛ انتخاب نادرست این پارامترها می‌تواند خطرات ناشی از لغزش، فرسایش و عدم‌دسترسی را افزایش دهد (یسیلناچار و کتین، ۲۰۰۸؛ عادل و خورشیددوست، ۱۳۸۹). از سوی دیگر، داده‌های زمین‌شناسی، نشان‌دهنده ثبات زمین و احتمال وقوع مخاطرات زمین‌ساختی هستند که باید در مدل‌های تصمیم‌گیری لحاظ شوند. شاخص‌های هیدرولوژیک (فاصله و تراکم رودخانه‌ها)، کاربری زمین، و تراکم و فاصله جاده‌ها نیز بر هزینه‌های ساخت، امکان‌پذیری عملیاتی و تأثیرات زیست‌محیطی پروژه اثر می‌گذارند؛ بنابراین یک چارچوب مکان‌یابی کامل باید این مجموعه متفاوت و متنوع از فاکتورها را به‌صورت یکپارچه تحلیل کند.

در این پژوهش برای تضمین اعتبار داده‌ها و کاهش خطا، از منابع و تکنیک‌های آزمایش‌شده در مطالعات سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. نقشه زمین‌شناسی به‌منظور استخراج خطوط گسل و سازندهای زمین‌شناسی از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید زیرا نزدیکی به گسل به‌طور مستقیم ریسک ناپایداری سازه‌ای و تأسیسات را افزایش می‌دهد. مدل رقومی ارتفاعی Alos Palsar برای تولید لایه‌های توپوگرافی و هیدروگرافی مثل شیب، جهت شیب، ارتفاع و شبکه رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با تاریخ ۲۰۲۴/۰۲/۲۲ برای استخراج لایه‌های دیگر شامل جاده‌ها به‌کار گرفته شد تا پارامترهای فاصله‌ای و تراکمی با بالاترین دقت ممکن در مدل لحاظ گردند، لازم به ذکر است که کلیه لایه‌ها متناسب با محدوده مطالعه برش و هم‌راستا شدند.

لایه‌های خام پس از پیش‌پردازش و طبقه‌بندی، بر اساس اهداف مکان‌یابی، مطالعات پیشین و نظر کارشناسان بازطبقه‌بندی شدند تا قابلیت ادغام در محیط GIS فراهم آید. برای کنترل کیفیت داده‌ها و کاهش خطاها، رویکرد دوگانه اعتبارسنجی اجرا شد: نخست استفاده از داده‌های معتبر سازمانی و DEM با وضوح مناسب و دوم تطبیق نتایج با مشاهدات میدانی؛ این فرآیندها تضمین می‌دهد که ورودی‌های مکانی از نظر

موقعیت تطابق لازم را داشته باشند و خطاهای سیستماتیک در خروجی مدل‌ها کاهش یابد. در نهایت، لایه‌های آماده‌شده شامل فاکتورهای زمین‌شناسی و گسلی، شیب، جهت شیب و ارتفاع، کاربری زمین، فاصله و تراکم رودخانه‌ها، فاصله و تراکم شبکه راه‌ها، فاصله از زمین لغزش و موقعیت پناهگاه امن برای فرآیند مدلسازی فازی در محیط GIS به‌منظور تعیین مناطق مناسب و نامناسب مکان‌یابی وارد شدند.



شکل ۲. نمودار فرایند انجام پژوهش

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش

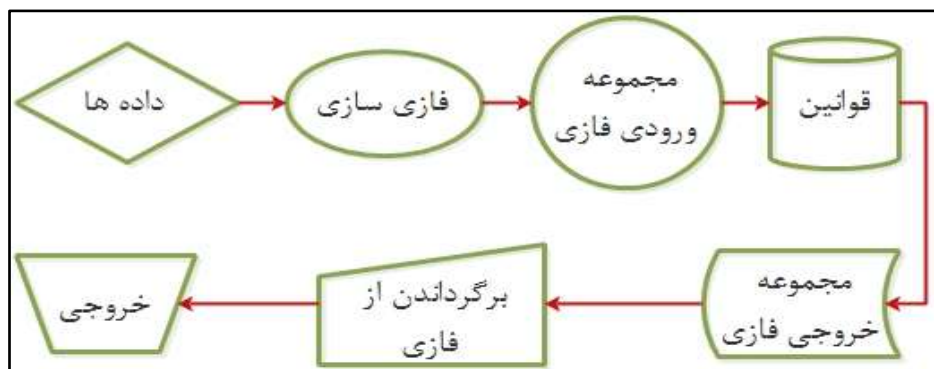
در این پژوهش، مدل منطق فازی به‌منظور انتخاب و وزن‌دهی علمی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی سکونتگاه‌های روستایی به‌کار گرفته شده است؛ به این صورت که معیارها بر اساس نظر کارشناسان و مطالعات قبلی اولویت‌بندی شده و وزن نسبی آن‌ها محاسبه گردید. منطق فازی با تعریف توابع عضویت مناسب برای هر معیار، امکان استانداردسازی داده‌های مکانی و بیان تدریجی میزان مطلوبیت هر موقعیت را فراهم می‌سازد (مرتضوی چمچالی و قاضی فرد، ۱۳۹۷). انتخاب نوع تابع عضویت و عملگرهای فازی (مانند AND و OR) مستقیماً بر نقشه نهایی مناسبت اثرگذار است. مقایسه نتایج این رویکردها، بازه‌ای از گزینه‌های محتمل را از منظر محافظه‌کارانه تا فرصت‌محور ارائه خواهد کرد و امکان اولویت‌بندی سایت‌ها برای بازدید میدانی و تحلیل‌های اقتصادی-اجتماعی بعدی را فراهم می‌سازد. ابتدا وزن معیارها محاسبه و به لایه‌های مکانی اعمال شد. سپس این لایه‌ها فازی‌سازی شده و با عملگرهای فازی ترکیب شدند تا نقشه نهایی مناسبت تولید شود.

منطق فازی (Fuzzy Logic)

مفهوم منطق فازی برای اولین بار توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ میلادی مطرح گشت (مندل، ۲۰۰۲). ابتدا باید طبقه‌بندی مجدد انجام گیرد تا برای مدل روشن شود که کدام طبقات از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. در مرحله‌ی فازی‌سازی، ورودی‌ها (داده‌ها) به اطلاعات فازی تبدیل می‌شوند. در مرحله‌ی بعدی، میزان انطباق پذیری داده‌های ورودی (حاصل از فازی‌سازی) با قوانین پایه مشخص می‌شود. در مرحله‌ی آخر، نتایج حاصل از استنتاج فازی به اطلاعات کمی و کاربردی بر مبنای بیشترین میزان انطباق تبدیل می‌شوند (سکراوگلو، ۲۰۲۴؛ شاهین و همکاران، ۱۴۰۲). لازم به ذکر است که از بین عملگرهای منطق فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، عملگرهای حداقل فازی (OR) و حداقل فازی یا اشتراک (AND) جهت مقایسه آنها انتخاب شدند. در واقع، این دو عملگر برای مقایسه رویکردهای سخت‌گیرانه یا محافظه‌کارانه (AND) و خوشبینانه و فرصت‌محور (OR) انتخاب شده‌اند تا تأثیر نوع ترکیب معیارها بر نقشه مناسبت بررسی شود. این انتخاب هدفمند بوده و در تحلیل نتایج نیز تفاوت خروجی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

1- Mendel

2- Sekeroglu



شکل ۳. نشانگر مراحل مختلف منطق فازی است

منبع: (کاینز^۱، ۲۰۰۷) با تغییرات

یافته‌ها و بحث

مطالعات کاربردی متعددی این رتبه‌بندی تجربی را تأیید کرده‌اند لذا با استفاده از این مطالعات وزن هر لایه به دست آمد و در تولید نقشه‌های نهایی در GIS مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). بررسی مروری مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در میان دوازده معیار استفاده شده، متغیرهای توپوگرافی شامل شیب، ارتفاع و جهت شیب به‌عنوان تعیین‌کننده‌ترین عوامل در مکان‌یابی پیست اسکی گزارش شده‌اند؛ پس از آن معیارهای دسترسی (جاده‌ها) و عامل کاربری اراضی که بر امکان‌پذیری بهره‌برداری و حفظ پایداری اکوسیستم تأثیر می‌گذارند، نقش برجسته‌ای ایفا می‌کنند. همچنین مولفه‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی (گسل‌ها، جنس سنگ و نواحی مستعد لغزش) و پارامترهای هیدرولوژیکی (رودخانه‌ها) به‌عنوان عوامل کلیدی در کاهش ریسک‌های ژئومورفولوژیک و ایمنی قرار گرفته‌اند (فرجی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رضوانی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۱. ضرایب وزن معیارها بر اساس مطالعات پیشین

ردیف	معیار	ضریب (وزن)
۱	شیب	۰/۲۸
۲	ارتفاع	۰/۲۰
۳	جهت شیب	۰/۱۲
۴	زمین‌شناسی	۰/۱۰
۵	فاصله از گسل	۰/۰۶
۶	کاربری اراضی	۰/۰۶
۷	فاصله از جاده‌ها	۰/۰۵
۸	تراکم جاده‌ها	۰/۰۳
۹	فاصله از رودخانه‌ها	۰/۰۳
۱۰	پناهگاه امن	۰/۰۳
۱۱	تراکم رودخانه‌ها	۰/۰۲
۱۲	فاصله تا مکان‌های لغزش زمین	۰/۰۲

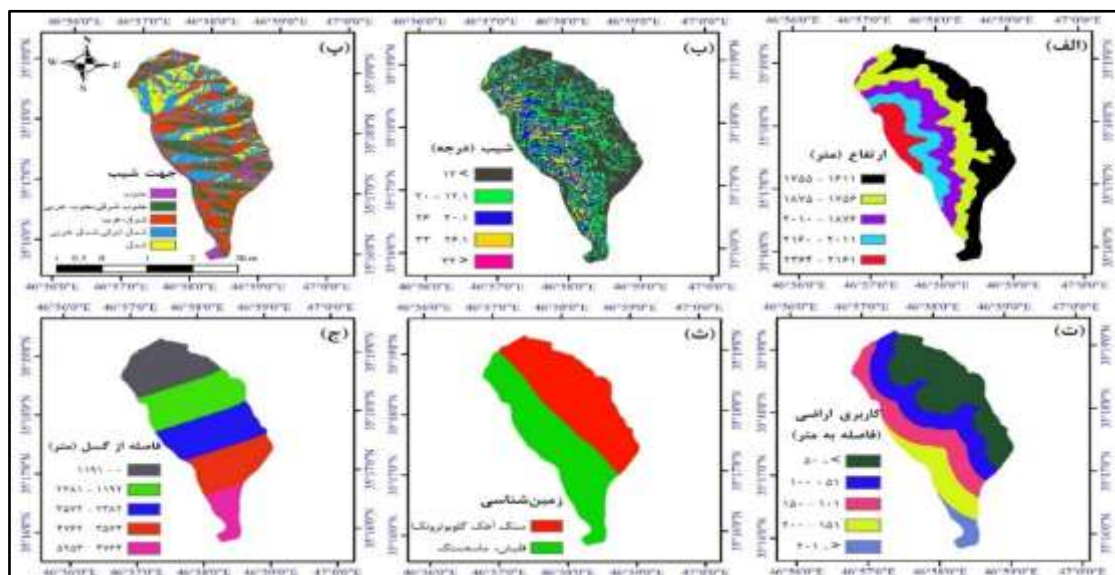
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

در محیط ArcGIS 10.5 لایه‌ها براساس روش شکست طبیعی^۲ به ۵ طبقه تقسیم شدند. این روش بر مبنای توزیع داده‌ها، نقاط تفکیک را مشخص می‌کند و کلاس‌هایی با همگنی درون‌کلاسی و اختلاف بین‌کلاسی حداکثر تولید می‌کند. شکل ۴ به ترتیب لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری زمین، زمین‌شناسی و فاصله از گسل را نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل نقشه ارتفاع و شیب منطقه، به دلیل کوهستانی بودن و موقعیت توپوگرافی مرتفع، نواحی مرتفع و شیب زیاد به‌طور قابل‌توجهی در محدوده مورد مطالعه پراکنده‌اند و از نظر ژئومورفولوژیکی ظرفیت مناسبی برای مکان‌یابی پیست اسکی فراهم می‌آورند. (شکل ۴ الف و ۴ ب). با تحلیل نقشه جهت شیب میتوان فهمید که جهات شمالی به دلیل ساعات آفتابی کمتر، مطلوبیت بیشتری نسبت به جهات دیگر منطقه دارند؛ لذا شایسته است جهت تاسیس پیست اسکی بخش‌های

1- Kainz

2- Natural Breaks

شمالی در مدل‌سازی وزن بیشتری را به خود اختصاص دهند (شکل ۴ پ). در مکانیابی نباید برخی کاربری‌ها مانند زمین‌های خصوصی، اماکن، سایت‌های فرهنگی و... را در اولویت قرار داد. بر اساس نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، بخش‌های پایین‌دست و شرقی دارای کاربری‌های فعال هستند و بخش‌های غربی و مرتفع عملاً بیشتر از تخریب و ساخت و ساز دور مانده‌اند (شکل ۴ ت). بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، تنها ۲ سازند زمین‌شناسی وجود دارد که بر اساس نظر متخصصین زمین‌شناسی، فلیش سازند مقاوم‌تری محسوب می‌شود لذا شایسته است وزن بیشتری در مدل‌سازی بگیرد (شکل ۴ ث). عامل گسل، به‌عنوان یک پارامتر زمین‌ساختی مهم در ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای در یک منطقه در نظر گرفته شده و لایه‌ی فاصله از گسل بر پایه نقشه زمین‌شناسی استخراج شد؛ نتایج نشان می‌دهد که به‌لحاظ فاصله از گسل، پهنه‌های جنوبی آیدر نسبت به نواحی شمالی دارای مطلوبیت بیشتری برای پست اسکی هستند (شکل ۴ ج). در سطح عملیاتی، نتایج نشان می‌دهد که معیارهای شیب، ارتفاع و جهت شیب به ترتیب با ضرایب ۰/۲۸، ۰/۲۰ و ۰/۱۲ بیشترین تأثیر را در تعیین نقشه مناسبت دارند؛ بنابراین هرگونه تصمیم‌گیری نهایی باید بر پایه داده‌های مدل رقومی ارتفاعی با وضوح مناسب و به‌روز و بررسی‌های میدانی تخصصی باشد. این بدان معنا نیست که فقط این فاکتورها اهمیت دارند؛ بلکه توصیه می‌شود معیارهای ایمنی مانند فاصله از گسل‌ها، بافرهای هیدرولوژیک، مخاطرات طبیعی، کاربری اراضی و دسترسی اضطراری به‌عنوان آستانه‌های الزام‌آور در طرح‌های اجرایی لحاظ شوند.

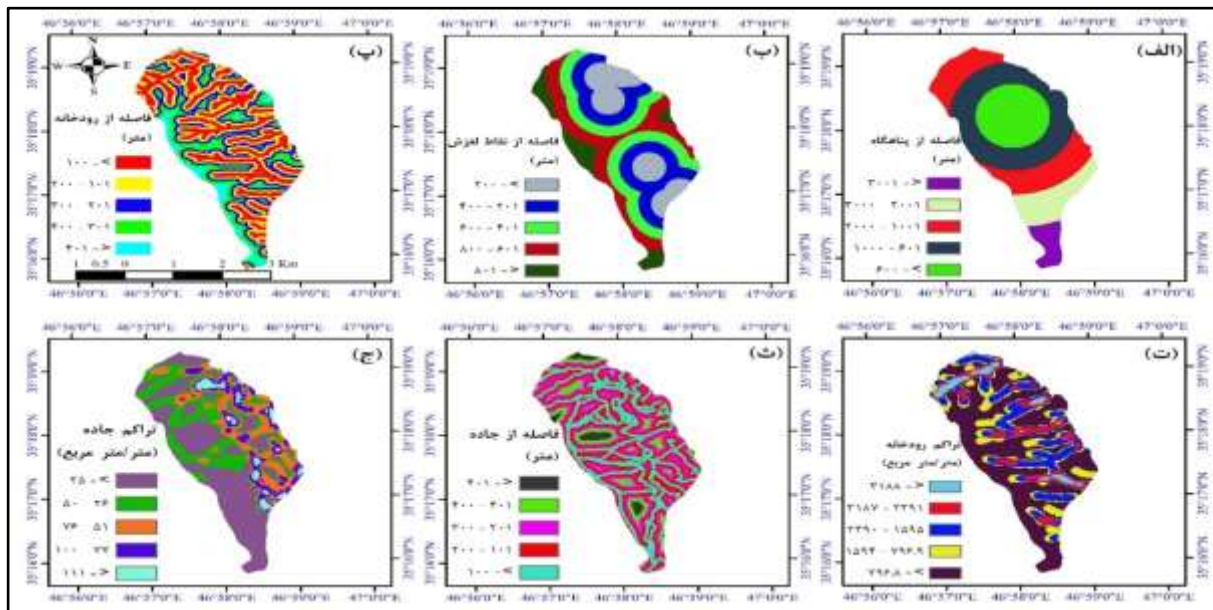


شکل ۴. لایه‌های ارتفاع (الف)، شیب (ب)، جهت شیب (پ)، کاربری اراضی (ت)، زمین‌شناسی (ث) و فاصله از گسل (ج)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

لایه پناهگاه شامل نقاط طبیعی یا ساخته شده مناسب برای پناه بردن در مواقع اضطراری است. برای مدل‌سازی، لایه پناهگاه در سیستم اطلاعات جغرافیایی تبدیل به شاخص فضایی رستری شد؛ در اینجا مناطق نزدیک به پناهگاه جهت ایجاد پست اسکی ارزش بیشتری دارند (شکل ۵ الف). لایه فاصله از نقاط سابقه‌دار لغزش یا نواحی مستعد، به‌منظور کمینه‌سازی ریسک زمین‌لغزش و افزایش پایداری سکونتگاه‌ها ایجاد شد. این لایه با استفاده از نقشه رخدادهای لغزش ساخته شد؛ در فرآیند نرمال‌سازی جهت مدل‌سازی، فاصله‌های بیشتر به‌عنوان مناطق با مطلوبیت بالاتر (یا ایمنی بیشتر) و فاصله‌های کم، برعکس در نظر گرفته شدند (شکل ۵ ب). لایه فاصله از رودخانه‌ها برای کاهش خطر و آسیب هیدرولوژیکی به زیرساخت‌ها تولید گردید. شبکه هیدروگرافی از DEM استخراج و فاصله اقلیدسی از آبراهه‌ها محاسبه شد؛ نواحی با فاصله بیشتر از رودخانه به‌عنوان گزینه‌های امن‌تر ارزیابی شدند (شکل ۵ پ). تراکم رودخانه‌ها نشان‌دهنده حساسیت هیدرولوژیک و شدت هدایت سطحی یک پهنه است. این شاخص با محاسبه طول کل جریان به ازای مساحت (m^2) از شبکه استخراجی از مدل رقومی ارتفاعی به‌دست آمد؛ بخش‌های با تراکم بالا نشان‌دهنده ریسک بیشتر سیلاب و تمرکز جریان‌های سطحی هستند و بنابراین در ارزیابی مکان‌یابی وزن کمتری خواهند گرفت (شکل ۵ ت). فاصله از جاده‌ها معیاری کلیدی برای سنجش دسترسی خدمات و امدادسانی است. شبکه راه‌ها بدون تفکیک درجه اهمیت (راه‌های اصلی و فرعی) وارد مدل شد و فاصله اقلیدسی تا هر کلاس محاسبه و وزن دهی گردید؛ در نرمال‌سازی، نزدیکی به راه‌ها مطلوب تلقی شد زیرا دسترسی سریع‌تر و آسان‌تر به خدمات و کاهش هزینه‌های زیرساختی را ممکن می‌سازد (شکل ۵ ث). تراکم

جاده‌ها نشان‌دهنده درجه دسترسی بیشتر به محل سایت پیشنهادی است؛ این فاکتور با محاسبه مجموع طول جاده‌ها در واحد مساحت استخراج می‌شود. پهنه‌هایی با تراکم بالاتر از منظر دسترسی امتیاز و وزن بیشتری دریافت می‌کنند (شکل ۵ ج).



شکل ۵. پناهگاه (الف)، فاصله از نقاط لغزشی (ب)، فاصله از رودخانه (پ)، تراکم رودخانه (ت)، فاصله از جاده (ث)، و تراکم جاده (ج)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب مدل فازی تأثیر قابل توجهی بر گستره نواحی پیشنهادی جهت پست اسکی دارد؛ ماهیت مدل حداقل فازی (AND) به این گونه است که رویکردی محافظه‌کارانه‌تر اتخاذ کند لذا با تلفیق سخت‌گیرانه‌تر معیارها بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه (۹/۵۳ کیلومتر مربع) را نامناسب جهت ساخت پست اسکی شناسایی کرده (رنگ قرمز)؛ این درحالی است که این مدل، تنها حدود ۰/۸۷ کیلومتر مربع را مناسب جهت ایجاد پست اسکی پیشنهاد داده است (رنگ سبز). این الگو حاکی از آن است که وقتی تمامی معیارهای دسترسی، ایمنی، پایداری، محیطی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناختی به‌صورت هم‌زمان مورد تقاضا قرار گیرند، تعداد سایت‌های پیشنهادی و قابل قبول به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد که برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری محافظه‌کارانه و کم ریسک مفید است. در حالی که، مدل حداکثر فازی (OR) با تلفیق و ترکیب آزادانه‌تر فاکتورها، پذیرش ریسک را بالاتر می‌برد و نسبت به مدل حداقل فازی پهنه‌های بیشتری را به عنوان «مناسب» شناسایی می‌کند. لذا پهنه‌های مناسب و نامناسب در مدل حداکثر فازی (عملگر OR) به ترتیب حدود ۴/۳۰ و ۶/۱۰ کیلومتر مربع است (جدول ۲ و شکل ۶).

یافته‌های این مطالعه که تفاوت معناداری بین نتایج مدل حداقل فازی و مدل حداکثر فازی را نشان می‌دهد، با نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد ادغام فازی و مکان‌یابی چندمعیاره هم‌راستا است. بررسی‌های بیشتر و مروری نشان می‌دهد که انتخاب قاعده ترکیب و توابع عضویت، عامل اصلی این نوسانات کمی در نقشه‌های مناسبت است لذا شایسته است به‌عنوان یک منبع اصلی عدم قطعیت در نظر گرفته شود. مطالعات موردی مختلف دیگری از منظر کاربردی نشان داده‌اند که رویکردهای محافظه‌کارانه‌تر مانند حداقل فازی معمولاً پهنه‌های کمتری را به‌عنوان «مناسب» شناسایی و معرفی می‌کنند و بیشتر برای اهداف کاهش ریسک و حفاظت ایمنی مناسب‌ترند؛ در طرف دیگر، رویکردهای تساهل‌گرا تر یا اجتماع شروط مانند حداکثر فازی نواحی بیشتری را برای سناریوهای توسعه و ارزیابی‌های تکمیلی پیشنهاد می‌کنند؛ این الگو در پژوهش مکان‌یابی توسعه پست ورزشی-تفریحی اسکی کوه آبدیر نیز مشاهده شده است و با نتایج این پژوهش مطابقت دارند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ گندمکار و همکاران، ۱۳۹۶).

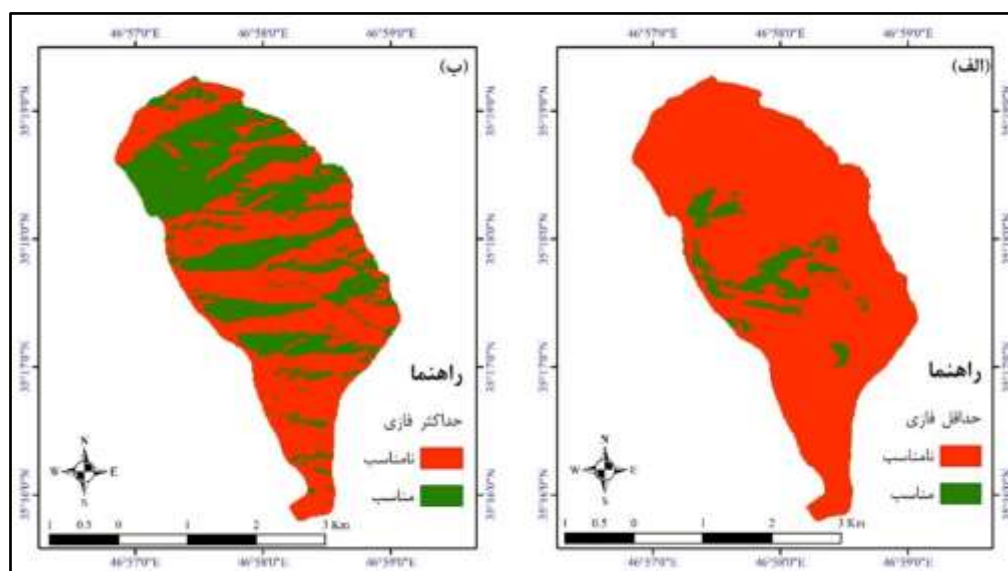
در نهایت، به لحاظ سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی محلی، نتایج این مطالعه مبنی بر به‌کارگیری راهبرد مرحله‌ای و مبتنی بر خروجی محافظه‌کارانه (حداقل فازی) برای شناسایی گزینه‌های امن و کم ریسک اولیه و سپس آزمون پهنه‌های پتانسیل‌دار با ابزارهای تساهل‌گرا تر (حداکثر فازی) برای ارزیابی اقتصادی-اجتماعی و میدانی، با توصیه‌های مطالعات پیشین و مرجع همخوانی دارد و چارچوبی کاربردی و عمل‌گرا برای کاهش

ریسک و ارتقای پذیرش اجتماعی فراهم می‌کند (کاراکوش^۱، ۲۰۲۴). این یافته‌ها برای شناسایی پهنه‌های پتانسیل‌دار و طراحی سناریوهای توسعه در منطقه مفید است. تفاوت کمی بین یافته‌های مدل‌ها نشان‌دهنده حساسیت مدل‌سازی به توابع عضویت (AND و OR) و قواعد ترکیب است؛ بنابراین جهت نهایی کردن سایت اسکی در منطقه مورد مطالعه، اعتبارسنجی میدانی ضروری است. برای کاربرد مدیریتی و عملیاتی توصیه می‌شود از رویکرد سلسله‌مراتبی ترکیبی استفاده شود: یعنی ابتدا با مدل حداقل فازی AND نواحی کم‌ریسک به‌عنوان پهنه‌های اولویت‌ای مشخص شوند و سپس با مدل حداکثر فازی OR نواحی پتانسیل‌دار جهت بررسی میدانی و ارزیابی اقتصادی و اجتماعی گسترده‌تر در نظر گرفته شوند. این رویکرد سلسله‌مراتبی و مرحله‌ای، بین احتیاط حفاظتی و بهره‌برداری از فرصت‌های توسعه‌ای تعادل فراهم می‌آورد و ریسک‌پذیری برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران را به‌صورت قابل مدیریت کاهش می‌دهد.

جدول ۲. مساحت پهنه‌های مناسب و نامناسب پیست اسکی در منطقه مورد مطالعه

	مدل	مساحت کیلومترمربع
۱	حداکثر فازی (OR)	مناسب ۴/۳۰
		نامناسب ۶/۱۰
۲	حداقل فازی (AND)	مناسب ۰/۸۷
		نامناسب ۹/۵۳

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۶. (الف) حداقل فازی (AND) و (ب) حداکثر فازی (OR)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

بازدیدهای میدانی نشان داد که نتایج مدل از اعتبار لازم برخوردار است چراکه تعیین سطوح شیب، دامنه‌های پشت به آفتاب و ارتفاع که در این مطالعه بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی پیست اسکی داشتند با ویژگی‌های واقعی زمینی همخوانی قابل‌قبولی داشت. علاوه بر این، فاکتورهای کمکی مانند فاصله از رودخانه، فاصله از جاده‌ها و دسترسی به پناهگاه‌های امن در ارزیابی نهایی لحاظ شده‌اند و ترکیب این معیارها موجب شده تا مکان‌های پیشنهادی توسط مدل از نظر فنی و عملیاتی مناسب و قابل بهره‌برداری شناخته شوند.

نتیجه‌گیری

بکارگیری منطق فازی در محیط GIS توانمندی قابل‌توجهی برای شناسایی و اولویت‌بندی پهنه‌های مناسب و نامناسب برای احداث پیست اسکی در منطقه مورد مطالعه را فراهم می‌آورد. با توجه به ماهیت مکان‌یابی مبتنی بر GIS، نتایج بازدید میدانی و مرور پیشینه تحقیق، دوازده معیار مؤثر شامل کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، تراکم جاده، تراکم رودخانه، فاصله از نقاط لغزشی، فاصله از گسل،

زمین‌شناسی، پناهگاه امن، جهت شیب، شیب و ارتفاع استخراج و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج تحلیل‌های مقایسه‌ای دوگانه منطق فازی عملگر AND، منطق فازی عملگر OR نشان داد که روش تلفیق فاکتورها نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین پهنه‌های مناسب برای احداث پیست اسکی در کوه آبدر دارد. مدل حداقل فازی (AND) همیشه رویکردی محافظه‌کارانه‌تر ارائه می‌کند و تنها حدود ۰/۸۷ کیلومترمربع را جهت ایجاد پیست اسکی مناسب، شناسایی کرد؛ در حالی که مدل حداکثر فازی (OR) نواحی مناسب بیشتری را (۴/۳۰ کیلومترمربع) برای ساخت پیست اسکی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد داد. این تفاوت آشکار و معنادار نشان‌دهنده حساسیت مدل‌سازی به فاکتورهای مورد استفاده، قواعد ترکیب و توابع عضویت است لذا بررسی پارامتریک و حساسیت‌سنجی در اینگونه مطالعات توصیه می‌شود. با توجه به اهمیت این موضوع، توصیه عملی برای مدیریت این است که تصمیم‌گیری نهایی جهت احداث پیست در قالب یک فرآیند مرحله‌ای اتخاذ شود: یعنی ابتدا نواحی مشخص شده توسط مدل محافظه‌کارانه حداقل فازی (AND) به عنوان «گزینه‌های اولویت ایمنی» انتخاب شده و برای جلوگیری از مخاطرات محیطی (مانند زلزله، لغزش، سیلاب) محفوظ نگاه داشته شوند؛ سپس با استفاده از نتایج مدل حداکثر فازی (OR) و ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی، پهنه‌های پتانسیل‌دار برای بررسی میدانی، برنامه‌ریزی زیرساختی و ارزیابی هزینه‌فایده مورد بررسی و تحلیل دقیق‌تر قرار گیرند. انجام این الگوریتم تصمیم‌سازی، باعث فراهم آوردن یک تعادل علمی بین حداقل‌سازی ریسک و بهره‌برداری از فرصت‌های توسعه‌ای می‌شود. از منظر داده‌ای، نتایج تأکید می‌کنند که معیارهای شیب، ارتفاع و جهت شیب به ترتیب با ضرایب ۰/۲۸، ۰/۲۰ و ۰/۱۲ بیشترین نقش را در تعیین مکان مناسب دارند. با بازدید میدانی مشخص شد که بر اساس ویژگی‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، نزدیکی به راه‌ها و پناهگاه امن، مکان‌های پیشنهادی توسط مدل از نظر فنی و عملیاتی مناسب و قابل بهره‌برداری شناخته شدند. دقت و وضوح بالای مدل رقومی ارتفاعی، نقشه‌های دقیق و اعتبارسنجی گسترده میدانی گام‌های حیاتی برای افزایش قابلیت اتکای الگوریتم‌ها هستند. از منظر اجتماعی و زیست‌محیطی نیز، موفقیت و پذیرش هرگونه طرح پیست اسکی در منطقه مورد مطالعه منوط به مشارکت فعال ذی‌نفعان محلی، بررسی پیامدهای اقتصادی-اجتماعی و ارزیابی تأثیر زیست‌محیطی است. برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری باید الزامات حفاظتی برای پوشش گیاهی، مدیریت آب‌ها و بایوفیزیک شیب‌ها را شامل شود و مکان‌های پیشنهادی را با ضوابط فاصله از گسل، پهنه‌های لغزشی و بسترهای هیدرولوژیک تطبیق دهد تا منافع کوتاه‌مدت توسعه‌ای با الزامات پایداری بلندمدت هم‌راستا شود. در خاتمه، این پژوهش چارچوبی کاربردی برای حمایت از برنامه‌ریزی محلی فراهم می‌کند اما برای اطمینان از قابلیت و پذیرش اجتماعی، لازم است یافته‌ها با مشارکت ذی‌نفعان محلی، ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی همراه گردد تا تاسیس پیست اسکی در آبدر به‌صورت ایمن و پایدار محقق شود.

محدودیت‌های اصلی این پژوهش شامل دقت مدل رقومی ارتفاعی و نبود معیارهای کمی اقتصادی-اجتماعی و سناریوهای تغییر اقلیم است؛ این محدودیت‌ها موجب افزایش عدم قطعیت و کاهش قابلیت تعمیم نتایج به وضعیت‌های زمانی و مکانی دیگر می‌شوند. لذا پژوهش‌های آتی باید با اجرای تحلیل حساسیت پارامتریک روی توابع عضویت و وزن‌ها، استفاده از روش‌های پیشرفته (از جمله یادگیری ماشین)، تأمین و به‌روزرسانی داده‌های با وضوح بالاتر (مثل LiDAR یا فوتوگرامتری) و انجام اعتبارسنجی میدانی گسترده و تحلیل‌های اقتصادی-اجتماعی و سناریوهای اقلیمی تکمیل شوند تا عدم قطعیت‌ها کمینه و قابلیت کاربردی و پذیرش اجتماعی پیشنهادی مکان‌یابی افزایش یابد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

نویسنده همه مراحل پژوهش را انجام داده است.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش
نویسنده اعلام می‌کند که از ابزار هوش مصنوعی (AI) برای نگارش این مقاله استفاده نکرده است.

تعارض منافع

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ تضاد منافی ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌ها بنا به درخواست نویسنده در دسترس هستند.

سپاسگزاری

نویسنده مایل است از تمامی افراد، سازمان‌ها و مؤسساتی که در تهیه این مقاله مشارکت داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نماید.

منابع

- حسینی، سیدمحمد؛ حسینی، سیداسعد و کربلایی‌درئی، علیرضا. (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص‌های زیست‌اقلیمی سنندج. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۴(۲)، ۱۳۰۷-۱۳۱۶. https://www.jess.ir/article_92252.html
- رضوانی، محمدرضا؛ اروچی، حسن؛ علیزاده، محمد و نجفی، محمدسعید. (۱۳۹۲). مکان‌یابی احداث پست‌های اسکی از دیدگاه گردشگری (مطالعه موردی: مناطق شمالی استان تهران). *فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۳(۱۰)، ۲۷-۴۴. https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_29.html
- سیاح‌نیا، رومینا. (۱۴۰۱). مکانیابی خدمات شهری در شهرهای جدید با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی (مطالعه موردی: محل دفن پسماند شهر جدید پردیس). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۱(۲)، ۱۴۳-۱۵۸. <https://doi.org/10.22067/geoch.2021.70243.1057>
- شفیعی، زلیخا. (۱۳۸۹). مطالعه تغییرات آب‌وهوایی شهر سنندج با استفاده از روش من-کندال. دومین همایش علمی سراسری دانشجویی جغرافیا، تهران. <https://civilica.com/doc/160949>
- فرجی، عبدالله؛ میرموسوی، سیدحسن؛ بابایی، خالد و کریمی، ستار. (۱۳۹۲). مکان‌یابی پست اسکی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی: استان کردستان). *دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی*. <https://civilica.com/doc/307498>
- گندمکار، امیر؛ دانشور، فاطمه و قاسمی، نوشین. (۱۳۹۶). مکان‌یابی اماکن تفریحی و ورزشی برای اسکی (مطالعه موردی: استان اصفهان). *فصلنامه جغرافیایی فضای گردشگری*، ۶(۲۴)، ۱-۱۷. <https://sanad.iau.ir/Journal/gits/Article/999546>
- لحمیان، رضا. (۱۳۹۷). به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سامانه تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب محل دفن پسماند (مطالعه موردی: شهر ساری). *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۸(۲۹)، ۱۶۷-۱۸۰. https://gps.gu.ac.ir/article_80360.html
- یمانی، مجتبی؛ گورابی، ابوالقاسم و مرادی‌پور، فاطمه. (۱۳۹۴). مکان‌یابی محل احداث پست اسکی در استان لرستان. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۱۹(۴)، ۲۱۷-۲۴۲. https://hsm.sp.modares.ac.ir/article_14501.html
- Adeli, Z., & Khorshiddoust, A. (2011). Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 662-667. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.183>
- Elkhrachy, I., Alhamami, A., & Alyami, S. H. (2023). Landfill site selection using multi-criteria decision analysis, remote sensing data, and geographic information system tools in Najran City, Saudi Arabia. *Remote Sensing*, 15(15), 3754. <https://doi.org/10.3390/rs15153754>
- Elston, K., & Draper, J. (2012). A review of meeting planner site selection criteria research. *Journal of Convention & Event Tourism*, 13, 203-220. <https://doi.org/10.1080/15470148.2012.715269>
- Feng, Z., Li, G., Wang, W., Zhang, L., Xiang, W., He, X., ... Wei, N. (2023). Emergency logistics centers site selection by multi-criteria decision-making and GIS. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103921. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103921>
- Gabdrakhmanov, N., & Hosseini, S. (2019). Site location and construction of ski resorts using geographical information system (GIS) in Isfahan Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 272, 022013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022013>
- Isalou, A., Zamani, V., Shahmoradi, B., & Alizadeh, H. (2013). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP). *Environmental Earth Sciences*, 68(6), 1745-1755. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1865-y>
- Kainz, W. (2007). *Fuzzy logic and GIS*. University of Vienna. <https://www.researchgate.net/profile/Wolfgang-Kainz/publication/266466993>
- Karakuş, C. B. (2024). Assessment of ecotourism potentiality based on GIS-based fuzzy logarithm methodology of additive weights (F-LMAW) method for sustainable natural resource management. *Environment, Development and Sustainability*, 26(10), 27001-27055. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05283-0>
- Maaiah, B., Al-Badarneh, M., & Al-Shorman, A. (2023). Mapping potential nature-based tourism in Jordan using AHP, GIS and remote sensing. *Journal of Ecotourism*, 22(2), 260-280. <https://doi.org/10.1080/14724049.2021.1968879>
- Mendel, J. M. (2002). Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345-377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>

- Mortazavi Chamchali, M., & Ghazifard, A. (2019). The use of fuzzy logic spatial modeling via GIS for landfill site selection (Case study: Rudbar, Iran). *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 305. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8296-y>
- Munoth, P., & Goyal, R. (2019). Effects of DEM source, spatial resolution and drainage area threshold values on hydrological modeling. *Water Resources Management*, 33(9), 3303–3319. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02303-x>
- Nsaif, Q. A., Khaleel, S. M., & Khateeb, A. H. (2020). Integration of GIS and remote sensing technique for hospital site selection in Baquba District. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(3), 1492–1505.
- Ostrovskaja, M. (2022). *Tourism seasonality on the Island of Senja: Adaptation of local businesses to seasonal variations* [Master's thesis, UiT Norges arktiske universitet]. <https://hdl.handle.net/10037/27438>
- Öztaş, S. (2025). Harnessing high-altitude advantages: Sustainable data center site selection in ski resort regions for optimized energy efficiency. *Sustainability*, 17(8), 3494. <https://doi.org/10.3390/su17083494>
- Şahin, G., Koç, A., & van Sark, W. (2024). Multi-criteria decision making for solar power-wind power plant site selection using a GIS-intuitionistic fuzzy-based approach with an application in the Netherlands. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101307. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101307>
- Sekeroglu, A. (2024). Site selection for biomass-solar hybrid renewable energy facilities: Spatial modelling based on fuzzy logic-geographic information systems. *Renewable Energy*, 237, 121775. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121775>
- Sivac, A., & Korjenić, A. (2023). A GIS-based multi-criteria analysis of optimal ski resort locations in Sarajevo Canton. *Journal of Tourism and Hospitality Management*, 73. <https://doi.org/10.35666/25662880.2024.10.73>
- Szabó, G., Singh, S. K., & Szabó, S. (2015). Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.06.003>
- Tripathi, A. K., Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2022). Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: A case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 87(5), 3507–3528. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10445-y>
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 3048–3056. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.010>
- Wang, C., & Yang, Z. (2021). Suitability evaluation for mountain-based adventure tourism: A case study of Xinjiang Tianshan, China. *PLOS ONE*, 16(2), e0247035. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247035>
- Xu, M., Bai, C., Shi, L., Puška, A., Štilić, A., & Stević, Ž. (2023). Assessment of mountain tourism sustainability using integrated fuzzy MCDM model. *Sustainability*, 15(19), 14358. <https://doi.org/10.3390/su151914358>
- Yesilnacar, M. I., & Cetin, H. (2008). An environmental geomorphologic approach to site selection for hazardous wastes. *Environmental Geology*, 55(8), 1659–1671. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1115-x>
- Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 986–996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>

References

- Adeli, Z., & Khorshiddoust, A. (2011). Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 662–667. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.183>
- Elkhrachy, I., Alhamami, A., & Alyami, S. H. (2023). Landfill site selection using multi-criteria decision analysis, remote sensing data, and geographic information system tools in Najran City, Saudi Arabia. *Remote Sensing*, 15(15), 3754. <https://doi.org/10.3390/rs15153754>
- Elston, K., & Draper, J. (2012). A review of meeting planner site selection criteria research. *Journal of Convention & Event Tourism*, 13, 203–220. <https://doi.org/10.1080/15470148.2012.715269>
- Faraji, A., Mirmousavi, S. H., Babaei, K., & Karimi, S. (2013). Site selection of ski resorts using GIS and remote sensing (Case study: Kurdistan Province). *The 2nd International Conference on Environmental Hazards, Iran*. <https://civica.com/doc/307498/> (In Persian)
- Feng, Z., Li, G., Wang, W., Zhang, L., Xiang, W., He, X., ... Wei, N. (2023). Emergency logistics centers site selection by multi-criteria decision-making and GIS. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103921. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103921>

- Gabdrakhmanov, N., & Hosseini, S. (2019). Site location and construction of ski resorts using geographical information system (GIS) in Isfahan Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 272, 022013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022013>
- Gandomkar, A., Daneshvar, F., & Ghasemi, N. (2017). Site selection of recreational and sports facilities for skiing (Case study: Isfahan Province). *Geographical Journal of Tourism Space*, 6(24), 1–17. <https://sanad.iau.ir/Journal/gjts/Article/999546> (In Persian)
- Hosseini, S. M., Hosseini, S. A., & Karbalaee Doreei, A. (2019). Evaluation of bioclimatic index in Sanandaj. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(2), 1307–1316. https://www.jess.ir/article_92252.html (In Persian)
- Isalou, A., Zamani, V., Shahmoradi, B., & Alizadeh, H. (2013). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP). *Environmental Earth Sciences*, 68(6), 1745–1755. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1865-y>
- Kainz, W. (2007). *Fuzzy logic and GIS*. University of Vienna. <https://www.researchgate.net/profile/Wolfgang-Kainz/publication/266466993>
- Karakuş, C. B. (2024). Assessment of ecotourism potentiality based on GIS-based fuzzy logarithm methodology of additive weights (F-LMAW) method for sustainable natural resource management. *Environment, Development and Sustainability*, 26(10), 27001–27055. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05283-0>
- Lahmian, R. (2018). The use of GIS and multi-criteria decision-making system in selecting a landfill site (Case study: Sari City). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 8(29), 167–180. https://gps.gu.ac.ir/article_80360.html?lang=en (In Persian)
- Maaiah, B., Al-Badarneh, M., & Al-Shorman, A. (2023). Mapping potential nature-based tourism in Jordan using AHP, GIS and remote sensing. *Journal of Ecotourism*, 22(2), 260–280. <https://doi.org/10.1080/14724049.2021.1968879>
- Mendel, J. M. (2002). Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345–377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>
- Mortazavi Chamchali, M., & Ghazifard, A. (2019). The use of fuzzy logic spatial modeling via GIS for landfill site selection (Case study: Rudbar, Iran). *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 305. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8296-y>
- Munoth, P., & Goyal, R. (2019). Effects of DEM source, spatial resolution and drainage area threshold values on hydrological modeling. *Water Resources Management*, 33(9), 3303–3319. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02303-x>
- Nsaif, Q. A., Khaleel, S. M., & Khateeb, A. H. (2020). Integration of GIS and remote sensing technique for hospital site selection in Baquba District. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(3), 1492–1505.
- Ostrovskia, M. (2022). *Tourism seasonality on the Island of Senja: Adaptation of local businesses to seasonal variations* [Master's thesis, UiT Norges arktiske universitet]. <https://hdl.handle.net/10037/27438>
- Öztaş, S. (2025). Harnessing high-altitude advantages: Sustainable data center site selection in ski resort regions for optimized energy efficiency. *Sustainability*, 17(8), 3494. <https://doi.org/10.3390/su17083494>
- Rezvani, M. R., Orouji, H., Alizadeh, M., & Najafi, M. S. (2013). Locating suitable sites for ski resorts from a tourism perspective (Case study: Northern areas of Tehran Province). *Regional Planning*, 3(10), 27–44. https://jzpm.marvdasht.iau.ir/article_29.html (In Persian)
- Şahin, G., Koç, A., & van Sark, W. (2024). Multi-criteria decision making for solar power-wind power plant site selection using a GIS-intuitionistic fuzzy-based approach with an application in the Netherlands. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101307. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101307>
- Sayahnia, R. (2022). Site selection of urban services in new cities using geographic information system (GIS) and fuzzy logic (Case study: Landfill in Pardis New City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 143–158. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.70243.1057> (In Persian)
- Sekeroglu, A. (2024). Site selection for biomass-solar hybrid renewable energy facilities: Spatial modelling based on fuzzy logic-geographic information systems. *Renewable Energy*, 237, 121775. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121775>
- Shafiei, Z. (2010). Study of climate changes in Sanandaj using the Mann–Kendall method. *The 2nd National Scientific Conference of Geography Students*, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/160949/> (In Persian)
- Sivac, A., & Korjenić, A. (2023). A GIS-based multi-criteria analysis of optimal ski resort locations in Sarajevo Canton. *Journal of Tourism and Hospitality Management*, 73. <https://doi.org/10.35666/25662880.2024.10.73>
- Szabó, G., Singh, S. K., & Szabó, S. (2015). Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.06.003>

- Tripathi, A. K., Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2022). Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: A case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 87(5), 3507–3528. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10445-y>
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 3048–3056. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.010>
- Wang, C., & Yang, Z. (2021). Suitability evaluation for mountain-based adventure tourism: A case study of Xinjiang Tianshan, China. *PLOS ONE*, 16(2), e0247035. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247035>
- Xu, M., Bai, C., Shi, L., Puška, A., Štilić, A., & Stević, Ž. (2023). Assessment of mountain tourism sustainability using integrated fuzzy MCDM model. *Sustainability*, 15(19), 14358. <https://doi.org/10.3390/su151914358>
- Yamani, M., Gorabi, A., & Moradipour, F. (2016). Locating the site of a ski resort in Lorestan Province. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 19(4), 217–242. https://hsmmsp.modares.ac.ir/article_14501.html?lang=en
- Yesilnacar, M. I., & Cetin, H. (2008). An environmental geomorphologic approach to site selection for hazardous wastes. *Environmental Geology*, 55(8), 1659–1671. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1115-x>
- Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 986–996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>