

Identification of Suitable Areas for the Physical Expansion of the Urban and Suburban Areas of Divandarreh Using Geomorphological Documents and Integrated Models

Sina Karami¹, Mamand Salari²✉, Hamid Ganjaeian³ 

1. Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Email: karamisina0146@gmail.com

2. (Corresponding author) Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Email: m.salari@uok.ac.ir

3. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: h.ganjaeian@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

24 February 2026

Revised:

29 April 2026

Accepted:

2 June 2026

Available online:

18 July 2026

Keywords:

Geomorphological
document,
Urban physical
expansion,
Hazards,
Integrated Models,
Divandarreh.

ABSTRACT

This study aims to identify suitable areas for the physical development of Divandarreh through the preparation of a geomorphological and hazard documentation framework. Due to its geographical location and diverse geomorphological and topographical conditions, the city faces both opportunities and constraints for spatial expansion. Geomorphological landforms not only shape the natural landscape but also directly influence settlement suitability and urban development decisions. In the first stage, a geomorphological document of the urban area was prepared focusing on landforms, dominant processes, and hazards. In the second stage, a comprehensive spatial analysis was conducted to identify development-prone areas in both urban and peri-urban zones. The study utilized Google Earth imagery, MODIS images, a 12.5-m ALOS PALSAR Digital Elevation Model, and a 1:100,000 geological map. Analytical tools included ArcGIS, TerrSet, and SuperDecisions software, along with field observations. Fuzzy Gamma and Weighted Linear Combination (WLC) methods were applied for spatial modeling. Results indicate that low-slope hilly landforms, covering about 39.2 km² (47.2%) of the study area, represent the most suitable geomorphological unit for urban expansion due to minimal active processes and hazards, mainly located in the northern and northeastern parts of the city. According to the Fuzzy Gamma and WLC models, approximately 25.2% and 28.7% (equivalent to 9.1 and 10.2 km²), respectively, have high development potential. The strong quantitative and spatial consistency between the geomorphological document and model outputs confirms the validity of the research and highlights the effectiveness of geomorphological and hazard mapping in urban planning and resilience enhancement.

Cite this article: Karami, S., Salari, M., & Ganjaeian, H. (2026). Identification of Suitable Areas for the Physical Expansion of the Urban and Suburban Areas of Divandarreh Using Geomorphological Documents and Integrated Models. *Physical Geography Research Quarterly*, 58 (2), 19-38.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.413134.1007929>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Iran's geographical and geological setting places the country among the ten most disaster-prone regions in the world with respect to natural hazards. Disasters such as earthquakes, floods, droughts, soil erosion, and landslides continuously threaten cities and human settlements, causing extensive damage. Among Iranian provinces, Kurdistan Province, due to its diverse geomorphological characteristics, mountainous structure, and numerous drainage basins, is considered one of the most sensitive areas with respect to hydro-geomorphological hazards. Studies indicate that a significant portion of the province's land is exposed to seismic risk, severe soil erosion, and destructive floods, with the increasing trend of flood occurrence in recent decades resulting in substantial social and economic losses. Divandarreh city, as one of the major cities of Kurdistan Province, has experienced rapid physical expansion due to its geographical location, residential attractiveness, and rural-to-urban migration. If such development proceeds without adequate consideration of natural and geomorphological conditions, it may lead to increased urban vulnerability and the intensification of hazards. The prevalence of floods, landslides, slope instability, and soil erosion, combined with uncoordinated physical development, highlight the necessity of revising urban planning and management approaches in Divandarreh. Geomorphology, through its focus on landforms and governing processes, plays a crucial role in guiding sustainable urban development and provides a scientific basis for site selection, hazard zoning, and risk reduction. Given that urban development in Iran—particularly since the 1960s—has often occurred with limited integration of environmental sciences, many cities, including Divandarreh, face serious environmental and hazard-related challenges. Therefore, examining the physical development of Divandarreh through a geomorphological and hazard-oriented approach, aimed at identifying suitable, restricted, and prohibited development areas and preparing a realistic environmental framework, is essential for

achieving sustainability and enhancing urban resilience.

Methodology

A diverse set of data and tools was employed to achieve the research objectives. Library-based data were used to compile the theoretical framework and identify regional natural hazards through the review of theses, scientific articles, books, and relevant research projects. Statistical data included climatic and demographic information, collected from relevant organizations and institutions. Visual and spatial data consisted of Google Earth and Landsat satellite imagery, geological maps, and a 12.5 m resolution ALOS PALSAR digital elevation model, which were utilized for spatial and geomorphological analyses. Field surveys were conducted to validate and complement the collected data and to assess the actual conditions of the study area. Regarding research tools, physical instruments such as GPS devices and digital cameras were used for field data collection, while conceptual tools included various software platforms and analytical models. Google Earth Engine was applied to generate vegetation density maps; ArcGIS was utilized for spatial mapping and analysis; TerrSet software was employed to implement the WLC model; SuperDecisions was used to execute the ANP model; SPSS was applied for statistical calculations; and Google Earth was utilized for monitoring and visual assessment of the study area. The research was conducted in two main stages: first, the preparation of a comprehensive geomorphological and hazard framework for Divandarreh city and its surrounding area, and second, the identification of areas suitable for physical urban development.

Results and Discussion

The results of geomorphological and spatial analyses indicate that the natural structure of Divandarreh city plays a decisive role in shaping the physical development pattern of residential areas. The dominance of steep hilly terrains over more than 94% of the study area, together with the presence of deep river valleys and floodplains, reflects unstable geomorphological conditions and a high level of natural hazard risk. These

characteristics increase the sensitivity of the urban core and its periphery to hazards such as flooding and slope movements, significantly limiting the availability of land suitable for sustainable development. The outputs of multi-criteria decision-making models, including fuzzy gamma, WLC, and ANP, reveal that parameters such as slope, lithology, and distance from watercourses exert the greatest influence on land suitability for physical development. Accordingly, the northern parts of the urban area and sections along the Divandarreh–Saqqez transportation corridor exhibit the highest development potential due to gentler slopes, more favorable elevations, and greater distances from high-risk zones. In contrast, the southern parts of the city, steep valleys, and floodplains were identified as highly vulnerable areas where physical development would entail serious risks. The consistency among the results of different models confirms the reliability of the findings and demonstrates that the integrated application of geomorphological analysis and spatial decision-making models provides an effective approach for identifying safe zones for urban development.

Conclusion

The findings demonstrate that physical development of residential areas in Divandarreh city, if undertaken without adequate consideration of geomorphological characteristics and natural hazards, may result in undesirable consequences such as increased risk, environmental damage, and urban instability. The high diversity of landforms, the predominance of steep terrains, and the presence of flood-prone and landslide-susceptible areas underscore the necessity of adopting a preventive, science-based approach to urban planning. The integration of remote sensing data, GIS techniques, and multi-criteria decision-making models revealed that only a limited portion of the urban area and its surroundings—particularly the northern zones and areas along the Divandarreh–Saqqez axis—possess relatively suitable conditions for physical development. Consequently, concentrating urban expansion within these areas can reduce

natural hazards while promoting safer and more sustainable development. Moreover, the preparation of a geomorphological and hazard-based framework, as the main outcome of this research, serves as a strategic tool for urban managers and planners by facilitating informed development guidance, controlling physical expansion, and reducing urban vulnerability. Ultimately, this study emphasizes the importance of integrating geomorphological assessments and risk evaluation into higher-level urban planning documents and offers a practical model applicable to other cities with similar natural conditions.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

- Sina Karami: Writing the initial draft, compiling the introduction, collecting data and sources, and final editing the text.
- Mamand Salari (corresponding author): Research design, developing the methodology, analyzing and interpreting data, supervising the research process
- Hamid Ganjaian: Processing spatial data, preparing maps and graphic outputs, implementing spatial models.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی در پهنه شهری و پیراشهری دیواندره با به کارگیری سند ژئومورفولوژیکی و مدل‌های تلفیقی

سینا کرمی^۱، ممند سالاری^۲ ✉، حمید گنجائیان^۳ 

- ۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: karamisina0146@gmail.com
۲- نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: m.salari@uok.ac.ir
۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: h.ganjaain@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این پژوهش با هدف شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهر دیواندره بر پایه تدوین سند ژئومورفولوژیکی و تحلیل مخاطرات طبیعی انجام شده است. تنوع فرم‌ها و فرایندهای ژئومورفیک و شرایط توپوگرافیک منطقه، در کنار ایجاد ظرفیت‌های توسعه، محدودیت‌ها و تنگنایی را نیز برای گسترش کالبدی شهر به همراه دارد. از این رو، در گام نخست سند ژئومورفولوژیکی پهنه شهری با تمرکز بر فرم‌ها، فرایندها و مخاطرات غالب تهیه شد و سپس با رویکردی تلفیقی، مناطق مناسب توسعه در مقیاس شهری و پیراشهری شناسایی گردید. داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری ALOS PALSAR و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بود و تحلیل‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای ArcGIS, TerrSet و Super Decisions و مدل‌های گامای فازی و WLC انجام شد. نتایج سند ژئومورفولوژیکی نشان داد فرم تپه ماهوری با شیب کم که حدود ۴۷/۲ درصد (معادل ۳۹/۲ کیلومترمربع) از محدوده مطالعاتی را دربر می‌گیرد، به دلیل کمترین میزان فرایندهای فعال و مخاطرات، مناسب‌ترین بستر توسعه شهری است و عمدتاً در بخش‌های شمالی و شمال شرقی قرار دارد. همچنین بر اساس مدل‌های گامای فازی و WLC به ترتیب حدود ۲۵/۲ و ۲۸/۷ درصد (به معادل ۹/۱ و ۱۰/۲ کیلومترمربع) از این فرم دارای پتانسیل بالای توسعه است که از نظر مکانی با نتایج سند ژئومورفولوژیکی همخوانی دارد. در مجموع، یافته‌ها بیانگر کارآمدی اسناد ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی در برنامه‌ریزی و ارتقای تاب‌آوری شهری و قابلیت استفاده از نتایج به عنوان پایگاه داده مدیریتی برای توسعه آتی شهر است.
واژگان کلیدی: سند ژئومورفولوژیکی توسعه فیزیکی شهری مخاطرات شهر دیواندره.	

استناد: کرمی، سینا؛ سالاری، ممند و گنجائیان، حمید. (۱۴۰۵). شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی در پهنه شهری و پیراشهری دیواندره با به کارگیری سند ژئومورفولوژیکی و مدل‌های تلفیقی. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۸ (۲)، ۳۸-۱۹.

<http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.413134.1007929>

مقدمه

رشد شتابان شهرنشینی در دهه‌های اخیر به یکی از چالش‌های اساسی توسعه پایدار در مقیاس جهانی تبدیل شده است (Cao et al, 2024; Huang et al, 2024). در حال حاضر حدود ۵۴ درصد از جمعیت جهان در نواحی شهری سکونت دارند و پیش‌بینی می‌شود این میزان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۶۰ درصد افزایش یابد (Chini et al, 2019; Qi et al, 2024). این روند، در کنار محدودیت منابع و اراضی مناسب، سبب گسترش فیزیکی شهرها به سمت پهنه‌های ناپایدار و مستعد مخاطرات طبیعی شده است (Sundaram et al, 2023; Liang et al, 2024). تمرکز جمعیت، فعالیت‌های اقتصادی و زیرساخت‌ها در شهرها، آسیب‌پذیری آن‌ها را در برابر بلایای طبیعی افزایش داده و شهر را به کانون تجمع خطر تبدیل کرده است (Jeong et al, 2026; Khan et al, 2026; Din et al, 2026). مطالعات نشان می‌دهد که در کشورهای در حال توسعه، نبود برنامه‌ریزی مناسب و ضعف مدیریت سرزمین، موجب افزایش قابل توجه مخاطرات شهری و تشدید خسارات ناشی از آن‌ها شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کیانی و همکاران، ۱۴۰۳). در چنین شرایطی، مفاهیمی همچون «شهرهای پرخطر» و «شهر به مثابه خاستگاه خطر» شکل گرفته‌اند؛ مفاهیمی که بیانگر نقش شهرها در تولید و تشدید مخاطرات طبیعی و انسانی هستند (Meng et al, 2020). از سوی دیگر، ضعف دسترسی مدیران بحران به اطلاعات دقیق، مهارت‌های تخصصی و ابزارهای تحلیلی کارآمد، موجب شده است که مدیریت بحران در بسیاری از کشورها، از جمله ایران، عمدتاً ماهیتی واکنشی داشته باشد و نه پیشگیرانه که این رویکرد بحران محور، تنها پس از وقوع سانحه فعال می‌شود و در نتیجه، توان کاهش خسارات و افزایش تاب‌آوری شهری را به شدت محدود می‌کند (رهنما و همکاران، ۱۳۹۸؛ شبابانی و همکاران، ۱۴۰۱).

در ایران، ناکارآمدی نظام مدیریت و برنامه‌ریزی شهری موجب شده است که بسیاری از شهرها در برابر مخاطرات طبیعی به شدت آسیب‌پذیر باشند. غلبه نگاه واکنشی در مدیریت بحران، بدون توجه جدی به شناسایی و کاهش ریسک پیش از وقوع حادثه، این کشور را به یکی از مناطق پرخطر جهان از نظر پیامدهای بلایای طبیعی تبدیل کرده است (ابراهیم‌زاده و اسمعیل‌نژاد، ۱۳۹۶؛ رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۴). در واکنش به چنین شرایطی، نهادهای بین‌المللی با تدوین چارچوب‌هایی نظیر «طرح هیوگو^۱ برای عمل» و «چارچوب سندای^۲»، بر تغییر رویکرد از کاهش آسیب‌پذیری صرف به سمت افزایش تاب‌آوری شهری تأکید کرده‌اند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۴).

مخاطراتی نظیر زلزله، سیل، خشک‌سالی، فرسایش خاک و زمین لغزش، به‌طور مستمر شهرها و سکونتگاه‌های انسانی را تهدید می‌کنند و خسارات گسترده‌ای به بار می‌آورند (Kang et al., 2021; Wen et al, 2024). موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ایران، این کشور را در زمره ده کشور پرخطر جهان از نظر وقوع بلایای طبیعی قرار داده است (فرج‌زاده، ۱۳۹۲). شهر دیواندره، به عنوان یکی از شهرهای مهم استان کردستان، به دلیل موقعیت جغرافیایی، جذابیت سکونتی و مهاجرت روستایی، با رشد سریع توسعه فیزیکی مواجه است. این توسعه، در صورت بی‌توجهی به شرایط طبیعی و ژئومورفولوژیکی، می‌تواند منجر به افزایش آسیب‌پذیری شهری و تشدید مخاطرات شود. مخاطراتی نظیر سیلاب، زمین لغزش، ناپایداری دامنه‌ها و فرسایش خاک، همراه با توسعه کالبدی ناهماهنگ، ضرورت بازنگری در شیوه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت شهری دیواندره را آشکار می‌سازد.

علم ژئومورفولوژی با تمرکز بر شناخت فرم‌های زمین و فرآیندهای حاکم بر آن‌ها، نقش مهمی در هدایت توسعه پایدار شهری ایفا می‌کند و می‌تواند مبنایی علمی برای انتخاب مکان‌های مناسب توسعه، تعیین پهنه‌های پرخطر و کاهش

1. Hyogo
2. Sendai

ریسک مخاطرات فراهم آورد. با توجه به اینکه توسعه شهری ایران، به ویژه از دهه ۱۳۴۰ به بعد، اغلب بدون تعامل مؤثر با علوم محیطی صورت گرفته است، بسیاری از شهرها از جمله دیواندره با چالش‌های جدی زیست‌محیطی و مخاطره‌آمیز مواجه‌اند. از این رو، بررسی توسعه فیزیکی شهر دیواندره با رویکرد ژئومورفولوژیکی و مخاطره محور، به منظور شناسایی مناطق مستعد، محدود و ممنوع توسعه، و تهیه سندی ژئومورفولوژیکی و واقع‌بینانه از شرایط محیطی شهر، ضرورتی اساسی برای تحقق پایداری و افزایش تاب‌آوری شهری به شمار می‌رود.

در طی سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه توسعه شهری و مخاطرات طبیعی انجام شده است. در پژوهش‌های خارجی، سو و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر الگوهای استفاده از زمین و پراکندگی شهری بر افزایش خطر سیلاب در مناطق جدید شهری چین را بررسی کردند و نشان دادند که الگوی پراکنش فعلی برای مدیریت سیلاب ناکافی است (Su et al, 2014). دنداپات و پاندا (۲۰۱۸) با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق مستعد وقوع سیلاب در بنگال غربی را شناسایی کردند و مشخص شد که حدود ۳۹ درصد از سکونتگاه‌ها در معرض خطر قرار دارند (Dandapat & Panda, 2018). روسا و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری مناطق شهری در ایالت آلاگواس^۱ برزیل پرداختند و نشان دادند که مهم‌ترین مخاطره زیست‌محیطی منطقه، فرونشست زمین است به طوری که حدود ۹۰ درصد از این منطقه، در معرض مخاطره فرونشست زمین قرار دارد (Rosa et al, 2024). دنگ و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی عوامل مؤثر بر وضعیت آسیب‌پذیری زیست‌محیطی پارک‌های شهری در کشور چین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که تصمیم‌گیری در سطح کلان به جای تصمیم‌گیری در سطح محلی، به عنوان مهم‌ترین عوامل بروز مخاطرات زیست‌محیطی بوده است (Deng et al, 2024). در ایران، مطالعات مشابه با تمرکز بر رویکردهای ژئومورفولوژیکی و مخاطره محور انجام شده است. سالاری و همکاران (۱۳۹۶) با ارزیابی تناسب زمین شهر سنندج و اعمال مناطق ممنوعه، محدودیت‌های توسعه کالبدی این شهر را مشخص کردند. نیری و همکاران (۱۳۹۶) نیز جهات مناسب توسعه شهری کامیاران را با اعمال محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی تعیین کردند. زندمقدم و همکاران (۱۴۰۲) با روش‌های وزن دهی و پهنه‌بندی، آسیب‌پذیری شهر نسیم‌شهر در برابر مخاطرات طبیعی را بررسی کردند و نشان دادند که حدود ۷۰ درصد از محدوده شهر آسیب‌پذیر است. شریفی و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی، توسعه فضاهای شهری شهرستان نور را مورد مطالعه قرار دادند و مشخص کردند که حدود ۱۵ درصد از منطقه، پتانسیل آسیب‌پذیری بسیار بالا در برابر زمین لغزش دارد. همچنین پژوهش گنجائیان و همکاران (۱۴۰۴) نشان داد که در روستاهای منطقه اورامان، مناطق مرکزی دارای بالاترین سطح آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات طبیعی هستند. به طور کلی، پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که هم در مطالعات خارجی و هم داخلی، ترکیب تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی، پهنه‌بندی مخاطرات و ارزیابی شاخص‌های محیطی و کالبدی، ابزار مؤثری برای شناسایی مناطق مستعد توسعه و کاهش آسیب‌پذیری شهری است. این یافته‌ها مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری در مدیریت شهری، برنامه‌ریزی فضاهای سکونتگاهی و افزایش تاب‌آوری شهرها فراهم می‌کنند.

روش پژوهش

در این پژوهش، به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، از مجموعه‌ای متنوع از داده‌ها و ابزارها استفاده شده است؛ بدین صورت که داده‌های کتابخانه‌ای برای گردآوری مبانی نظری و شناخت مخاطرات طبیعی منطقه از طریق بررسی

پایان‌نامه‌ها، مقالات علمی، کتب و طرح‌های تحقیقاتی مرتبط مورد بهره‌برداری قرار گرفت. داده‌های آماری شامل اطلاعات اقلیمی و جمعیتی منطقه بوده که با مراجعه به سازمان‌ها و نهادهای ذی‌ربط جمع‌آوری شده‌اند. همچنین داده‌های تصویری تحقیق متشکل از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و لندست، نقشه‌های زمین‌شناسی و مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر است که به منظور تحلیل‌های مکانی و ژئومورفولوژیکی استفاده شدند. به منظور تکمیل و صحت‌سنجی داده‌ها، بازدیدهای میدانی نیز برای بررسی وضعیت واقعی منطقه انجام شد. در بخش ابزارهای تحقیق، از ابزارهای فیزیکی شامل GPS و دوربین عکاسی برای برداشت‌های میدانی بهره گرفته شد و ابزارهای مفهومی شامل نرم‌افزارها و مدل‌های تحلیلی متعددی به کار رفت؛ به طوری که سامانه گوگل ارث انجین^۱ برای تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی، نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه و تحلیل نقشه‌های مکانی، نرم‌افزار TerrSet برای اجرای مدل WLC، نرم‌افزار SuperDecisions برای پیاده‌سازی مدل ANP، نرم‌افزار SPSS برای انجام محاسبات آماری و نرم‌افزار Google Earth برای پایش و بررسی وضعیت منطقه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به موضوع و اهداف موردنظر، این تحقیق در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

مرحله اول (تهیه سند ژئومورفولوژیکی):

در این مرحله، هدف اصلی تهیه سند جامع ژئومورفولوژیکی شهر دیواندره و محدوده پیرامونی و مجاور آن بود. برای دستیابی به این هدف، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و دیگر داده‌های مکانی و نیز کار میدانی کامل همراه با شناخت از منطقه، نقشه واحدهای ژئومورفولوژیکی پهنه شهری دیواندره تهیه شد. این نقشه‌ها شامل شناسایی و تفکیک فرم‌های ژئومورفولوژیک مختلف مانند تپه‌ماهورها، دره‌ها، دشت‌های سیلابی و پادگانه‌ها بود که پایه‌ای برای تحلیل‌های بعدی فراهم می‌کرد. پس از تهیه نقشه‌ها، وضعیت هر فرم ژئومورفولوژیکی از نظر ویژگی‌های زمین‌شناختی، شیب، ارتفاع و ساختار زمین‌شناسی تشریح شد و فرایندهای ژئومورفولوژیکی غالب در هر واحد مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، توانمندی‌ها و محدودیت‌های هر فرم برای توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی تحلیل شد و نقاط ضعف و خطرپذیری‌های احتمالی مشخص گردید. به این ترتیب، هر واحد ژئومورفولوژیکی نه تنها از منظر توسعه شهری بلکه از نظر مخاطرات طبیعی مانند زمین لغزش، فرسایش دامنه‌ای، روانگرایی و سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. حاصل این مرحله، یک سند ژئومورفولوژیکی کامل است که برای اولین بار برای منطقه مطالعاتی به عنوان یک پایگاه اطلاعاتی تهیه گردید و می‌تواند به عنوان مرجع تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک مخاطرات طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

مرحله دوم (شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهر دیواندره):

در این بخش به منظور شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهر دیواندره و پهنه‌های پیراشهری آن برای سال‌های آتی، ابتدا بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده از مراحل قبل، واحد تپه‌ماهورهای کم شیب که نسبت به سایر واحدها، هم گستردگی بیشتری دارند و نیز دارای پتانسیل مخاطره‌پذیری کم‌تری هستند، به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده است تا مناطق مستعد از بین بخش‌ها و پهنه‌های مستعدتر آن‌ها انتخاب گردد. پس از انتخاب محدوده مورد مطالعه، با استفاده از پارامترهای مختلف طبیعی و انسانی و همچنین مدل تلفیقی گامای فاز و WLC، مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی با طی مراحل زیر شناسایی شده است:

1. Google Earth Engine

• شناسایی و استانداردسازی پارامترها: به منظور شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی، بر اساس نظرات کارشناسی و نیز مطالعات داخلی (سالاری و همکاران، ۱۳۹۶؛ نیری و همکاران، ۱۳۹۶؛ عامری، ۱۴۰۳؛ رجبی و همکاران، ۱۴۰۴) و خارجی (Effat & El-Zeiny, 2020., Ustaoglu & Aydınoglu, 2020)، از ۷ پارامتر فاصله از محدوده شهری دیواندره، فاصله از نقاط روستایی، فاصله از جاده اصلی، تراکم پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب و لیتولوژی استفاده شده است. به منظور تهیه لایه واحدهای ژئومورفولوژی، از تصاویر گوگل ارث استفاده شده است. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، شیب، از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر ALOSPALSAR و برای تهیه نقشه لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۰۰۰۰۰ منطقه استفاده شده است. همچنین با هدف تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی، از تصاویر ماهواره MODIS و سامانه گوگل ارث انجین استفاده شده است. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی موردنظر، لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای ارزش درون لایه‌ای، استانداردسازی شده‌اند. یعنی به مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی، ارزش نزدیک ۱ و به مناطقی که مستعد نیستند، ارزش نزدیک صفر داده شده است.

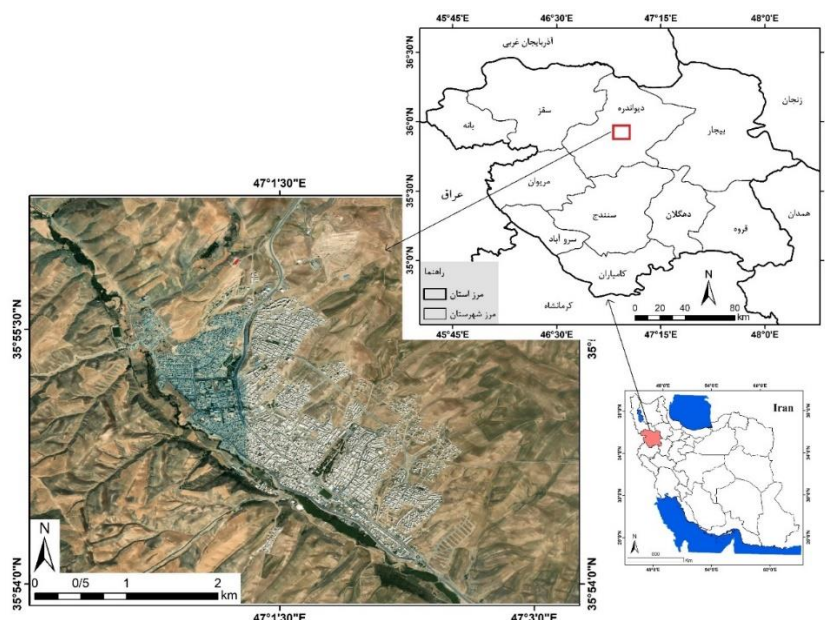
• وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی: پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و بر مبنای نظرات کارشناسان، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده است.

• اجرای مدل گامای فازی و ترکیب خطی وزن‌دار (WLC): پس از وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی و اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده، به منظور ترکیب لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی، از دو مدل گامای فازی و ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده گردید. علت استفاده هم‌زمان از این دو مدل، انجام اعتبارسنجی متقابل (cross-validation) و کاهش خطای ناشی از انتخاب یک مدل واحد است. این دو مدل از نظر دقت و ماهیت با یکدیگر تفاوت دارند؛ مدل WLC مبتنی بر میانگین وزنی ساده و منطق قطعی است و فرض می‌کند جبران‌پذیری کامل بین معیارها وجود دارد، درحالی‌که مدل گامای فازی (با مقدار گامای ۰/۷) در چارچوب منطق فازی عمل کرده و قابلیت مدل‌سازی تعاملات غیرخطی و روابط پیچیده بین معیارها را دارد (Lee, 2007). پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، در روش گامای فازی، لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS با هم ترکیب شده‌اند و در روش WLC، لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار TerrSet شده و با استفاده از این عملگر با هم ترکیب گردیده‌اند.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر بر اساس هدف پژوهش که تهیه سند ژئومورفولوژیکی و در مرحله بعد شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی است، شامل پهنه شهری و پیراشهری دیواندره است. شهر دیواندره، مرکز شهرستان دیواندره است و از نظر تقسیمات سیاسی در شمال استان کردستان قرار دارد (شکل ۱). شهر دیواندره با ۳۶۰۹۸ نفر جمعیت (مرکز آمار کشور، ۱۳۹۵) حدود ۴ کیلومترمربع وسعت دارد. البته در چند سال اخیر نیز تحت تأثیر موقعیت قرارگیری و نیز مهاجرت روستا-شهری، جمعیت و نیز مساحت پهنه شهری و پیراشهری آن افزایش یافته و بر مسائل ژئومورفولوژیکی و نیز مخاطراتی آن افزوده شده است. شهر دیواندره در ارتفاع حدود ۱۸۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد و از نظر اقلیمی نیز با میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی‌گراد، دارای میانگین بارش سالانه ۳۶۵ میلی‌متر است. بر اساس شناخت نسبی از منطقه و نیز بررسی‌های انجام‌گرفته میدانی و نیز داده‌های موجود، به لحاظ محیطی، پهنه شهری و نیز پیراشهری آن ترکیبی از فرم‌ها و فرایندهای مختلف شامل فرم‌های تپه ماهوری شیب‌دار و کم شیب، فرم دره‌ای با

عمق‌های متفاوت و نیز سیستم دشت سیلابی و پادگانه‌ای است که با توجه به ماهیت آن‌ها فرایندهای مختلف با درجات فعال بودن متفاوت در سطح آن‌ها قابل‌انتظار است و بر همین مبنا در مسیر توسعه پایداری شهری و نیز رویکرد آتی نگری، تهیه سند ژئومورفولوژیکی و نیز شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی ضروری است.



شکل ۱. نقشه موقعیت شهر دیواندره

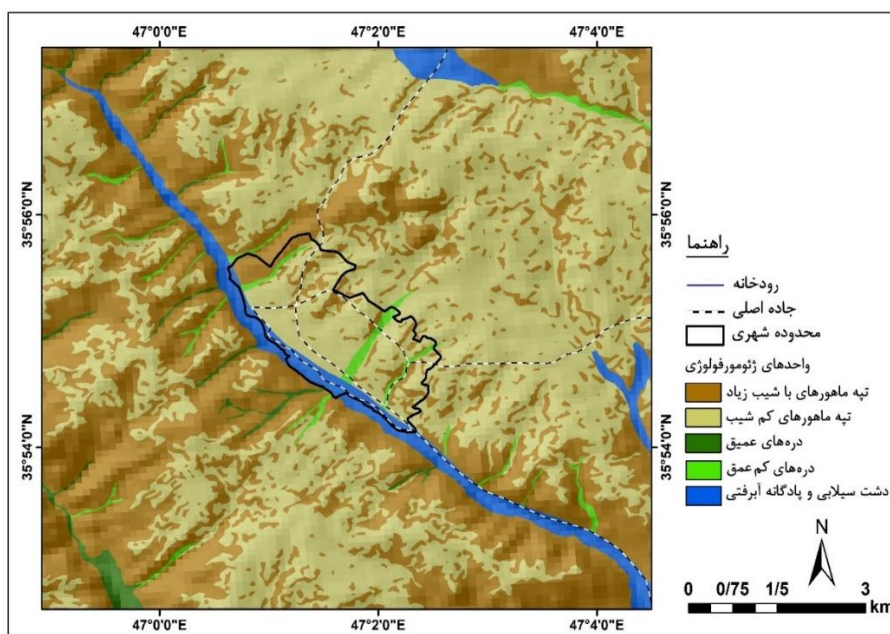
یافته‌ها

ارائه سند ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی شهر دیواندره

بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پهنه شهری و پیراشهری دیواندره بیانگر این است که این محدوده دارای تنوع لندفرمی زیادی است (شکل ۲ و ۳). نتایج تهیه سند ژئومورفولوژیکی نشان داد که از فرم‌های شاخص و غالب در محدوده مطالعاتی می‌توان به تپه‌ماهورها با شیب کم، تپه‌ماهورها با شیب زیاد، دشت سیلابی و سطوح پادگانه‌ای، دره‌های کم‌عمق و نیز عمیق به ترتیب اشاره نمود. مطالعات صورت گرفته نشان داد که تعامل فرم‌های موجود و فرایندهای ذاتی آن‌ها با توسعه سکونتگاهی شهری با کاربری‌های مختلف بسته به نوع فرم و فرایند دارای محدودیت‌ها و بعضاً قابلیت‌هایی برای توسعه شهری هستند که بسته به میزان و نوع کاربری شهری این تنگناها و پتانسیل‌ها متفاوت است و بر همین اساس در سند مذکور برای منطقه مطالعاتی شناسایی و استخراج و در ادامه مورد اشاره قرار گرفته‌اند.

در این راستا قابل اشاره است که الگوهای ژئومورفولوژیکی پهنه شهری و پیراشهری دیواندره محدودیت‌های قابل توجه برای توسعه کالبدی آن ایجاد کرده‌اند، به طوری که فرم تپه‌ماهوری پرشیب با شیب بیش از ۱۰ درجه حدود ۳۶/۹ کیلومترمربع (۴۴/۵ درصد) از کل منطقه و ۲۰ درصد از محدوده شهری را در برمی‌گیرند و به دلیل خطر زمین لغزش و روانگرایی، فاقد پتانسیل توسعه هستند. در مقابل، فرم تپه‌ماهوری کم‌شیب با سهمی معادل ۳۹/۲ کیلومترمربع (۴۷/۲ درصد) از وسعت منطقه و نزدیک به ۷۰ درصد از محدوده شهری، با توجه به شرایط غالب آن‌که نوعی پتانسیل ژئومورفولوژیکی برای توسعه فیزیکی است، بیش‌ترین پهنه سکونتگاهی را تشکیل داده‌اند، اما همچنان در معرض سیلاب و فرایندهای دامنه‌ای از جمله روانگرایی نسبی و خزش‌های دامنه‌ای قرار دارند.

دره‌های پرشیب با پوشش $\frac{1}{3}$ کیلومترمربع ($\frac{1}{6}$ درصد) از منطقه به دلیل خطر بالای حرکات دامنه‌ای و سیلاب‌های شدید از پرمخاطره‌ترین واحدها محسوب می‌شوند که به دلیل عدم حضور در پهنه شهری و نیز پهنه پیراشهری در معرض توسعه آتی به لحاظ سند ژئومورفولوژیکی منطقه مطالعاتی قابل توجه نیستند، ولی در صورت وجود برنامه‌های توسعه‌ای خاص و موردی ضرورت رعایت حریم ممنوعه، مشروط و مجاز آن‌ها ضروری است. با این وجود فرم دره‌های کم شیب با سهمی مشابه، یعنی $\frac{1}{5}$ کیلومترمربع ($\frac{1}{8}$ درصد) از منطقه و ۱۰ درصد از محدوده شهری، با توجه به محدوده استقرار آن‌ها که قسمتی از آن‌ها منطبق بر پهنه شهری و پیراشهری است قابل توجه بوده و نتایج نشان داد که فرایند فعال و مخاطره غالب آن‌ها وجود معرض سیلاب فصلی و خزش هستند. در نهایت، فرم‌های رودخانه‌ای (دشت سیلابی و پادگانه‌های آبرفتی) با وجود پوشش محدود، نزدیک به $\frac{4}{1}$ کیلومترمربع ($\frac{4}{9}$ درصد) از محدوده مطالعاتی را شامل می‌شوند و با توجه به ماهیت فرمی پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند و از آسیب‌پذیرترین پهنه‌های منطقه به شمار می‌آیند و به ویژه در محدوده پیراشهری دیواندره و در پیرامون کمربندی و خروجی به سمت سنندج در نظام توسعه شهری باید دقت و کنترل حریمی قابل توجهی روی آن‌ها صورت گیرد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که بیش از $\frac{91}{7}$ درصد (معادل $\frac{76}{1}$ کیلومترمربع) از مساحت منطقه دربرگیرنده فرم‌های تپه ماهوری و بقیه نیز مشتمل بر فرم دشت سیلابی، پادگانه آبرفتی و دره‌ها با شیب‌های متفاوت می‌باشد (جدول ۱).



شکل ۲. نقشه واحدهای ژئومورفولوژی منطقه شهری پیراشهری دیواندره



شکل ۳. تصاویر فرم‌های ژئومورفولوژیک پهنه شهری و پیراشهری دیواندره (۱) فرم تپه ماهور با شیب زیاد (۲) فرم تپه ماهور با شیب کم (۳) دشت سیلابی و فرم پادگانه آب‌رفتی (۴) دره با عمق زیاد (۵) دره با عمق کم

جدول ۱. مساحت و درصد مساحت فرم‌های ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه

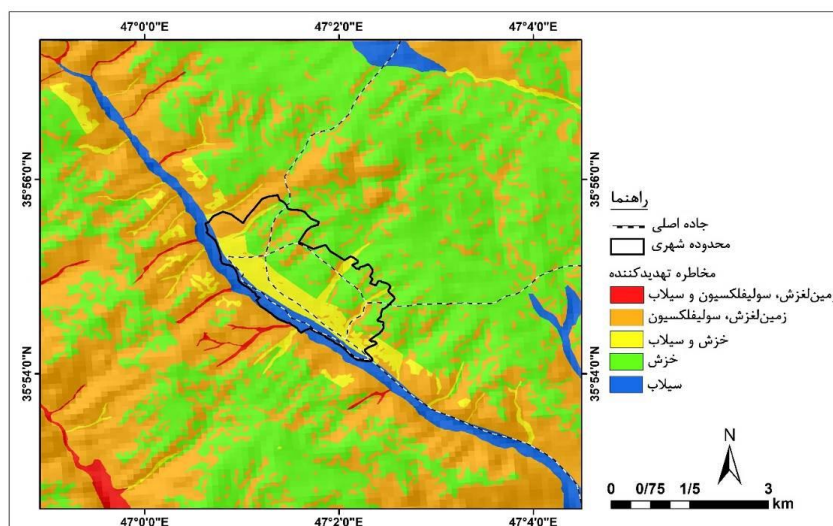
ردیف	نوع فرم	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
۱	تپه ماهورهای با شیب زیاد	۳۶/۹	۴۴/۵
۲	تپه ماهورهای با شیب کم	۳۹/۲	۴۷/۲
۳	دره‌های عمیق	۱/۳	۱/۶
۴	دره‌های کم‌عمق	۱/۵	۱/۸
۵	دشت سیلابی و پادگانه آب‌رفتی	۴/۱	۴/۹
۶	مجموع	۸۳	۱۰۰

با توجه به وضعیت ژئومورفولوژیکی پهنه شهری و پیراشهری دیواندره که دارای تنوع فرم و فرایند و به تبع آن دامنه‌ای از انواع مخاطرات طبیعی است، ارزیابی مکانی-فضایی مخاطرات طبیعی پهنه مطالعاتی بر مبنای سند ژئومورفولوژیکی و در مسیر تکمیل رویکرد سیستماتیک آن انجام شد. نتایج نشان داد که بخش وسیعی از محدوده مطالعاتی تحت تأثیر فرم‌ها و فرایندهای ژئومورفولوژیک قرار دارد و در معرض انواع مخاطرات طبیعی است. با توجه به اهمیت موضوع، در ادامه نتایج با تأکید بر پهنه شهری و پیراشهری مورد اشاره قرار گرفته است (شکل ۴).

بر اساس ارزیابی‌های انجام شده، مناطق جنوبی منطبق بر پهنه شهری و پیراشهری دیواندره که غالباً شامل دشت‌های سیلابی و تپه‌ماهورهای پرشیب هستند، بیش‌ترین آسیب‌پذیری را دارند. ضمن آن‌که مخاطره سیلاب غالب است، بخش‌هایی از این پهنه به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر سه مخاطره سیلاب، روانگرایی خاک و زمین لغزش قرار دارد. شیب زیاد تپه‌ها و نزدیکی به بستر رودخانه‌ها، زمینه را برای وقوع سیلاب، زمین لغزش‌های بزرگ، روانگرایی و فرسایش دامنه‌ای شدید فراهم کرده و توسعه انسانی را در این بخش‌ها محدود و پرخطر می‌سازد.

همچنین بخش‌هایی از حاشیه جنوبی و غربی شهر به دلیل ترکیب شیب متوسط و فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی و ساخت‌وساز، بیش‌تر در معرض خزش‌های آهسته و سیلاب‌های فصلی قرار دارند. در مقابل، مناطق شمالی و شمال شرقی شهر که دارای شیب کم و فاصله مناسب از بستر رودخانه‌ها هستند، عمدتاً تنها در معرض خزش‌های آرام دامنه‌ای قرار دارند و پتانسیل مخاطره‌پذیری آن‌ها نسبت به سایر نواحی کمتر است. با این حال، حتی این بخش‌ها نیز به دلیل تغییرات کاربری اراضی و افزایش نفوذ رواناب‌ها نیازمند مراقبت و مدیریت هستند.

نتایج نهایی نقشه‌های تهیه‌شده و تحلیل آن‌ها نشان داد که بیش از ۵۰ درصد از پهنه شهری و فضای پیراشهری در بخش جنوبی تحت تأثیر یک یا چند مخاطره قرار دارند (جدول ۲). این موضوع ضرورت توجه به سند ژئومورفولوژیکی-مخاطراتی را به عنوان یکی از مسیرهای توسعه پایدار شهری در کنار مسائل مهندسی شهر مطرح می‌نماید تا بر مبنای آن، ضمن تدوین راهبردهای جامع مدیریت ریسک و تعیین مناطق ممنوعه، مشروط و مجاز در پهنه‌های شهری و پیراشهری مطالعاتی، در جهت افزایش تاب‌آوری شهری حرکت نمود.



شکل ۴. نقشه وضعیت مخاطره‌پذیری منطقه مورد مطالعه بر مبنای فرم‌های ژئومورفولوژی

جدول ۲. وضعیت مخاطره‌پذیری، مساحت و درصد مساحت فرم‌های منطقه مورد مطالعه

ردیف	مخاطره تهدیدکننده	نوع فرم	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۱	زمین لغزش، سولیفلیکسیون و سیلاب	تپه ماهورهای با شیب زیاد و در حریم رودخانه	۲	۲/۴
۲	زمین لغزش و سولیفلیکسیون	تپه ماهورهای با شیب زیاد	۳۶/۲	۴۳/۶
۳	خزش و سیلاب	تپه ماهورهای با شیب کم	۵/۱	۶/۱
۴	خزش	تپه ماهورهای با شیب کم و فاصله بیش از ۵۰ متری از رودخانه اصلی	۳۶/۳	۴۳/۷
۵	سیلاب	پادگانه‌های آبرفتی و دشت‌های سیلابی	۳/۴	۴/۱
۶	مجموع	-	۸۳	۱۰۰

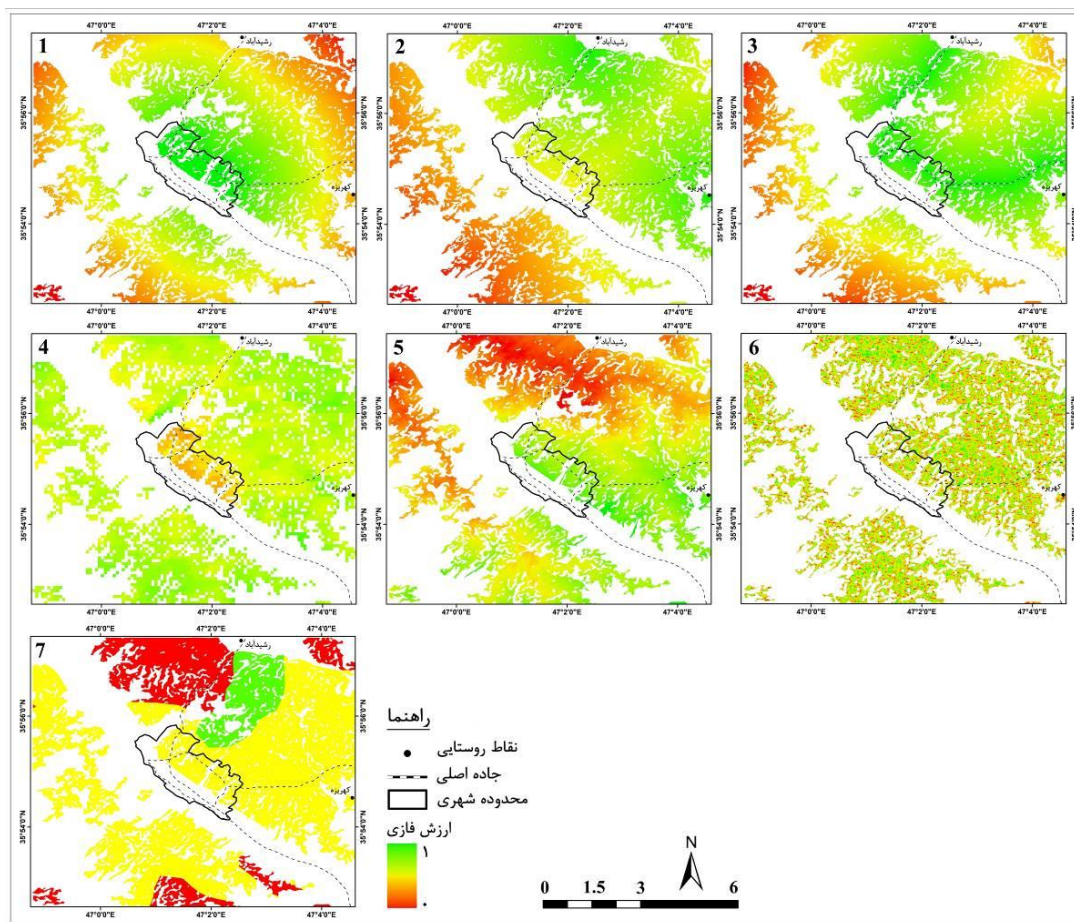
شناسایی مناطق مستعد توسعه نواحی سکونتگاهی

نتایج حاصل از تهیه سند ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی در مرحله قبل نشان داد که شهر دیواندره در معرض مخاطرات متنوعی قرار دارد و همین مسئله بیانگر محدودیت نسبی و به تبع آن ضرورت تعیین پهنه‌های با سطح خطر کمتر برای توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی در سال‌های آتی است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در تکمیل مبحث اول که مبتنی بر شناسایی فرم، فرایندهای فعال و به تبع آن مخاطرات موجود پهنه با تمرکز بیشتر بر روی پهنه شهری موجود و مجاور آن بود، به شناسایی مناطق مستعد و دارای قابلیت توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی برای سال‌های آتی با رویکرد گسترده‌تر و در سطح پهنه شهری و پیراشهری پرداخته‌شده است. لازم به ذکر است که بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده از مرحله قبل، در این مرحله تمرکز تنها بر روی فرم و واحد تپه‌ماهورهای کم شیب است که اختصاصات

محیطی مناسب‌تری برای توسعه فیزیکی سکونتگاهی دارند تا بتوان بر مبنای مدل‌های سیستمی و تنوع پارامترها، دقیق‌تر در مسیر مکان‌یابی سکونتگاهی بهینه در تعامل با سند ژئومورفولوژیکی در سطح آن گام برداشت.

الف) تشریح پارامترهای مورد استفاده

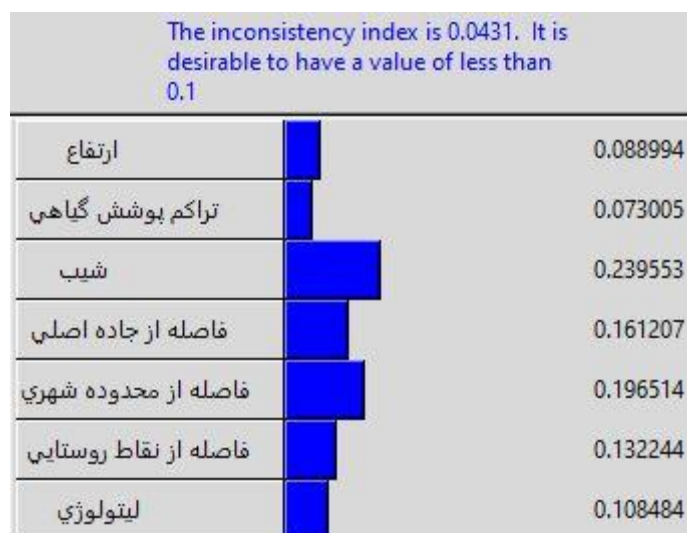
برای شناسایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهر دیواندره، در سطح فرم تپه ماهوری کم شیب به عنوان پهنه منتخب، از ۷ پارامتر مؤثر شامل فاصله از محدوده شهری، فاصله از نقاط روستایی، فاصله از جاده اصلی، تراکم پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب و لیتولوژی استفاده گردید. نقشه‌های تهیه‌شده با استفاده از منطق فازی استانداردسازی شدند و ارزش هر پارامتر در بازه صفر تا یک تعیین گردید (شکل ۱-۵ تا ۷-۵). پارامتر فاصله از محدوده شهری، به دلیل نقش کلیدی در کاهش هزینه‌ها و دسترسی به خدمات، از اهمیت بالایی برخوردار است؛ از این رو، پهنه‌های نزدیک‌تر به شهر، ارزش فازی بالاتری دریافت کردند. فاصله از نقاط روستایی نیز با توجه به حضور دو روستای رشیدآباد و کهریشه به عنوان کانون‌های جمعیتی مؤثر، به گونه‌ای ارزش‌گذاری شد که مناطق مجاور این روستاها از پتانسیل بالاتری برای توسعه برخوردار باشند. فاصله از جاده اصلی نیز به عنوان عامل دسترسی، با اختصاص ارزش‌های نزدیک به یک به مناطق مجاور جاده، در تحلیل لحاظ گردید. پارامتر تراکم پوشش گیاهی با هدف حفظ تعادل زیست‌محیطی، با استفاده از تصاویر مادیس و سامانه گوگل ارث انجین تهیه شد و مناطق با پوشش کم تراکم‌تر، ارزش بالاتری برای توسعه دریافت کردند. ارتفاع اگرچه در محدوده تپه ماهوری کم شیب تغییرات محدودی دارد، اما مناطق کم ارتفاع‌تر به دلیل پایداری بیشتر و هزینه کمتر آماده‌سازی، ارزش بالاتری کسب کردند. شیب نیز با توجه به اینکه غالب منطقه دارای شیب کمتر از ۱۰ درجه است، اما مناطق با شیب نزدیک به ۱۰ درجه به دلیل خطر روانگرایی و خزش، ارزش کمتری دریافت کردند. در نهایت، لیتولوژی بر اساس سه دسته مواد آهکی، شیلی و رسوبی ارزش‌گذاری شد و پوشش‌های آهکی بالاترین ارزش را به خود اختصاص دادند.



شکل ۵. نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی

ب) وزن دهی به پارامتر

پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، به منظور وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شد. در این راستا، ابتدا ساختار شبکه‌ای معیارها طراحی گردید و با در نظر گرفتن روابط درونی و بیرونی میان آن‌ها، ماتریس مقایسه‌ای زوجی شامل ۷ سطر و ۷ ستون تشکیل شد تا میزان اهمیت و تأثیر هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص گردد. برای امتیازدهی به معیارها، از پرسش‌نامه و نظرات کارشناسان و خبرگان حوزه مرتبط بهره گرفته شد. سپس محاسبات لازم با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions انجام گرفت و وزن نهایی هر معیار استخراج شد (شکل ۶). نتایج حاصل از ارزیابی معیارهای ۷ گانه بیانگر درجات تأثیرگذاری و اهمیت آن‌ها به ترتیب شامل شیب، فاصله از نقاط شهری، فاصله از جاده، فاصله از نقاط روستایی، لیتولوژی، ارتفاع و نهایتاً تراکم پوشش گیاهی در محدوده وزنی ۰/۲۳۹ تا ۰/۰۷۳ است. در مرحله بعد، این وزن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر روی لایه‌های فازی شده اعمال گردید تا زمینه تلفیق نهایی معیارها و شناسایی مناسب‌ترین مناطق برای توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی در قالب مدل گامای فازی و مدل WLC فراهم شود.



شکل ۶. وزن نهایی معیارها بر اساس مدل ANP

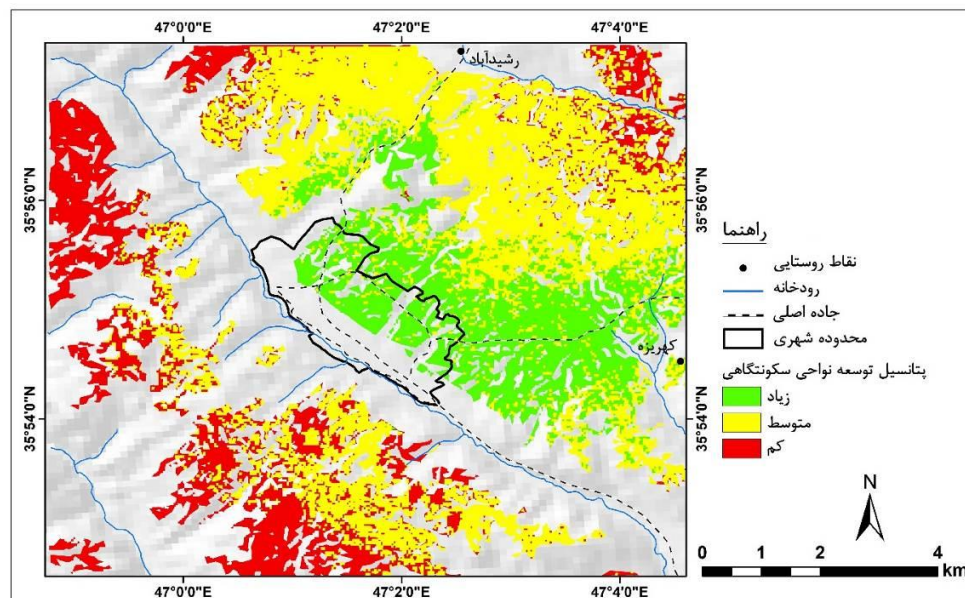
ج) تهیه نقشه‌های نهایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی

پس از تعیین وزن‌ها و اعمال آن‌ها بر روی لایه‌های اطلاعاتی، این لایه‌ها با استفاده از دو روش گامای فازی و WLC ترکیب شدند تا در نهایت نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی محدوده مطالعاتی تهیه گردد و در تعامل با سند ژئومورفولوژیکی که در مرحله قبل تهیه گردید، یک پایگاه اطلاعاتی مناسب برای توسعه فیزیکی و شناخت از پهنه مطالعاتی در این مسیر گردند.

در مرحله اول بر مبنای مدل گامای فازی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تلفیق شدند و به شناسایی نواحی و پتانسیل نواحی سکونتگاهی در سطح پهنه مطالعاتی اقدام گردید (شکل ۷). نتایج حاصل از اجرای مدل گامای فازی نشان داد که پهنه‌های منتخب که واحد تپه ماهوری کم شیب بود و مدل در سطح آن اجرا شد، به ترتیب ۹/۱ کیلومترمربع دارای پتانسیل زیاد، ۱۵/۲ کیلومترمربع پتانسیل متوسط و ۱۱/۶ کیلومترمربع دارای پتانسیل کم برای توسعه سکونتگاهی هستند. به بیانی دیگر ۲۵/۳ درصد پهنه دارای پتانسیل زیاد و ۳۲/۲ درصد دارای پتانسیل کم برای توسعه در مسیر نواحی سکونتگاهی هستند.

بررسی موردی خروجی نقشه حاصل از مدل گامای فازی نشان داد که پهنه شمالی محدوده شهری به همراه بخشی از مناطق شمال شرقی محدوده شهری دیواندره پتانسیل مناسبی برای توسعه سکونتگاهی دارند و می‌توانند به عنوان جهت‌ها و مسیرهای مناسب

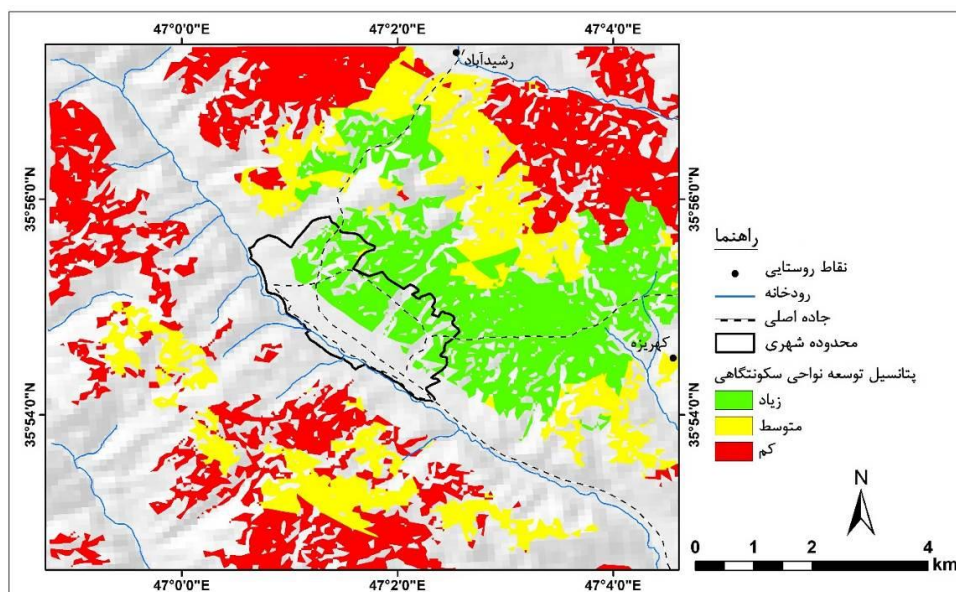
توسعه شهری دیواندره و نیز در صورت وجود کانون‌های جمعیتی روستایی، پهنه‌های مناسب توسعه در سطح آن باشند. به صورت دقیق‌تر و به عنوان نمونه می‌توان بر اساس نتایج مدل گامای فازی، بخش‌هایی از فضای پیرامونی شهر در محدوده شمالی، همچنین خروجی شهر دیواندره به سمت زربینه و سقز و نیز نواحی پیرامونی روستای کهریزه را به عنوان پهنه‌های مناسب تعیین و معرفی نمود. از دلایل آن نیز می‌توان به معیارهای تعیین‌کننده شرایط توپوگرافیک همراه با نزدیکی به محدوده شهری دیواندره، نزدیکی به جاده اصلی و نیز نقاط روستایی اشاره نمود.



شکل ۷. نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی با استفاده از مدل گامای فازی

در مرحله بعد، با هدف دقت بیشتر و ایجاد یک بعد ترکیبی و سیستماتیک در شناسایی نواحی مستعد سکونتگاهی در سطح پهنه مطالعاتی، از روش WLC نیز استفاده گردید. در این راستا، لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار TerrSet شدند و با بهره‌گیری از عملکرد WLC، این لایه‌ها با یکدیگر تلفیق گردیدند تا نقشه نهایی مناطق مستعد تهیه شود (شکل ۸). نتایج حاصل از اجرای مدل WLC نشان داد که پهنه‌های منتخب که واحد تپه ماهوری کم شیب بود و مدل در سطح آن اجرا شد، به ترتیب $10/3$ کیلومترمربع دارای پتانسیل زیاد، $9/6$ کیلومترمربع پتانسیل متوسط و 16 کیلومترمربع دارای پتانسیل کم برای توسعه سکونتگاهی هستند. به بیانی دیگر $28/7$ درصد پهنه دارای پتانسیل زیاد و $44/6$ درصد دارای پتانسیل کم برای توسعه در مسیر نواحی سکونتگاهی هستند (جدول ۳).

نتایج موردی این مدل نشان داد که نواحی با پتانسیل زیاد برای توسعه سکونتگاهی با مدل گامای فازی به لحاظ مساحت پهنه و نیز پراکنش جغرافیایی پهنه‌ها انطباق نسبتاً بالایی با سند ژئومورفولوژیکی تهیه‌شده دارند. به صورتی که در این مدل نیز مناطق شمالی محدوده شهری دیواندره به همراه بخش‌هایی از شمال شرقی محدوده شهری و نیز نواحی منتهی به مسیر جاده اصلی دیواندره-سقز دارای بیش‌ترین پتانسیل برای توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی هستند. این مناطق به دلیل نزدیکی به محدوده شهری دیواندره، نزدیکی به جاده اصلی و شرایط توپوگرافیک، پتانسیل بالایی از نظر توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی دارند.



شکل ۸. نقشه نهایی مناطق مستعد توسعه فیزیکی نواحی سکونتگاهی با استفاده از مدل WLC

جدول ۳. مساحت و درصد مساحت طبقات

کلاس	گامای فاز	WLC	درصد مساحت
مسطح (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مسطح (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
زیاد	۹/۱	۲۵/۳	۲۸/۷
متوسط	۱۵/۲	۴۲/۳	۲۶/۷
کم	۱۱/۶	۳۲/۳	۴۴/۶

بحث

پژوهش حاضر با رویکردی تلفیقی و سیستمی، دو هدف اصلی را دنبال کرده است: نخست، تهیه سند جامع ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی برای پهنه شهری و پیراشهری دیواندره؛ و دوم، شناسایی پهنه‌های مستعد توسعه فیزیکی آینده با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (گامای فاز و WLC) یافته‌ها نه تنها مبنایی علمی برای برنامه‌ریزی پایدار شهری در این منطقه فراهم می‌آورند، بلکه چارچوبی روش‌شناختی قابل تکرار برای سایر شهرهای با شرایط ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی مشابه ارائه می‌دهند.

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش، تهیه سندی نظام‌مند است که هم‌زمان به فرم‌های زمین، فرایندهای فعال و مخاطرات وابسته به آن‌ها توجه دارد. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که یا صرفاً به پهنه‌بندی مخاطرات پرداخته‌اند یا صرفاً به ارزیابی تناسب اراضی، پژوهش حاضر این دو بُعد را در یک سامانه تصمیم‌گیری مکانی یکپارچه تلفیق کرده است. نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که فرم‌های غالب منطقه - به ویژه توپوگرافی تپه ماهوری پرشیب - محدودیت‌های جدی برای گسترش شهری ایجاد می‌کنند، درحالی‌که واحدهای تپه ماهوری کم شیب (که حدود ۴۷ درصد از مساحت را پوشش می‌دهند) با رعایت ملاحظات مدیریت ریسک، بالاترین پتانسیل را برای توسعه دارند. این یافته با نتایج سالاری و همکاران (۱۳۹۶) و نیری و همکاران (۱۳۹۶) در مناطق کوهستانی مشابه استان کردستان همخوانی دارد، جایی که شیب و لیتولوژی به عنوان عوامل کلیدی محدودکننده رشد شهری شناسایی شده‌اند.

هم‌افزایی مکانی میان خروجی‌های مدل‌های گامای فاز ی و WLC با سند ژئومورفولوژیکی مستقل تهیه شده، نکته‌ای بسیار درخور توجه است. هر دو مدل، بخش‌های شمالی و شمال شرقی شهر و نیز محور ترانزیتی دیواندره-سقز را به عنوان مناسب‌ترین پهنه‌ها برای توسعه آینده معرفی کرده‌اند. این همگرایی مکانی، نه تنها اعتبار رویکرد مدل‌سازی را تأیید می‌کند، بلکه نشان می‌دهد که کاربرد تلفیقی منطق فاز ی و ترکیب خطی وزنی می‌تواند تعاملات غیرخطی میان معیارها را به خوبی شبیه‌سازی کند (Lee، 2007). این که حدود ۲۵ تا ۲۸ درصد از واحد تپه ماهوری کم شیب به عنوان پهنه‌های با پتانسیل بالا طبقه‌بندی شده است، حاکی از آن است که با وجود محدودیت‌های کلی، ظرفیت واقع‌گرایانه‌ای برای پاسخگویی به رشد جمعیت و توسعه فیزیکی آینده وجود دارد، مشروط بر اینکه توسعه به دقت هدایت و ضابطه‌مند شود.

در بُعد کاربردهای عملی، سند ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی تدوین شده در این پژوهش می‌تواند به عنوان ابزاری راهبردی برای مدیران شهری، برنامه‌ریزان و متولیان کاهش ریسک بلایا عمل کند و امکان‌های زیر را فراهم آورد: (الف) تعیین پهنه‌های ممنوعه، مشروط و مجاز برای ساخت‌وساز؛ (ب) اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی در مناطق ایمن‌تر؛ (پ) الزام به رعایت استانداردهای ساخت‌وساز و اقدامات ژئوتکنیکی در تپه‌ماهورهای کم شیب؛ و (ت) حفاظت از دشت‌های سیلابی و دره‌های عمیق به عنوان کریدورهای طبیعی و حریم‌های سبز. چنین سندی به ویژه برای دیواندره، با توجه به مهاجرت روزافزون روستا-شهری و گسترش شتابزده و ناهماهنگ کالبدی در سال‌های اخیر، بسیار به‌موقع و ضروری است. از این حیث، پژوهش حاضر به‌طور مستقیم به فراخوان چارچوب سندای برای کاهش خطر بلایا (۲۰۱۵-۲۰۳۰) برای برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک و ارتقای تاب‌آوری شهری پاسخ داده است.

با این حال، پژوهش بدون محدودیت نیست. نخست، تحلیل به یک شهر و حومه بلافاصله آن محدود شده است که ممکن است تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به سایر مناطق با شرایط ژئومورفولوژیکی متفاوت محدود کند. دوم، پژوهش عمدتاً بر پارامترهای ایستا (همچون شیب، لیتولوژی، ارتفاع و کاربری اراضی) استوار است و سناریوهای پویای تغییر اقلیم یا پیش‌بینی‌های تغییرات آبی کاربری اراضی را در برنمی‌گیرد. سوم، وزن دهی به معیارها با روش ANP، اگرچه مبتنی بر نظر خبرگان است، اما به‌ناچار دارای درجه‌ای از ذهنی‌گرایی است که می‌تواند بر نقشه‌های نهایی تناسب تأثیر بگذارد. چهارم، قدرت تفکیک زمانی داده‌های پوشش گیاهی مادیس ممکن است تغییرات فصلی و بین‌سالانه تراکم پوشش گیاهی را که بر تصمیمات توسعه تأثیرگذار است، به خوبی منعکس نکند. این محدودیت‌ها، مسیرهایی را برای پژوهش‌های آینده می‌گشایند: گنجاندن پیش‌بینی‌های مخاطرات متأثر از اقلیم (مانند افزایش فراوانی سیلاب‌ها به دنبال تشدید بارش‌ها)، تلفیق معیارهای اقتصادی-اجتماعی (همچون قیمت زمین، دسترسی به خدمات، تراکم جمعیت)، و به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مانند جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان) برای مقایسه و به‌روزرسانی نقشه‌های تناسب. افزون بر این، اتخاذ رویکردی مشارکتی با حضور جوامع محلی و ذی‌نفعان، می‌تواند پذیرش اجتماعی و قابلیت اجرایی پهنه‌های پیشنهادی را افزایش دهد.

در مجموع، این پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق نظام‌مند اسناد ژئومورفولوژیکی با مدل‌های فاز ی و ترکیبی وزنی، چارچوبی استوار و شواهد-محور برای هدایت توسعه شهری در مناطق کوهستانی مخاطره‌خیز فراهم می‌آورد. هم‌افزایی مکانی و کمی قوی میان سند ژئومورفولوژیکی و خروجی‌های مدل‌ها، اعتبار رویکرد را تأیید کرده و این استدلال را تقویت می‌کند که نقشه‌برداری ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی باید پیش‌نیازی الزامی برای تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی شهری باشد - نه یک گزینه الحاقی. برای دیواندره، پهنه‌های مستعد شناسایی شده در شمال و شمال شرق، مسیری عملی برای رشد پایدار ارائه می‌دهند، درحالی‌که دشت‌های سیلابی جنوبی و دره‌های پرشیب باید به عنوان مناطق

ممنوعه ساخت‌وساز به دقت حفاظت شوند. با اتخاذ این پارادایم برنامه‌ریزی پیشگیرانه و مکان-آگاهانه، شهر می‌تواند آسیب‌پذیری خود را در برابر مخاطرات طبیعی به‌طور قابل‌توجهی کاهش داده و به سوی آینده‌ای تاب‌آورتر و پایدارتر حرکت کند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تهیه سند ژئومورفولوژیکی و مخاطراتی و شناسایی پهنه‌های مستعد توسعه فیزیکی شهر دیواندره انجام شد. یافته‌ها نشان داد که پهنه شهری و پیراشهری دیواندره از تنوع ژئومورفولوژیکی بالایی برخوردار است و فرم‌های غالب شامل تپه‌ماهورهای پرشیب، تپه‌ماهورهای کم‌شیب، دره‌ها و دشت‌های سیلابی هستند. تپه‌ماهورهای پرشیب با وجود وسعت قابل‌توجه، به دلیل مخاطراتی نظیر لغزش و روانگرایی، فاقد ظرفیت توسعه بوده و نیازمند رویکردهای حفاظتی هستند. در مقابل، تپه‌ماهورهای کم‌شیب با پوشش ۴۷/۲ درصد از منطقه، مناسب‌ترین پهنه برای توسعه شهری محسوب می‌شوند، هرچند توسعه در آن‌ها نیازمند رعایت اصول مدیریت ریسک است. دشت‌های سیلابی و دره‌ها نیز به دلیل ناپایداری دامنه‌ای و پتانسیل سیل‌خیزی بالا، باید از چرخه توسعه خارج و به حریم‌های حفاظتی اختصاص یابند.

نتایج مدل‌های گامای فازی و WLC نشان داد که حدود ۳۰ درصد از پهنه تپه‌ماهوری کم‌شیب، پتانسیل بالایی برای توسعه دارد که عمدتاً در بخش‌های شمالی و شمال شرقی شهر و محور دیواندره-سقز متمرکز است. انطباق مکانی بالای نتایج مدل‌ها با سند ژئومورفولوژیکی، اعتبار پژوهش را تأیید می‌کند. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود توسعه آتی شهر به سمت پهنه‌های شمالی و شمال شرقی هدایت‌شده و مناطق جنوبی و جنوب شرقی (دشت‌های سیلابی) به عنوان مناطق ممنوعه در نظر گرفته شوند. تدوین ضوابط ساخت‌وساز، انجام مطالعات ژئوتکنیکی، تثبیت شیب‌ها و مدیریت رواناب‌ها در تپه‌ماهورهای کم‌شیب، می‌تواند ریسک مخاطرات را کاهش دهد. در مجموع، برآیند سند ژئومورفولوژیکی و نقشه‌های پتانسیل‌سنجی، پایگاه داده‌ای کارآمد برای برنامه‌ریزی مبتنی بر شواهد مکانی و ارتقای تاب‌آوری شهری فراهم می‌آورد.

حامی مالی

بر اساس اظهار نویسندگان، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

- سینا کرمی: نگارش پیش‌نویس اولیه، تدوین مقدمه، جمع‌آوری داده‌ها و منابع، و ویرایش نهایی متن.
- ممند سالاری (نویسنده مسئول): طراحی پژوهش، توسعه روش‌شناسی، تحلیل و تفسیر داده‌ها، نظارت بر فرایند تحقیق
- حمید گنجائیان: پردازش داده‌های مکانی، تهیه نقشه‌ها و خروجی‌های گرافیکی، اجرای مدل‌های فضایی

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماییم

منابع

- ابراهیمزاده، عیسی و اسمعیل نژاد، مرتضی. (۱۳۹۶). پناهندگان اقلیمی: چالش آینده تحولات منطقه‌ای (مطالعه موردی: خراسان جنوبی). فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۵(۴۸)، ۱-۱۸. <https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3347>
- رجبی، معصومه؛ تیمورزاده، نیر و داداشی رستمی ثالث، مجید. (۱۴۰۴). اولویت‌بندی توسعه فیزیکی پهنه شهر صوفیان با تأکید بر عوامل ژئومورفیک. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۹(۹۱)، ۲۴۷-۲۶۷. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.57976.3184>
- رضایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی و حسینی، سیدمصطفی. (۱۳۹۴). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله‌های شهر تهران). پژوهش‌های جغرافیایی/انسانی، ۴۷(۴)، ۶۰۹-۶۲۳. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2015.51228>
- رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ سمندر، نسرین و رحیم‌پور، توحید. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری SWARA و CRITIC در محدوده شهر تبریز. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۷(۲)، ۳۹-۵۵. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2025.399814.1007899>
- رهنما، محمدرحیم؛ قنبری، محمد؛ محمدی حمیدی، سمیه و حسینی، سیدمصطفی. (۱۳۹۸). ارزیابی و سنجش زیست‌پذیری شهری در کلان‌شهر اهواز. مجله شهر پایدار، ۲(۲)، ۱-۱۷.
- زندمقدم، محمدرضا. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی شهر بر اساس میزان آسیب‌پذیری در مقابل مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: نسیم‌شهر). جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۲(۴۶)، ۶۰-۷۷. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20087845.1402.12.46.4.8>
- سالاری، ممند؛ نیری، هادی؛ گنجائیان، حمید و امانی، خبات. (۱۳۹۶). مکان‌گزینی جهت مناسب توسعه شهری کامیاران با رویکرد مخاطره‌شناسی مبتنی بر اعمال مناطق ممنوع ژئومورفولوژیکی. مدیریت مخاطرات محیطی، ۴(۴)، ۴۱۹-۴۳۶. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2018.252694.341>
- سعیدی، بهنام؛ فخری، الهام و آزاده، حسن. (۱۳۹۴). چارچوب سندی برای کاهش خطرپذیری سوانح ۲۰۳۰-۲۰۱۵. پژوهشکده سوانح طبیعی ایران، انتشارات پدیده.
- شبابانی، مسعود؛ کارگر، بهمن و رحیمی، محسن. (۱۴۰۱). ارائه الگوی مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱۱ شهر تهران). پژوهش‌های مدیریت/انتظامی، ۱۷(۴)، ۹-۳۵. <https://doi.org/10.22034/pmsq.2022.1268862.1540>
- شریفی، حسین؛ رضانی‌پور، مهرداد و ابراهیمی، لیلا. (۱۴۰۳). بررسی توسعه فضای شهری در راستای مواجهه با مخاطرات محیطی (مطالعه موردی: شهرستان نور). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۴(۷۵)، ۳۵۴-۳۷۷. <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.4>
- عامری، مهناز. (۱۴۰۳). شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای طبیعی جهت پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه فیزیکی شهر اهواز. جغرافیا و روابط انسانی، ۷(۱)، ۷۸۲-۸۰۶. <https://doi.org/10.22034/gahr.2024.449494.2076>
- فرج‌زاده، منوچهر. (۱۳۹۲). مخاطرات اقلیمی ایران. انتشارات سمت.
- کیانی، سارا؛ احمدآبادی، علی و آذریون، فرزاد. (۱۴۰۳). واکاوی اثر سیل‌خیزی در جنوب شهر تبریز بر اجرای پروژه آزاد راه قطعه شش ارومیه - تبریز. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۶(۳)، ۱۱۵-۱۳۱. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.371498.1007807>
- گنجائیان، حمید؛ نصرتی، مژگان؛ ابراهیمی، عطیرین و قیصریان، سیدسعدی. (۱۴۰۴). ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری روستاهای مناطق کوهستانی در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: روستاهای منطقه اورامان). پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۲)، ۵۷-۷۰. <https://doi.org/10.22034/ermr.2024.63510>
- نیری، هادی؛ سالاری، ممند؛ گنجائیان، حمید و امانی، خبات. (۱۳۹۶). ارزیابی ژئومورفولوژیکی تناسب زمین برای گسترش کالبدی شهر سنندج با اعمال مناطق ممنوعه. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۵(۱)، ۱۲۵-۱۴۷. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2017.63213>

References

- Ameri, M. (2024). Identification and prioritization of natural criteria for zoning areas prone to physical development in Ahvaz city. *Geography and Human Relationships*, 7(1), 782-806. <https://doi.org/10.22034/gahr.2024.449494.2076> [In Persian]
- Cao, N., Wen, Y., Wang, J., Gao, X., & Sun, P. (2024). Identifying shrinking cities from a physical city perspective and influencing factors: A case study of the Chengdu-Chongqing economic circle in China. *Applied Geography*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2024.103314>
- Chini, M., Pelich, R., Pulvirenti, L., Pierdicca, N., Hostache, R., & Matgen, P. (2019). Sentinel-1 InSAR coherence to detect floodwater in urban areas: Houston and Hurricane Harvey as a test case. *Remote Sensing*, 11, 107. <https://doi.org/10.3390/rs11020107>
- Dandapat, K., & Panda, G. (2018). A geographic information system-based approach of flood hazards modelling, Paschim Medinipur district, West Bengal, India. *Journal of Jamba*, 10(1), 518. <https://doi.org/10.4102/jamba.v10i1.518>
- Deng, Y., Shen, R., Zhang, X., Li, Y., Chen, X., Tang, S., Sun, W. Y., & Tan, H. (2024). Invisible hazards: Exploring neonicotinoid contamination and its environmental risks in urban parks across China. *Science of the Total Environment*, 954, 162589. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162589>
- Din, R., Butt, F., Ahmad, F., & Raza, A. (2026). Assessment of the relationship between seismic vulnerability and seismic risk perception: A case study of Peshawar, Pakistan. *GeoHazards*, 7(2), 64. <https://doi.org/10.3390/geohazards7020064>
- Ebrahimzadeh, I., & Esmailnejad, M. (2017). Climate refugees: A future challenge of regional transformations (Case study: South Khorasan Province). *Geography and Development Quarterly*, 15(48), 1-18. <https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3347> [In Persian]
- Effat, H. A., & El-Zeiny, A. M. (2020). Integration of satellite data and spatial decision models for zoning new urban communities in El-Fayoum Desert. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(20), 1093. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06031-0>
- Farajzadeh, M. (2013). *Climate risks of Iran*. Samt Publications [In Persian]
- Ganjaeian, H., Nosrati, M., Ebrahimi, A., & Ghisarian, S. S. (2025). Assessing the vulnerability of villages in mountainous areas to natural hazards (Case study: Villages of Oraman region). *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(2), 57-70. <https://doi.org/10.22034/ermr.2024.63510> [In Persian]
- Huang, H., Lu, Z., Fan, X., Zhai, W., Zhang, L., Xu, D., Qin, H., Lanza, K., & Hang, Y. (2024). Urban heatwave, green spaces, and mental health: A review based on environmental health risk assessment framework. *Science of the Total Environment*, 948, 165901. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165901>
- Jeong, T., Jeong, D., & Kim, M. (2026). Development of an urban digital twin based on geospatial data: A case study of Busan, South Korea. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 15(6), 247. <https://doi.org/10.3390/ijgi15060247>
- Kang, S., Yeom, J., & Jung, J. (2021). Urban form and natural hazards: Exploring the dual aspect concept of urban forms on flood damage. *Sustainability*, 13(16), 9007. <https://doi.org/10.3390/su13169007>
- Khan, M. Z., Gupta, J., Singh, S., Ben Hasher, F. F., Kanetaki, Z., & Zhran, M. (2026). Spatial quantification of urban environmental stress through scale-aware multi-indicator integration. *Land*, 15(6), 981. <https://doi.org/10.3390/land15060981>
- Kiani, S., Ahmadabadi, A., & Azariuon, F. (2024). Analysis of flooding in the south of Tabriz city and its effects on the implementation of the sixth section of freeway project of Urmia-Tabriz. *Physical Geography Research*, 56(3), 115-131. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.371498.1007807> [In Persian]
- Lee, S. (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 52(4), 615-623. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0491-y>
- Liang, J., Chen, C., Song, Y., Sun, W., & Yang, G. (2024). Long-term mapping of land use and cover changes using Landsat images on the Google Earth Engine Cloud Platform in bay

- area: A case study of Hangzhou Bay, China. *Sustainable Horizons*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100061>
- Meng, M., Dabrowski, M., & Stead, D. (2020). Enhancing flood resilience and climate adaptation: The state of the art and new directions for spatial planning. *Sustainability*, 12(19), Article 7864. <https://doi.org/10.3390/su12197864>
- Nayyeri, H., Salari, M., Ganjaeian, H., & Amani, K. (2017). Geomorphological assessment of land suitability for the physical expansion of Sanandaj City applying restricted areas. *Geographical Urban Planning Research*, 5(1), 127-145. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2017.63213> [In Persian]
- Qi, S., Hu, S., & Cao, S. (2024). Spatial and temporal changes of social vulnerability of cities to natural hazards in Zhejiang province, China. *Heliyon*, 10(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27120>
- Rahnama, M. R., Ghanbari, M., Mohammadi Hamidi, S., & Hosseini, S. M. (2019). Assessment and measurement of urban livability in Ahvaz metropolis. *Journal of Sustainable City*, 2(2), 1-17. [In Persian]
- Rajabi, M., Teimorzade, N., & Dadashi Rostami Sales, M. (2025). Prioritizing the optimal physical development of Sufian city with emphasis on geomorphic factors. *Journal of Geography and Planning*, 29(91), 247-267. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.57976.3184> [In Persian]
- Rezaei Moghaddam, M. H., Samandar, N., & Rahimpour, T. (2025). Zoning of slope instability using SWARA and CRITIC decision-making methods in the Tabriz City region. *Physical Geography Research*, 57(2), 39-55. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2025.399814.1007899> [In Persian]
- Rezaei, M. R., Rafieian, M., & Hosseini, S. M. (2015). Measurement and evaluation of physical resilience of urban communities against earthquake (Case study: Tehran neighborhoods). *Human Geography Research*, 47(4), 609-623. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2015.51228> [In Persian]
- Rosa, A. G. F., Silva, W. D. O., Fontana, M. E., Levino, N., & Guarnieri, P. (2024). A GIS-based multi-criteria approach for identifying areas vulnerable to subsidence in the world's largest ongoing urban socio-environmental mining disaster. *The Extractive Industries and Society*, 19, 103566. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.103566>
- Saeedi, B., Fakhri, E., & Azadeh, H. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Iran Natural Disaster Research Institute, Padideh Publications. [In Persian]
- Salari, M., Nayeri, H., Amani, K., & Ganjaeian, H. (2017). Locating suitable directions for Kamyaran urban development through a hazardology approach based on the application of geomorphologically restricted areas. *Environmental Management Hazards*, 4(4), 419-436. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2018.252694.341> [In Persian]
- Shababani, M., Kargar, B., & Rahimi, M. (2022). Proposing an urban crisis management model (Case study: District 11 of Tehran city). *Police Management Studies Quarterly*, 17(4), 9-35. <https://doi.org/10.22034/pmsq.2022.1268862.1540> [In Persian]
- Sharifi, H., Ramezanipour, M., & Ebrahimi, L. (2024). Investigating the development of urban space in the face of environmental hazards (Case study of Noor County). *Journal of Geographical Science*, 24(75), 354-377. <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.75.4> [In Persian]
- Su, W., Ye, G., Yao, S., & Yang, G. (2014). Urban land pattern impacts on floods in a new district of China. *Sustainability*, 6(10), 6488-6508. <https://doi.org/10.3390/su6106488>
- Sundaram, S., Devaraj, S., & Yarrakula, K. (2023). Mapping and assessing spatial extent of floods from multitemporal synthetic aperture radar images: A case study over Adyar watershed, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 63006-63021. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26467-7>
- Ustaoglu, E., & Aydinoglu, A. C. (2020). Suitability evaluation of urban construction land in Pendik district of Istanbul, Turkey. *Land Use Policy*, 99, 104783. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104783>
- Wen, Y., Liu, B., Li, Y., & Zhao, L. (2024). A review of research progress on the impact of urban street environments on physical activity: A comparison between China and developed countries. *Buildings*, 14(6), 1779. <https://doi.org/10.3390/buildings14061779>

Zand Moghadam, M. R. (2023). Urban paneling based on the level of vulnerability against natural disasters (Crisis management): A case study on Nasimshahr. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 12(46), 60-77. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087845.1402.12.46.4.8> [In Persian]