



Flood hazard zoning using hydraulic modeling (HEC-RAS), case study: Kangir River, Ilam Province

Mohammad Mahdi Hosseinzadeh¹ , Masoumeh Zamani² , Roya Panahi hosseinabad³ ,
Noredin Rostami⁴ 

1. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Email: m_hosseinzadeh@sbu.ac.ir

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

Email: maasomeh1366@gmail.com

3. Department of Physical Geography, Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Email: r_panahi@sbu.ac.ir

4. Department of Rangeland and Watershed, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

Email: noredin_rostami@ut.ac.ir

Article Info

Article Type:

Research Article

Article History:

Received:

7 Oct 2025

Received in revised form:

26 Jan 2026

Accepted:

27 Apr 2026

pp.135-154

Keywords:

2D HEC-RAS modeling, Flood zoning,
Flood plain,
Kangir River,
Ilam

ABSTRACT

Flooding is considered one of the most destructive hydrological hazards. The aim of this study is to evaluate the flow pattern, flood depth, and extent of the floodplain for floods with different return periods in the Kangir River using HEC-RAS modeling. Initially, the bed topography map, channel geometry data, and maximum instantaneous peak discharge at the Siahgel hydrometric station were collected and prepared, and flood scenarios with return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years were defined as model inputs. According to the modeling data, the floodplain area for a discharge with a 100-year return period (1.64 km²) was twice that of the inundation area for a 2-year return period (0.79 km²). The increasing trend of the floodplain area and flow depth for discharges with return periods from 25 to 50 and 100 years was not uniform across different reaches and depended on the topography of the riverbanks and margins. The floodplain area values for the 50- and 100-year return periods were not significant in reaches where the riverbank had a high slope and was elevated, and most changes occurred in the river's depth and velocity. Furthermore, due to the increase in ground slope and the restriction of the floodplain by high terraces, the increase in flood inundation level for the 100-year discharge was not very high. The results showed that with increasing discharge for different return periods, the depth, flow velocity, and extent of the floodplain increased, but these values were not uniform across different reaches.

Cite this article: hosseinzadeh, M.M, zamani,M., panahi hosseinabad, R. and rostami, N. (2026). Flood hazard zoning using hydraulic modeling (HEC-RAS), case study: Kangir River, Ilam Province *Quantitative Geomorphological Research*, 15(1). 135-154.

Doi: [10.22034/gmpj.2026.581525.1608](https://doi.org/10.22034/gmpj.2026.581525.1608)

Extended Abstract

Introduction

Floods rank among the most destructive natural disasters worldwide. Natural factors—such as hydrological, environmental, and topographic elements including intense and prolonged rainfall, landslides, climate change, land use patterns, and glacial lake outbursts—are among the most significant contributors to flood risk. However, the effects of human factors, including structural failures of dams, encroachment into riverine zones, and urbanization, also play a crucial role in exacerbating flood severity. Arid and semi-arid regions such as Iran often face flash floods triggered by heavy rainfall during intense downpours. This study is therefore necessary to delineate flood-prone zones along the Kengir River and to propose flood management strategies aimed at mitigating potential damages.

Methodology

The Kangir watershed, with an area of 122.71 km², is located southeast of Eyvan-e Gharb and north of Ilam Province. The Kangir River originates from the Sarab-e Eyvan spring, situated 9 km southeast of Eyvan city. The long-term average annual flow at the Siahgel hydrometric station is approximately 2.5 m³/s. To perform two-dimensional flood modeling of the Kangir River, primary data were first compiled. This dataset included a Digital Elevation Model (DEM), river channel geometry, land use/land cover data, Manning's roughness coefficients, and peak instantaneous discharge values corresponding to various return periods.

To determine the peak discharge for different return periods, the maximum annual discharge series from the Siahgel hydrometric station (with a 25-year statistical record) was fitted to various statistical distributions using the Hyfran Plus software. Among the tested distributions, the Gamma distribution provided the best fit to the observational data. Following the completion of data preparation, the model was executed for each return period to analyze the river's hydraulic behavior under

flood events of varying magnitudes. The model outputs—including flow depth maps, velocity maps, flood inundation extents, and spatial energy distribution patterns—were extracted and analyzed within a GIS environment.

Results and discussion

In this study, hydraulic modeling of the Kangir River was conducted over an 11-kilometer reach for short-term (2, 5, and 10-year), medium-term (25 and 50-year), and long-term (100-year) return periods to analyze flow behavior under flood conditions of varying intensities.

2, 5, and 10-year Return Periods: The results of the two-dimensional modeling indicate that the average flow depth in the Kangir River for discharges corresponding to the 2, 5, and 10-year return periods is 0.92 m, 1.1 m, and 1.25 m, respectively. The corresponding mean flow velocities are 0.33 m/s, 0.55 m/s, and 0.7 m/s, respectively. These values suggest the prevalence of unsteady flow conditions across a significant portion of the study reach. In this return period, the flow depth is not limited solely to the main channel but also extends into portions of the floodplain; however, a significant portion of the flow remains confined to the main river channel.

Conversely, in shallower sections, sediment transport capacity is reduced, making sediment accumulation the dominant process. Within the studied reach, the depth was greater in sections where the river width was narrower (specifically at the locations of Shoorabeh Mel and Shaleh Shouri villages). Return periods of 25, 50, and 100 years: For flood events with return periods of 25, 50, and 100 years, the average flow depths were 1.45, 1.52, and 1.97 meters, respectively. This indicates that the river occupies a significant volume of water within its channel and floodplain.

The mean depth in the 100-year return period reflects the inundation of wider, low-gradient areas of the floodplain, illustrating the expansion of the inundated area under extreme flood conditions. The depth values suggest that during a 100-year flood event, a large portion of the floodplain will experience extensive inundation. The

presence of localized points along the river with considerable depth (7 meters) indicates the existence of scour holes, areas of deep local erosion in the riverbed, or sites of hydraulic constriction. These locations are regarded as “critical points” from an engineering and management perspective.

In the 50-year event, broader sections of the floodplain become actively involved in the flood cycle. Images from the 50-year return period clearly show that the floodplain is activated along the entire river reach. Flatter river sections exhibit the greatest lateral expansion, and inundation around the villages of Shaleh-Shouri, Mir-Alamdār, and Shoorabeh-Mal becomes noticeably deeper and more pronounced. During a 100-year return period flood, the inundation reaches its maximum lateral extent, with depths of 1 to 3 meters across vast areas of the floodplain, indicative of severe flooding. The water flow is completely diverted from the first approximately 3 kilometers of the stretch, severely affecting agricultural lands, orchards, and scattered settlements.

Conclusion

According to the modeling data, the floodplain area for a discharge with a 100-year return period (1.64 km²) was twice that of the inundation area for a 2-year return period (0.79 km²). The increasing trend of the floodplain area and flow depth for discharges with return periods from 25 to 50 and 100 years was not uniform across different reaches and depended on the topography of the riverbanks and margins. The floodplain area values for the 50- and 100-year return periods were not significant in reaches where the riverbank had a high slope and was elevated, and most changes occurred in the river's depth and velocity. Furthermore, due to the increase in ground slope and the restriction of the floodplain by high terraces, the increase in flood inundation level for the 100-year discharge was not very high. The results showed that with increasing discharge for different return periods, the depth, flow velocity, and extent of the floodplain increased, but these values were not uniform across different reaches. The results emphasize that flood management in this area cannot rely solely on structural methods; instead, adopting an

integrated approach based on partial floodplain restoration and spatial land-use planning is inevitable.

In general, the results demonstrate that two-dimensional flood modeling is a powerful tool for accurately assessing flood behavior, identifying high-risk areas, and supporting management decision-making. The output of this research can serve as a basis for developing risk reduction strategies, improving watershed management, designing protective structures, and determining river boundaries under events with different occurrence probabilities.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

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

پهنه بندی خطر گسترش سیلاب با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی (HEC-RAS) مطالعه موردی: رودخانه کنگیر، استان ایلام

محمد مهدی حسین زاده^۱ ✉، معصومه زمانی^۲، رویا پناهی حسین آباد^۳، نورالدین رستمی^۴

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه maasomeh1366@gmail.com

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه r_panahi@sbu.ac.ir

۴- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران noredin_rostami@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۰۶	
صص. ۱۳۵-۱۵۴	
واژگان کلیدی: مدل‌سازی دویعدی HEC-RAS، پهنه‌بندی سیلاب، دشت سیلابی، رودخانه کنگیر، ایلام	سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین مخاطرات هیدرولوژیکی به‌شمار می‌آید. هدف این پژوهش ارزیابی الگوی جریان، عمق آبگرفتگی و گستره پهنه سیلابی در سیلاب‌هایی با دوره بازگشت مختلف در رودخانه کنگیر با استفاده از مدل‌سازی HEC-RAS است. در ابتدا نقشه توپوگرافی بستر، داده‌های هندسی کانال و حداکثر دبی پیک لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری سیاهگل جمع‌آوری و آماده‌سازی شد و سناریوهای سیلابی با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌عنوان ورودی مدل تعریف گردید. بر اساس داده‌های مدل‌سازی، پهنه سیلاب در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ (۱/۶۴ کیلومتر مربع) دو برابر پهنه آبگرفتگی در دوره بازگشت ۲ ساله (۰/۷۹ کیلومتر مربع) بوده است. روند افزایش پهنه سیلاب و عمق جریان در دبی با دوره بازگشت از ۲۵ به ۵۰ و ۱۰۰ در مقاطع مختلف یکسان نبوده و تابع توپوگرافی کرانه و حاشیه رودخانه بوده است. مقادیر مساحت پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله در بازه‌هایی که کرانه رودخانه دارای شیب زیاد و مرتفع بوده قابل ملاحظه نبوده و تغییرات بیشتر در عمق و سرعت رودخانه رخ داده است. در ضمن به دلیل افزایش شیب زمین و محدود شدن دشت سیلابی توسط پادگانه‌های مرتفع، میزان افزایش سطح آبگرفتگی ناشی از سیلاب در دبی ۱۰۰ ساله، خیلی افزایش نداشته است. نتایج نشان داد که با افزایش دبی در دوره بازگشت‌های مختلف، عمق، سرعت جریان و وسعت گسترش پهنه سیلاب افزایش داشته اما مقادیر آن در بازه‌های مختلف یکسان نبوده است.

استناد: حسین زاده، محمد مهدی، زمانی، معصومه، پناهی حسین آباد، رویا و رستمی، نورالدین. (۱۴۰۵). پهنه بندی خطر گسترش سیلاب با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی (HEC-RAS) مطالعه موردی: رودخانه کنگیر، استان ایلام. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۵(۱)، ۱۳۵-۱۵۴.

Doi: 10.22034/gmpj.2026.581525.1608

مقدمه

سیل‌ها یکی از گسترده‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی هستند که جمعیت انسانی را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهند و از مرزهای جغرافیایی، اقتصادی و سیاسی فراتر می‌روند (ژانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۴). سیل‌ها به عنوان شایع‌ترین نوع بلایای طبیعی، تقریباً در هر منطقه‌ای پس از بارش‌های شدید رخ می‌دهند و شدت آن‌ها اغلب با فعالیت‌های انسانی و تغییرپذیری اقلیمی تشدید می‌شود (پناهی حسین آبادی و همکاران، ۱۳۹۸). سیلابهای رودخانه‌ای در نتیجه بارندگی‌های ناگهانی و سنگین بر روی حوضه آبریز یا ذوب ناگهانی توده‌های برف روی سطح زمین رخ می‌دهند. جامعه جهانی در دهه‌های اخیر شاهد افزایش نگران‌کننده‌ای در فراوانی و شدت رویدادهای سیل بوده است؛ روندی که اجماع علمی آن را به اثرات ترکیبی تغییر اقلیم، دگرگونی کاربری اراضی و گسترش بی‌برنامه شهری در مناطق سیل‌خیز آسیب‌پذیر نسبت می‌دهد (باردو^۲، ۲۰۰۹؛ احمدلو و همکاران، ۲۰۱۹؛ شهیری طبرستانی و افضل‌ی مهر، ۲۰۲۲). بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷، سیل بیش از ۲ میلیارد نفر را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار داد (WHO). بررسی سالانه بلایا نشان می‌دهد که فراوانی سیل در یک دوره ۴۵ ساله تقریباً ده برابر افزایش یافته و این آمار حاکی از یک روند نگران‌کننده است (پریا و همکاران^۳، ۲۰۲۰؛ حجازی و همکاران، ۱۴۰۳). جدای از تلفات انسانی سیل، این پدیده پیامدهای ثانویه‌ای از جمله جابجایی جمعیت، تخریب سرپناه و زیرساخت‌ها، انتقال بیماری‌های منتقله از آب، اختلال در خدمات ضروری، ناامنی غذایی و آسیب‌های روانی بلندمدت به دنبال دارد (پریا و همکاران، ۲۰۲۰). مناطق کمتر توسعه یافته سهم نامتناسبی از این بار بلایا را تحمل می‌کنند، زیرا اغلب فاقد منابع ساختاری و مالی لازم برای کاهش و پاسخگویی مؤثر به سیل هستند. برای این مناطق، خسارات ناشی از سیل بزرگتر و بیشتر از مناطق برخوردار خواهد بود و چرخه معیوبی ایجاد می‌کند که در آن پاسخ به بلایا، منابع را از اولویتهای توسعه منحرف می‌کند (رزوی و همکاران^۴، ۲۰۲۰).

ضرورت مطالعه سیل از هر دو جنبه بشردوستانه و اقتصادی غیرقابل انکار است. مدیریت مؤثر سیل نیازمند درک بنیادی فرآیندهای هیدرولوژیکی، مکانیسم‌های تولید سیل و پویایی فضایی آب‌گرفتنی است (نگهبان و مکرم، ۱۴۰۳). بدون بررسی سیستماتیک رفتار سیل، جوامع در واکنش‌های پس از وقوع بلایا گرفتار می‌مانند و از راهبردهای پیشگیرانه کاهش خطر بی‌بهره می‌مانند. مطالعات سیل، پایه علمی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی، طراحی زیرساخت، آمادگی اضطراری و سیستم‌های هشدار سریع فراهم می‌کند که همگی اجزای ضروری چارچوب‌های جامع مدیریت خطر سیل هستند (بلیتی و همکاران^۵، ۲۰۱۵).

در حوزه تحلیل و پیش‌بینی سیل، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به عنوان ابزارهای ضروری برای درک، پیش‌بینی و کاهش اثرات سیل ظهور کرده‌اند. رویکردهای مدل‌سازی متنوعی توسط محققان در سراسر جهان توسعه و اجرا شده است که به طور کلی به مدل‌های فیزیکی-مینا، مدل‌های مفهومی، مدل‌های تجربی و روش‌های احتمالاتی طبقه‌بندی می‌شوند (فام و همکاران^۶، ۲۰۲۰؛ شرستا و کاوازاکی^۷، ۲۰۲۰؛ دسالگن و مولو^۸، ۲۰۲۱). مدل‌های فیزیکی-مینا شامل ویژگی‌های فیزیکی پیچیده و ماهیت پویای حوضه‌های آبخیز هستند و بازنمایی دقیقی از فرآیندهای هیدرولوژیکی ارائه می‌دهند (تججنه و همکاران^۹، ۲۰۱۷). مدل‌های مفهومی فرآیندهای هیدرولوژیکی را با استفاده از پارامترهای میدانی و

^۱ - Zhang et al

^۲ - Barredo

^۳ - Priya et al

^۴ - Razavi et al

^۵ - Belletti et al

^۶ - Pham et al

^۷ - Shrestha and Kawasaki

^۸ - Desalegn and Mulu

^۹ - Tegegne et al

رویکردهای مدل سازی مخزنی همراه با معادلات تجربی توصیف می کنند (دویا و همکاران^۱، ۲۰۱۵؛ اسکوباررویز و همکاران^۲، ۲۰۱۹). انتخاب مدل مناسب پیش بینی سیل به دلیل ماهیت مرکب فرآیندهای هیدرولوژیکی و ویژگی های غیرخطی پارامترهای ورودی، چالش مهمی را به همراه دارد. قابلیت اطمینان هر مدل پیش بینی سیل به عوامل متعددی از جمله ویژگی های ذاتی حوضه آبخیز، هدف خاص مدل سازی، مناسب بودن انتخاب مدل و مهمتر از همه، کیفیت و تغییرپذیری مکانی-زمانی پارامترهای ورودی بستگی دارد (توت و همکاران^۳، ۲۰۰۰).

در میان ابزارهای مدل سازی هیدرولیکی، سیستم تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژیک (HEC-RAS) به عنوان یک پلتفرم پایدار و قوی برای شبیه سازی رویدادهای سیل و تحلیل هیدرولیک رودخانه ها پذیرش گسترده ای یافته است (تامیرو و دنکا، ۲۰۲۱؛ مارکو و همکاران، ۲۰۱۸). این مدل شبیه سازی پروفیل های سطح آب را در شرایط جریان دائم و غیردائم امکان پذیر می کند و اثرات سازه های هیدرولیکی مختلف از جمله پل ها، زیرگذرها و سرریزها را در بر می گیرد. همچنین دارای قابلیت تهیه پهنه آب گرفتگی سیل و شناسایی مناطق سیل خیز را دارد.

طی دهه گذشته، خسارات ناشی از سیل در ایران حدود ۲۵۰ درصد افزایش یافته است (پاریزی و همکاران^۴، ۲۰۲۲). مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران اغلب با سیل های ناگهانی که به دلیل بارش شدید باران در هنگام رگبار رخ می دهند، مواجه می شوند. مدیریت ریسک سیل در این مناطق یک فرآیند تصمیم گیری پیچیده است (موهانتی و کارماکار^۵، ۲۰۲۲) و شامل ارزیابی ریسک سیل به عنوان یک استراتژی تعیین کننده برای توسعه تاب آوری مناسب است (مهریار و سورمینسکی^۶، ۲۰۲۲). ارزیابی و نقشه برداری از خطر سیل، یک اقدام غیرسازه ای پذیرفته شده برای شناسایی نقاط حساس سیل است (دزهررو و همکاران^۷، ۲۰۰۹).

ضرورت مطالعه سیلاب و شناسایی مناطق مستعد سیل برای جلوگیری از سیل های آینده به عنوان یک رویکرد حیاتی برای ارزیابی آسیب پذیری (ووچتک و ووچتک^۸، ۲۰۱۹) زمینه انجام پژوهش های مختلف داخلی و خارجی شده است. روستایی و همکاران (۱۴۰۲) شبیه سازی سیلاب بر روی اشکال تراکمی شهرک پردیسان قم را به روش شاخص های ژئومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی (HEC-RAS) انجام داده اند. بر اساس این مطالعه، نقشه حاصل از شاخص های ژئومورفولوژیکی یک دید کلی در خصوص محدوده خطر ارائه می دهد، در مقابل مدل هیدرولیکی HEC-RAS جزئیات بیشتری از محدوده خطر به نمایش می گذارد (روستایی و همکاران، ۱۴۰۲). اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۳) خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قره سو را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS پهنه بندی کرده اند. نتایج نشان داد که عدم وجود کانال های آبی مناسب برای دفع سیل جاری شده و همچنین به دلیل مسکونی بودن منطقه مورد مطالعه، همان طور که پیش بینی می شد میزان وقوع سیلاب و خسارات ناشی از سیلاب بیش از ۹۵ درصد برآورد شد (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۳).

تقی زاده فانی و لطفعلی زاده لاهرودی (۱۴۰۳) اقدام به پهنه بندی سیلاب رودخانه شهرچای ارومیه کرده اند. بررسی نقشه های نهایی نشان داد که در بازه های مورد مطالعه، دبی های با دوره بازگشت ۲۵ سال و بالاتر بیشترین خسارت به مناطق مسکونی و تأسیسات شهری، اراضی کشاورزی و باغات وارد کرده است. در مطالعه دیگر پناهی حسین

¹ - Devia et al

² - Escobar-ruiz et al

³ - Toth et al

⁴ - Parizi et al

⁵ - Mohanty & Karmakar

⁶ - Mehryar & Surminski

⁷ - Díez-Herrero et al

⁸ - Vojtek & Vojtekov

آبادی و حسین زاده (۱۴۰۳) پهنه بندی خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا را انجام داده اند. نتایج حاصل از مدل HEC-RAS نشان داد که در بازه های دوم و سوم، سیلاب در دوره بازگشت های ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ سال بسیاری از مراکز روستایی و زمین های زراعی را در بر گرفته است و غالب منطقه در پهنه خطر متوسط و زیاد قرار دارد که نیازمند مدیریت سیل است (پناهی حسین آبادی و حسین زاده، ۱۴۰۳). قهرودی تالی و مسعودی (۱۴۰۳) در پژوهشی سیلاب های رودهای دربند و گلابدره در مناطق شهری شمال تهران را با استفاده از مدل HEC RAS بر مبنای حداکثر دبی جریان سیلاب با دوره بازگشت های مختلف شبیه سازی کرده اند. نتایج حاصل از تغییرات سطح آب در نیمرخ های طولی و عرضی مقاطع منتخب، بیانگر احتمال رخداد جریان بحرانی برای گلابدره و مقصود بیک است (قهرودی تالی و مسعودی، ۱۴۰۳). حجازی و همکاران (۱۴۰۳) خطر سیلاب در حوضه آبریز ایزه- خوزستان را با استفاده از مدل های فازی ویکور و روش خطی وزنی مورد مطالعه قرار داده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۴) جریان سیلاب در رودخانه گمناب چای را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی هک راس مورد بررسی قرار داده اند. هاشمی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه خود مهم ترین پارامترهای موثر بر سیلاب شهری خرم آباد با استفاده از مدل SWMM را بررسی کرده اند.

تامیرو و تینکا^۱ (۲۰۲۱) از مدل ANN و HEC-RAS برای پهنه بندی طغیان سیل در حوضه رودخانه بارو آکوبو پایین، اتیوپی استفاده کرده اند. این مطالعه نشان داد که ادغام رویکرد ANN با مدل HEC-RAS، دقت پیش بینی در روش های سنتی پیش بینی سیل را بهبود بخشیده است. کریم و همکاران^۲ (۲۰۲۱) با استفاده از مدل HEC-RAS به بررسی خطر وقوع سیل در سد العدیم عراق پرداختند. نتایج نشان داد که تأثیر شکست احتمالی سد العدیم جدی خواهد بود، بنابراین، مدیریت مناسب برای غلبه بر این خطر مورد نیاز است (کریم و همکاران، ۲۰۲۱).

افضل و همکاران^۳ (۲۰۲۲) سیلاب حوضه رودخانه سند را با ادغام HEC-RAS و تصاویر ماهواره ای مدل سازی کرده اند. نتایج نشان داد که ادغام مدل HEC-RAS با تصاویر ماهواره ای می تواند برای هشدارهای اولیه سیل در بخش مرکزی حوضه رودخانه سند بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

چائولاگین و همکاران^۴ (۲۰۲۳) حساسیت سیل شهر کاتماندو را با استفاده از تحلیل تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر GIS مدل سازی کرده اند. یافته ها نشان داد که می توان مناطق شهری با پتانسیل سیل خیزی متوسط و بالا را شناسایی کرد (چائولاگین و همکاران، ۲۰۲۳).

آبدین و مک ویکار^۵ (۲۰۲۵) در بررسی خود خطر سیل شهری با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مدل سازی کرده اند. نتایج بررسی آنها نشان داد که در یک حوضه آبخیز شهری با نمونه برداری تصادفی از ضریب زبری، اگر عدم قطعیت ضریب زبری نسبت به یک مدل قطعی در نظر گرفته شود، تا ۴/۵ درصد بیشتر از حوضه آبخیز و تقریباً دو برابر تعداد ساختمان ها ممکن است در معرض سیل قرار گیرند (آبدین و مک ویکار، ۲۰۲۵).

با توجه به این که در طی سالیان گذشته سیلاب در رودخانه کنگیر خسارتی را به زمین های کشاورزی حاصلخیز، باغات و تاسیسات مجاور رودخانه در شهر ایوان غرب وارد کرده، ضرورت داشت این تحقیق جهت شناسایی پهنه های در معرض سیلاب رودخانه کنگیر و مدیریت سیلاب رود جهت کاهش خسارات انجام بگیرد. غالب مطالعات انجام شده با هدف تعیین پهنه سیلاب در دوره بازگشت های مختلف و یا با ادغام با روش ها و داده های محیطی جهت مدل سازی سیلاب بوده است. در این مطالعه تلاش شد وضعیت توپوگرافی و لندفرم های ژئومورفیک حاشیه کانال برای تحلیل تغییرات پهنه سیلاب در بازه های مختلف در رودخانه کنگیر استفاده شود. این پژوهش با استفاده از مدل سازی هیدرولیکی HEC-RAS

¹ - Tamiru & Dinka

² - Karim et al

³ - Afzal et al

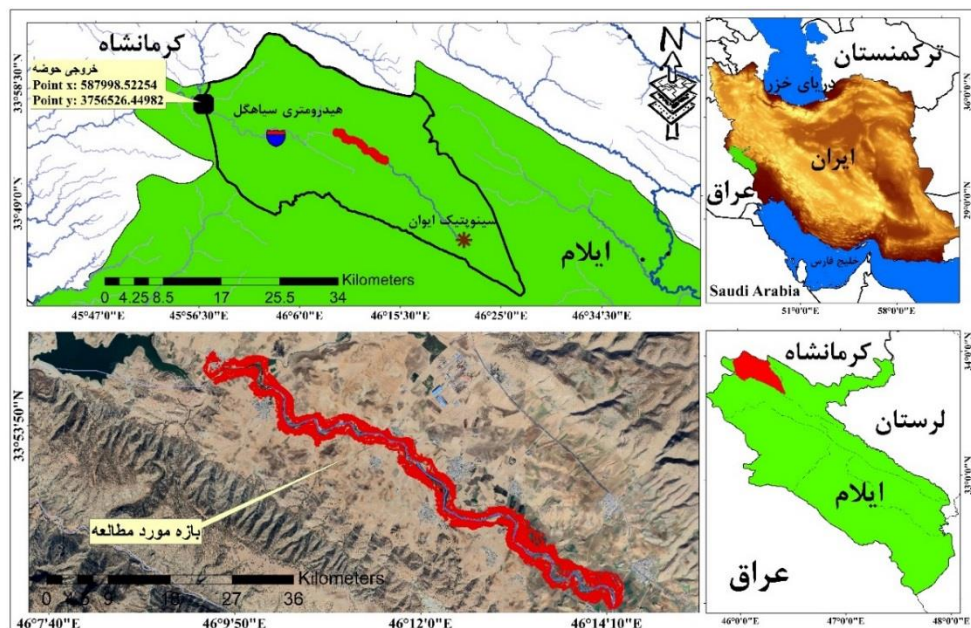
⁴ - Chaulagain et al

⁵ - Abedin & MacVicar

، داده های دبی با دوره بازگشت های مختلف و توپوگرافی منطقه حاشیه رودخانه (ریپارین) برای تولید نقشه مناطق خطر سیل و برای شبیه سازی مناطق آب گرفتگی سیل در امتداد کانال اصلی رودخانه کنگیر استفاده شده است.

مواد و روش ها

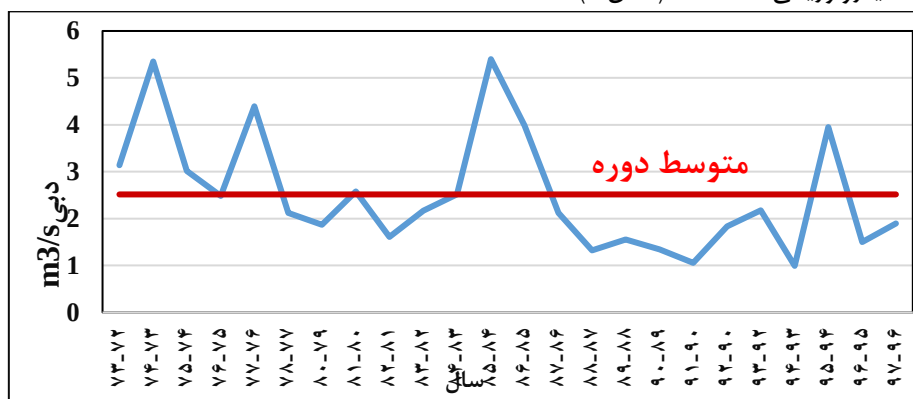
حوضه آبخیز کنگیر با مساحت ۷۷۶ کیلومتر مربع در جنوب شرقی ایوان غرب و شمال استان ایلام قرار دارد. این حوضه در طول جغرافیایی $45^{\circ} 56'$ تا $46^{\circ} 25'$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 41'$ تا $34^{\circ} 02'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). رودخانه کنگیر تنها رودخانه دائمی این حوضه می باشد که از سراب ایوان واقع در ۹ کیلومتری جنوب شرقی شهر ایوان سرچشمه می گیرد. این رودخانه از جنوب به شمال غربی جریان می یابد و شبکه های جریان موقت را از جهات شمال شرق و جنوب غرب دریافت می کند. مهم ترین ارتفاعات حوضه کوه مانشت (به ارتفاع ۲۶۵۰ متر) در جنوب شرق حوضه و رشته کوه های بانکول (ارتفاع ۲۳۵۱ متر) در شمال شرق و شره زول (ارتفاع ۲۰۴۵ متر) در جنوب غرب حوضه و ارتفاع متوسط منطقه حدود ۱۲۰۰ متر است. از نظر شیب مرکز دشت هموار و داری شیب زیر پنج درجه است از مرکز به طرف شمال شرق (بانکول) و جنوب غرب (شیره زول) شیب افزایش می یابد و شکل حوضه بصورت کشیده و باریک است. حوضه آبریز کنگیر بخشی از واحد زمین ساختی زاگرس چین خورده است. براساس نقشه زمین شناسی منطقه (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی) تمامی ارتفاعات حوضه از آهک آسماری (as) تشکیل یافته اند. دیگر سازندهای تشکیل دهنده حوضه پادگانه ها و مخروطه افکنه های قدیمی (Qt1) پادگانه ها و مخروطه افکنه های جوان (Qt2) و رسوبات سیلابی (Qa1) است. اقلیم منطقه براساس روش دمارتن، مدیترانه ای است. میانگین بارش بلندمدت منطقه بر اساس داده های ایستگاه سینوپتیک ایوان، ۶۹۲ میلیمتر است. حداکثر دمای سالانه ۴۴ و حداقل دمای سالانه ۱۲- درجه سانتیگراد و میانگین دمای سالانه ۱۵/۵ درجه سانتیگراد است. متوسط تعداد روزهای یخبندان منطقه ۳۵ روز در سال است. (وزارت نیرو، ۱۴۰۲). با وجود بارندگی های قابل توجه در حوضه، احتمال وقوع سیلاب های فصلی وجود دارد بخصوص فصل بهار که با ذوب شدن برف در ارتفاعات این سیلاب ها جریان می یابند.



شکل ۱: نقشه موقعیت رودخانه کنگیر ایوان غرب

Figure 1: Map of the location of the Kangir River in Ivan Gharb

جریان سالانه ایستگاه هیدرومتری سیاهگل نوسانات شدید بین حدود ۱ تا ۵/۵ مترمکعب بر ثانیه و مقدار متوسط بلندمدت حدود ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه است. در سال‌های ۷۲-۷۳، ۷۵-۷۶، ۸۴-۸۵، ۹۴-۹۵ سال‌های پر بارش و با دبی بالا هستند اما سال‌های ۸۱-۸۲ تا ۸۵-۸۶ و نیز ۹۰-۹۱ و ۹۳-۹۴ سال‌های خشک و کم‌دبی‌اند. روند کلی نشان‌دهنده کاهش نسبی دبی سالانه طی دوره آماری مورد مطالعه بوده و حساسیت بالای حوضه به تغییرات بارشی باعث ایجاد نوسانات شدید هیدرولوژیکی شده است (شکل ۲).



شکل ۲: هیدروگراف سالانه جریان ایستگاه هیدرومتری سیاهگل، حوضه آبریز کنگیر

Figure 2: Annual flow hydrograph of Siahgol hydrometric station, Kangir basin

هدف این مطالعه، تهیه نقشه غرقابی سیل و ارائه وسعت مکانی سیلاب در امتداد رودخانه کنگیر با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS به همراه پیش‌بینی سرعت جریان، عمق آب و حداکثر سیل محتمل است. نرم‌افزار HEC-RAS (v. 5.0) یک برنامه کامپیوتری است که برای مدل‌سازی جریان رودخانه در کانال‌های طبیعی باز توسعه یافته و برای محاسبه پروفیل سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (لامیچهان و شارما^۱، ۲۰۱۸؛ دووری و ناراسیمهان^۲، ۲۰۱۳). این نرم‌افزار به دلیل قابلیت‌ها و توانایی‌هایش در شبیه‌سازی جریان غیردائمی و شناسایی مناطق مستعد سیل که در آن‌ها سطح زمین پایین‌تر از پروفیل آب محاسبه شده است، توسط مهندسان هیدرولیک و محققان مختلف پذیرفته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (ماریمین و همکاران^۳، ۲۰۱۸) و به محقق امکان می‌دهد تا وسعت سیلاب را در طول مسیر رودخانه شبیه‌سازی کند (میدمنت^۴، ۲۰۱۷؛ تیمبادیا و همکاران^۵، ۲۰۱۱). تجسم کند. هندسه رودخانه مانند خطوط مرکزی، خطوط کناری، مسیرهای جریان و خطوط مقطع عرضی، پارامترهای اصلی پردازش شده در HEC-RAS برای تولید مناطق مستعد سیل هستند.

پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی مناطق مستعد سیل شامل مورفومتری رودخانه مانند خطوط مرکزی، خطوط کناری، مسیرهای جریان، مقاطع عرضی، ضریب زبری، ضرایب انقباض و انبساط کانال و هندسه سازه‌های عرضی در طول مسیر می‌شوند.

¹ - Lamichhane and Sharma

² - Duvvuri and Narasimhan

³ - Marimin et al

⁴ - Maidment

⁵ - Timbadiya et al

برای انجام مدل‌سازی هیدرولیکی، ابتدا داده‌های پایه شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، اطلاعات هندسی مسیر رودخانه، کاربری اراضی، ضرایب زبری مانینگ و دبی حداکثر لحظه ای با دوره‌های بازگشت مختلف گردآوری شد. مدل رقومی ارتفاعی منطقه با قدرت تفکیک پیکسلی ۱×۱ متر برای استخراج پارامترهای اصلی استفاده گردید. در محیط GIS پردازش شد تا لایه توپوگرافی هموار و قابل استفاده برای ساخت مدل ارتفاعی زمین در HEC-RAS 2D آماده شود. محدوده دشت سیلابی، بستر اصلی و اراضی پیرامونی نیز بر اساس لایه توپوگرافی، مدل ارتفاعی زمین و برداشت‌های موجود تعیین و برای اعمال شرایط هیدرولیکی طبقه‌بندی شدند.

در مرحله آماده‌سازی مدل، محدوده محاسباتی رودخانه در HEC-RAS به صورت دوبعدی تعریف شد و شبکه محاسباتی (D Mesh^۲) با ابعاد سلولی متناسب با پیچیدگی هندسه رودخانه ایجاد گردید؛ به طوری که در بخش‌های پیچان رود و کانال اصلی از سلول‌های ریزتر و در دشت سیلابی از سلول‌های بزرگ‌تر برای کاهش زمان محاسباتی استفاده شد.

یکی از پارامترها در مدل سازی، ضریب مانینگ است که بر روی سرعت جریان و پهنه گسترش سیلاب تاثیرگذار است. جهت محاسبه ضریب زبری مانینگ از روش کوان (Cowan) استفاده شده است؛ که در این روش مقدار ضریب زبری مانینگ بر اساس زبری بستر کانال، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی، شکل مسیر، الگوی رودخانه، وجود موانع در مسیر جریان، دبی جریان محاسبه می شود. سپس ضرایب مانینگ با توجه به ناهمگونی‌های بستر و کاربری اراضی به بخش‌های مختلف مدل اختصاص یافت. در مدل سازی HEC-RAS سرعت وابسته به ضریب مانینگ است اگر مقدار مانینگ بیش از حد برآورد شود سرعت کمتر از واقعی می‌شود (پناهی حسین آبادی و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات سرعت در HEC-RAS نقش اساسی در درک ویژگی‌های جریان رودخانه ایفا می کند. این نرم‌افزار پروفیل‌های سرعت قائم و افقی را تولید کرده و درک جامعی از سرعت‌های جریان در اعماق و مکان‌های مختلف فراهم می کند.

جهت تعیین دبی در دوره بازگشت‌های مختلف، با استفاده از حداکثر دبی ایستگاه هیدرومتری سیاهگل با دوره آماری ۲۵ ساله با کمک نرم افزار Hyfran Plus با توزیع‌های مختلف آماری برازش شده‌است و با توجه به نتایج جهت انتخاب توزیع برتر، توزیع گاما بهترین برازش را با داده‌های مشاهداتی داشته است. بر پایه توزیع فوق مقادیر دبی با دوره بازگشت-های مختلف محاسبه و نتایج در جدول (۱) نشان داده شده‌است.

سپس شرایط مرزی ورودی و خروجی تعیین شده در بالادست، هیدروگراف جریان متناظر با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به عنوان شرایط مرزی اعمال شد و در پایین دست نیز شیب هیدرولیکی یا شرایط عمق نرمال انتخاب گردید (تامیرو و دینگ، ۲۰۱۹؛ زیلداکوا و همکاران^۱، ۲۰۱۹؛ حسین زاده و همکاران، ۲۰۲۲).

جدول ۱: مقادیر سیلاب (مترمکعب بر ثانیه) در دوره بازگشت‌های مختلف برای رودخانه کنگیر جهت استفاده در مدل هیدرولیکی

HEC-RAS

Table 1: Flood values (cubic meters per second) in different return periods for the Kangir River for use in the HEC-RAS hydraulic model

دوره بازگشت (سال)	۲	۳	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
ایستگاه هیدرومتری سیاهگل	۱۶۱	۲۳۰	۳۰۶	۴۰۸	۵۳۷	۶۳۲	۷۲۵

پس از تکمیل فرآیند آماده‌سازی، مدل برای هر یک از دوره‌های بازگشت اجرا شد تا رفتار هیدرولیکی رودخانه در رخداد‌های سیلابی با شدت‌های متفاوت تحلیل شود. خروجی‌های مدل شامل نقشه عمق جریان، نقشه سرعت، پهنه

^۱ - Zelenáková et al

آبگرفتگی، الگوی توزیع انرژی استخراج و در محیط GIS تحلیل شدند. همچنین برای اطمینان از دقت نتایج، خروجی مدل با ویژگی‌های مورفولوژیک مشاهده‌شده و الگوهای شناخته‌شده رفتار رودخانه در خم‌ها و گلوگاه‌ها مقایسه گردید (پناهی و همکاران، ۱۳۹۸؛ پناهی و همکاران، ۱۴۰۰). در نهایت بر اساس داده‌های فوق پهنه سیلاب در طول رودخانه کنگیر مدل سازی گردید (دسالگن و مولو^۱، ۲۰۲۱؛ جایاچاندرا و سینگ^۲، ۲۰۲۳).

نتایج و بحث

تحلیل رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها و پیش‌بینی پاسخ آن‌ها در شرایط مختلف هیدرولوژیکی، به‌ویژه در زمان وقوع سیلاب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رودخانه کنگیر، از رودخانه‌های مهم استان ایلام، ضمن عبور از مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی، در سال‌های اخیر شاهد رخداد‌های سیلابی قابل توجهی بوده است بنابراین ضرورت مدلسازی مخاطره سیلاب در این رودخانه وجود داشته است.

در این پژوهش، مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه کنگیر در بازه ایی به طول ۱۱ کیلومتر، در دوره بازگشت کوتاه‌مدت (۲، ۵ و ۱۰ سال)، میان‌مدت (۲۵ و ۵۰ سال) و بلندمدت (۱۰۰ سال) انجام گرفت تا رفتار جریان در شرایط سیلابی با شدت‌های متفاوت بررسی شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، تحلیل وسعت منطقه زیر آب رفته، تغییرات عمق جریان و سرعت، تحت سیل‌های با دوره بازگشت مختلف، توسط جریان‌های اوج به دست آمده از تحلیل فراوانی انجام شده با استفاده از حداکثر دبی لحظه‌ای موجود در رودخانه کنگیر بوده است.

دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله: نتایج مدل‌سازی دوبردی نشان می‌دهد که متوسط عمق جریان در رودخانه کنگیر برای دبی متناظر با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ۰٫۹۲، ۱٫۱ و ۱٫۲۵ متر بوده است که نشان‌دهنده وجود جریان ناپایدار در بخش عمده‌ای از بازه مورد مطالعه است. عمق جریان در این دوره بازگشت تنها محدود به بستر اصلی نیست و در بخش‌هایی از دشت سیلابی نیز توسعه پیدا کرده است، اما همچنان بخش قابل توجهی از جریان تحت کنترل کانال اصلی رودخانه است (شکل ۳).

حداکثر عمق جریان (۷/۵۴ متر) در دوره بازگشت ۱۰ سال، معمولاً در مقاطع میانی و پایینی رودخانه دیده می‌شود که نشان‌دهنده کاهش عرض و عمق کانال در بخش‌های پایینی و تمرکز جریان در کانال اصلی رودخانه است. در سیلاب دوره بازگشت ۱۰ ساله، رودخانه در بخش عمده مسیر خود به عمق‌های ۱ تا ۳ متر می‌رسد و نشان‌دهنده به زیر آب رفتن دشت سیلابی و مناطق اطراف کانال اصلی هستند که پهنه سیلاب تمامی زمین‌های کشاورزی داخل پیچ‌های رودخانه را در بر گرفته است (شکل ۳). همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود عمق جریان در پیچ‌های رودخانه بیشتر است این یک رفتار طبیعی هیدرولیکی در خم‌ها است یعنی جریان به سمت ساحل خارجی هدایت می‌شود و باعث فرسایش ساحل بیرونی و رسوب‌گذاری ساحل داخلی می‌شود (جدول ۲).

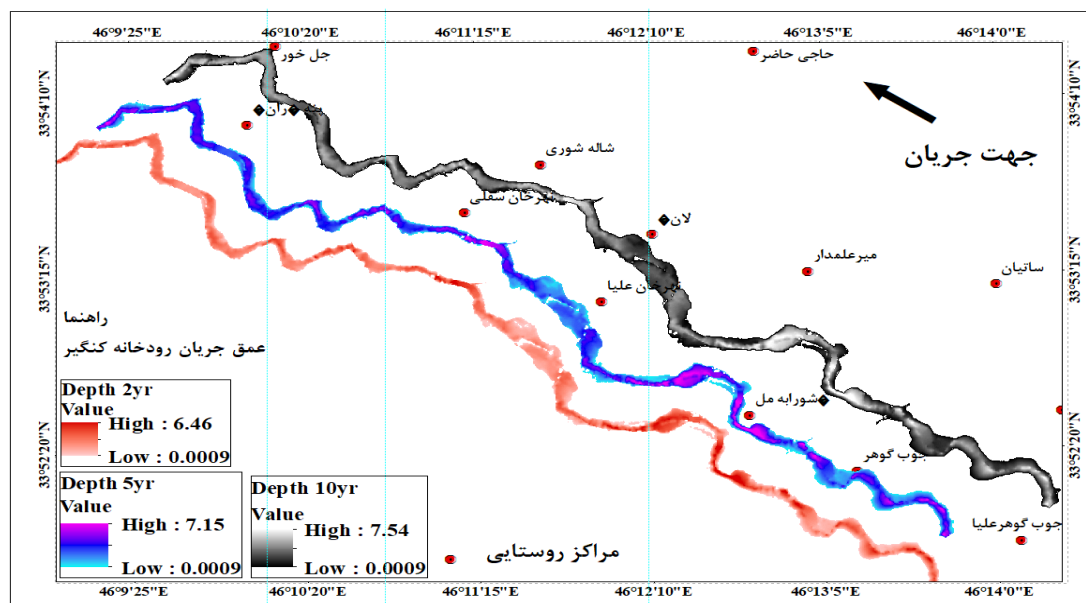
جدول ۲: نتایج پهنه سیلاب جریان در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

Table 2: Results of flood area in the 2, 5, and 10-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

مساحت	۶۸۹۱۴۶	۷۹۵۲۴۷	۱۱۷۵۰۲۸	دوره بازگشت ۱۰ سال
پلان رودخانه (m ²)	دوره بازگشت ۲ سال	دوره بازگشت ۵ سال	دوره بازگشت ۱۰ سال	

¹ - Desalegn & Mulu

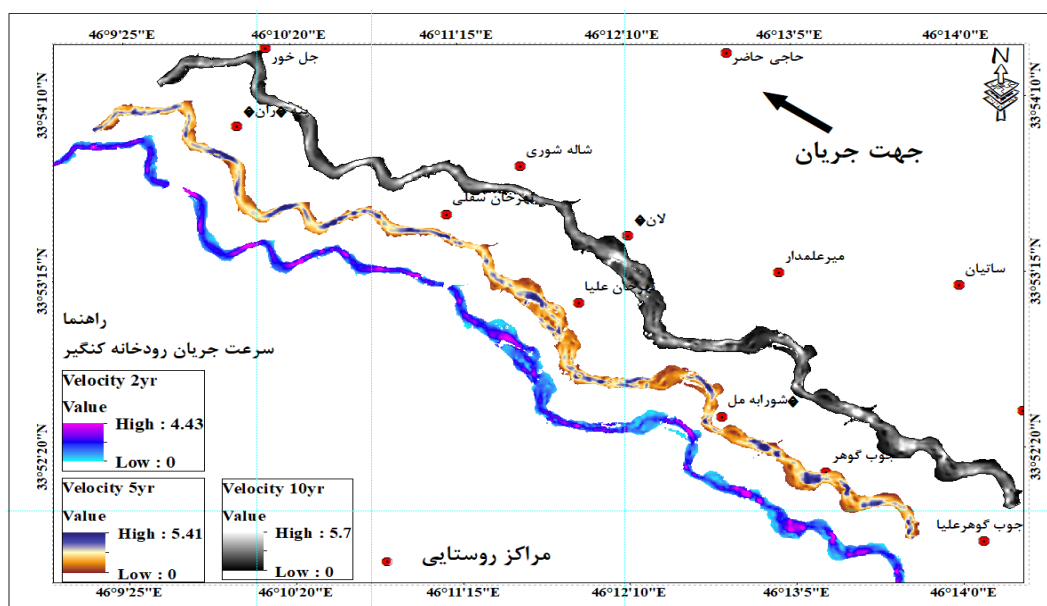
² - Jayachandran & Singh



شکل ۳: نتایج عمق جریان در دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2
Figure 3: Results of flow depth in the 2, 5, and 10-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

دامنه تغییرات عمق در دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب ($\text{Std: } \approx 1/0.57$ ، $0/98$ ، $0/9$) بوده است که در هر سه دوره بازگشت نشان می دهد اختلاف عمق در طول رودخانه قابل توجه است. الگوی جریان یکنواخت نبوده و توزیع انرژی و انتقال رسوب در طول مسیر بسیار متغیر است. در قسمت هایی که مقدار عمق بیشتر است، شرایط برای فرسایش بستر و کرانه با تمرکز انرژی جریان بیشتر وجود دارد، در حالی که در بخش هایی با عمق کمتر، توان حمل کاهش یافته و احتمال انباشت رسوبات غالب است. در بازه مورد مطالعه در قسمت هایی که عرض رودخانه کم بوده است (در محل روستای شورابه مل و شاله شوری) عمق بیشتر بوده است.

میانگین سرعت جریان در دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال به ترتیب $0/33$ ، $0/55$ و $0/7$ متر مکعب بر ثانیه بوده است که در دوره بازگشت های ۲ و ۵ سال، دارای شدت کم همراه با دبی کمتر است و در دوره بازگشت ۱۰ سال، جریان در اغلب بخش های رودخانه دارای شدت متوسط است و سیلاب از نوع پر انرژی اما غیرمخرب محسوب می شود. حداکثر سرعت در دوره بازگشت ۱۰ سال $5/7$ متر مکعب بر ثانیه بوده است. این مقدار سرعت جریان بسیار بالا بوده و نشان می دهد که نقاطی از رودخانه، جریان فوق العاده پرانرژی بوده همچنین احتمال فرسایش شدید، تخریب کناره و ناپایداری بستر بسیار زیاد است. غالباً رودخانه در پیچ های تند، گلوگاه ها و محدوده های باریک شدگی بستر، سرعت جریان افزایش یافته که بیانگر تأثیرپذیری از هندسه خم ها و تغییرات عرض و شیب بستر است (شکل ۴).



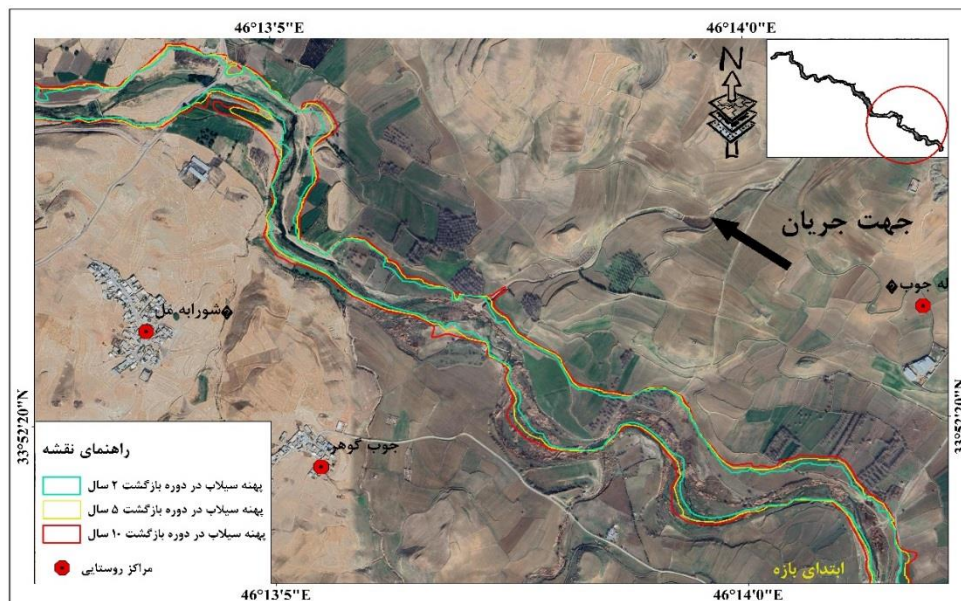
شکل ۴: نتایج سرعت جریان در دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

Figure 4: Flow velocity results in the 2, 5, and 10-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

از منظر مدیریت سیلاب، نتایج نشان می‌دهد که برای دوره بازگشت دو ساله، رودخانه در بسیاری از نقاط در بستر خود جریان داشته و خطر گسترش سیلاب محدود است فقط در ۳ کیلومتر ابتدای بازه، زمین‌های کشاورزی واقع در داخل پیچ رودخانه در معرض سیلاب قرار دارند؛ اما در مقاطعی که عمق افزایش ناگهانی داشته، باید وضعیت پایداری دیواره‌ها، نزدیکی اراضی کشاورزی و زیرساخت‌ها ارزیابی گردد، زیرا این نقاط معمولاً نقاط بحرانی آغاز فرسایش و سرریز در دبی‌های بالاتر هستند.

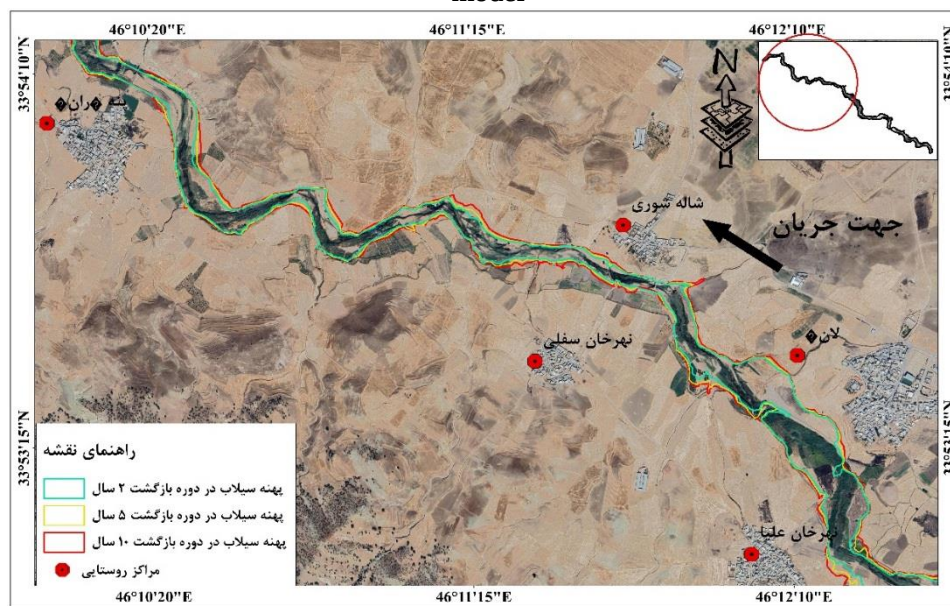
در دوره بازگشت ۱۰ سال که دشت سیلابی در چند مقطع در معرض آبگرفتگی ناشی از سیل قرار دارد، باعث گسترش محسوس پهنه آب در برخی دشت‌های کناری شده است (ابتدای بازه و همچنین محل روستای چوب‌گهر و پایین‌تر از روستای شورابه مل) (شکل ۵). رودخانه در این دوره بازگشت نسبتاً پراثری است همچنین در محل روستای چوب‌لان و نهرخان علیا سیلاب رودخانه در دوره بازگشت ۱۰ سال گسترش سیلاب بیشتر از دیگر مناطق است (شکل ۶).

در ۳ کیلومتر ابتدای بازه، خروج سیلاب از بستر در ترکیب با سرعت زیاد، منطقه‌ای بسیار خطرناک ایجاد شده است و مناطق دارای کاربری انسانی (زمین‌های کشاورزی، منازل مسکونی روستاییان) نیازمند مدیریت جدی می‌باشد (شکل ۵ و ۶).



شکل ۵: پهنه سیلاب در دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

Figure 5: Floodplain in the 2, 5, and 10-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model



شکل ۶: پهنه سیلاب در دوره بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

Figure 6: Floodplain in the 2, 5, and 10-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله: انتخاب دوره بازگشت مناسب در مطالعات سیلاب، یک رویکرد مدیریتی و اقتصادی مبتنی بر ارزیابی ریسک، تراکم جمعیت، ارزش زیرساخت و چشم انداز توسعه شهر است. بدین ترتیب دوره بازگشت ۲۵ ساله از نظر پذیرش ریسک محدود برای پروژه های عادی مورد استفاده قرار می گیرد و دوره بازگشت ۵۰ ساله با تاکید بر امنیت،

برای زیرساخت‌های مهم و همچنین استفاده از دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای مراکز حیاتی و مناطق حساس مورد استفاده برنامه ریزان قرار می‌گیرد (جدول ۳).

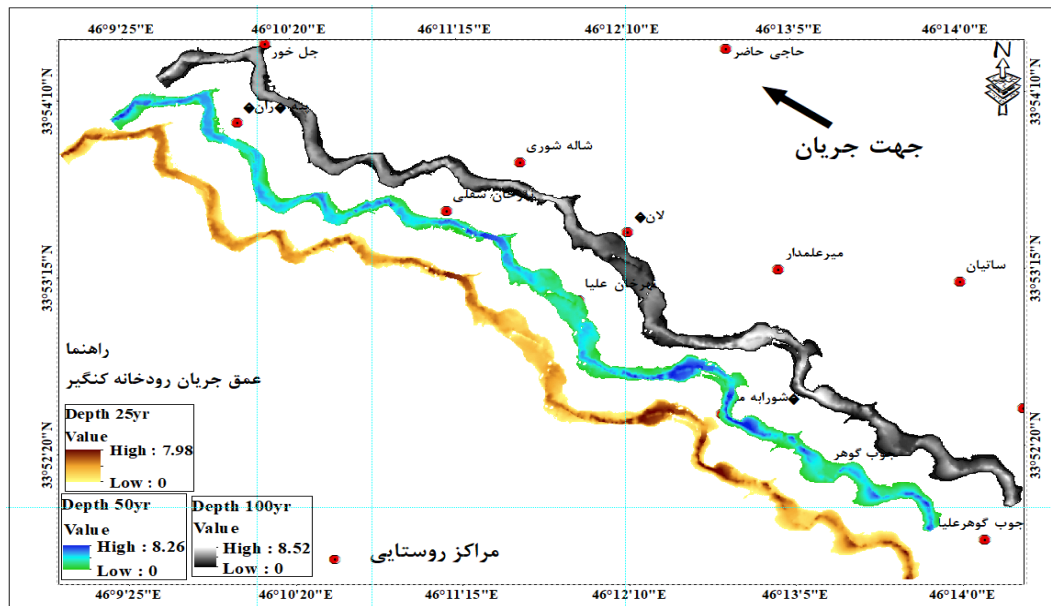
جدول ۳: نتایج پهنه سیلاب جریان در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2
Table 3: Results of flood area in the 25, 50, and 100-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

پلان رودخانه (m ²)	دوره بازگشت ۲۵ سال	دوره بازگشت ۵۰ سال	دوره بازگشت ۱۰۰ سال
مساحت	۱۴۵۵۷۲۷	۱۵۵۲۸۹۴	۱۶۴۱۲۹۱

در سیلاب با دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، متوسط عمق به ترتیب ۱/۴۵، ۱/۵۲ و ۱/۹۷ متر بوده است که نشان می‌دهد در بسیاری از قسمت‌های رودخانه، بخش عمده سیلاب در بستر و پهنه سیلابی را اشغال می‌کند (شکل ۷). میانگین عمق در دوره بازگشت ۱۰۰ سال نشان می‌دهد این میزان عمق متوسط، بیانگر نفوذ سیلاب به نواحی هموارتر و کم‌شیب دشت سیلابی و گسترش پهنه سیلابی در شرایط وقوع سیل با شدت بسیار بالا است. در مقابل، بخش‌های گسترده‌ای از دشت سیلابی دارای عمق بین ۱ تا ۳ متر هستند که این محدوده عمقی، معرف گسترش پهنه سیلابی و سرریز جریان از بستر اصلی به نواحی جانبی است. این مقادیر عمق نشان می‌دهد که در رخداد سیلاب ۱۰۰ ساله، بخش بزرگی از دشت سیلابی درگیر آبگرفتگی گسترده خواهد شد و مدیریت کاربری اراضی در این نواحی نیازمند محدودیت‌های جدی توسعه‌ای است.

وجود مقادیر حداقل عمق (حدود ۰/۰۱ متر) نیز نشان می‌دهد که برخی نواحی پیرامونی پهنه سیلابی تنها دچار آب‌پخش‌شدگی سطحی شده‌اند و عمق سیلاب در آن‌ها خطرناک نیست؛ اگرچه همین نواحی نیز در برنامه‌های مدیریت ریسک سیلاب باید به‌عنوان مناطق با احتمال غرقابی لحاظ شوند (شکل ۷).

در طول رودخانه وجود نقاط موضعی با عمق‌های بسیار بالا (۷ متر) نمایانگر گودال‌ها، فرسایش موضعی عمیق در بستر و یا مکان‌های تنگ‌شدگی هیدرولیکی است که از حیث مهندسی و مدیریتی «نقاط بحرانی» تلقی می‌شوند. در کرانه محدب معمولاً عمق کمتر و در کرانه مقعر عمق بیشتری مشاهده می‌شود؛ خصوصاً در پیچ‌های تند که فرسایش کناره‌ای باعث عمیق شدن بستر شده است. با توجه به شرایط فوق در محل روستای شورابه مل و میرعلمدار و انتهای بازه متصل به دریاچه سدکنگیر و همچنین مقاطی از رودخانه در محل روستای شاله شوری دارای عمق زیاد می‌باشد (شکل ۷).



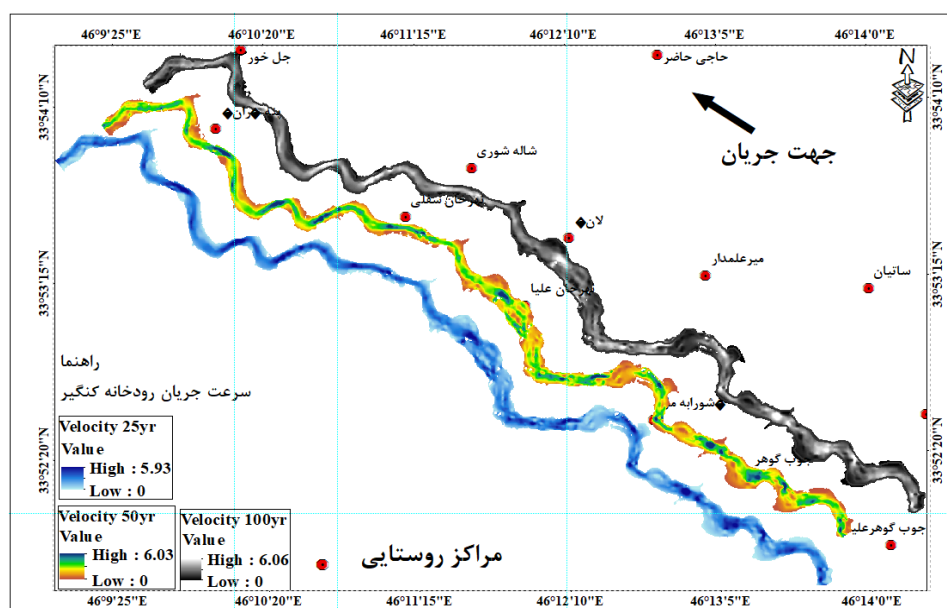
شکل ۷: نتایج عمق جریان در دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

Figure 7: Flow depth results in the 25, 50, and 100-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

نتایج مدل سازی نشان داد که میانگین سرعت جریان در سیلاب ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۰/۹، ۱/۰۵ و ۱/۳۹ متر بر ثانیه است. در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله که حکایت از رفتار نیمه پرشتاب در بستر اصلی دارد اما در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله رشد محسوسی را در شدت جریان نشان می دهد؛ این افزایش سرعت در رخداد های شدیدتر نشان دهنده افزایش حجم رواناب، بالارفتن انرژی جریان و گسترش پهنه سیلابی با سرعت مؤثرتر است (شکل ۸).

با این حال مقدار حداکثر در دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۵/۹۳، ۶/۰۳ و ۶/۰۶ متر بر ثانیه بوده است که در بازه مورد مطالعه در مقاطع خصوصاً پیچانرودی مشاهده شده که می تواند نشان دهنده تمرکز انرژی، پتانسیل بالای فرسایش کناره ها باشد (شکل ۹ و ۱۰).

افزایش سرعت در مناطق پیچانرودی با شکل هندسی مسیر ارتباط مستقیم داشته و مطابق روابط مورفودینامیکی، پیچ های خارجی با افزایش سرعت و پیچ های داخلی با کاهش سرعت مواجه اند. این رفتار در مدلسازی رودخانه کنگیر بیانگر تأییدی بر کارایی مدل در باز تولید رفتار طبیعی رودخانه محسوب می شود (شکل ۸).



شکل ۸: نتایج سرعت جریان در دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

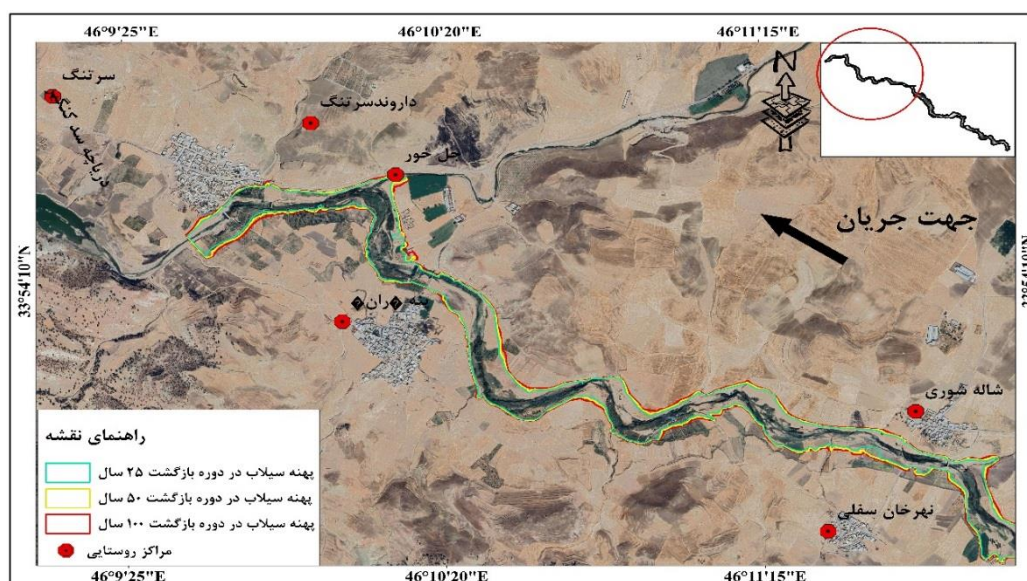
Figure 8: Flow velocity results in the 25, 50, and 100-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

یکی از نکات قابل توجه در نتایج دوره ۱۰۰ ساله، گسترش نواحی با سرعت‌های متوسط ۲ تا ۴ متر بر ثانیه در تمامی بخش‌های دشت سیلابی است؛ در حالی که در سناریوی ۵۰ ساله این سرعت‌ها محدود به کانال اصلی بودند. این موضوع بیانگر آن است که با افزایش شدت سیلاب، دشت سیلابی به عنوان گیرنده حجم سیلاب و انرژی عمل می‌کند، این مساله می‌تواند فرسایش و ناپایداری دشت سیلابی به ویژه در حاشیه کانال را افزایش دهد و بازنگری در تعیین حریم رودخانه و مدیریت کاربری اراضی دشت سیلابی را ضروری سازد.

از نظر مدیریت سیلاب در سیلاب ۲۵ ساله، الگوی پهنه سیلابی نسبت به دوره‌های پایین‌تر گسترش قابل توجهی پیدا می‌کند، اما هنوز بخش عمده جریان در بستر اصلی رودخانه باقی مانده است. در پیچ‌های رودخانه، آب از کانال اصلی خارج شده و به بخش‌هایی از دشت سیلابی نفوذ کرده و زمین‌های کشاورزی اطراف روستاهای شورابه‌مل و میرعلمدار در این دوره بازگشت وارد پهنه آبگرفتگی می‌شوند (شکل ۹).

در رخداد ۵۰ ساله، از نظر گسترش پهنه سیلابی، بخش‌های وسیع‌تری از دشت سیلابی به‌طور فعال وارد چرخه سیلاب شده است. مدل‌سازی دوره بازگشت ۵۰ ساله مشخص می‌کند که دشت سیلابی در تمام طول بازه رودخانه فعال است. بخش‌های هموارتر رودخانه (به‌خصوص بخش‌های میانی منطقه مورد مطالعه) بیشترین گسترش افقی را دارند و همچنین آبگرفتگی در اطراف روستاهای شاله‌شوری، میرعلمدار و شورابه‌مل کاملاً محسوس و عمیق‌تر شده است (شکل ۹ و ۱۰). در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، سیلاب به حداکثر توسعه افقی خود می‌رسد و عمق ۱ تا ۳ متر در بخش‌های عظیمی از دشت سیلابی گسترش یافته و نشان‌دهنده سیل‌گیری شدید است. جریان آب از حدود ۳ کیلومتر ابتدای بازه کاملاً خارج شده و اراضی کشاورزی، باغات و برخی سکونتگاه‌های پراکنده به‌شدت درگیر می‌شوند (شکل ۹ و ۱۰).

براساس نقشه‌های سرعت دوره بازگشت ۱۰۰ سال، سرعت‌های ۲ تا ۴ متر بر ثانیه در دشت گسترده شده؛ یعنی سیلاب نه‌فقط عمیق، بلکه پرانرژی است و قابلیت تخریب بسیار زیاد خاک دشت سیلابی، دیواره‌های کناری و زیرساخت‌ها را دارد و این دوره بازگشت معرف پهنه خطر بسیار زیاد است.



شکل ۱۰: پهنه سیلاب در دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال رودخانه کنگیر، مدل HEC-RAS 2

Figure 10: Floodplain in 25, 50, and 100-year return periods of the Kangir River, HEC-RAS 2 model

نتیجه گیری

در این پژوهش، رفتار هیدرودینامیکی جریان و گسترش پهنه سیلاب در دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با بهره‌گیری از مدل دوبردی HEC-RAS در رودخانه کنگیر مورد تحلیل قرار گرفت. این مدل امکان تحلیل گستره مناطقی که احتمالاً تحت سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف دچار آب‌گرفتگی می‌شوند، را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های مدل سازی، پهنه سیلاب در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ (۱/۶۴ کیلومتر مربع) دو برابر پهنه آبگرفتگی در دوره بازگشت ۲ ساله یعنی در وضعیت دبی لبالبی (۰/۷۹ کیلومتر مربع) بوده است. در دوره‌های بازگشت پایین، سیلاب عمدتاً در کانال اصلی محدود شده و خطر گسترش جانبی محدود است؛ با این حال، در مقاطع تنگ‌شدگی، پیچان‌رودها و نواحی روستاهای نهر خان علیا و شاله‌شوری، عمق و سرعت به سطوح بحرانی رسیده و این نقاط به‌عنوان کانون‌های اولیه ناپایداری و فرسایش قابل شناسایی‌اند. پهنه سیلاب در دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله، فقط بخش‌های محدود نزدیک کانال را متأثر ساخته است؛ اما در دوره ۵۰ و ۱۰۰ ساله پهنه دشت سیلابی توسط سیلاب فراگرفته شد. به طوری که بیشترین میزان گسترش و شدت سیلاب اتفاق افتاده و بخش وسیعی از دشت سیلابی (زمین‌های داخل پیچ متاندر رودخانه) تحت تأثیر عمق‌های ۱ تا ۳ متری قرار گرفته و سرریز گسترده جریان از کانال اصلی موجب شکل‌گیری پهنه‌ای با خطرپذیری بالا شده است. این شرایط نیازمند اعمال محدودیت‌های توسعه‌ای و تقویت سازه‌های موجود مدیریت کاربری اراضی است. در ضمن به دلیل افزایش شیب زمین و محدود شدن دشت سیلابی توسط پادگانه‌های مرتفع، میزان افزایش سطح آبگرفتگی ناشی از سیلاب در دبی ۱۰۰ ساله، خیلی افزایش نداشته است. نتایج نشان داد که با افزایش دبی در دوره بازگشت های مختلف، عمق، سرعت جریان و وسعت گسترش پهنه سیلاب افزایش داشته اما مقادیر آن در بازه های مختلف یکسان نبوده است.

روند افزایش پهنه سیلاب، عمق جریان و انتقال انرژی در دشت سیلابی در دبی با دوره بازگشت از ۲۵ به ۵۰ و ۱۰۰ در مقاطع مختلف یکسان نبوده و تابع توپوگرافی کرانه و حاشیه رودخانه بوده است. مقادیر مساحت پهنه سیلاب در دوره بازگشت های ۵۰ و ۱۰۰ ساله در بازه هایی که کرانه رودخانه دارای شیب زیاد و مرتفع بوده قابل ملاحظه نبوده و تغییرات بیشتر در عمق و سرعت رودخانه رخ داده است.

الگوهای فضایی و هیدرودینامیکی مدل سازی جریان در رودخانه کنگیر نشان می دهد که برنامه ریزی کاربری اراضی در این منطقه باید با رویکرد احتیاطی و مبتنی بر داده انجام شود و توسعه فیزیکی در بخش های حساس پهنه سیلابی به شدت محدود گردد. تأکید نتایج بر این است که مدیریت سیلاب در این محدوده، صرفاً با تکیه بر روش های سازه ای قابل اتکا نیست و اتخاذ رویکرد تلفیقی مبتنی بر بازپس گیری بخشی از دشت سیلابی و برنامه ریزی مکانی کاربری اراضی اجتناب ناپذیر است.

بر اساس یافته های این پژوهش، مدل سازی دوبعدی سیلاب در محیط HEC-RAS می تواند امکان ارزیابی رفتار سیلاب در دبی های مختلف را فراهم کرده و نقش توپوگرافی حاشیه رودخانه را در گستره سیلاب و مناطق پرخطر نشان دهد. خروجی این پژوهش می تواند مبنایی برای تدوین راهکارهای کاهش خطر، بهبود مدیریت حوضه، طراحی سازه های حفاظتی و تعیین حریم رودخانه در رویدادهای با احتمال وقوع متفاوت باشد.

مشارکت نویسندگان: در انتخاب موضوع، جمع آوری داده ها، مدل سازی، تحلیل داده ها و تنظیم مقاله تمام نویسندگان سهم یکسانی داشته اند.

منابع

- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ عابدینی، موسی؛ فاخری پور، نازنین. و نظافت تکه، بهروز (۱۴۰۲). پهنه بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل هیدرودینامیکی Hec – Ras، (مطالعه موردی: حوضه آبخیز قره سو _ استان کرمانشاه)، *مطالعات علوم محیط زیست*، ۸ (۳)، ۶۹۵۲-۶۹۶۱. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.344023.1795>
- تقی زاده فانید، ابولقاسم. و لطفعلی زاده لاهرودی، علی (۱۴۰۳). پهنه بندی سیلاب رودخانه شهرچای ارومیه با استفاده از مدل HEC-RAS، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۵ (۵۸)، ۷۳-۸۸. / <https://doi.org/10.22034/jargs.2024.448452>
- پناهی حسین ابادی، رویا. و حسین زاده، محمد مهدی (۱۴۰۳). پهنه بندی خطر سیلاب رودخانه دینور با استفاده از روش استاندارد استرالیا. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۳ (۳)، ۷۵-۱۰۰. <https://doi.org/10.22067/geoe.2023.83238.1390>
- پناهی حسین ابادی، رویا؛ حسین زاده، محمد مهدی. و خالقی، سمیه (۱۳۹۸). پهنه بندی مخاطره سیلاب به منظور تعیین حریم رودخانه ها. *مجله اکوهیدرولوژی*، ۶ (۲)، ۵۵۳-۵۶۷. <https://doi.org/10.22059/ije.2019.276389.1056>
- پناهی حسین ابادی، رویا؛ مشعشی، میترا. و مشعشی، سید میثم (۱۴۰۰). شبیه سازی سیلاب های رودخانه مرگ با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC_RAS مطالعه موردی: حدفاصل بین روستای دار امرود علیا تا چالابه سفلی، حوضه آبریز ماهیدشت، استان کرمانشاه. *پژوهشهای دانش زمین*، ۱۲ (۴)، ۶۸-۸۵. <https://doi.org/10.48308/esrj.2022.101115>
- حجازی، اسدالله؛ نگهبان، سعید؛ موسوی، سیده معصومه. و امین زاده، محمد هادی (۱۴۰۳). بررسی و پهنه بندی خطر سیلاب حوضه های آبریز شهری با استفاده از مدل های فازی ویکور و روش خطی وزنی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایزه- خوزستان). *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۱۳ (۲)، ۵۱-۷۰. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.452640.1499>
- رضائی مقدم، محمد حسین؛ مختاری، داود؛ رحیم پور، توحید. و اسکندری، میثم (۱۴۰۴). پهنه بندی جریان سیلاب برای دوره های بازگشت مختلف با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS مطالعه موردی: رودخانه گمناب چای. *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۱۳ (۴)، ۲۳-۳۶. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.480574.1523>
- روستایی، شهرام؛ مختاری، داود. و فرجی منفرد، ابوالفضل (۱۴۰۲). شبیه سازی سیلاب بر روی اشکال تراکمی به روش شاخص های ژئومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی hec-ras (مطالعه موردی شهرک پردیسان قم)، *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۱۲ (۱)، ۴۰-۵۸. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.318954.1321>

- قهرودی تالی، منیژه. و مسعودی، شیرین (۱۴۰۳). تحلیل سیلاب‌های رودهای دربند و گلابدره در مناطق شهری شمال تهران. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱(۴)، ۲۸۹-۳۰۳. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2025.387221.858>
- نگهبان، سعید و مکرم، مرضیه. (۱۴۰۳). ارتباط طبقه بندی شکل زمین، کاربری اراضی و مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی در استان بوشهر. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۱۳(۱)، ۶۴-۷۹. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.457694.1503>
- وزارت نیرو (۱۴۰۲). اطلاعات و داده های آب کشور، آمار داده های اقلیمی ایستگاه هیدرومتری ایوان غرب.
- هاشمی، حمید رضا؛ ایلدرمی، علیرضا. و فرخزاده، بهنوش (۱۴۰۴). تعیین مهم‌ترین پارامترهای موثر بر سیلاب شهری خرم‌آباد با استفاده از مدل SWMM. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۱۴(۲)، ۱۰۶-۱۱. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.518647.1557>
- Abedin, S.J.H. & MacVicar. B.J. (2025). Framework for stochastic urban flood hazard mapping using coupled and industry-standard hydrologic and hydraulic model., *Journal Environmental Modelling and Software*, 193, 106632. doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106632
- Afzal, M. A., Ali, S., Nazeer, A., Khan, M. I., Waqas, M. M., Aslam, R. A., ... & Shah, A. N. (2022). Flood inundation modeling by integrating HEC-RAS and satellite imagery: a case study of the Indus River Basin. *Water*, 14(19), 2984. doi.org/10.3390/w14192984
- Ahmadlou, M., Karimi, M., Alizadeh, S., Shirzadi, A., Parvinnejhad, D., Shahabi, H. & Panahi, M. (2019). Flood susceptibility assessment using integration of adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) and biogeography-based optimization (BBO) and BAT algorithms (BA). *Geocarto Int.* 34 (11). 1252-1272. DOI: 10.1080/10106049.2018.1474276
- Barredo, J. I. (2009). Normalised flood losses in Europe: 1970-2006. *In Hazards Earth Syst. Sci*, 9 (1), 97-104.
- Belletti, B., Dufour, S. & Piégay, H. (2015). What is the relative effect of space and time to explain the braided river width and island patterns at a regional scale? *River Res. Appl*, 31, 1-15.
- Chaulagain, D., Ram Rimal, P., Ngando, S., N., Nsafon, B. E. K., Suh, D. & Huh, J. S. (2023). Flood susceptibility mapping of Kathmandu metropolitan city using GIS-based multi-criteria decision analysis. *Journal Ecological Indicators*, 154, 110653. doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110653.
- Desalegn, H. & Mulu, A. (2021). Heliyon Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. *Heliyon*, 6, e05865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05865>.
- Desalegn, H. & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834. doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834.
- Devia, G.K., Ganasri, B.P. & Dwarakish, G.S. (2015). A review on hydrological models, *Aquat. Procedia*, 4, 1001-1007. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>.
- Díez-Herrero, A., Huerta, L.L. & Isidro, M.L. (2009). A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies, 2. IGME. 43 p.
- Duvvuri, S. & Narasimhan, B. (2013). Flood inundation mapping of Thamiraparani River Basin Using HEC- geo RAS and SWAT, *Int. J. Eng. Res. Technol*, 2 (7), 1408-1420.
- Esfandyari, F., Abedini, M., fakheripour, N. & Nezafat takle, B. (2023). Flood Risk Zoning Using Hec_Ras Hydrodynamic Model (Case Study: Qarahsou Basin, Kermanshah Province). *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 6952-6961. doi: 10.22034/jess.2022.344023.1795 [In Persian].
- Escobar-ruiz, V., Macdonald, N., Smith, H.G. & Blake, W.H. (2019). Assessing the Performance of a Physically Based Hydrological Model Using a Proxy-catchment Approach in an Agricultural Environment. *Hydrological Processes*, 33(24). 3119-3137. doi.org/10.1002/hyp.13550.
- Ghahroudi Tali, M. & Masoudi, Sh. (2025). Flood analysis in Darband and Golabdera rivers in urban areas of Tehran's north. *Environmental Hazards Management*, 11 (4), 289-303. 10.22059/jhsci.2025.387221.858. (in Persian)
- Hashemi, H. R., Ildoromi, A. & Farokhzadeh, B. (2025). Determination of the Most Important Parameters Affecting the Urban Runoff in Khorramabad City using SWMM Model. *Quantitative*

- Geomorphological Research*, 14(2), 81-106. doi: 10.22034/gmpj.2025.518647.1557. [In Persian].
- Hejazi, A., negahban, S., mousavi, M. & Aminzadeh, M. (2024). Assessment and mapping of urban watershed flood by using fuzzy VIKOR and weighted linear combine models (Case study: Catchment Izeh- Khuzestan). *Quantitative Geomorphological Research*, 13(2), 51-70. doi: 10.22034/gmpj.2024.452640.1499. [In Persian].
- Hosseinzadeh, MM., Khaleghi, S. & Panahi, R. (2022). Determining the floodway and flood fringe of the Gamasiab River, Kermanshah, Iran. *International Journal of Water*, 15 (2):117-130. doi:10.1504/ijw.2022.132289
- Jayachandran, L. & Singh, AP. (2023). Flood risk assessment in the Karamana river basin, Kerala, using HEC-RAS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195 (8):922. doi.org/10.1007/s10661-023-11450-z
- Karim, I., Hassan, Z., Hussein Abdullah, H. & Alwan, I. (2021). 2D-HEC-RAS Modeling of Flood Wave Propagation in a Semi-Arid Area Due to Dam Overtopping Failure. *Civil Engineering Journal*, 7(9), 1501-1514. DOI: 10.28991/cej-2021-03091739.
- Lamichhane, N. & Sharma, S. (2018). Effect of input data in hydraulic modeling for flood warning systems. *Hydrol. Sci. J*, 63 (6), 938–956. doi.org/10.1080/ 02626667.2018.1464166.
- Maidment, D.R. (2017). Conceptual framework for the national flood interoperability experiment, *J. Am. Water Resour*, 53 (2), 245–257. doi.org/ 10.1111/1752-1688.12474.
- Marimin, N.A., Mohammad Razi, M.A., Ahmad, M.A., Adnan, M.S. & Rahmat, S.N. (2018). HEC-RAS hydraulic model for Floodplain Area in Sembrong River, *Int. J. Integr*, 10 (2), 151–157. doi.org/10.30880/ijie.2018.10.02.029.
- Mehryar, S. & Surminski, S. (2022). Investigating flood resilience perceptions and supporting collective decision-making through fuzzy cognitive mapping. *Sci. Total Environ*, 837, 155854. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155854
- Ministry of Energy, Iran Water Resources Management Company. (1402). National water information and data, climate data statistics of the Avan Gharb hydrometric station.
- Mohanty, M.P. & Karmakar, S. (2022). Flood risk estimation and mapping: present status and future challenges. In: *Earth Systems Protection and Sustainability. Springer International Publishing*, 2, 169–189. DOI: 10.1007/978-3-030-98584-4_7.
- Panahi, R., hoseinzadeh, M.M. & Khaleghi, S. (2019). Flood risk zonation in order to determine river flood fringe (Case study: Gamasiyab river). *Journal of Echo Hydrology*. 6(2), 553-567. 10.22059/ije.2019.276389.1056 . [In Persian].
- Panahi, R., Moshashaie, Mitra. & Moshashaie, Meysam. (2022). The Simulation of Mereg river floods using HEC_RAS hydraulic model (Case study: the distance between Dar Amroud Olya and Chalabeh Sofla villages, Mahidasht catchment, Kermanshah Province). *Journal of Earth Science Researches*. 12(4), 68-85. 10.48308/esrj.2022.101115 . [In Persian].
- Panahi, R. and Hosseinzadeh, M. M. (2024). Estimation of Dinevar River Flood Risk Using Australian Standard Method. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 75-100. doi: 10.22067/geoh.2023.83238.1390 . [In Persian].
- Parizi, E., Khojeh, S., Hosseini, S. M. & Moghadam, Y. J. (2022). Application of Unmanned Aerial Vehicle DEM in flood modeling and comparison with global DEMs: Case study of Atrak River Basin, Iran. *Journal of Environmental*, 317, 115492. doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115492.
- Pham, B.T., Luu, C., Van Phong, T., Nguyen, H.D., Van Le, H., Tran, T.Q., Ta, H.T. & Prakash, I. (2020). Flood risk assessment using hybrid artificial intelligence models integrated with multi-criteria decision analysis in Quang Nam Province, Vietnam. *J. Hydrol*, 125815 doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125815.
- Priya, R., Kumar, R.S., Naiklal, S.K. & Kumar, A. (2020). Flood inundation modelling for tungabhadra basin using hec-ras: a case study of haralahalli discharge site. *Geographical Analysis*. 9(2): 33-41. doi.org/10.53989/bu.ga.v9i2.8

- Shahiri Tabarestani, E. & Afzalimehr, H. (2022). A comparative assessment of multi-criteria decision analysis for flood susceptibility modelling. *Geocarto Int.* 37 (20), 5851–5874. doi.org/10.1080/10106049.2021.1923834.
- Shrestha, B.B. & Kawasaki, A. (2020). International Journal of Disaster Risk Reduction Quantitative assessment of flood risk with evaluation of the effectiveness of dam operation for flood control: a case of the Bago River Basin of Myanmar, *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 50, 101707 doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101707.
- Razavi, S., Gober, P., Maier, H.R., Brouwer, R. & Wheeler, H. (2020). Anthropocene flooding: Challenges for science and society. *Hydrol.Process*, 34, 1996–2000.
- Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, D., Rahimpour, T. & Skandar, M. (2025). flood flow zoning for different return periods using hydrodynamic model HEC-RAS (Case Study: Gomanab Chai River). *Quantitative Geomorphological Research*, 13(4), 23-36. doi: 10.22034/gmpj.2024.480574.1523. [In Persian].
- Roostaei, S., Mokhtari, D. & Faraji, A. (2023). Flood simulation on compaction forms by geomorphological indices and hec-ras hydraulic model (Case study of Pardisan town, Qom). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(1), 40-58. doi: 10.22034/gmpj.2022.318954.1321 [In Persian].
- Taghizadeh Fanid, A. & Lotfalizadeh Lahroudi, A. (2025). Flood zoning of Shahrchai River in Urmia using HEC-RAS model. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 15(58): 73-88. doi: 10.22034/jargs.2024.448452.1099. [In Persian].
- Tamiru, H. & Dinka, MO. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36:100855. doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855
- Tegegne, G., Park, D.K. & Kim, Y. (2017). Journal of Hydrology : Regional Studies Comparison of hydrological models for the assessment of water resources in a data-scarce region, the Upper Blue Nile River Basin, *J. Hydrol. Reg. Stud*, 14, 49–66. doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.10.002.
- Timbadiya, P.V., Patel, P.L. & Porey, P.D. (2011). Calibration of HEC-RAS model on prediction of flood for Lower Tapi River, India. *J. Water Res. Prot*, 03 (11), 805–811. doi.org/10.4236/jwarp.2011.311090.
- Toth, E., Brath, A. & Montanari, A. (2000). Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting, *J. Hydrol*, 239 (1–4), 132–147. doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00344-9.
- Vojtek, M. & Vojteková, J. (2019). Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process, *Water*, 11(2), 364. doi.org/10.3390/w11020364
- Yerramilli, S. (2012). A hybrid approach of integrating HEC-RAS and GIS towards the identification and assessment of flood risk vulnerability in the city of Jackson, MS. *Am. American Journal of Geographic Information System*, 1(1): 7-16. doi:10.5923/j.ajgis.20120101.02.
- Zelenáková, M., Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Markovič, G. & Weiss, R. (2019). Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kružlov village, Slovakia. *Journal of Cleaner Production*, 212:109-118. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.008
- Zhang, S., Wang, T. & Zhao, B. (2014). Calculation and visualization of flood inundation based on a topographic triangle network. *Journal of hydrology*, 509, 406-415. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.060