



University Of Qom



Evaluation of Location and Development Plan Management in New Settlements in Areas with Potential Flood Risk: A Case Study of the 560-Hectare Pardisan Site in Qom

Seyed Mohammad Hosein Dehnad^{1✉} , Abolfazl Faraji Monfared² ,
Mohammad Aghazadeh^{3,4}

1. Corresponding author, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. Email: m.dehnad@qom.ac.ir
2. Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: afarajimonfared63@gmail.com
3. Tehran University of Science and Research, Tehran, Iran. Email: m.aghazadeh61@gmail.com
4. Municipal Research Department of Qom, Qom, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 22 Nov 2024
Revised 26 Jan 2025
Accepted 17 Feb 2025
Published 17 Feb 2025

Keywords:
HECRAS-SCS-FAHP
integrated model,
flood,
development plan,
560-hectare Qom site.

ABSTRACT

Due to their susceptibility to flooding, alluvial fan surfaces present unique challenges for development. The scope of Pardisan is also expanded in these areas, necessitating a comprehensive location and development plan. To address this, a robust methodology was employed, incorporating flood risk modeling using HEC-RAS and the Soil Conservation Service (SCS) method to calculate the flow rate of a 100-year flood event. In addition to the flood factor, 13 other criteria were included based on expert opinions to assess the suitability of the land for development. These criteria were analyzed using the Analytical Hierarchy Process (AHP) in conjunction with fuzzy logic, facilitating an accurate comparison of potential sites for expansion. The findings reveal that, despite existing watershed management efforts, the current residential areas in Pardisan remain vulnerable to flooding and inadequately address the volume and sediment challenges posed by potential flood events. This research underscores the deficiencies in current flood prevention measures and highlights the necessity for enhanced strategies and further studies. The results of the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) model identified the southeastern part of Pardisan as the most suitable area for development, which contradicts the current development plan. This recommendation is based on a thorough evaluation of the specified criteria and indicates significant potential for targeted and optimal urban development. Finally, it is important to note that the integrated HEC-RAS-SCS-FAHP model can serve as a valuable roadmap for urban area development.

Cite this article: Dehnad SMH, Faraji Monfared A, Aghazadeh M. Evaluation of Location and Development Plan Management in New Settlements in Areas with Potential Flood Risk: A Case Study of the 560-Hectare Pardisan Site in Qom. *Civil Infrastructure Researches*. 2025; 11(1): 15-34. <https://doi.org/10.22091/cer.2025.11685.1586>



Introduction

Urban development in alluvial fan regions presents unique challenges due to their high susceptibility to flooding. Pardisan, located in Qom, is one such area grappling with these issues, as annual floods create significant problems for residents living near watercourses. The region is particularly vulnerable to destructive floods due to its extensive watershed, insufficient vegetation cover, excessive grazing, severe soil erosion, climate change, and human interventions in water channels. Given its geographical location and the characteristics of the alluvial fan system, any urban development and infrastructure construction in this area necessitates a thorough assessment.

Recently, approval has been granted for the construction of a 560-hectare site, which is expected to accommodate a population of approximately 100,000 residents. This development underscores the urgent need for innovative and sustainable solutions to mitigate flood risks and effectively manage natural resources. Factors such as topography, a favorable climate compared to Qom City, and access to urban infrastructure play a crucial role in shaping the future development of this region.

Flood modeling is recognized as one of the most effective tools for assessing flood risks associated with urban expansion. The HEC-RAS model, in conjunction with Geographic Information Systems (GIS), enables precise analysis of flood flows and provides strategic management solutions. However, flood modeling alone is insufficient; vulnerable cities require a comprehensive framework for safe urban development. In this context, integrating the HEC-RAS hydraulic model with the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) is proposed as an innovative approach to optimizing urban expansion. The FAHP method enhances accuracy in evaluating and prioritizing flood-prone areas, offering a holistic solution for sustainable urban growth. FAHP is more precise than other methods due to its greater variability and adaptability. Global studies and experiences in

developed countries emphasize the importance of dynamic and integrated approaches in flood management. This research, through an in-depth analysis of Pardisan's conditions and the introduction of integrated models for flood risk reduction, aims to support optimal decision-making in urban development.

Methodology

This study aims to examine the challenges associated with urban development in flood-prone areas by utilizing hydrological modeling and spatial analysis to identify suitable locations. The research adopts an applied-experimental approach, incorporating various datasets, including Google Earth satellite images, infrastructure data, geological maps, and Digital Elevation Models (DEMs). For flood analysis and modeling, HEC-RAS 6.1, ArcGIS 10.6, and Expert Choice 11 were employed. In the first phase, hydrological data were extracted, and the HEC-RAS model was executed for a 100-year flood event. The resulting maps were compared with expert-defined criteria to delineate flood hazard zones. The Analytic Hierarchy Process (AHP), conducted in Expert Choice, facilitated pairwise comparisons of urban development criteria. The results were processed using fuzzy logic in GIS to determine optimal sites for urban expansion. Subsequently, the selected area was integrated into the HEC-RAS model to assess the impact of protective measures, such as channel construction and embankments. This approach, which combines HEC-RAS, SCS, and FAHP models, provides a comprehensive framework for evaluating the effects of urban development on flood-prone regions, thereby facilitating optimal and multidimensional decision-making in urban risk management.

Discussion

The modeling results indicate that Pardisan, Qom, particularly the 560-hectare site, is highly vulnerable to a 100-year flood event, necessitating special protective measures for urban development in this area. The geometric surface model, based on 5-meter topographic maps, served as the

foundation for flood analysis. By converting topographic data into RAS GIS, more precise flood modeling was achieved. The FAHP-based analysis of urban development criteria revealed that flood depth and proximity to critical infrastructure are the most significant factors in selecting development locations. According to the results, the southeastern floodplain, unlike the 560-hectare site, is the most suitable option for urban expansion. The modeling demonstrated that inadequate drainage in the 560-hectare area could lead to increased runoff downstream, potentially causing damage to the Pardisan settlement and the railway route. Urban zoning based on flood risk ensured that residential buildings, green spaces, and public infrastructure were strategically placed according to risk levels. However, the location of Khatam Hospital within the flood path presents a major challenge, requiring urgent protective measures such as embankments and diversion channels. This study introduces the integration of HEC-RAS, SCS, and FAHP models as a comprehensive approach for managing urban development in flood-prone areas. It emphasizes that multi-criteria planning and adjustments to development patterns play a crucial role in enhancing urban resilience. Consideration of natural land geometry, sediment reservoir management, and soil stabilization are essential measures for optimizing urban expansion and reducing flood risks.

Conclusion

This study highlights the significant vulnerability of the Pardisan settlement to a 100-year flood event, emphasizing the necessity for comprehensive planning and protective measures. Modeling conducted with HEC-RAS 6.1 and the SCS method revealed that the proposed 560-hectare structure, due to its unsuitable location, would exacerbate runoff and increase flood risks downstream. In contrast, the southeastern floodplain was identified as the most suitable area for urban development. Protective measures such as channel construction, embankments, soil stabilization, and sediment reservoir

management can mitigate flood risks and enhance urban resilience. Additionally, continuous monitoring of urban infrastructure, designing main roads along flood flow paths, and restricting construction in high-risk areas are essential strategies for minimizing human and financial losses. This research introduces the integration of HEC-RAS, SCS, and FAHP models as an innovative approach to managing urban development in flood-prone areas. It underscores the importance of multi-criteria planning, large-scale modeling, and urban design based on natural land geometry. By providing practical guidelines for policymakers and urban planners, this study represents a significant step toward sustainable and resilient development in Pardisan and similar regions.

Funding Statement

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Declaration of Competing Interest

The authors declare the following regarding potential conflicts of interest:

No competing interests: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Authors' Contributions

Mohammad Hosein Dehnad:

Project administration; Supervision; Validation; Writing – review & editing.

Abolfazl Faraji Monfared:

Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Resources; Software; Visualization; Roles/Writing – original draft;

Mohammad Aghazadeh:

Data curation; Formal analysis; Resources; Writing – original draft



ارزیابی مکان‌یابی و مدیریت طرح توسعه در سکونتگاه‌های جدید در مناطق با خطر سیلاب: مطالعه موردی محدوده ۵۶۰ هکتاری پردیسان قم

سیدمحمدحسین دهناد^۱✉، ابوالفضل فرجی‌منفرد^۲، محمد آقازاده^۳ و^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: m.dehnad@qom.ac.ir

۲. دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: afarajimonfared63@gmail.com

۳. دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران. رایانامه: m.aghazadeh61@gmail.com

۴. گروه پژوهشی شهرداری قم، قم، ایران.

چکیده

سطوح مخروط‌افکنه‌ای به‌دلیل حساس بودن به سیلاب، چالش‌های منحصر به فردی برای توسعه ایجاد می‌کند. محدوده پردیسان قم نیز در همین مناطق گسترش یافته و نیازمند مکان‌یابی و طرح توسعه است. برای این هدف، از یک روش جامع که شامل مدل‌سازی خطر سیل با HEC-RAS است، استفاده شد و از روش SCS، دبی جریان یک رویداد سیل ۱۰۰ ساله محاسبه گردید. علاوه بر سیلاب، ۱۳ معیار دیگر نیز طبق نظر کارشناسان برای ارزیابی تناسب زمین برای توسعه گنجانده شد. این معیارها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) همراه با منطق فازی تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه دقیق سایت‌های بالقوه برای گسترش را فراهم آورد. یافته‌ها نشان می‌دهد که علیرغم مدیریت آبخیزداری موجود، مناطق سکونتگاهی کنونی در پردیسان در برابر سیل آسیب‌پذیر بوده و به اندازه کافی چالش‌های حجم و رسوب ناشی از سیلاب‌های احتمالی را برطرف نمی‌کنند. این تحقیق، کاستی‌های اقدامات فعلی پیشگیری از سیل را برجسته و نیاز به استراتژی‌های بهبود یافته و مطالعات بیشتر را تأکید می‌کند. نتایج مدل FAHP، بخش جنوب شرقی پردیسان را به عنوان مناسب‌ترین منطقه برای توسعه شناسایی کرد که با طرح توسعه فعلی مغایرت دارد. این توصیه مبتنی بر ارزیابی کامل معیارهای مشخص شده است و به پتانسیل قابل توجهی برای گسترش هدفمند و بهینه شهری اشاره می‌کند. در نهایت، مشخص گردید که استفاده از مدل تلفیقی HECRAS-SCS-FAHP در توسعه مناطق شهری می‌تواند به عنوان یک نقشه راه مفید باشد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶

کلیدواژه‌ها:

مدل یکپارچه HECRAS-

FAHP-SCS

سیلاب،

مدیریت طرح توسعه،

سایت ۵۶۰ هکتاری قم.

استناد: دهناد سیدمحمدحسین، فرجی‌منفرد ابوالفضل، آقازاده محمد. ارزیابی مکان‌یابی و مدیریت طرح توسعه در سکونتگاه‌های جدید در مناطق با خطر سیلاب: مطالعه موردی محدوده ۵۶۰ هکتاری پردیسان قم. پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، ۱۴۰۴؛ ۱۱(۱): ۱۵-۳۴.

<https://doi.org/10.22091/cer.2025.11685.1586>



۱- مقدمه

گسترش سریع شهرها تأثیر قابل‌توجهی بر نواحی اطراف و تغییر مناظر و انواع کاربری‌ها دارد که اکوسیستم‌های حیاتی مانند کشاورزی و زمین‌های جنگلی را در برمی‌گیرد. این تناوب، در حالی که به گسترش شهری دامن می‌زند، تنوع زیستی را تهدید و پایه‌های متزلزلی را برای توسعه شهر ایجاد می‌کند. رشد مدیریت نادرست، خطرات قابل‌توجهی را به همراه دارد و برنامه‌ریزی مؤثر زمین را که ریشه در ارزیابی پتانسیل‌های محیطی دارد، ضروری می‌کند [۱]. ارزیابی تناسب زیست‌محیطی سنگ‌بنای برنامه‌ریزی عاقلانه زمین را تشکیل داده و شناسایی مکان‌های بهینه برای پروژه‌های ساختمانی را تسهیل می‌کند. اولویت‌بندی حفاظت از محیط‌های طبیعی نقشی محوری در تقویت اکولوژی شهری ۱ در برابر خطرات احتمالی دارد. ملاحظات زیست‌محیطی در برنامه‌ریزی شهری، به‌ویژه برای کاهش خطرات بالقوه، حیاتی هستند [۲]. توسعه این مناطق، تعادل ژئوسیستم ۲ بسیاری از لندفرم‌ها ۳ را دستخوش تغییر کرده و پاسخ ژئوسیستم‌ها، جلوه‌ای از مخاطرات ژئومورفولوژیک ۴ چون سیل، فرونشست زمین، فعالیت گسل و موارد مشابهی است که ساکنین نواحی شهری را تهدید می‌کند [۳].

در ایران، شیوه‌های ناکافی مدیریت ریسک، کمبود زیرساخت‌های پیشگیری از سیل در حوضه‌های آبخیز، تشدید فشارها بر مناظر طبیعی که منجر به تخریب پوشش گیاهی می‌شود، تغییر در شیوه‌های کشت، اصلاح کاربری اراضی و فرسایش شدید خاک، عوارض جانی و مالی ناشی از سیل را تشدید می‌کند [۴ و ۵]. خطر سیل در حال حاضر، ۱/۸۱ میلیارد نفر را در جهان تحت تأثیر قرار داده است. پرداختن به خطر بلایای ناشی از مخاطرات

طبیعی مانند سیل، زلزله و طوفان‌های استوایی در مناطق شهری در درجه اول یک نگرانی توسعه‌ای است و ادغام در چارچوب توسعه شهری گسترده‌تر را ضروری می‌کند. کاهش خطر بلایا، تاب‌آوری و توسعه شهری پایدار را تقویت می‌کند [۶ و ۷].

سیلاب‌ها از ویرانگرترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که به‌عنوان یک نگرانی در بیشتر بخش‌های جهان به‌شمار می‌آیند [۸]. سیلابی که در مخروط‌افکنه شکل می‌گیرد، به دلیل وابستگی به اقلیم، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی از تنوع بالایی برخوردار می‌باشند [۹]. برنامه بیمه ملی سیلاب ایالات متحده آمریکا، سیلاب مخروط‌افکنه را به عنوان سیل رخ داده در سطح یک مخروط‌افکنه آبرفتی یا شکل زمینی مشابه که از سرچشمه در اوج سرچشمه می‌گیرد و با جریان‌های با سرعت بالا، فرآیندهای فعال فرسایش، انتقال رسوب و رسوب‌گذاری و مسیرهای پیش‌بینی نشده جریان مشخص می‌شود، تعریف می‌کند. هر نقطه در مخروط‌افکنه فعال ممکن است در خطر جاری شدن سیل قرار گیرد و جاری شدن سیل در طول زمان تغییر می‌کند. این کار باید در تجزیه و تحلیل خطر سیل در نظر گرفته شود. با توجه به شرایط سیستم مخروط‌افکنه‌ای، هرگونه توسعه شهری و تأسیسات زیربنایی در اینگونه مکان‌ها همواره مسأله‌ساز است. سیلاب از جمله مخاطراتی است که پردیسان قم را با چالش روبه‌رو کرده است و هر ساله برای ساکنین نزدیک مسیل‌ها مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد. وسعت زیاد حوضه آبخیز، عدم پوشش گیاهی مناسب، چرای بی‌رویه دام‌ها، گسترش سازندهای سست، فرسایش شدید خاک، تغییرات آب‌وهوایی، دخالت عوامل انسانی در مسیر آبراهه‌ها و همچنین واقع شدن این منطقه از شهر قم در مخروط‌افکنه‌ها، همگی به این نکته اشاره دارد که محدوده در برابر سیلاب احتمالی آسیب‌پذیر است. اخیراً نیز مجوز ساخت سایت ۵۶۰ هکتاری در این محدوده از شهرک پردیسان آغاز شده و پیش‌بینی شده ۳۵ هزار مسکن با جمعیت حدود ۱۰۰

- 1- Urban ecology
- 2- Geosystem
- 3- landform
- 4-Geomorphological

هزار نفری ساکن شوند؛ بنابراین نیاز به راه‌حل‌های نوآورانه و پایدار برای مدیریت منابع طبیعی و کاهش خطرات سیلاب به‌عنوان یک ضرورت احساس می‌شود. عواملی مانند توپوگرافی، آب‌وهوای مطلوب نسبت به شهر قم، دسترسی به زیرساخت‌های شهری و فضای مساعد نقش محوری در شکل‌گیری توسعه آینده در این منطقه دارند. مدل‌های انتشار سیل به‌عنوان دارایی‌های ارزشمند در مدیریت دشت سیلابی هستند و اقدامات پیشگیرانه را برای کاهش خسارات احتمالی توانمند می‌سازند. این مدل‌ها، که قادر به پیش‌بینی سیل می‌باشند، با حفاظت از کاربری‌های مجاور رودخانه، افزایش آگاهی جامعه در مناطق مستعد سیل و مهار ساخت‌وسازهای غیرمجاز در مناطق محدود شده دشت سیلابی، نقشی اساسی در کاهش خطرات مرتبط با سیل داشته‌اند. استفاده از مدل HEC-RAS در ارتباط با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یک استراتژی قدرتمند در مدیریت و کاهش خطرات سیل ظاهر می‌شود [۱۰-۱۳]. مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در کشور در خصوص توسعه محدوده‌های سیلابی به این نکته اشاره دارد که به‌کارگیری روش‌های پویا و کاربردی کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. همچنین در سایر نقاط جهان نیز کشورهایی مانند ژاپن، چین، ویتنام، استرالیا، هلند و آمریکا در زمینه ایمن‌سازی محدوده‌های سیلابی روش‌ها و اقدامات بهینه انجام داده‌اند. در این میان، روش FEMA^۵ به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریتی طرح توسعه در محدوده سیل مطرح است. از مهمترین موارد FEMA مسئولیت نقشه‌برداری مناطقی است که در هر سال، احتمال سیل یک درصد وجود دارد (سیل ۱۰۰ سال). FEMA با شناخت ضرورت برای بررسی موضوع سیلاب‌های مخروط‌افکنه‌ای سه مرحله را پیشنهاد می‌دهد؛ (۱) تعریف سیلاب مخروط‌افکنه، (۲) آیا منطقه

در معرض سیلاب مخروط‌افکنه‌ای قرار دارد؟ (۳) تعریف و ویژگی‌های نواحی مخروط‌افکنه (سیلاب ۱۰۰ ساله) [۱۴]. یکی از نواقص FEMA، عدم به‌کارگیری و تلفیق معیارهای دیگر در چشم‌انداز طرح توسعه است. بنابراین مناطق شهری آسیب‌پذیر در برابر سیل به چیزی بیش از مدل‌سازی سیل نیاز دارند تا چالش‌های خود را به‌طور مؤثر برطرف کنند. آنها به یک مدل قوی برای توسعه ایمن نیاز دارند. در این زمینه، ادغام مدل هیدرولیک HEC-RAS با روش FAHP^۶ یک رویکرد جدید برای بهینه‌سازی توسعه شهری ارائه می‌دهد.

به‌کارگیری روش FAHP به‌طور گسترده به دلیل کارایی آن در تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته شده است، به ویژه در تحلیل تناسب زمین و ارزیابی مکان مفید است. این ترکیب با افزایش دقت در ارزیابی و اولویت‌بندی مناطق برای رشد پایدار شهری در مناطق مستعد سیل، راه‌حل جامعی را ارائه می‌دهد [۱۵-۱۷]. FAHP دقیق‌تر از روش‌های دیگر است زیرا تنوع بالاتری را به همراه دارد [۱۸]. همچنین یک ابزار تصمیم‌گیری بسیار مفید است که می‌تواند برای ارزیابی و اولویت‌بندی عواملی که در خطر قرار گرفتن در معرض سیل نقش دارند استفاده شود و به دلیل توانایی‌های منحصر به فرد خود در مدیریت عدم قطعیت، انعطاف‌پذیری بالا، دقت بیشتر در ارزیابی گزینه‌ها و قابلیت ترکیب با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌عنوان یکی از روش‌های برتر در تصمیم‌گیری‌های پیچیده شناخته می‌شود [۱۹ و ۲۰].

در واقع روش یکپارچه ارائه شده در پژوهش حاضر می‌تواند در توسعه روش FEMA مؤثر باشد که علاوه بر مدل‌سازی و پهنه‌بندی مواردی چون مکان‌یابی، جانمایی و طرح توسعه شهری نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. هر برنامه پیشگیری از خسارت سیل اگر مبتنی بر طرح جامع باشد بسیار مؤثر است و برنامه مدیریت دشت سیلابی

^۶- Fuzzy Analytical Hierarchal Process

^۵- Federal Emergency Management Agency (FEMA)

پارک جنگلی، ۰/۲۷ درصد برای باغبانی، ۹۳/۱۸ درصد به مرتع، ۲/۲۱ درصد به عنوان زمین بایر و ۰/۳۵ درصد برای مقاصد مسکونی استفاده می‌شود. واحدهای ژئومورفولوژیکی مانند کوه‌ها، تپه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها و زمین‌های بدلدی، چشم‌انداز متنوع منطقه مورد مطالعه را مشخص می‌کنند (شکل ۱).

۱-۲- مدیریت سیلاب در مخروط‌افکنه

برای مدیریت توسعه روی مخروط‌افکنه‌ها چهار راهکار اساسی وجود دارد:

۱- نقشه‌برداری و پهنه‌بندی سیل برای منع نمودن توسعه کاربری اراضی در مناطقی که در معرض سیل و جریان واریزه‌ای قرار دارند.

۲- ایجاد کانال‌های محصور که سیل و جریان واریزه‌ای را به طور مطمئن از میان منطقه توسعه‌یافته منتقل می‌کنند.

۳- ایجاد مخازن ذخیره در بالای منطقه توسعه‌یافته برای نگه‌داشت واریزه‌ها و انتقال آب نسبتاً تمیز از میان منطقه توسعه.

۴- ترکیبی از روش‌های ۲ و ۳، در جایی که ظرفیت سد رسوب‌گیر در اکثر رویدادهای سیل مناسب بوده، ولی در رویدادهای بزرگ سیل، بخشی از واریزه‌ها به سمت پایین‌دست حمل می‌شود [۲۴].

تقویت یک اهرم در سطوح مخروط‌افکنه‌ای، باعث عدم اطمینان در مورد پتانسیل خرابی آن در هنگام سیلاب می‌شود و از مناطق پشت آن محافظت می‌کند. اما از بین بردن مسیر جریان از طریق نقض در سطح اهرم قبلی می‌تواند، هم منحنی فرکانس مرحله محاسبه شده و هم شانس بروز سایر خرابی‌ها در پایین‌دست را افزایش دهد. این نتیجه‌گیری نشان‌دهنده قطع ارتباط سیلاب مخروط‌افکنه و الگوی سیلاب رودخانه در زمینه مدیریت سیل است. برای ارزیابی ریسک در اثر سیلاب مخروط‌افکنه، کانال‌های موجود نمی‌توانند برای انتقال

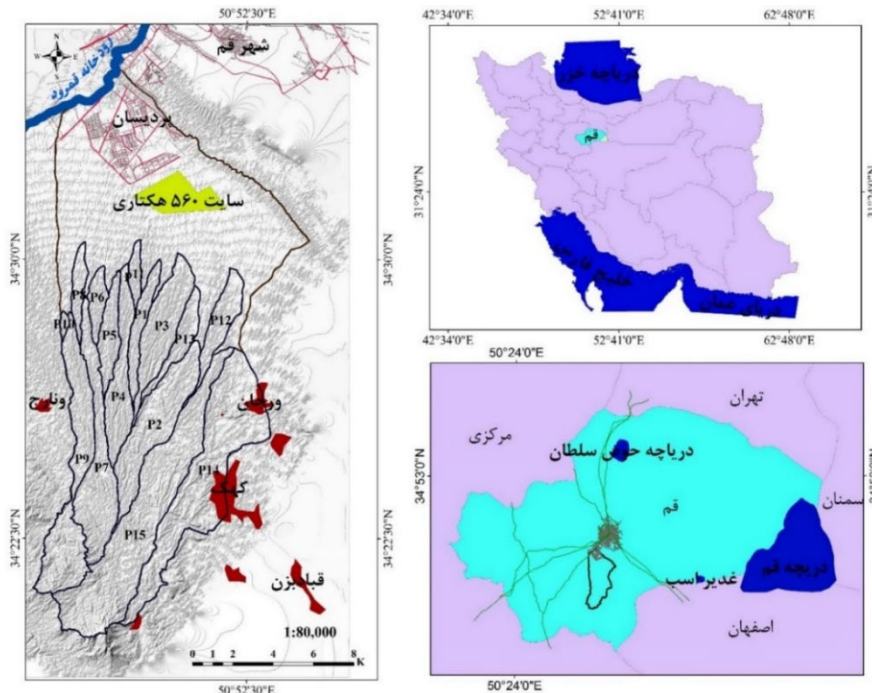
به‌صورتی پایدار و محکم به اجرا درخواهد آمد. حفاظت از توسعه موجود، برطرف‌سازی یا تبدیل (تغییر) توسعه موجود، منع توسعه و نظارت کاربری‌های دشت سیلابی از جمله روش‌ها و تمهیدات برای جلوگیری یا کاهش خسارت سیل است [۲۱]. علاوه بر این، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، که به‌دلیل قابلیت‌های مدیریت داده قوی و ارائه داده‌های جدید مشهور است، به عنوان ابزاری در برنامه‌ریزی زیست‌محیطی ظاهر می‌شود. ظرفیت GIS برای ادغام داده‌ها برای مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل مکان و ارزیابی تناسب زمین، به عنوان نقطه قوت اصلی آن محسوب می‌شود که در نهایت، فرآیندهای تصمیم‌گیری فضایی آگاهانه را تقویت می‌کند. ترسیم مناطق دشت سیلابی، به عنوان یک هدف اساسی، جلوگیری از توسعه نامناسب در مناطق مستعد سیل را دنبال می‌کند. برنامه‌ریزان و طراحان شهری، باید بر سازماندهی شبکه زهکشی شهری و درک پویایی انتقال رسوب در طول سیل تمرکز کنند. افزایش ارزیابی خطر سیل در سیستم‌های هشدار اولیه برای کاهش خسارات ناشی از سیل بسیار مهم است. با این حال، ارزیابی مناطق در معرض خطر سیل به دلیل فرآیندهای فیزیکی پیچیده، چالش‌هایی را ایجاد می‌کند [۲۲ و ۲۳].

۱-۱- محدوده مطالعه

محدوده مطالعه، ۲۲۲۸۶ هکتار وسعت دارد و رشته‌کوه‌های کم ارتفاع آن را فرا گرفته است. در این منطقه، مراکز مهم جمعیتی شامل سکونتگاه‌های پردیسان، ورجان و کهک است که پردیسان در امتداد جاده قم- کهک قرار دارد. شیب کلی منطقه، جنوب به شمال است، که قسمت جنوبی عمدتاً نهشته‌های مخروط‌افکنه‌های قدیمی و قسمت شمالی، نهشته‌های جدید هستند. مخروط‌افکنه‌های قدیمی به شدت توسط فرایندهای آبی عارضه‌دار شده و حوضه‌های آبریزی برای مخروط‌افکنه‌های جدید شده‌اند. کاربری اراضی در منطقه شامل ۳/۶۱ درصد برای کشاورزی، ۰/۳۸ درصد به عنوان

در گذشته چگونه رخ داده‌اند. باید استدلال کرد که هرگونه تلاش برای کاهش و انحراف سیلاب با کانال‌سازی یا خاکریزها و سایر عناصر انسان‌ساخت خطر سیل را در قسمت دیگری از مخروط افکنه افزایش می‌دهد [۲۵].

جریان اوج ۱۰۰ ساله به آنها اعتماد کنند، بنابراین نقش آنها نادیده گرفته نمی‌شود. با این وجود، برای مدیریت سیلاب رودخانه، قابل توجه است. آنها حوادث سیل کوچکتر را منتقل می‌کنند، و نشان می‌دهند که سیل‌ها



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

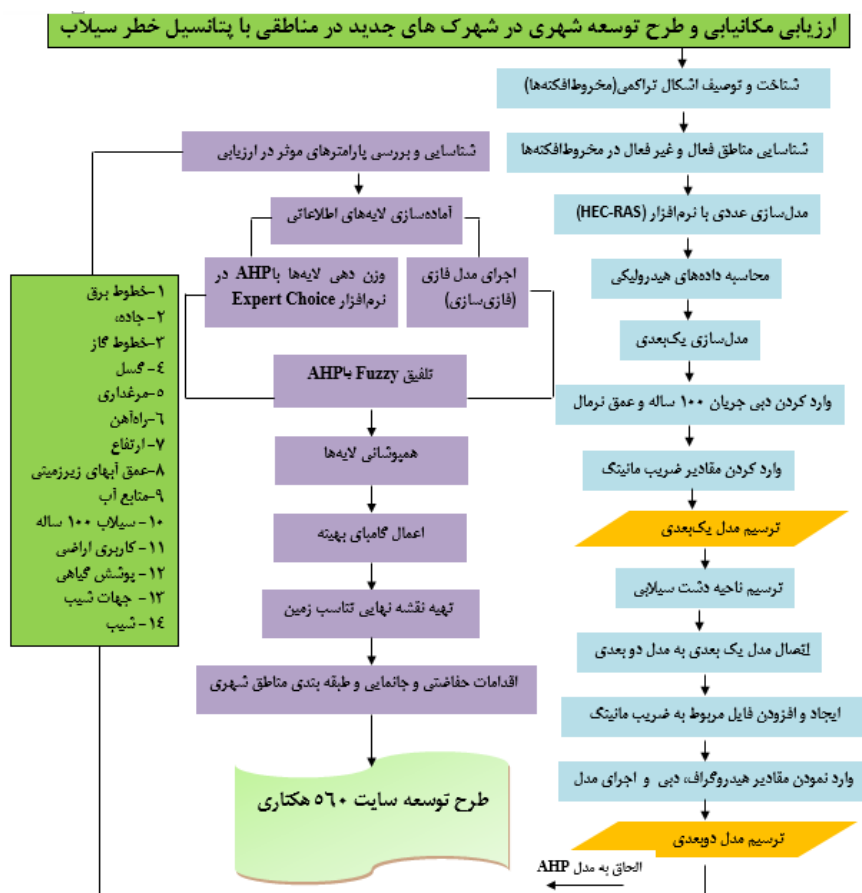
رقومی ارتفاعی ۵ متری (DEM) از سازمان آب و منابع طبیعی استان قم تهیه شد. نرم‌افزارهای کلیدی مانند HEC-RAS-6-1، ArcGIS-10.6 و Expert Choice11 در این تلاش مؤثر بوده‌اند. در ابتدا، داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از معادلات حاکم استخراج گردید. به دنبال آن، با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و نرم‌افزار HEC-RAS-6، مدلی برای یک رویداد سیل ۱۰۰ ساله تهیه شد که به طور دقیق شرایط فعلی منطقه پردیسان را منعکس می‌کند. سپس نقشه خطر سیل حاصل با معیارهای دیگر که توسط نظرات متخصصین ارائه شده است، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مقایسه گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که از طریق نرم‌افزار Expert Choice تسهیل

۲- مواد و روش

هدف این تحقیق، پرداختن به چالش‌های گسترش شهری در مناطق سیل‌خیز از طریق مدل‌سازی و انتخاب مکان استراتژیک و طرح توسعه است. براساس ماهیت تحقیق، این مطالعه جزو مطالعات کاربردی- تجربی محسوب می‌شود که با استفاده از روش‌ها، ابزارها و روابط موجود بین متغیرها، به دنبال ترسیم طرح توسعه برای فضاهای شهری آینده در معرض خطر سیل است. منابع کلیدی مورد استفاده در این مطالعه، شامل تصاویر ماهواره‌ای از Google Earth، داده‌های زیرساختی مانند خطوط برق، خطوط گاز، قنات‌ها، چاه‌ها و راه‌آهن است. نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های کاربری اراضی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نیز ضروری بود. همچنین داده‌های توپوگرافی با وضوح بالا با مدل

7- Analytical Hierarchy Process

می‌شود، امکان مقایسه زوجی معیارهای توسعه را فراهم می‌کند.



شکل ۲- فرآیند روش تحقیق

افزایش می‌دهد. با ادغام این روش‌شناسی‌های متنوع، این تحقیق چارچوبی جامع برای ارزیابی تأثیر توسعه شهری بر مناطق مستعد سیل ارائه می‌کند. استفاده از مدل‌های متعدد، ارزیابی چندبعدی را تسهیل می‌کند و منجر به ارزیابی‌های قوی‌تر و دقیق‌تر می‌شود. این رویکرد امکان بررسی کامل جنبه‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و تصمیم‌گیری حیاتی برای برنامه‌ریزی شهری را فراهم می‌کند. تمرکز بر مورد خاص پردیسان، ارتباط و کاربرد یافته‌ها را با سناریوهای مشابه دنیای واقعی افزایش می‌دهد. به طور کلی، این مطالعه یک رویکرد اصلی و عملی برای پرداختن به چالش‌های توسعه شهری در مناطق مستعد سیل ارائه می‌کند و دیدگاهی پیشگام در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بلایا را پیشنهاد می‌دهد. قبل از پرداختن به مدل‌سازی سیل، مراحل مقدماتی برای برآورد پارامترهای ضروری زهکشی و حداکثر جریان

سپس نتایج حاصل از این تحلیل با استفاده از منطق فازی در نرم‌افزار ArcGIS برای شناسایی مکان بهینه برای توسعه شهری در پردیسان پردازش شد. این منطقه براساس معیارهای تعیین شده برای توسعه در اولویت قرار گرفت. پس از آن، منطقه ترسیم شده از نقشه میدانی RAS برای مدل‌سازی بیشتر به نرم‌افزار HEC-RAS این بار با طرح توسعه شهری وارد شد. این مدل تجدیدنظر شده به مناطق مستعد سیل در محدوده توسعه از طریق ادغام اقدامات حفاظتی مانند ساخت کانال‌ها و خاکریزها پرداخته است. این رویکرد چندوجهی، ترکیب مدل‌های HEC-RAS، SCS و FAHP، نشان‌دهنده روشی جدید برای ارزیابی توسعه شهری در مناطق خطر سیل است. این مطالعه نه تنها کاربرد نوآورانه تکنیک‌های مدل‌سازی چندگانه را برای مدیریت خطرات سیل نشان می‌دهد، بلکه رویکردهای سنتی برنامه‌ریزی شهری را نیز

CN برابر ۱۰۰ کل بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود [۲۹]. این CN مشروط به ویژگی‌های خاک، انواع کاربری زمین و شرایط رطوبت قبلی خاک است. محاسبات در روش CN معمولاً بر رویدادهای بارندگی شش ساعته متکی است، مشروط بر اینکه زمان تمرکز حوضه کمتر از شش ساعت باشد [۳۰]. در روش شماره منحنی، هیدروگراف سیل براساس باران‌های شش ساعته محاسبه می‌شود. البته به شرطی که زمان تمرکز حوضه از شش ساعت کمتر باشد. حداکثر بارش شش ساعته با دوره برگشت موردنظر $P_{6,T}$ را می‌توان از روی حداکثر بارش ۲۴ ساعته با همان دوره برگشت ($P_{24,T}$) از رابطه (۶) به‌دست آورد [۳۱].

$$p_{6T} = \frac{p_{24T}}{1.48} \quad (۶)$$

ابعاد هیدروگراف واحد به تفکیک واحدهای هیدرولوژیکی در جدول ۱ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل‌سازی با نرم‌افزار hecras-6.1

قبل از انجام هر محاسبه‌ای توسط مدل بر روی یک سطح جریان یک‌بعدی و دوبعدی بایستی ابتدا مدل هندسی سطح زمین ایجاد گردد. فایل ضروری این فرآیند نقشه توپوگرافی پنج متری تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی استان قم می‌باشد. به‌دلیل وجود عوارض هموار مخروط‌افکنه‌ای، نیاز به نقشه‌های بزرگ‌مقیاس است که البته نقشه در دسترس، مدل‌سازی را در حد قابل‌قبول برای ما انجام داد. البته اگر نقشه با مقیاس بزرگ‌تری وجود داشت می‌توانست محدوده‌های سیل‌گیری را با وضوح بالا برای ما به نمایش بگذارد. قبل از مدل‌سازی باید نقشه توپوگرافی را در محیط GIS به نقشه زمینه RAS تبدیل کرد که برای مدل‌سازی هیدرولیکی در محیط HEC-RAS ضروری است.

سالانه در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله استفاده شد. روش خدمات حفاظت خاک آمریکا (SCS^8) برای محاسبه حداکثر نرخ جریان سیل، به طور گسترده در مطالعات هیدرولوژیکی برای حوضه‌های طبیعی متنوع با مناطق مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که به صورت زیر آورده شده است [۲۶]:

$$Q_p = \frac{0.2083AR}{T_p} \quad (۱)$$

که در آن، Q_p دبی حداکثر رواناب (m^3/s)، A مساحت حوضه (km^2)، R ارتفاع معادل رواناب (mm)، T_p زمان به اوج رسیدن رواناب (hr) است که از رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6T \quad (۲)$$

که در آن، T_c زمان تمرکز بارش است که در روش SCS به روش تأخیری از رابطه زیر استفاده می‌شود [۲۷]:

$$T_c = 0.000142L^{0.8} \left(\frac{25400}{CN} - 228.6 \right)^{0.7} S^{-0.5} \quad (۳)$$

که در آن، L و S به ترتیب طول آبراه (m) و شیب آبراه اصلی (%) است. ارتفاع رواناب ناشی از باران از رابطه (۴) به‌دست می‌آید [۲۸]:

$$R = \frac{(P - 0.2S)^{0.2}}{(P + 0.8S)} \quad (۴)$$

که در آن، p ارتفاع بارندگی (mm)، S مجموع تلفات بارش شامل گیرش هوایی گیاه، نفوذ آب در خاک و ذخیره سطحی می‌باشد. مقدار تلفات کل یا S توسط رابطه (۵) با یک عامل بدون بعد به نام CN (شماره منحنی) ارتباط می‌یابد:

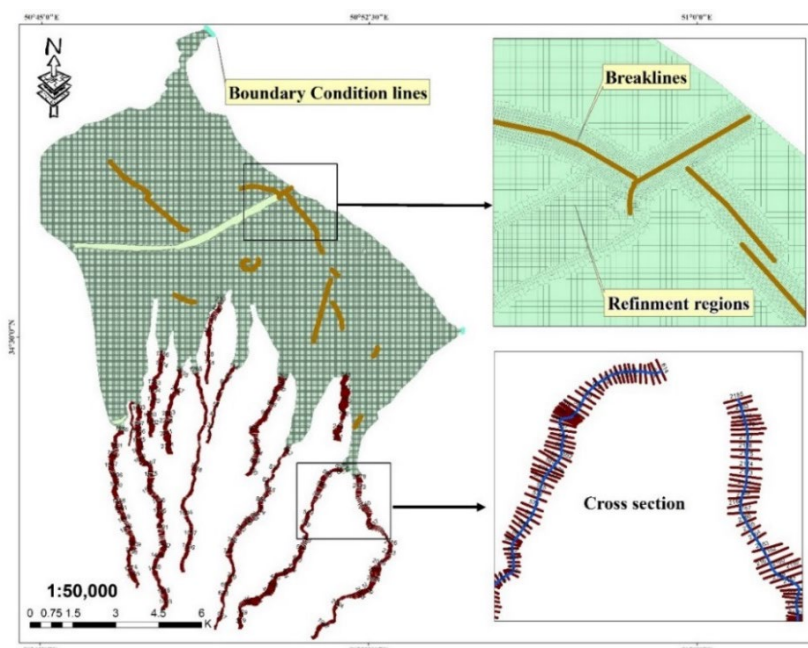
$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۵)$$

مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر صفر هیچگونه روانابی از بارندگی حاصل نیامده و در

جدول ۱- پارامترها برای هیدرگراف سیلاب

Cell	Cross sections	X (mm)	Y (mm)	Q (m3/s)	D (hr)	Ti (hr)	Qp (m3/s)	Tp (hr)	A (km2)	Tc (hr)	CN	L (m)	S (%)	حوضه‌ها
	۱۰۷	۲۲.۳	۲۲۰	۷.۳۱	۰.۱۶۶	۰.۷۵	۴.۴۲	۰.۸۳	۱۷.۶۵	۱.۲۵	۸۱.۶۵	۱۰۸۷۰	۱۷.۷۶	p1
	۶۵۰	۱۹۰	۱۸۷	۲۹.۸۶	۰.۲۹	۱.۳۱	۲	۱.۴۵	۱۴	۲.۱۸	۷۷.۶	۱۰۹۰۰	۷.۵۴	p2
	۸۱	۱۷.۶	۱۷۴	۲۰.۳	۰.۴۰۴	۱.۸۳	۰.۹۴	۲۰.۳	۹.۲۱	۳۰.۴	۷۹	۹۶۷۱	۷.۳	p3
	۱۸۷	۱۷.۸	۱۷۶	۱۷.۷	۰.۳۷۶	۱.۷	۰.۹	۱.۸	۷.۸	۲.۸۳	۸۰	۷۹۰۶	۵.۷	p4
	۷۶	۱۸.۰	۱۷۷	۹.۴	۰.۲۹۲	۱.۳۲	۰.۵۹	۱.۴۶	۴.۱۸	۲.۱۹	۸۰.۵	۷۶۸۴	۸.۷	p5
	۱۱۵	۱۷.۴	۱۷۲	۵	۰.۱۹۷	۰.۸۹	۰.۴۹	۰.۹۸	۲.۳۱	۱.۴۸	۷۹	۳۹۶۹	۲.۹۸	p6
	۱۷۶	۲۰.۰	۱۹۷	۳۱.۵	۰.۲۸۷	۱.۳	۱.۸۶	۱.۴۴	۱۲.۹۲	۲.۱۶	۸۲	۱۶۱۲۱	۱۰.۹۶	p7
	۲۵۲	۱۷.۲	۱۷۰	۳.۹	۰.۲۴	۱.۰۹	۰.۳۳	۱.۲۱	۱.۹۴	۱.۸۱	۷۹.۴	۴۷۵۰	۲.۶۱	p8
	۱۳۶	۲۰.۵	۲۰۲	۵۰	۰.۲۹۹	۱.۳۵	۲.۲۱	۱.۵	۱۵.۹۵	۲.۲۵	۸۱.۵	۱۸۱۰۴	۱۲.۵۴	p9
	۴۲	۱۷.۴	۱۷۱.۵	۰.۶۲	۰.۱۸۵	۰.۸۴	۰.۲۸	۰.۹۳۱	۱.۲۵	۱.۳۹	۸۱.۱	۴۷۷۷	۴	p10
	۸۴	۱۷.۰	۱۶۸	۳.۲۲	۰.۱۷۷	۰.۷۷	۰.۱۶	۰.۸۵	۱.۶۳	۱.۲۹	۷۸.۷	۳۸۶۰	۳.۸۴	p11
	۱۴۸	۱۷.۴	۱۷۲	۹.۷۲	۰.۴۵۳	۲.۰۵	۰.۴۳۹	۲.۲۷	۴.۸	۳.۴	۷۵	۷۷۹۱	۲.۱۱	p12
	۲۱۶	۱۷.۸	۱۷۶	۸.۲۴	۰.۲۲۴	۱.۰۱	۰.۶۹	۱.۱۲	۳.۷۲	۱.۷	۷۶.۸	۷۶۳۳.۵	۷.۰۴	p13
	۵۷۶	۲۰.۴	۲۰۱	۵۸.۲	۰.۲۸۷	۱.۳	۳.۵	۱.۴	۲۴	۲.۱۶	۸۱	۱۶۸۰۸	۱۲.۵	P14
	۲۳۳	۲۰.۴	۲۰۱	۷۷.۱۲	۰.۳۱۸	۱.۴۴	۴.۳	۱.۶	۳۱	۲.۳۹	۸۱	۱۹۰۶۸	۱۲.۵	P15
	.....	۱۸.۶۸	۱۸۴.۳	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۲.۱۰	۷۹.۶۲	.....	۷.۸۷۲	میانگین
۲۳۸ ۲۹۹	۳۰۷۹	.....	.....	۳۴۶.۳	.....	.....	.....	.....	۱۵۲.۴	.....	.....	۱۴۹۹۱۳	.....	مجموع

خودبه‌خود توسط نرم‌افزار حل شود. هنگامی که مدل هندسی برای کانال‌های اصلی ایجاد شد، نیاز به ادغام با مدل هندسی منطقه وسیع‌تر، یعنی دشت سیلابی است. هدف این ادغام، ایجاد مدلی یکپارچه برای مدل‌سازی هیدرولیک بود. در ساخت شبکه محاسباتی، ابعاد سلولی با ابعاد طولی (DX) و عرضی (DY) 6×6 متر برای ساخت شبکه محاسباتی اتخاذ شد. این ابعاد برای افزایش بهبود اثرات جریان سیلاب انتخاب شدند (شکل ۳).



شکل ۳- مقاطع و ابعاد شبکه محاسباتی زیرحوضه ها

وقوع و یا مشمول مکان‌های مرتبط تقسیم گردد [۹].
آستانه‌های رایج احتمال وقوع سیل عبارتند از:

منطقه A: منطقه ویژه سیلاب (SFHA)، تعریف‌شده به عنوان زمین با احتمال یک درصد سیل سالانه.
منطقه V: ساحل SFHA در معرض قرار گرفتن در موج سیلاب.

منطقه B: منطقه خطر متوسط سیلاب یا شرایط آینده خطرناک شدن سیل، به‌طور کلی، به عنوان سیل سالانه دو درصد تعریف می‌شود.

منطقه X: منطقه بدون چشم‌انداز سیل، ناحیه‌ای با خطر کمترین سیل، که معمولاً احتمال سیل

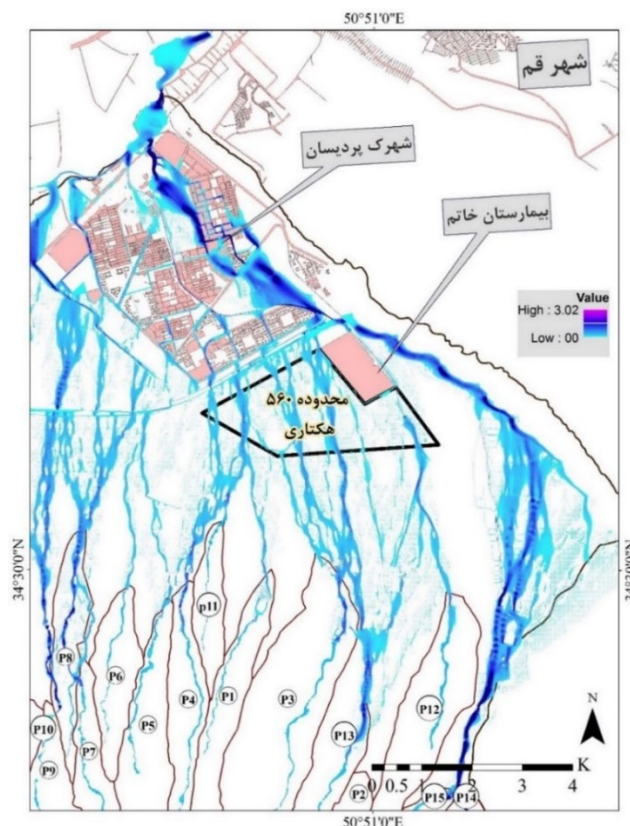
گام بعدی مستلزم استخراج لایه‌های فرعی مانند رودخانه‌ها، خطوط ساحلی، تعیین مسیرهای جریان، تعریف مقاطع و تولید داده‌های ارتفاعی از طریق درون‌یابی‌های مقاطع است. همواره برای اتصال‌های شاخه‌های مختلف آبراهه‌ها در محیط HEC-RAS جهت مدل‌سازی، مقدار عدد مومنتوم است که خطاهای متعددی در روند مدل‌سازی سیلاب ایجاد می‌کند. برای جلوگیری از این مشکل می‌بایست از اتصال شاخه‌های اصلی در محل تلاقی آبراهه امتناع و روندیابی جریان

شبکه محاسباتی حاصل برای کل دشت سیلابی شامل ۲۳۸۲۹۹ سلول، همراه با ۳۰۷۹ مقطع است. پس از اجرای مدل، نقشه حاصل، مناطق مستعد سیل در منطقه پردیسان را به تصویر کشید (شکل ۴). علاوه بر این، این تمرین مدل‌سازی بررسی نقش هر سازه را در منطقه تسهیل و بینش‌هایی را برای تحلیل بیشتر فراهم کرد.

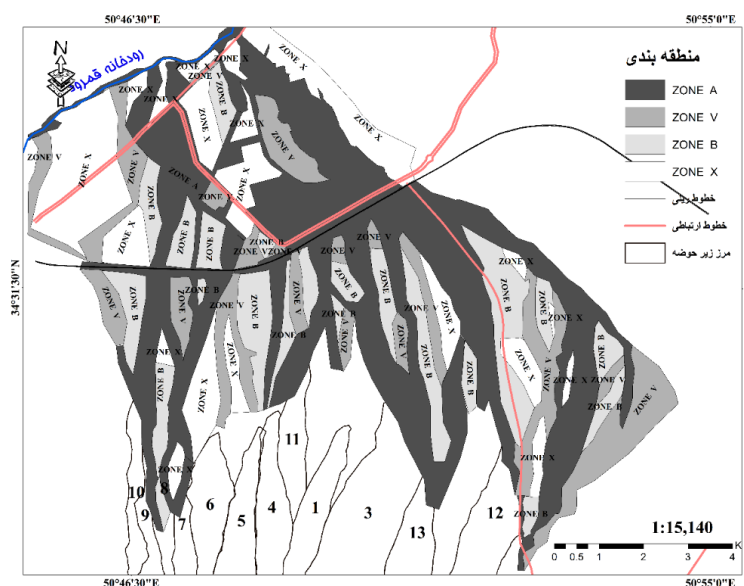
۳-۲- آستانه‌های پهنه سیل

برای مقایسه و اعمال کردن پهنه سیلاب با سایر معیارها نیاز است تا نقشه حاصل از مدل‌سازی سیلاب براساس عمق و پهنه به آستانه‌های ویژه‌ای از احتمالات

کمتری نسبت به منطقه خطر متوسط دارد [۳۲]. در شکل ۵ قابل مشاهده است. آستانه‌های خطر سیلاب منطقه پردیسان به تفکیک



شکل ۴- مدل‌سازی سیلاب در محدوده ۵۶۰ هکتاری

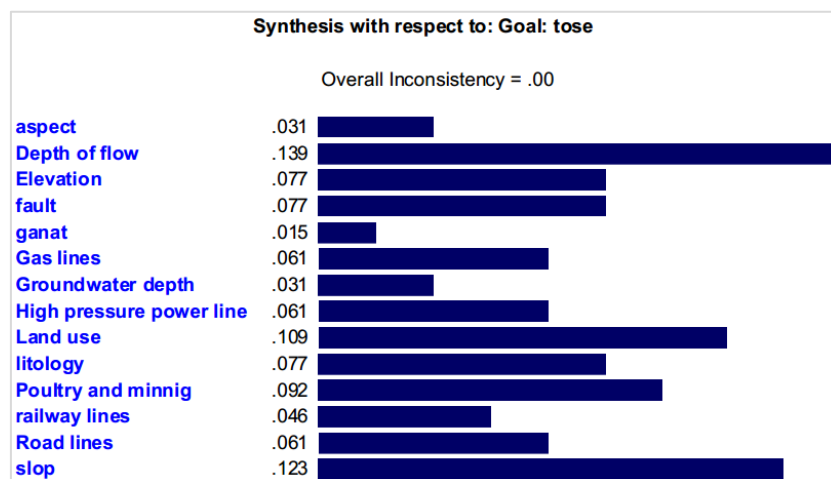


شکل ۵- منطقه‌بندی محدوده‌های سیلاب پردیسان

۳-۳- تحلیل معیارها برای توسعه سایت ۵۶۰ هکتاری با استفاده از مدل AHP-FUZZY
در این مطالعه، یک رویکرد جامع با ترکیب دو مدل فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای ارزیابی زمین در توسعه شهری به کار گرفته شد. پس از انجام

منطقه‌بندی آستانه‌های سیلاب همراه با ۱۳ معیار دیگر براساس هدف کلی و نظرات کارشناسی انتخاب و اولویت‌بندی شدند. هر معیار در مقیاس یک تا نه رتبه‌بندی شد و با استفاده از روش AHP در نرم‌افزار EXPERT CHOICE مورد مقایسه‌های زوجی قرار گرفت. AHP که به دلیل چارچوب منطقی خود مشهور است، تجزیه تصمیمات پیچیده را به یک ساختار سلسله مراتبی تسهیل می‌کند و مقایسه‌های زوجی عنصر اساسی آن را تشکیل می‌دهند [۳۳ و ۳۴]. در EXPERT CHOICE، هدف اولیه تحقیق، برنامه‌ریزی کاربری بهینه

زمین برای توسعه شهری براساس معیارها است. کارشناسان با تکیه بر دانش خود از حوزه مورد مطالعه، برای هریک از معیارها وزن تعیین کردند. پس از وزن‌دهی و محاسبات در نرم‌افزار و اطمینان از ثبات (با نرخ ثبات زیر ۰/۱)، وزن‌های نهایی استخراج شد. شایان ذکر است در زمینه توسعه شهری در منطقه پردیس، شاخص عمق جریان سیلاب بیشترین وزن (۰/۱۳۹) و شاخص قنات کمترین وزن (۰/۰۱۵) را به خود اختصاص داده است (شکل ۶). نرخ ثبات ۰/۰۰۸ نشان‌دهنده نتایج تحلیلی قابل قبول است.



شکل ۶- تعیین ضرایب اهمیت شاخص هر معیار با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice 11

۳-۴- فازی‌شدن و همپوشانی لایه‌ها

فرآیند ارزیابی مناطق مناسب برای توسعه شهری با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY شامل چندین مرحله کلیدی است. برای شروع این فرآیند، لایه‌هایی که جنبه‌های مختلف مانند خطوط برق، جاده‌ها، شیب‌ها، خطوط گاز، گسل‌ها، مرغداری‌ها، راه‌آهن، ارتفاع، عمق آب‌های زیرزمینی و منابع آب را نشان می‌دهند باید فازی شده و برای تجزیه و تحلیل به فرمت رستری تبدیل شوند. لایه‌های نقطه‌ای و خطی نیاز به تحلیل فاصله دارند، در حالی که لایه‌های چندضلعی مانند کاربری زمین، پوشش گیاهی و جهت شیب باید براساس نظر کارشناسان براساس مناسب بودن برای توسعه شهری کدگذاری شده و سپس با استفاده از ویژگی‌ها به لایه‌های رستری تبدیل

شوند. تجزیه و تحلیل به رستری هنگامی که لایه‌های معیار در قالب رستری قرار می‌گیرند، هر لایه براساس نظرات متخصصان طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری می‌شود که معمولاً در یک جدول نشان داده می‌شود (جدول ۲). سپس این لایه‌های رستری در محیط GIS به حالت فازی تبدیل شده و مقادیری بین صفر و یک اختصاص می‌دهند. متعاقباً، مقادیر به‌دست آمده از مقایسه‌های ماتریس زوجی در نرم‌افزار EXPERT CHOICE برای هر معیار با لایه‌های فازی متناظر آن‌ها ضرب می‌شوند. مرحله مهم بعدی شامل به‌کارگیری عملگر GAMA بر روی لایه‌های فازی شده است. اپراتور GAMA به ترکیب اطلاعات از چندین لایه کمک می‌گیرد و ارزیابی جامعی از مناطق مناسب برای توسعه شهری ارائه می‌دهد. نقشه به‌دست

نقشه به‌دست آمده، نتیجه همپوشانی تمامی لایه فازی شده است. در نقشه مذکور، محدوده جنوب شرق دشت سیلابی به‌عنوان مکان مناسب جهت توسعه شهرک پردیسان مشخص است (شکل ۷- الف).

آمده از اپراتور GAMA مقادیری را نشان می‌دهد که مناسب بودن را با مقدار ۰/۹ نشان می‌دهد. این نقشه به عنوان راهنمای شناسایی مناطقی است که براساس ارزیابی ترکیبی به‌دست آمده از مدل FUZZY/AHP برای توسعه شهری بسیار مناسب تلقی می‌شوند. در واقع

جدول ۲- وزن هریک از معیارها و زیرمعیارها [۳۵]

شماره	معیارها	وزن	زیرمعیار	وزن نسبت به هدف	شماره	معیارها	وزن	زیرمعیار	وزن نسبت به هدف
۱	عمق جریان	۵	۰/۰۰۶	۰/۱۴۸	۸	پوشش گیاهی	۱	تیپ ۱	۰/۰۶۵
		۴	۰/۰۰۰۰۰۶				۲	تیپ ۲	
		۳	۰/۰۰۱				۴	تیپ ۳	
		۱	۰/۰۰۱				۵	تیپ ۴	
		۱	۰/۰۰۱				۳	تیپ ۵	
۲	خطوط برق	۵	۰/۰۰۶	۰/۱۳۲	۹	مرغداری	۱	حريم ۱۰۰۰ متر	۰/۰۴۹
۳	جاده	۵	۰/۰۰۶	۰/۱۱۶	۱۰	راه آهن	۱	حريم ۱۰۰ متر	۰/۰۴۸
۴	شیب	۵	۰/۰۰۶	۰/۰۹۸	۱۱	ارتفاع	۱	۱۰۵۰<	۰/۰۳۴
		۴	۰/۰۰۶				۲	۱۰۵۰-۱۱۰۰	
		۳	۰/۰۰۶				۳	۱۱۰۰-۱۱۵۰	
		۲	۰/۰۰۶				۴	۱۱۵۰-۱۲۰۰	
		۱	۰/۰۰۶				۵	>۱۲۰۰	
۵	کاربری اراضی	۵	۰/۰۰۶	۰/۰۸۲	۱۲	جهت شیب	۵	شرق	۰/۰۳۳
		۴	۰/۰۰۶				۴	غرب	
		۳	۰/۰۰۶				۳	جنوب	
		۲	۰/۰۰۶				۲	شمال	
		۱	۰/۰۰۶				۱	هموار	
۶	لوله گاز	۵	۰/۰۰۶	۰/۰۸۱	۱۳	فاصله از آب‌های زیر	۵	۵۰	۰/۰۳۳
		۴	۰/۰۰۶				۴	۴۰	
		۳	۰/۰۰۶				۳	۳۵	
		۲	۰/۰۰۶				۲	۳۰	
		۱	۰/۰۰۶				۱	۲۰	
۷	گسل	۵	۰/۰۰۶	۰/۰۶۵	۱۴	قنات و چاه	۱	۲۵۰ متر زمین سخت - زمین رخوه ۵۲۰	۰/۰۱۶

وسیله محدود کردن توسعه آینده زمین‌های خالی در دشت سیلابی برای اجتناب از خسارت احتمالی و با محدود کردن افزایش توسعه موجود در مناطق خطر سیل فراهم سازد. جهت تاب‌آوری شهری^۹ در برابر سیل، استقرار انواع سازه در محدوده سیل بگونه‌ای باشد که

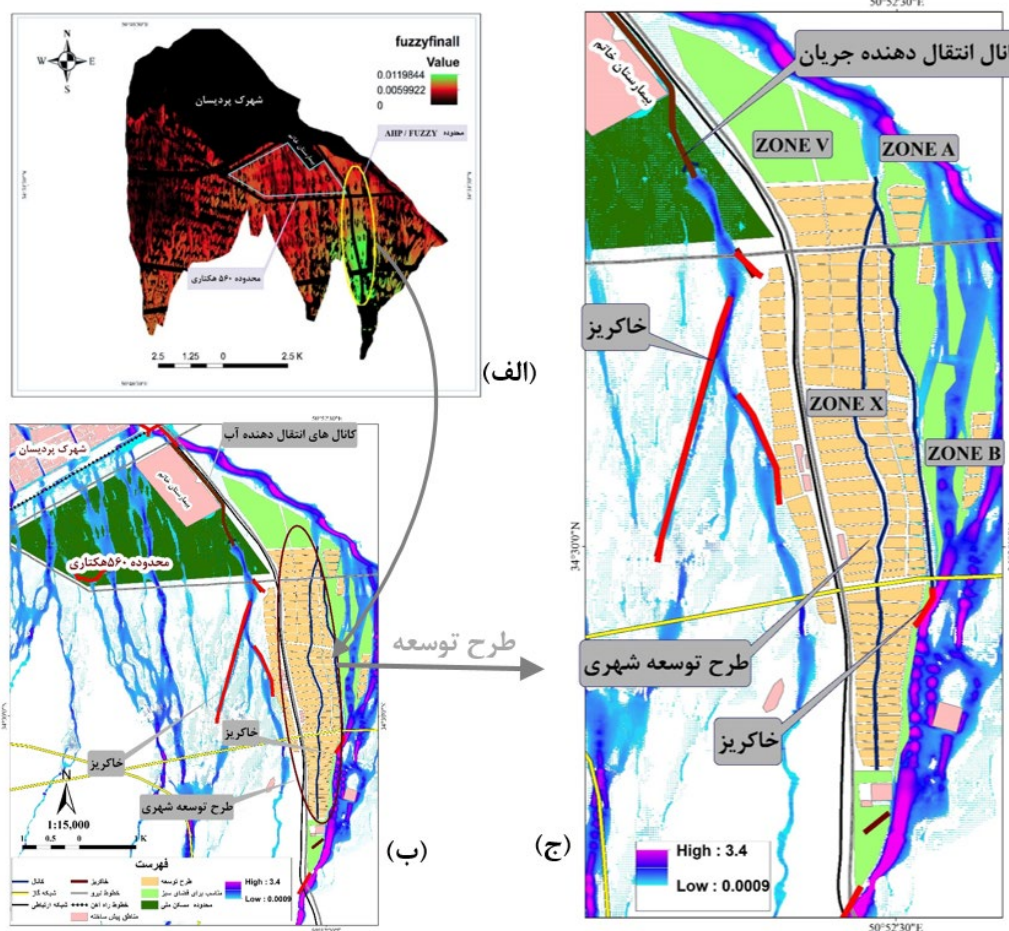
۳-۵- منطقه‌بندی مناطق شهری

آیین‌نامه منطقه‌بندی اتخاذ شده و اجرا شده می‌تواند کاربری زمین، آب، هوا و ساختمان‌ها را به نفع عموم نظارت و محدود سازد. منطقه‌بندی، یک تکنیک پذیرفته شده و مؤثر برای کنترل توسعه دشت سیلابی می‌باشد. این تمهیدات می‌تواند مزایای مستقیمی را به

9- Urban resilience

چگونه یک منطقه ممکن است توسط رویداد سیل تحت تأثیر قرار گیرد، سیاست‌گذاران و تصمیم‌سازان را برای طراحی چارچوب توسعه مناسب و انجام توسعه تضمینی قادر می‌سازد که اثرات بالقوه جاری شدن سیل را به خوبی مورد نظر قرار دهند [۳۶].

برج‌ها و ساختمان‌های بلند در قدیمی‌ترین زمین‌ها (از نظر سن، مربوط به دوره‌های زمین‌شناسی)، خانه‌های ویلایی و فرهنگسراها در زمین‌های جدید، منازل مسکونی تا ارتفاع سه طبقه در زمین‌های قدیمی، فضای سبز در جدیدترین زمین‌ها جانمایی شود. درک این مسأله که



شکل ۷- محدوده مناسب برای توسعه شهرک پردیسان براساس مدل AHP- FUZZY

محدوده خطر مثل خطوط گاز و نیرو که از درون محدوده موردنظر عبور می‌کنند رعایت شود. همچنین در محیط HEC-RAS واحدها و بناهای شهری طراحی شده با ارتفاع پنج متر جانمایی شد و در قسمت‌هایی از محدوده شهر که خطر سیلاب وجود دارد، با استفاده از کانال‌ها و خاکریزها جریان سیل انحراف و مدیریت گردید (شکل ۷-ب) (مبنای اندازه خاکریزها، برحسب اندازه خاکریزهای موجود در محدوده بالادستی پردیسان است که حدود دو متر اندازه‌گیری شد). منطقه‌بندی مناطق شهری در محدوده سیل برای استفاده‌های خاص از دشت سیلابی در

منطقه‌بندی دشت سیلابی به‌طور گسترده‌ای به تقسیم دشت سیلابی به مناطقی که در آن خطر سیل متفاوت است و نوع توسعه و استفاده از زمین که مناسب در هر منطقه است تعریف می‌شود. محوریت توسعه شهری در این پروژه، مبتنی بر توجه به مسئله سیلاب در منطقه پردیسان است، بنابراین نیاز است بعد از مشخص شدن محدوده مناسب (شکل ۷-الف)، منطقه‌بندی شهری نیز براساس خطر سیل در فضای شهری جانمایی شود. برای همین منطقه‌بندی شهری در محدوده موردنظر انجام گرفت. در این طراحی سعی شد حریم‌های مربوط به

۳-۶- جانمایی طرح ۵۶۰ هکتاری در محدوده سیلاب

با آغاز طرح نهضت ملی مسکن در کشور، نهادهای ذیربط استانی خاصه اداره کل راه و شهرسازی استان قم به‌عنوان متولی طرح، جهت توسعه شهری، قسمت بالادستی شهرک پردیسان، با نام (طرح ۵۶۰ هکتاری) را به صورت مکان توسعه انتخاب کرده و عملیات ساخت و ساز را در حال اجرا قرار داده است. بر این اساس، محدوده بلوک‌های اصلی طرح ۵۶۰ هکتاری، استخراج و جهت روندیابی جریان در مدل هیدرولیکی مدل‌سازی شد (شکل ۸). نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد علاوه بر اینکه محدوده ۵۶۰ هکتاری در برابر سیلاب ۱۰۰ ساله آسیب‌پذیر است، سبب افزایش حجم و جریان رواناب در قسمت پایین‌دست که محدوده ریل راه‌آهن و شهرک پردیسان است خواهد شد. بنابراین مشخص است که محدوده انتخاب شده جهت توسعه نامناسب باشد و به نسبت محدوده‌های اختصاص یافته به فضای شهری در این محدوده، جریان‌ها و رواناب‌ها با حجم و سرعت بیشتری جریان خواهند یافت و بارگذاری کانال‌های با حد آستانه‌های تعریف شده برای مسیرها و کانال‌ها در محدوده کنونی شهرک پردیسان میسر نخواهد بود. علاوه بر این، محدوده توسط جریان‌های بالادستی تحدید می‌شود که می‌طلبد علاوه بر تثبیت خاک با حفظ پوشش گیاهی، کانال‌ها، خاکریزها، مخازن رسوب‌گیر و چاه‌های جذبی در بخش بالادستی تعبیه گردد. همچنین زهکشی حوضه‌های شهری در محدوده ۵۶۰ هکتاری به سبب عدم مطابقت با شیب زمین به سمت غرب، چالش برانگیز و هزینه‌بر خواهد بود که نیاز است تدابیر لازم اتخاذ شود.

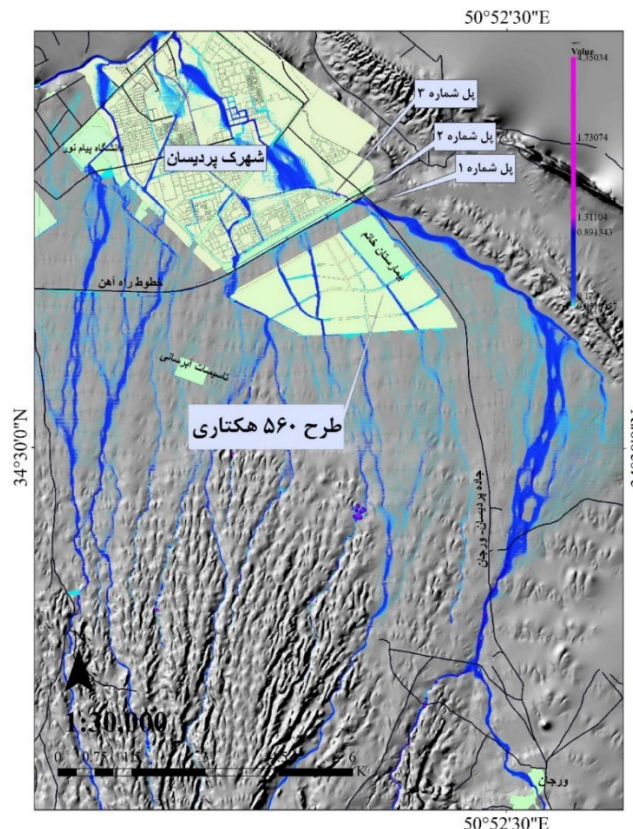
نمودار ترسیم شده از قبل و بعد از توسعه محدوده ۵۶۰ هکتاری نیز گویای وضعیت به‌وجود آمده در منطقه است. دو نمودار قبل و بعد از طرح ۵۶۰ هکتاری در مسیر کانال اصلی ترسیم گردید (شکل ۹) که تغییراتی را در روند جریان در کانال اصلی نشان می‌دهد. نمودار مشکی که مربوط به قبل از طرح ۵۶۰ هکتاری می‌باشد، در هر

نظر گرفته می‌شود، به عنوان مثال، توسعه در محدوده سیل به هیچ عنوان نباید مورد بهره‌برداری قرار گیرد و با ZONE A مشخص می‌شود. توسعه در مناطق در نزدیکی رودخانه که در آن سرعت جریان بالاست، باید استفاده از زمین را محدود کنیم و هیچ ساختمان مجاز به ساخت و ساز نیست و تنها مناطق تفریحی مجاز است (ZONE V). ساختمان‌های مسکونی نباید درون مناطق محافظت نشده دشت سیلابی با دوره سیلاب ۱ در ۱۰۰ سال توسعه یابند. منطقه خطر متوسط سیلاب یا شرایط آینده خطرناک شدن سیل برای بناهای با درجه اهمیت پایین مورد توسعه قرار گیرند (ZONE B). بیمارستان‌ها و دیگر ساختمان‌های بسیار آسیب‌پذیر نباید درون مناطق محافظت نشده دشت سیلابی با دوره سیلاب ۱ در ۱۰۰۰ سال توسعه یابند (ZONE X).

با توجه به توضیحات ارائه شده محدوده‌های با خطر بالا، متوسط، پایین در نقشه موردنظر مشخص گردید (شکل ۷-ج). مسئله‌ای که وجود دارد، بحث وضعیت موجود در منطقه است. ساختمان‌های آسیب‌پذیر همچون بیمارستان‌ها جزو بناهای مهم و حساس به‌شمار می‌رود، بنابراین مکان‌یابی این‌گونه بناها باید در یک بستر ایمن جانمایی شود، متأسفانه بنای بیمارستان خاتم در مسیر سیلاب با خطر بالا احداث شده است. مقتضی است که اقدامات لازم در جهت انحراف و پایداری محیط پیرامون محدوده بیمارستان و بناهای مشابه انجام گیرد. با در نظر گرفتن مباحث مطرح شده در مدل، با جانمایی خاکریزها و کانال‌ها در محیط HEC-RAS سعی شد که جریان سیلاب در محوطه بیمارستان مدیریت شود. نتایج به‌دست آمده از مدل (شکل ۷-ج)، نشان می‌دهد جریان سیل ۱۰۰ ساله تا حدود زیادی از طریق مدیریت و جانمایی سازه‌ها انتقال پیدا کرده است. همان‌طور که پیشتر نیز عنوان شده بود، محدوده مطالعاتی به خاطر شرایط زمین‌شناسی، دارای بار رسوبی قابل‌توجهی در شرایط سیلابی است، بنابراین اتخاذ مخازن رسوب‌گیر در بالادست می‌تواند کمک زیادی به تثبیت جریان کند.

و در کانال اصلی نیز طغیان نموده است با این تفاوت که مساحت درگیر طغیان کمی بیشتر از نمودار قبلی است که نتیجه توسعه محدوده ۵۶۰ هکتاری می باشد.

سه پل (شکل ۸) توانسته به خوبی عبور کند و منتها در کانال اصلی جریان از محل مسیر کانال طغیان کرده است و در نمودار آبی که روندیابی جریان را بعد از طرح ترسیم شده، همانند نمودار قبلی از هر سه پل بخوبی عبور کرده



شکل ۸- نقشه نهایی توسعه فیزیکی شهر (سایت ۵۶۰ هکتاری) در منطقه پردیسان قم

کنترل و مدیریت تسهیل می یابد و هرچه به قسمت های پایینی پیش رویم، به سبب ویژگی های ژئومورفولوژیکی، مسیرهای پیش بینی نشده جریان گسترش و در این صورت کنترل و مدیریت جریان ها دشوار و هزینه بر خواهد شد. بنابراین جهت مدیریت و توسعه بهینه فضای شهری ضروری است که توسعه از ساختار هندسه ژئومورفولوژیکی طبیعت و محدوده های خطر آفرین، شناسایی و اصلاح گردد. ولی طرح توسعه شهری که در منطقه پردیسان به وجود آمده است یک سیر صعودی پیش رونده است. در این نوع طرح، فرایند توسعه شهری از پایین دست به بخش های بالایی سطوح مخروط افکنه ای گسترش یافته و به سبب ناپایداری و مسیرهای پیش بینی نشده، محدوده های شهری بیشترین آسیب را متحمل خواهند

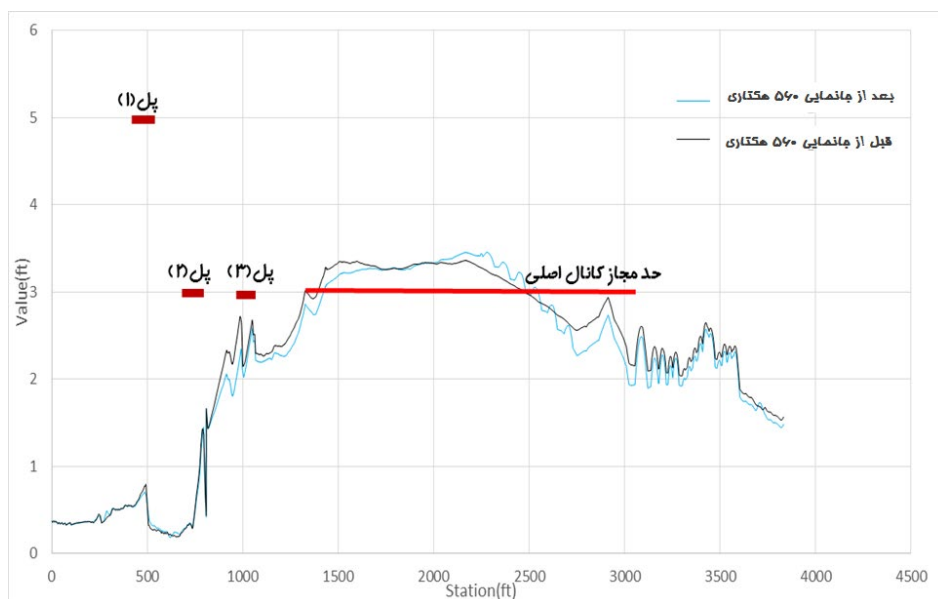
تغییر دیگری که مشهود است، تغییر در الگو و حجم جریان است که سبب شده جریان وارد معابر و خیابان ها در شهرک پردیسان شده و سبب ایجاد خسارت و همچنین تردد را برای ساکنین منطقه دشوار خواهد کرد (شکل ۸). بنابراین نیاز است اقدامات حفاظتی در بالادست محدوده ۵۶۰ هکتاری انجام پذیرد.

۳-۷- مقایسه تطبیقی نتایج حاصل از پژوهش با وضعیت موجود منطقه

با توجه ویژگی سیستم مخروط افکنه ای، طرح توسعه شهری در محدوده مخروط افکنه یک سیر نزولی پیش رونده می باشد. در واقع در بخش های فوقانی مخروط افکنه به جهت مشخص بودن فرایندها، قابلیت

ابتدایی توسعه شهرک، سیلاب و آبگرفتگی به‌عنوان مهمترین معضل، شهروندان را با تهدید روبه‌رو ساخته است.

شد، از این‌رو، شناسایی، اصلاح و مدیریت جریان‌ها هزینه‌بر و دشوار خواهد بود. شرایط حاکم بر شهرک پردیسان به گونه‌ای شکل گرفته که از همان سال‌های



شکل ۹- نمودار ترسیم شده از قبل و بعد از طرح توسعه محدوده ۵۶۰ هکتاری پردیسان در محدوده کانال اصلی

شهری، در بحث تفریق بودجه نیز می‌تواند سودمند باشد، مشخص است سایت ۵۶۰ هکتاری در حال ساخت، نیازمند کانال‌ها و خاکریزی‌هایی جهت انحراف و هدایت سیلاب احتمالی است. بنابراین نیاز به تأمین بودجه قابل توجهی است که از بودجه اختصاص داده شده به طرح توسعه سایت ۵۶۰ هکتاری باید تأمین شود که می‌توانست این بودجه در سایر قسمت‌های طرح هزینه شود. در این تحقیق سعی شد تمام فرآیند تحقیق شامل بررسی، شناسایی، پهنه‌بندی، مکان‌یابی و توسعه و مدیریت شهری با محوریت سیلاب انجام گیرد. استفاده ترکیبی از مدل یکپارچه HEC-RAS با روش AHP/FUZZY در مدیریت شهری به‌عنوان وجه تمایز با تحقیقات قبلی به شمار می‌رود.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، روی سکونتگاه رو به رشد سایت ۵۶۰ هکتاری پردیسان در قم متمرکز است، شهری که رشد سریعی را به ویژه در مناطق مستعد سیل تجربه

در سال‌های بعد همین وضعیت ادامه پیدا کرده است. بنابراین مکان‌یابی این‌گونه بناها باید در یک بستر ایمن جانمایی می‌شد. جهت ایمن‌سازی محدوده، نیازمند تعبیه کانال‌ها، خاکریزها، مخازن رسوبگیر و چاه‌های جذبی در منطقه می‌باشیم. این ناهمگونی در مدیریت شهری ناراضی‌تی شهروندان را هم در پی داشته است، به گونه‌ای که ساکنین فعلی شهرک پردیسان نسبت به اوضاع کنونی مخصوصاً در زمان بارندگی معترض هستند. بنابراین توجه به هندسه طبیعی زمین و توسعه شهری با سیر نزولی در سطوح مخروط‌افکنه‌ای بسیار با اهمیت است که علاوه بر کاهش خسارات جانی و مالی، تاب‌آوری محیطی را نیز افزایش خواهد داد. این مطالعه به عنوان یک نقشه راه برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران شهری در جهت‌یابی استراتژیک گسترش شهری و کاهش خطرات ناشی از پدیده‌های طبیعی مانند سیل، زمینه‌ساز توسعه شهری تاب‌آور و پایدار در پردیسان و مناطق مشابه است. البته باید به این موضوع توجه کرد استفاده از مدل یکپارچه HEC-RAS, SCS و FAHP علاوه بر افزایش تاب‌آوری

می‌کند. این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS-6، مناطق مخاطره‌آمیز سیل را با استفاده از روش SCS به‌طور دقیق مدل‌سازی می‌کند و به صراحت بر یک دوره بازگشت سیل ۱۰۰ ساله متمرکز است. علیرغم اجرای عملیات آبخیزداری و اصلاح مسیرهای موجود، نتایج به‌طور قاطع بر آسیب‌پذیری شهرک پردیسان در برابر سیل تأکید می‌کند که نشان‌دهنده نیاز مبرم به مطالعات گسترده بیشتر و توسعه اقدامات قوی کنترل سیل است. همچنین سدهای موجود برای کنترل سیلاب در بالادست پردیسان در مدیریت مواد رسوبی طی یک سیل ۱۰۰ ساله ناکافی به نظر می‌رسد. این امر، مستلزم یک ارزیابی مجدد جامع است که معیارهای متعددی را برای حمایت از طرح‌های توسعه شهری آینده در این منطقه در بر می‌گیرد. شایان ذکر است عواملی مانند عمق جریان سیل ۱۰۰ ساله، خطوط برق، شبکه‌های ارتباطی، شیب و کاربری اراضی به عنوان عواملی محوری در تعیین مکان بهینه برای گسترش شهرک پردیسان ظاهر می‌شوند. نتایج حاصل از روش FAHP قسمت جنوب شرق محدوده مطالعاتی را به‌عنوان مناسب‌ترین مکان جهت توسعه فیزیکی شهر پیشنهاد می‌کند که با محدوده کنونی سایت ۵۶۰ هکتاری مغایرت دارد. در ادامه، منطقه‌بندی و جانمایی مناطق شهری در محدوده به‌دست آمده انجام گرفت. مرحله بعدی، شامل منطقه‌بندی دقیق و مکان‌یابی استراتژیک مناطق شهری، با تأکید ویژه بر ملاحظات ایمنی، به ویژه در مورد زیرساخت‌های حیاتی مانند بیمارستان‌ها است. با این حال، با قرار گرفتن بیمارستان خاتم در مسیر پرخطر سیل، چالش مهمی وجود دارد. با این وجود، اقدامات انجام شده از طریق خاکریزها و کانال‌ها در محیط HEC-RAS-6، استراتژی‌های مدیریت سیل را در اطراف بیمارستان تسهیل کرد و راه‌حل‌های بالقوه‌ای را برای کاهش خطرات ارائه می‌دهد. در طراحی مدل توسعه شهری علاوه‌بر مکان‌یابی، جهات توسعه نیز باید در اولویت قرار گیرد. در دشت‌های سیلابی طرح

توسعه باید در طول مسیر جریان گسترش یابد و به هیچ عنوان در عرض مسیر جریان دخل و تصرفی نباید صورت گیرد. همچنین نظارت دوره‌ای مخازن رسوب در بالادست به عنوان اقدامات محوری برای تثبیت جریان و مواد آواری مؤثر است. نتایج نشان داد که ادغام مدل هیدرولیک HEC-RAS و روش FAHP بینش ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری توسعه شهری، به ویژه در مناطقی که با عوامل پرخطر، مانند دشت‌های سیلابی مشخص می‌شوند، فراهم می‌کند. این تحقیق بر ضرورت اتخاذ یک رویکرد چندبعدی شامل معیارهای مختلف و نظرات کارشناسی برای هدایت توسعه شهری، به ویژه در مناطق مستعد سیل تأکید می‌کند. تعامل پیچیده بین فرآیندهای طبیعی و گسترش شهری مستلزم درک و ادغام جامع تکنیک‌های مدل‌سازی و روش‌های ارزیابی متنوع برای اطلاع‌رسانی به رشد پایدار شهری و افزایش تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی است. این مطالعه به عنوان یک نقشه راه برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران در جهت‌یابی استراتژیک گسترش شهری و کاهش خطرات ناشی از پدیده‌های طبیعی مانند سیل، زمینه‌ساز توسعه شهری تاب‌آور و پایدار در پردیسان و مناطق مشابه است. البته باید به این موضوع توجه کرد استفاده از مدل یکپارچه SCS، HEC-RAS و FAHP علاوه‌بر افزایش تاب‌آوری شهری، در بحث تفریق بودجه طرح توسعه سودمند است. مدل‌سازی سایت ۵۶۰ هکتاری نشان داد که در زمان وقوع سیلاب ۱۰۰ ساله به سبب مکان‌یابی و طرح توسعه نامناسب، علاوه‌بر آسیب‌پذیری در زمان سیلاب، سبب افزایش حجم در کانال‌های انتقال جریان سیل پایین‌دست خواهد شد. همچنین براساس فرآیند کلی کار و نتایج به‌وجود آمده، مباحث و پیشنهاداتی وجود دارد که شاید بتواند در حل مسئله در تحقیقات آتی چاره‌ساز باشد که در ادامه ذکر شده است:

مراعات در بخش بالادستی به حفظ و پایداری محیط کمک می‌کند.

(ث) عدم صدور مجوز بلندمرتبه‌سازی و برج‌ها در مناطق حساس و تبدیل بخش آسیب‌پذیر به فضای سبز و کاربری‌های دیگر.

(ج) در بحث طراحی شهری، خیابان‌های اصلی در راستای طول مسیر جریان تعبیه شود تا بناها و ساختمان‌ها از خطرات احتمال سیلاب در امان باشند.

(چ) روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای با تأکید بر محور پیشگیری، جهت جلوگیری از شدت سیلاب و کاهش خسارت‌های جانی و مالی، مؤثر است.

(ح) مشخص کردن محدوده پهنه سیلابی و امکان تفکیک اراضی در معرض خطر سیل و تسهیل در نرخ‌گذاری برای بیمه نمودن مناطق حاشیه رودخانه، امکان برآورد مقدار خسارت وارده به زمین‌های حریم رودخانه در اثر سیلاب‌های مشاهداتی، مکان‌یابی برای ایجاد تأسیسات زیربنایی ایمن در مقابل مخاطرات طبیعی، امکان نصب علائم هشداردهنده در مناطق ناامن و همچنین کمک به توسعه و ایجاد سیستم‌های هشدار سیل از جمله مهمترین اقدامات برای کاهش آسیب‌پذیری می‌توان اشاره کرد.

(الف) در تثبیت مواد آواری و جریان سیلاب در بالادست منطقه، سازه‌های متعددی احداث شده است ولی متأسفانه به‌خاطر حجم بالای مواد آواری جریان یافته از حوضه‌ها، سبب شده تقریباً تمام بندها از شن و ماسه پر بشود. این شرایط نه تنها کاربری خودش را از دست داده بلکه سبب تغییر در مجرای پایین‌دست شده است. پیشنهاد می‌شود همکاران، شرکت‌های شن و ماسه موجود در منطقه را تخلیه و مواد، فرآوری شود.

(ب) در مدل‌سازی سیلاب در بستر مخروط‌افکنه‌ها، به‌دلیل شرایط توپوگرافی هموار، نیاز به نقشه‌های بزرگ‌مقیاس است. در واقع، هرچه مقیاس بزرگتر باشد نتایج قابل قبولی ارائه خواهد شد. نقشه‌های بزرگ‌مقیاس DSM همراه با ویژگی عوارض طبیعی و انسانی در مدل‌سازی سیلاب به‌عنوان نقشه زمینه RAS می‌تواند نتایج ارزشمندی ارائه دهد.

(پ) در محدوده‌های شهری با خطر بالای سیلاب، در صورت وجود تأسیسات و بناها، علاوه بر اقدامات حفاظتی، ارتفاع پایه سازه‌ها با حداکثر ارتفاع ثبت شده سیلاب ۱۰۰ ساله تنظیم شود.

(ت) آموزش به ساکنان محلی در نحوه شخم زدن زمین‌ها و ممانعت از چرای بی‌رویه دام‌ها و ابقای

References

- [1] Nkonu RS, Antwi M, Amo-Boateng M, Wullobayi Dekongmen B. GIS-based multi-criteria analytical hierarchy process modelling for urban flood vulnerability analysis, Accra Metropolis. Nat Hazards, 2023; 117(2): 1541-1568. doi: 10.1007/s11069-023-05915-0
- [2] Dekongmen WB, Kabo-bah AT, Domfeh KM, Sunkari DE, Dile TY, Antwi OE, Anima Gyimah AR. Flood vulnerability assessment in the Accra Metropolis, southeastern Ghana. Appl Water Sci. 2021; 11(7): 1-10. doi: 10.1007/s13201-021-01463-9
- [3] Zangiabadei A, Mohamadei G, Safaei H, Gaedrahmati S. Vulnerability indicators assessment of urban housing against the earthquake hazard case study: Isfahan housing. Geography and Development. 2008 Sep 22; 6(12): 61-79. doi: 10.22111/gdij.2008.1243 [In Persian]
- [4] Boudaghpour S, Bagheri M, Bagheri Z. Estimation of flood environmental effects using flood zone mapping techniques in Halilrood Kerman, Iran. Arabian Journal for Science and Engineering. 2015 Mar; 40(3): 659-675. doi: 10.1007/s13369-014-1536-2
- [5] Javari M. Rainfall random variability and its effects on flood risk management in Iran. Modeling Earth Systems and Environment. 2022 Mar; 8(1): 1109-1133. doi: 10.1007/s40808-021-01130-7
- [6] Rentschler J, Salhab M, Jafino BA. Flood exposure and poverty in 188 countries. Nature communications. 2022 Jun 28; 13(1): 3527. doi: 10.1038/s41467-022-30727-4

- [7] da Silva LB, Alencar MH, de Almeida AT. A novel spatiotemporal multi-attribute method for assessing flood risks in urban spaces under climate change and demographic scenarios. *Sustainable Cities and Society*. 2022 Jan 1; 76: 103501. doi: 10.1016/j.scs.2021.103501
- [8] Goodarzi MR, Hoseini A. Numerical modeling of the flood routing and zoning by Saint-Venant in the river Bostanak. *Civil Infrastructure Researches*. 2019 Feb 20; 4(2): 17-31. doi: 10.22091/cer.2017.1611.1065 [In Persian]
- [9] Wilby RL, Keenan R. Adapting to flood risk under climate change. *Progress in physical geography*. 2012 Jun; 36(3): 348-378. doi: 10.1177/0309133312438908
- [10] Di Baldassarre G. *Floods in a changing climate: inundation modelling*. Cambridge University Press; 2012 Nov 22.
- [11] Phyto AP, Yabar H, Richards D. Managing dam breach and flood inundation by HEC-RAS modeling and GIS mapping for disaster risk management. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023 Dec 1; 8: 100487. doi: 10.1016/j.csee.2023.100487
- [12] Peker İB, Gülbaz S, Demir V, Orhan O, Beden N. Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in flood modeling and flood hazard mapping. *Sustainability*. 2024 Feb 1; 16(3): 12-26. doi: 10.3390/su16031226
- [13] Khattak MS, Anwar F, Saeed TU, Sharif M, Sheraz K, Ahmed A. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2016 Apr; 41(4): 1375-1390. doi: 10.1007/s13369-015-1915-3
- [14] Research Council of the National Academies N. Mapping the Zone: Improving Flood Map Accuracy. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2010 Apr 27; 19(2): 274-275. doi: 10.1108/dpm.2010.19.2.274.2
- [15] Yodying A, Seejata K, Chatsudarat S, Chidburee P, Mahavik N, Kongmuang C, Tantane S. Flood hazard assessment using fuzzy analytic hierarchy process: A case study of Bang Rakam model in Thailand. *InProceedings of the 40th Asian Conference on Remote Sensing, Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, KR*. 2019 Oct; 14-18.
- [16] Pour Ahmad A, Mehdi A, Mehdi Behnmiri M. Studying and investigating the process and physical-spatial expansion of Qom city using Shannon, Helder and Gini entropy models. *Journal of Geography (Regional Planning)*. 2016; 7(4): 59-76. [In Persian]
- [17] Monfared AF, Ahmadi M, Derafshi K, Khodadadi M, Najafi E. Urban development assessment in flood hazard areas using integrated HEC-RAS, SCS, and FAHP models: a case study of Pardisan Settlement, Qom. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2024 Aug; 10(4): 5103-5120. doi: 10.1007/s40808-024-02053-9
- [18] Baalousha HM, Younes A, Yassin MA, Fahs M. Comparison of the fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) and fuzzy logic for flood exposure risk assessment in arid regions. *Hydrology*. 2023 Jun 26; 10(7): 136. doi: 10.3390/hydrology10070136
- [19] Souissi D, Souie A, Sebei A, Mahfoudhi R, Zghibi A, Zouhri L, Amiri W, Ghanmi M. Flood hazard mapping and assessment using fuzzy analytic hierarchy process and GIS techniques in Takelsa, Northeast Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022 Aug; 15(16): 1405. doi: 10.1007/s12517-022-10541-4
- [20] Kumi-Boateng B, Peprah MS, Larbi EK. The integration of analytical hierarchy process (AHP), fuzzy analytical hierarchy process (FAHP), and Bayesian belief network (BBN) for flood prone areas identification-a case study of the Greater Accra Region, Ghana. *J Geomat*. 2020 Oct; 14(2): 100-122.
- [21] Waananen AO. *Flood-prone areas and land-use planning: selected examples from the San Francisco Bay region, California*. US Government Printing Office; 1977, Issues 942-945.
- [22] Wang JH, Lin GF, Huang YR, Huang IH, Chen CL. Application of hybrid machine learning model for flood hazard zoning assessments. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2023 Jan; 37(1): 395-412. doi: 10.1007/s00477-022-02301-3
- [23] Arnous MO, El-Rayes AE, El-Nady H, Helmy AM. Flash flooding hazard assessment, modeling, and management in the coastal zone of Ras Ghareb City, Gulf of Suez, Egypt. *Journal of Coastal Conservation*. 2022 Dec; 26(6): 77. doi: 10.1007/s11852-022-00916-w
- [24] FEMA. *Alluvial Fans: Hazards and Management*. Federal Insurance Administration; Office of Loss Reduction. 1989.
- [25] FEMA. Appendix 5: Studies of alluvial fan flooding. Guidelines and Specifications for Study Contractors. Doc. no. 37. Washington, D.C. 1995
- [26] Safavi HM. *Engineering Hydrology*, Isfahan University Press, Second edition, Isfahan. 2018. [In Persian]
- [27] Mahdavi M. *Applied Hydrology*, Volume 2, Second edition, Tehran University Press, Tehran. 2018. [In Persian]

- [28] Reshma T, Kumar PS, Babu MR, Kumar KS. Simulation of runoff in watersheds using SCS-CN and Muskingum-Cunge methods using remote sensing and geographical information systems. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2010 Dec; 25(31): 01756–01752.
- [29] Mishra SK, Singh VP. Validity and extension of the SCS-CN method for computing infiltration and rainfall-excess rates. *Hydrological processes*. 2004 Dec 15; 18(17): 3323-3345. doi: 10.1002/hyp.1223.
- [30] Alizadeh A. Principles of applied hydrology, 34th edition, Astan gods Razavi Publishing House, Mashhad. 2013. [In Persian]
- [31] Azizian A, Samadi A. Two-dimensional flood simulation in HEC-RAS-6 numerical environment, First edition, Imam Khomeini International University of Qazvin, Qazvin. 2016. [In Persian]
- [32] Jha AK, Bloch R, Lamond J. Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. World Bank Publications; 2012 Feb 13.
- [33] Al-Shalabi MA, Mansor SB, Ahmed NB, Shiriff R. GIS based multicriteria approaches to housing site suitability assessment. In XXIII FIG congress, shaping the change, Munich, Germany, October 2006 Oct 8; 8-13.
- [34] Ulengin B, Füsün U, Umit GA. Multidimensional approach to urban quality of life: the case of Istanbul. *European Journal of Operational Research*. 2001; 130(6): 361-374. doi: 10.1016/S0377-2217(00)00047-3
- [35] Monfared AF, Raushi Sh, Mokhtari D. Investigating the physical development of the city on compact forms with an emphasis on floods (case study: Pardisan town of Qom). Doctoral Thesis, Tabriz University. 2023. [In Persian]
- [36] Rajae A. The application of geomorphology in land preparation and environmental management. Qom Publications, 4th edition, Tehran. 2012.