Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 17, Issue 1, 2026 ..... p: 138- 153

OPEN ACCESS

Research Paper

Hydraulic Simulation and Flood Risk Assessment for Fish Farms Along the Haraz River

Majid Rezaie Mayani[1], Mohsen Masoudian[2], Ramin Fazloula[3] & Mohammad Rostami[4]

1- Ph.D., Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran,
(Corresponding author: mohsen_masoudian@yahoo.com)

3- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Assistant Professor (Research), Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 11 August, 2025 Revised: 5 November, 2025 Accepted: 10 December, 2025

Extended Abstract

Background: Floods are among the most devastating and recurrent natural hazards worldwide, and their frequency and severity are expected to increase due to climate change, urban expansion, and land-use alterations. In riverine environments, flood events pose serious threats to infrastructure, ecosystems, and local livelihoods, especially in developing regions where flood mitigation systems may be insufficient. In northern Iran, aquaculture—particularly cold-water fish farming has grown significantly along riverbanks due to the availability of clean and consistent water resources. However, many of these fish farms are located within active floodplains, exposing them to considerable flood risk. The Haraz River, a high-discharge perennial river in Mazandaran Province, is a key economic and ecological artery and hosts over 30 operational fish farms. Despite its importance, the flood hazard associated with different return periods along its reaches has not been adequately quantified. This study aims to perform a detailed hydraulic simulation of the Haraz River using HEC-RAS integrated with GIS tools to delineate flood-prone zones and assess the vulnerability of adjacent fish farms under multiple flood scenarios. The findings aim to support sustainable land-use planning and inform flood risk mitigation strategies in the region.

Methods: The study focused on three selected reaches of the Haraz River characterized by the highest density of fish farming activities. These reaches were surveyed and mapped using a high-resolution Digital Elevation Model (DEM) with 2-meter spatial resolution, derived from topographic and remote sensing data. The hydraulic modeling was conducted using HEC-RAS version 6.5, a one-dimensional steady-flow model widely used for simulating open channel hydraulics. Key inputs included channel geometry, bankfull cross-sections, flow path centerlines, and bank stations, which were extracted and digitized in the GIS environment. Manning's roughness coefficients for the channel bed and banks were assigned based on field observations and hydrologic reports from regional water authorities.

Discharge values corresponding to return periods of 2, 10, 25, 50, and 100 years were obtained from the "After the Spring" gauging station located upstream. These flow rates were incorporated as upstream boundary conditions in the HEC-RAS model. Simulated hydraulic parameters included water surface elevations, flow velocities, cross-sectional profiles, and energy grade lines. The RAS Mapper utility was used to convert the model results into spatial flood depth grids, inundation extents, and flood hazard zones in a GIS environment, enabling quantitative overlay with the geolocations of existing fish farms.

Results: The hydraulic simulations revealed substantial spatial variability in flood impacts across the three study reaches. In Reach 1 (3,500 m), the floodplain was relatively narrow, and six fish farms situated further from the main channel exhibited minimal inundation. Under a 100-year flood event, only 16.9% of the farm area was affected, whereas the 2-year flood impacted only 8%. This was attributed to favorable terrain conditions and proper siting practices.

In contrast, Reach 2 (3,000 m) displayed significantly higher flood susceptibility. Seven fish farms in this segment were located close to the riverbanks, and the simulations indicated that up

Copyright ©2026. Rezaie Mayani et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

to 53.7% of their area could be inundated during a 100-year event. Even the 2-year flood affected 45.8% of these farms, highlighting the high baseline vulnerability in this zone.
Reach 3 (1,400 m) demonstrated moderate flood risk, with inundation areas ranging from 26.5% for the 2-year event to 33.3% for the 100-year scenario. The confined cross-sectional geometry and lack of natural levees in this reach contributed to the observed flood propagation.
Overall, the cumulative area of fish farms across the three reaches was 137,180 square meters. In the 100-year return period scenario, 45,713 square meters (approximately 33.3%) were inundated, underscoring the severity of flood exposure. The results confirm a direct correlation between return period and both the spatial extent and depth of inundation.
The study emphasized the critical role of topography, channel morphology, and land use in determining flood risk. Improper siting of aquaculture facilities within active floodplains significantly increases vulnerability to even low-frequency flood events. The lack of protective levees or floodwalls in Reach 2 and parts of Reach 3 exacerbated the situation. Moreover, anthropogenic modifications, such as unregulated construction and riverbank encroachment, were identified as aggravating factors. These interventions reduce the effective flow capacity of the river, raise water surface elevations, and trigger out-of-bank flow, particularly during peak discharge events.
In contrast, Reach 1 benefited from adherence to buffer zones and implementation of minor structural mitigation, such as berms and retaining walls. The comparative safety of farms in this reach validates the importance of incorporating hydraulic flood zoning into aquaculture planning.
The use of HEC-RAS, combined with GIS spatial analysis, provided robust outputs that align with observed flood patterns and historical damage records in the region. Such tools offer valuable insight into flood dynamics and can support proactive planning, especially in flood-vulnerable watersheds with economic assets at stake.
Conclusion: This study demonstrates that more than one-third of the total area of fish farms along the Haraz River is at risk of inundation during high-return-period flood events. The HEC-RAS-GIS framework proved highly effective in simulating flow behavior, delineating flood zones, and quantifying flood risk to aquaculture operations. The outputs provide actionable guidance for river corridor management, aquaculture zoning, and disaster preparedness.
Key recommendations include:
Enforcing legal river setback distances during site selection and permitting of new fish farms.
Retrofitting existing vulnerable farms with engineered embankments and elevation adjustments.
Integrating flood hazard maps into early warning systems and emergency planning.
Monitoring and restricting development in sensitive floodplain zones to maintain hydraulic connectivity.
The findings support the integration of hydrodynamic modeling into regional planning efforts aimed at reducing the socioeconomic impacts of floods. Future research should explore coupling hydraulic simulations with economic loss modeling to estimate cost-benefit ratios of different flood mitigation strategies.

Keywords: Fish farming, Flood hazard, Floodplain management, GIS, Hydraulic modeling, Haraz River, HEC-RAS, Return period analysis

How to Cite This Article: Rezaie Mayani, M., Masoudian, M., Fazloula, R., & Rostami, M. (2026). Hydraulic Simulation and Flood Risk Assessment for Fish Farms Along the Haraz River. *J Watershed Manage Res,* 17(1), 138-153. DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی هیدرولیکی و ارزیابی خطر سیل به مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز

مجید رضائی مایانی[۱]، محسن مسعودیان[۲]، رامین فضل اولی[۳] و محمد رستمی[۴]

۱- دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: mohsen_masoudian@yahoo.com)
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استادیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹
صفحه: ۱۳۸ تا ۱۵۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: سیلاب‌ها از جمله مخرب‌ترین و پرتکرارترین مخاطرات طبیعی در سراسر جهان محسوب می‌شوند و انتظار می‌رود در نتیجه تغییرات اقلیمی، توسعه شهری و تغییرات کاربری اراضی، شدت و فراوانی آن‌ها افزایش یابد. در محیط‌های رودخانه‌ای، سیلاب‌ها تهدیدی جدی برای زیرساخت‌ها، زیست‌بوم‌ها و معیشت جوامع محلی هستند، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که سیستم‌های کاهش خطر سیل اغلب ناکارآمد یا ناکافی‌اند. در شمال ایران، آبزی‌پروری (به‌ویژه پرورش ماهی سردآبی) به‌دلیل دسترسی به منابع آب سالم و پایدار، در حاشیه رودخانه‌ها توسعه یافته است. با این‌حال، بسیاری از این مزارع در سیلاب‌دشت‌های فعال واقع شده‌اند و در معرض خطر قابل توجه سیلاب قرار دارند. رودخانه هراز به‌عنوان یکی از رودخانه‌های دائمی و پرآب استان مازندران، نقش حیاتی را در اقتصاد و اکوسیستم منطقه ایفا می‌کند و میزبان بیش از ۳۰ مزرعه فعال پرورش ماهی است. علی‌رغم اهمیت بالای این رودخانه، خطرات سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در طول بازه‌های آن به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف این مطالعه، شبیه‌سازی دقیق شرایط هیدرولیکی رودخانه هراز با استفاده از مدل HEC-RAS و ابزارهای GIS، به‌منظور پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر و ارزیابی آسیب‌پذیری مزارع ماهی در برابر سناریوهای مختلف سیلاب است. یافته‌ها می‌توانند برنامه‌ریزی کاربری اراضی را تقویت کنند و در تدوین راهبردهای کاهش خطر سیلاب مفید باشند.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، سه بازه کلیدی از رودخانه هراز که دارای بالاترین تراکم مزارع ماهی بودند، برای مدل‌سازی هیدرولیکی دقیق انتخاب شدند. داده‌های ورودی شامل مدل ارتفاع رقومی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۲ متر، داده‌های هندسی مقاطع عرضی، خط مرکزی جریان و نقاط کناری بستر رودخانه بودند که در محیط GIS استخراج و رقومی شدند. مدل یک‌بعدی HEC-RAS نسخه ۶/۵ برای شبیه‌سازی جریان یکنواخت در بازه‌های مختلف استفاده شد. ضرایب زبری مانینگ برای بستر و دیواره‌ها با استناد به مشاهدات میدانی و گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای تعیین گردید.
مقادیر دبی متناظر با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از ایستگاه هیدرومتری "بعد از چشمه" اخذ و به‌عنوان شرایط مرزی بالادست وارد مدل شدند. پارامترهای هیدرولیکی شامل تراز سطح آب، سرعت جریان، پروفیل‌های مقاطع عرضی و خطوط انرژی محاسبه گردیدند. نتایج مدل در محیط RAS Mapper به نقشه‌های عمق سیلاب، گستره آبگرفتگی و پهنه‌های مخاطره تبدیل و با موقعیت جغرافیایی مزارع ماهی ترکیب شدند تا تحلیل ریسک دقیق‌تری صورت گیرد.

یافته‌ها: شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی، تفاوت‌های چشم‌گیری را در شدت سیلاب و گستره آبگرفتگی بین سه بازه مورد مطالعه نشان دادند. در بازه اول (به طول ۳۵۰۰ متر)، به‌دلیل موقعیت مناسب مزارع نسبت به کانال اصلی و ویژگی‌های توپوگرافیکی مساعد، فقط ۸ درصد از اراضی مزارع در جریان سیلاب ۲ ساله و ۱۶/۹ درصد در جریان ۱۰۰ ساله دچار آبگرفتگی شدند. در مقابل، بازه دوم (۳۰۰۰ متر) بالاترین میزان آسیب‌پذیری را داشت. در این بازه، ۷ مزرعه ماهی واقع شده‌اند و تحلیل‌ها نشان دادند که در سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله، ۴۵/۸ درصد و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، ۵۳/۷ درصد از سطح مزارع تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این بازه دارای ساختار عرضی تنگ‌تر و فاقد موانع طبیعی یا حفاظتی مؤثر بود. در بازه سوم (۱۴۰۰ متر)، خطر سیلاب در حد متوسط تا بالا ارزیابی شد و مساحت آسیب‌پذیر از ۲۶/۵ درصد در سیلاب ۲ ساله تا ۳۳/۳ درصد در سیلاب ۱۰۰ ساله متغیر بود. در مجموع، از ۱۳۷۱۸۰ مترمربع اراضی مزارع ماهی در این سه بازه، ۴۵۷۱۳ مترمربع (معادل ۳۳/۳ درصد) در سناریوی سیلاب ۱۰۰ ساله در معرض آبگرفتگی قرار گرفتند. این روند حاکی از رابطه مستقیم میان دوره بازگشت و شدت و گستره مخاطره است.
این مطالعه بر نقش کلیدی توپوگرافی، شکل مقطع رودخانه و نحوه استفاده از اراضی در تعیین میزان خطر سیلاب تأکید دارد. استقرار نادرست مزارع در سیلاب‌دشت‌های فعال، آن‌ها را حتی در برابر سیلاب‌هایی با دوره بازگشت پایین نیز بسیار آسیب‌پذیر می‌کند. نبود دیواره‌های حفاظتی و تجاوز به حریم بستر از عوامل اصلی تشدید خطر بوده‌اند. در مقابل، رعایت حریم و وجود تمهیدات حفاظتی در بازه اول موجب کاهش محسوس میزان آسیب‌پذیری شده است.
ترکیب مدل HEC-RAS با سامانه GIS امکان استخراج نقشه‌های دقیق، تحلیل مکان‌محور، و برآورد کمی خطر سیلاب را فراهم ساخت که با مشاهدات میدانی و خسارات ثبت‌شده در سال‌های گذشته مطابقت داشت. نتایج به‌خوبی نشان می‌دهند که اتخاذ تصمیمات مبتنی بر مدل‌سازی هیدرولیکی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آسیب‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از سیل ایفا کند.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان می‌دهد که بیش از یک‌سوم از سطح مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز در معرض خطر جدی سیلاب‌های با دوره بازگشت بلندمدت قرار دارند. استفاده از چارچوب مدل‌سازی HEC-RAS در کنار تحلیل‌های مکانی GIS، رویکردی مؤثر را در شناسایی مناطق پرخطر و پشتیبانی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی فراهم می‌آورد. بر اساس نتایج، پیشنهاد می‌شود:
رعایت حریم قانونی رودخانه در انتخاب مکان مزارع جدید به‌طور سخت‌گیرانه اعمال شود.
مزارع موجود در معرض خطر با دیواره‌های حفاظتی مناسب تجهیز شوند یا جانمایی آن‌ها بازنگری شود.
نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در سیستم‌های هشدار سریع و برنامه‌ریزی بحران لحاظ گردند.
توسعه غیرمجاز و ساخت‌وساز در مناطق حساس سیلابی کنترل و ممنوع شود.
نتایج این پژوهش ضرورت به‌کارگیری ابزارهای پیشرفته مدل‌سازی هیدرولیکی و تحلیل فضایی را در مدیریت یکپارچه خطر سیلاب و توسعه پایدار سیستم‌های آبزی‌پروری در حاشیه رودخانه‌ها اثبات می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: پرورش ماهی، تحلیل دوره بازگشت، خطر سیلاب، رودخانه هراز، مدل‌سازی هیدرولیکی، مدل HEC-RAS، GIS، مدیریت سیلاب‌دشت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

مقدمه

اهمیت موضوع در سطح جهانی

سیل یکی از شایع‌ترین و در عین حال پرخطرترین بلایای طبیعی در سراسر جهان است که پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سنگینی را به‌همراه دارد. بنا بر گزارش سازمان ملل متحد، سیلاب‌ها بیش از ۴۰ درصد از خسارات ناشی از بلایای طبیعی در جهان را به خود اختصاص می‌دهند (UNDRR, 2021). این پدیده به‌ویژه در مناطق در حال توسعه که زیرساخت‌های حفاظتی ضعیف‌تر هستند، منجر به نابودی دارایی‌های اقتصادی، تهدید امنیت غذایی، و افزایش آسیب‌پذیری جوامع می‌شود. مطالعات نشان می‌دهند که در قرن بیست و یکم تنها سیلاب‌های ناگهانی بیش از ۴۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی ایجاد کرده‌اند (Li *et al*., 2017). شدت و فراوانی سیلاب‌ها نیز با توجه به تغییرات اقلیمی، افزایش بارش‌های حدی، جنگل‌زدایی و شهرنشینی بی‌رویه، روندی صعودی داشته است (Change, 2014; Zhang *et al*., 2016). در نتیجه، شناسایی مناطق مستعد سیل‌خیزی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب یکی از ضروری‌ترین اقدامات در مدیریت ریسک بلایا محسوب می‌شود (Mishra *et al*., 2010).

وضعیت در ایران و رودخانه هراز

ایران به‌دلیل ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی خاص خود، از جمله کشورهای بسیار سیل‌خیز جهان به‌شمار می‌رود. وقوع سیلاب‌های ناگهانی در مناطق شمالی، غربی و جنوب‌غربی کشور در سال‌های اخیر، نشان‌دهنده شکنندگی بالای این مناطق در برابر مخاطرات طبیعی است. در استان مازندران، رودخانه‌های متعددی همچون تجن، نکا و هراز بارها خسارات اقتصادی و اجتماعی سنگینی بر جای گذاشته‌اند (Masoudian *et al*., 2014). رودخانه هراز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شمال ایران، به‌دلیل شرایط خاص هیدرولوژیک، وجود روستاهای متعدد در حاشیه و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی همچون کشاورزی و پرورش ماهی، به‌شدت در معرض خطر سیلاب قرار دارد. مطالعات نشان داده‌اند که در دهه‌های اخیر، وقوع سیلاب‌های متعدد در این رودخانه موجب خسارات قابل توجه به مزارع پرورش ماهی، زیرساخت‌های روستایی و اراضی کشاورزی شده است (Jafari *et al*., 2007). از این‌رو، شناخت دقیق مناطق پرخطر در حاشیه رودخانه هراز برای کاهش خسارات اقتصادی و اجتماعی ضرورت دارد.

مرور پژوهش‌های پیشین

در سال‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در زمینه شبیه‌سازی سیلاب و پهنه‌بندی مناطق پرخطر با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی و GIS انجام شده‌اند.

در سطح ملی، (Masoudian *et al*., 2014) با استفاده از HEC-RAS مدیریت غیر سازه‌ای سیلاب در رودخانه نکا را بررسی کردند و نشان دادند که عامل اصلی خسارت، انسداد پل‌ها پس از وقوع سیلاب اولیه بود. گنجی نوروزی و همکاران (Ganji Norouzi *et al*., 2016) اثر عدم قطعیت تابع دبی–احتمال را در برآورد ریسک خسارت کشاورزی تحلیل کردند. کاظمی و همکاران (Kazemi *et al*., 2016) در رودخانه سیمینه‌رود نشان دادند که با افزایش دوره بازگشت، وسعت مناطق تحت خطر سیلاب افزایش یافت. آواد و همکاران (Avad *et al*., 2022) نیز در رودخانه جاجرود بیان داشتند که بیشترین خسارت ناشی از سیلاب به اراضی کشاورزی تعلق داشت.

در سطح بین‌المللی، سیلوا وهمکاران (Silva *et al*., 2014) در برزیل و پاتان و آگنی‌هورتی (Pathan & Agnihotri, 2021) در هند نشان دادند که ترکیب مدل HEC-RAS و GIS ابزاری قدرتمند برای شناسایی و پهنه‌بندی سیلاب است. همچنین ملایری و بشیرگنبد (Malayeri & Bashirgonbad, 2024) دقت بالای این مدل را در مقایسه با داده‌های میدانی تأیید کردند.

با وجود این پیشرفت‌ها، بیشتر تحقیقات بر اراضی شهری و کشاورزی متمرکز بوده‌اند و مطالعات اختصاصی بر مزارع پرورش آبزیان به‌عنوان بخشی آسیب‌پذیر و مهم از اقتصاد محلی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

شکاف علمی

مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اگرچه روش‌های مدل‌سازی هیدرولیکی و پهنه‌بندی سیلاب به‌خوبی توسعه یافته‌اند، اما هنوز بررسی دقیق ریسک سیلاب بر مزارع پرورش ماهی در حاشیه رودخانه‌ها مغفول مانده است. این موضوع در حوضه رودخانه هراز که فعالیت‌های پرورش ماهی در آن گسترده است، اهمیت دوچندان دارد. شکاف علمی موجود عبارت است از:

فقدان تحلیل جامع خطرپذیری مزارع پرورش ماهی در برابر سیلاب.

کمبود مطالعاتی که ترکیب داده‌های هیدرولوژیک، مدل HEC-RAS و تحلیل GIS را با تمرکز بر بخش آبزی‌پروری ارائه دهند.

نبود شاخص‌های کمی برای مقایسه میزان خسارت در دوره‌های بازگشت مختلف در این بخش اقتصادی.

با توجه به مطالب فوق، هدف اصلی پژوهش حاضر عبارت است از: شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه هراز با استفاده از مدل HEC-RAS و تحلیل خطرپذیری مزارع پرورش ماهی در برابر سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف، با بهره‌گیری از داده‌های هیدرولوژیک و توپوگرافی و ابزار GIS.

اهداف جزئی عبارت‌اند از:

– معرفی و تحلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هندسی رودخانه هراز.

– شبیه‌سازی جریان سیلاب در شرایط مختلف و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر.

– شناسایی و مقایسه مزارع پرورش ماهی واقع در پهنه‌های خطر در سه بازه مورد مطالعه.

– ارائه راهکارهای مدیریتی جهت کاهش خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از سیلاب.

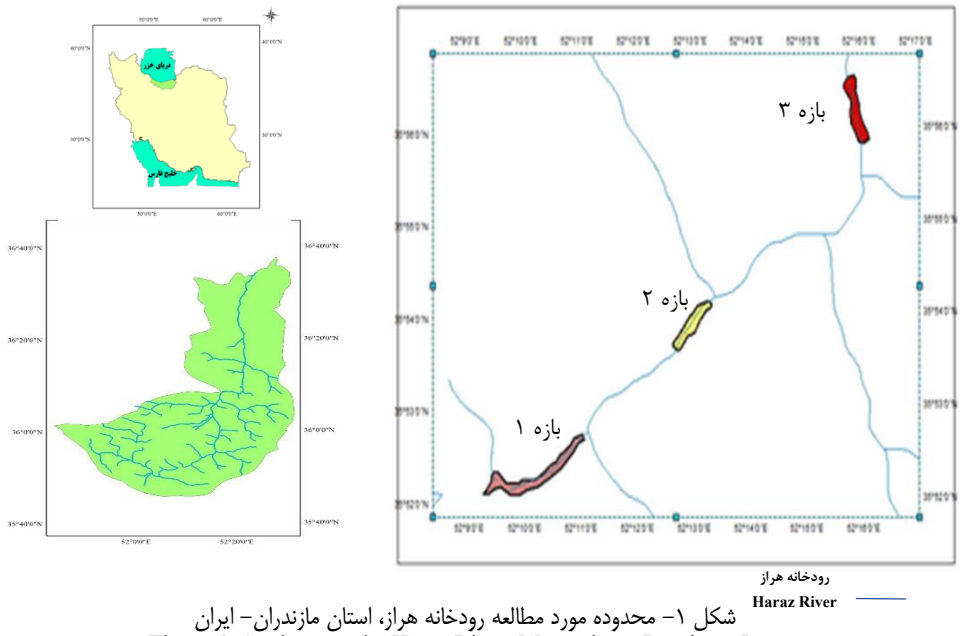
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

رودخانه هراز با طول ۱۸۱ کیلومتر از جنوب غربی و جنوب قله دماوند در محله نهام لار سرچشمه می‌گیرد که یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخـــانه‌های استان مازندران است. در واقع رودخانه هراز از به هم پیوستن دو رودخانه لاسم و لار در شمال شرقی روستای پلور تشکیل شده است. گذشته از رودهای لاسم و لار که هراز اصلی را تشکیل می‌دهند. رودهای تلخ‌رود، دینان، آب‌رزان، سیاه‌رود، آفن‌سر، شیرکلارود، نمارستاق، نوررود، جلورود و هلی‌چال به آن می‌ریزند. محدودهٔ حوضه آبریز هراز بیش از ۴۱۰۰ کیلومتر مربع است. رودخانه هراز در کوهستان در درهٔ عمیق و هولناک هراز جریان دارد و در ۱۵ کیلومتری جنوب آمل از این دره و کوهستان خارج و وارد منطقهٔ جلگه‌ای می‌گردد که سرانجام در محل سرخ‌رود و در ۲۴ کیلومتری شمال‌شرقی آمل با یک دلتای وسیع وارد دریا می‌شود. شیب رودخانه هراز بسیار زیاد است به طوری‌که رودخانه در طول مسیر، بستر خود را شسته، رسوبات زیادی را با خود حمل می‌کند، از دره‌های کوهستانی می‌گذرد و در پایین‌دست کوهستان جلگه‌هایی مانند لار و وانه ایجاد کرده است و شیب متوسط آن ۲ درصد است. هراز یکی از سه رودخانه پرآب و دائمی شمال کشور با متوسط دبی ۴۰ متر مکعب در ثانیه است. در بالادست و حاشیه این رودخانه به علت دسترسی به آب مناسب، بیش از ۳۰ مزرعه ماهی سردآبی در حال فعالیت هستند که از لحاظ تعداد مزرعه و میزان تولید بیشترین سهم تولید ماهیان سردآبی استان مازندران را به‌خود اختصاص داده است. در بازه های ۱، ۲ و ۳ بیش‌ترین تراکم مزارع ماهی وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه رودخانه هراز، استان مازندران- ایران
Figure 1. Study area: the Haraz River, Mazandaran Province, Iran

روش پژوهش

در پژوهش حاضر، از روش تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو از تلفیقHEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، در مطالعه خطر سیلاب استفاده شده است. این روش شامل استفاده از داده‌های ژئومورفولوژی، توپوگرافی، شرائط مرزی و هیدرولیکی می‌شود و نوعی روش کمی است که داده‌های مختلف را با هم ترکیب می‌کند. این مدل HEC-RAS در برابر دبی‌های مختلف و نواحی سیلابی کالیبره می‌شود و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

نتایج به‌دست آمده از این روش شامل تهیه نقشه‌های عمق و پهنه گسترش سیلاب می‌شوند و اطلاعات ارزشمندی برای کاهش میزان ریسک سیلاب را فراهم می‌آورد. به منظور انجام مطالعات تعیین حدود بستر و تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، با استفاده از نرم‌افزار ArcMap، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲ متر برای سه بازه مورد مطالعه که بیشترین تراکم مزارع ماهی را در حاشیه رودخانه هراز داشتند تهیه شد. ترسیم نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار GIS و تهیه مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS 6.5 انجام گرفت. در نسخه‌های جدید HEC-RAS برای تهیه داده‌های هندسی و محاسبات مسیر رودخانه، لایه خط مرکزی جریان، تعیین محدوده قرارگیری مقاطع، نمایش موقعیت رودخانه و تعریف جهت جریان در رودخانه امکان‌پذیر هستند و نیازی به استفاده از ابزار HEC-Geo RAS نیست. با استفاده از بخش RAS Mapper از زیر برنامه‌های مدل HEC-RAS جهت جداسازی مجرای اصلی رودخانه از سواحل آن، لایه سواحل رودخانه ترسیم و سپس لایه ابعاد مسیر جریان تهیه گردید. از این لایه به‌منظور تعیین ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی جریان و ساحل چپ و راست آن در ناحیه سیلاب‌گیر استفاده شده است. کلید اصلی شبیه‌سازی سیلاب، مقاطع عرضی هستند که این

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

مقاطع در جهت جریان، عمود بر مسیر جریان از ساحل سمت چپ به ساحل سمت راست کشیده شدند.

معادلات پایه مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS بر اساس معادلات یک‌بعدی جریان‌های سطحی (معادلات سنت–ونانت) عمل می‌کند.

این معادلات شامل معادله پیوستگی و معادله مومنتوم هستند:

۱. معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_t$$

که در آن، ∂A_T سطح مقطع جریان، ∂Q دبی جریان، ∂x طول مسیر رودخانه، ∂t زمان و q_t جریان جانبی ورودی یا خروجی هستند.

۲. معادله مومنتوم:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (QV)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z_S}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

که در آن V سرعت جریان، ∂z_S تراز سطح آب، g شتاب گرانش و S_f بیانگر اثر اصطکاک و زبری بستر هستند. این معادلات اساس محاسبات هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS هستند و شرایط مرزی و هیدرولیکی جریان بر اساس آنها شبیه‌سازی می‌شوند.

ضرایب زبری مانینگ

یکی از ورودی‌های کلیدی در مدل‌سازی هیدرولیکی، ضرایب زبری مانینگ (n) است که بر سرعت جریان و وسعت پهنه سیلاب اثرگذار است. در این پژوهش، مقادیر ضرایب زبری بستر و دیواره رودخانه از گزارش‌های رسمی شرکت آب منطقه‌ای مازندران اخذ و بر اساس شرایط مورفولوژیک بازه‌های مورد مطالعه در مدل به‌کار گرفته شدند (جدول ۲). این ضرایب در نرم‌افزار HEC-RAS برای هر بازه وارد شدند تا رفتار هیدرولیکی جریان به‌صورت دقیق‌تر شبیه‌سازی گردد.

مقاطع عرضی

به‌منظور شبیه‌سازی دقیق جریان، مقاطع عرضی به‌صورت عمود بر محور جریان رودخانه ترسیم شدند. در سه بازه مورد مطالعه، جمعاً ۱۶۵ مقطع عرضی (۱۰۹ مقطع در بازه اول، ۳۹ مقطع در بازه دوم و ۱۵ مقطع در بازه سوم) برداشت و وارد مدل گردیدند. این مقاطع با استفاده از داده‌های DEM و کنترل میدانی تهیه و در محیط RAS Mapper پردازش شدند.

تحلیل GIS و پهنه‌بندی

نتایج مدل HEC-RAS برای تحلیل مکانی و ارزیابی میزان همپوشانی با مزارع پرورش ماهی به محیط ArcGIS منتقل شدند. مراحل تحلیل عبارت بودند از:

*ورود خروجی‌های مدل (نقشه‌های عمق و پهنه سیلاب) به محیط GIS .

*همپوشانی این داده‌ها با لایه مکانی مزارع پرورش ماهی.

*طبقه‌بندی مناطق بر اساس عمق سیلاب (مثلاً کم‌عمق، متوسط، پرعمق) برای هر دوره بازگشت.

*محاسبه مساحت و تعداد مزارعی که در هر بازه و هر سطح عمق قرار گرفته‌اند.

*تهیه نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی سیلاب و استخراج جداول آماری برای تحلیل و مقایسه بازه‌ها.

این ترکیب مدل‌سازی هیدرولیکی و تحلیل GIS امکان ارائه تصویری روشن از وضعیت خطرپذیری مزارع در برابر سیلاب را فراهم ساخت.

برآورد سیلاب‌ها

برای شبیه‌سازی شرایط سیلابی، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری «بعد از چشمه» استفاده شد. دبی‌های طراحی مربوط به دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای تهران استخراج و در مدل اعمال شدند (جدول ۱). این داده‌ها مبنای ترسیم پروفیل‌های سطح آب و تعیین پهنه سیلاب در بازه‌های مورد مطالعه بودند.

نتایج و بحث

پهنه سیلاب

به‌منظور تحلیل جریان، از مقادیر دبی مربوط به دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شد. این داده‌ها مربوط به ایستگاه هیدرومتری موسوم به «بعد از چشمه» هستند که در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۶ ثانیه شمالی و ۵۲ درجه و ۵ دقیقه و ۱۶/۲۰ ثانیه شرقی، در فاصله ۵ کیلومتری از بازه نخست مطالعه، واقع شده‌اند و تحت نظارت شرکت آب منطقه‌ای استان تهران هستند. مقادیر مربوط به این دوره‌های بازگشت در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- دبی با دوره‌های بازگشت مختلف در رودخانه هراز

Table 1. Discharge with different return periods of the Haraz River

دوره بازگشت (سال) Return Period (years) / نام ایستگاه Station Name	2	10	25	50	100
بعد از چشمه (مترمکعب بر ثانیه) Discharge (m³/s)	33	60	76	89	104

یکی از پارامترها در مدل‌سازی، ضریب مانینگ است که بر روی سرعت جریان و پهنه گسترش سیلاب تاثیرگذار است. مقدار ضریب زبری مانینگ به عواملی از قبیل: زبری بستر کانال، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی، شکل مسیر، وجود موانع در مسیر جریان و دبی جریان بستگی دارد. مقادیر ضریب زبری مانینگ بستر و دیواره‌ها، از گزارشات شرکت آب منطقه ای استان مازندران اخذ شدند که در جدول شماره ۲ آورده شده‌اند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

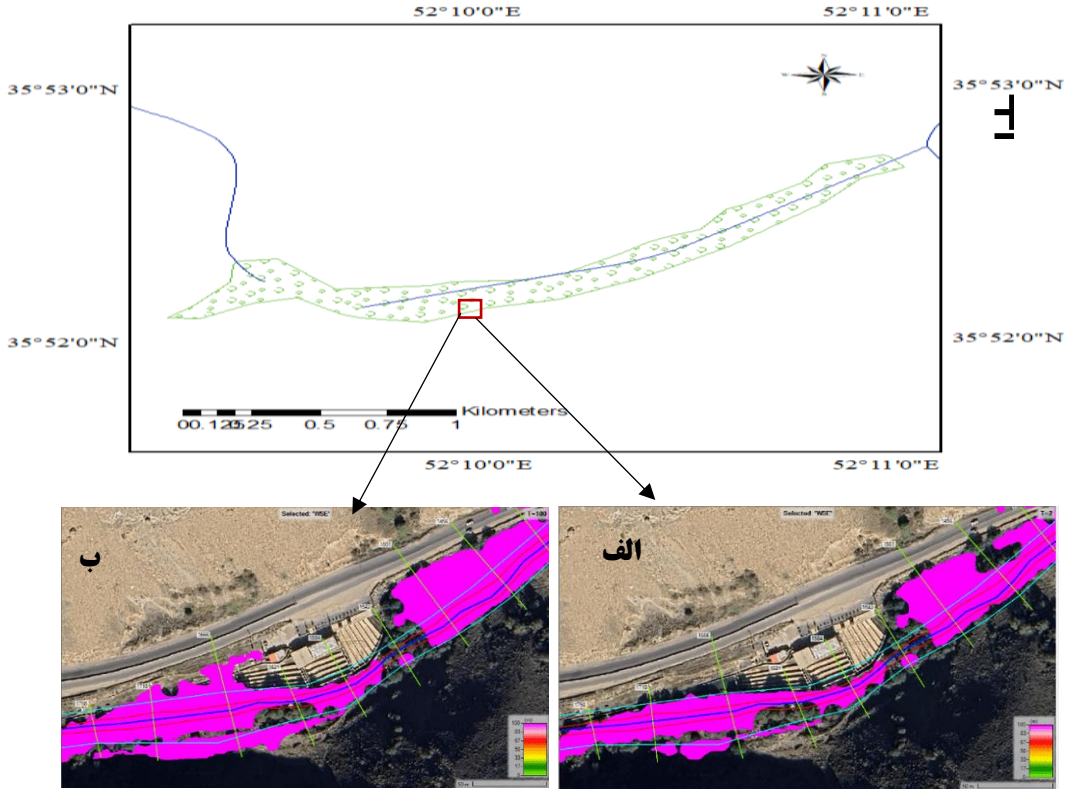
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

جدول ۲- مقدار ضریب زبری مانینگ (n) در مقاطع رودخانه هراز
Table 2. Manning roughness coefficient (n) values in sections of the Haraz River

شماره بازه Reach No.	مقاطع Cross-sections	ساحل راست Right Bank	کانال Channel	ساحل چپ Left Bank
1	1-109	0.085	0.054	0.085
2	110-149	0.085	0.054	0.085
3	150-165	0.085	0.054	0.085

بازه نخست

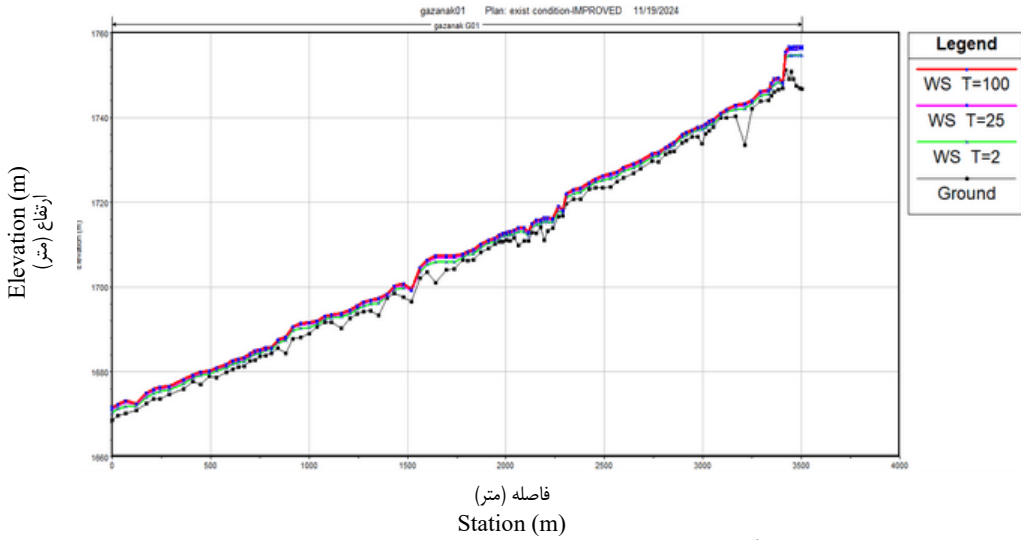
این بازه از رودخانه هراز به طول ۳۵۰۰ متر واقع در عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۸/۹۴ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۴۴/۳۰ ثانیه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۹ دقیقه و ۲۰/۷۷ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۱۱ دقیقه و ۱/۶۷ ثانیه شرقی، شامل شش واحد مزرعه ماهی در مسیر خود است. نقشه مدل رقومی DEM بازه نخست و خروجی پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۰۰ ساله در بخشی از این مسیر در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲ ساله تا ۱۰۰ ساله خطری برای مزرعه ماهی حاشیه رودخانه ایجاد نمی‌نماید و با تمهیدات ساده، مانند ایجاد دیوار حفاظتی، خسارات ناشی از سیل به حداقل خواهد رسید.



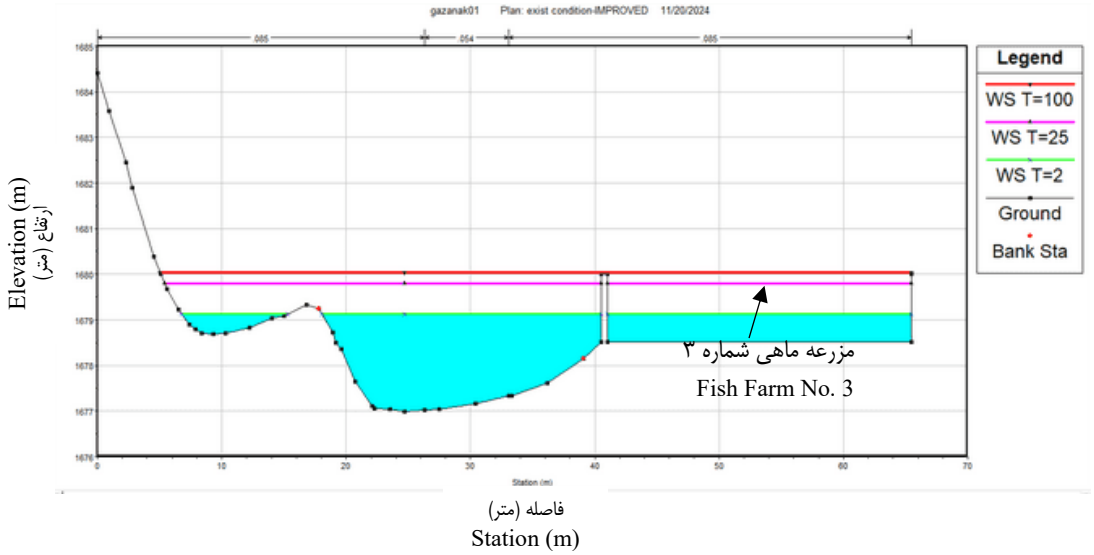
شکل ۲- مدل رقومی بازه نخست. الف: پهنه سیل با دوره بازگشت ۲ ساله. ب: پهنه سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله
Figure 2. The digital model of the first period. a) Floodplain with a 2-year return period. b) Floodplain with a 100-year return period

سطح آب در خروجی مدل HEC-RAS برای دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله برای طول این مسیر در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین، برای یکی از مقاطع عرضی ترسیم شده در مسیر بازه نخست، اختلاف سطح آب برای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف مشاهده می‌گردد (شکل ۴).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]



شکل ۳- سطح آب در بازه نخست برای دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله
Figure 3. The water level in the first period for discharge with return periods of 2, 25, and 100 years

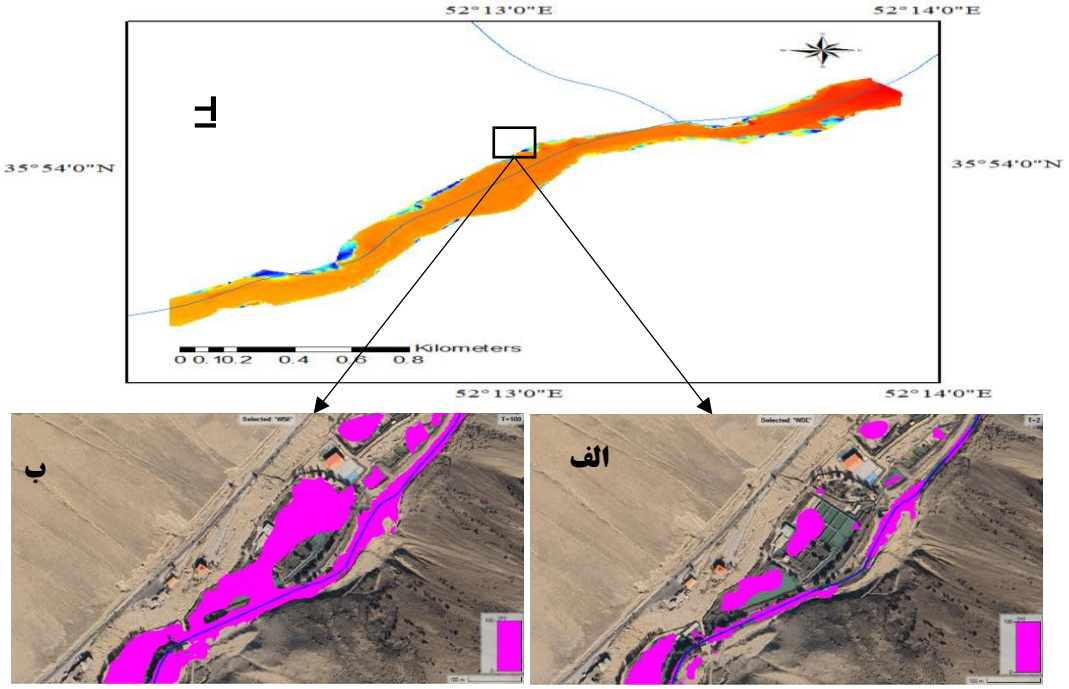


شکل ۴- سطح آب در مقطع یکی از مزارع ماهی از بازه نخست برای سیل با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله
Figure 4. The water level in a cross-section of a fish farm from the first period for floods with return periods of 2, 25, and 100 years

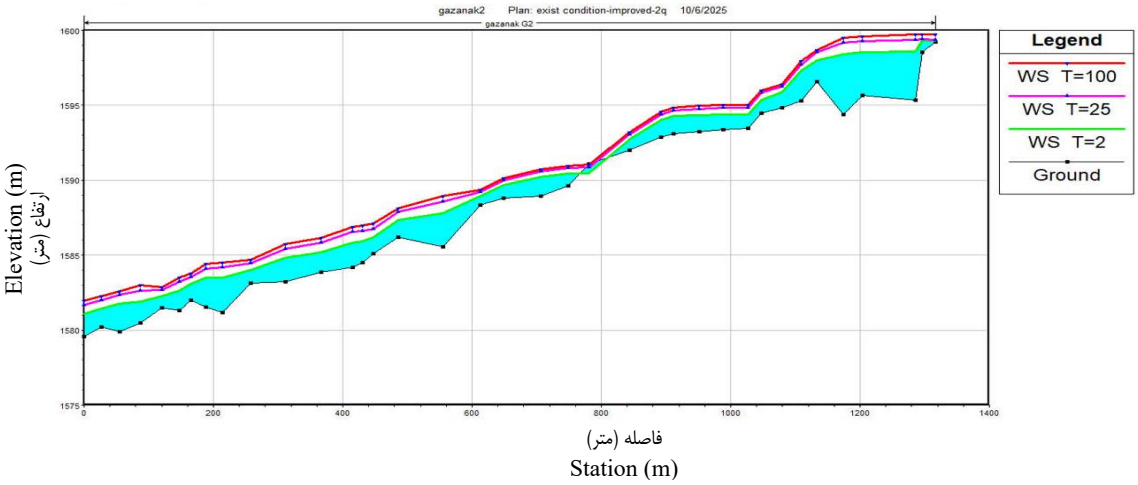
بازه دوم

این بازه از رودخانه هراز به طول ۳۰۰۰ متر واقع در محدوده جغرافیایی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۰/۳۳ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۱۰/۹۲ ثانیه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۷/۴۶ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۱۳ دقیقه و ۴۰/۰۱ ثانیه شرقی شامل هفت واحد مزرعه ماهی در مسیر خود است. در شکل شماره ۵ نقشه مدل رقومی DEM بازه دوم و خروجی پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۰۰ ساله در بخشی از این مسیر نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سیلاب با دوره بازگشت‌های بیشتر، خطر بسیار زیادی برای مزارع موجود در این بازه ایجاد می‌نماید و تمهیدات لازم برای جلوگیری از خسارت به این واحدها با هزینه‌های گزاف روبرو است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]



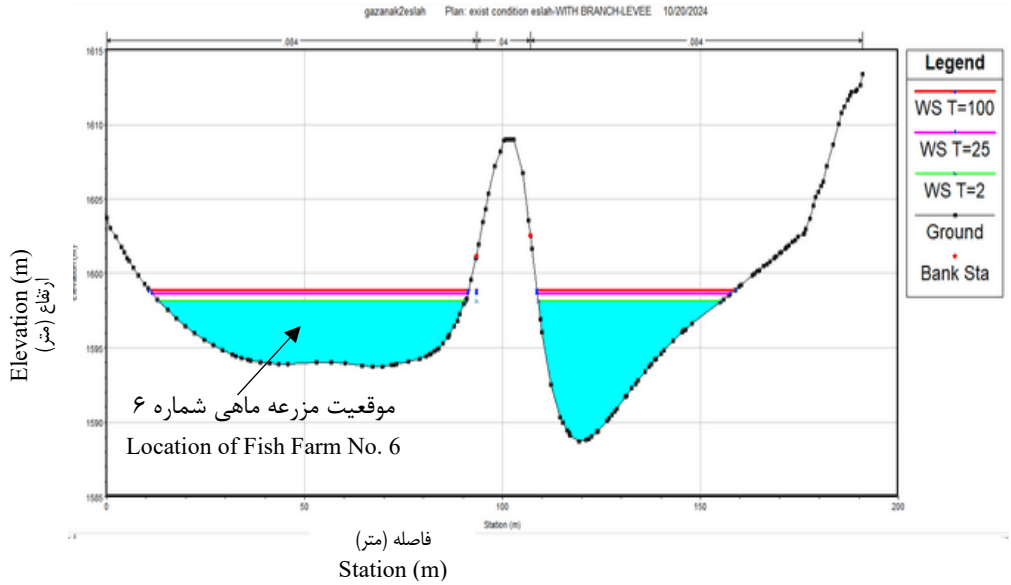
شکل ۵- مدل رقومی بازه دوم. الف: تحلیل خروجی سیل با دوره بازگشت ۲ ساله. ب: تحلیل خروجی سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله
Figure 5. The second-period numerical model. a) Flood output analysis with a 2-year return period. b) Flood output analysis with a 100-year return period



شکل ۶- سطح آب در بازه دوم برای دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله
Figure 6. The water level in the second period for discharge with return periods of 2, 25, and 100 years

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

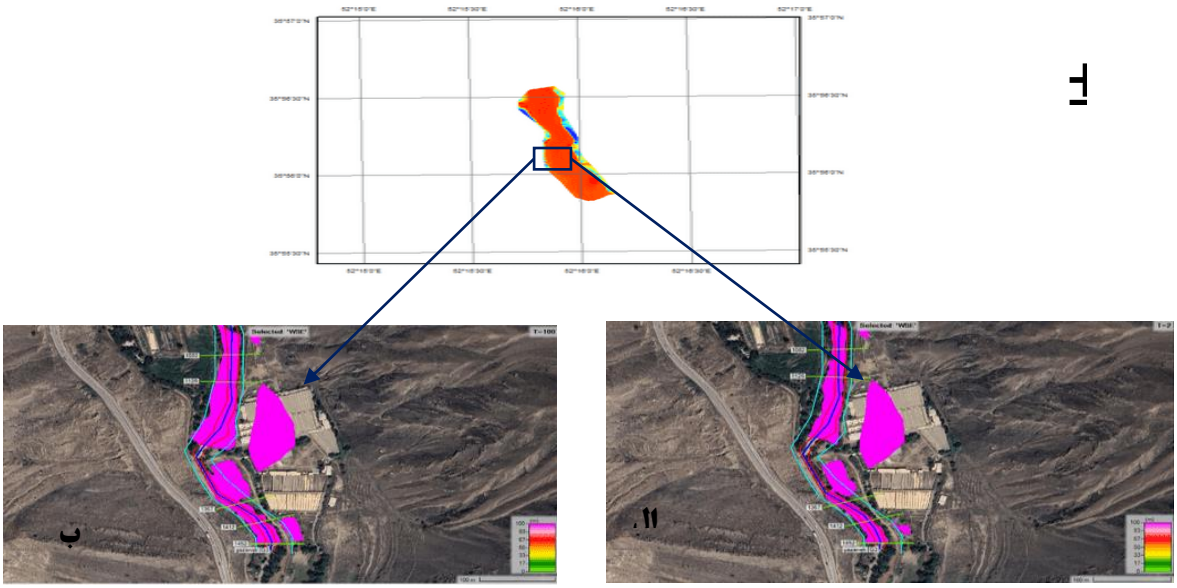
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]



شکل ۷– سطح آب در یکی از مقاطع عرضی بازه دوم برای سیل با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله
Figure 7. The water level in one of the cross sections of the second interval for floods with return periods of 2, 25, and 100 years

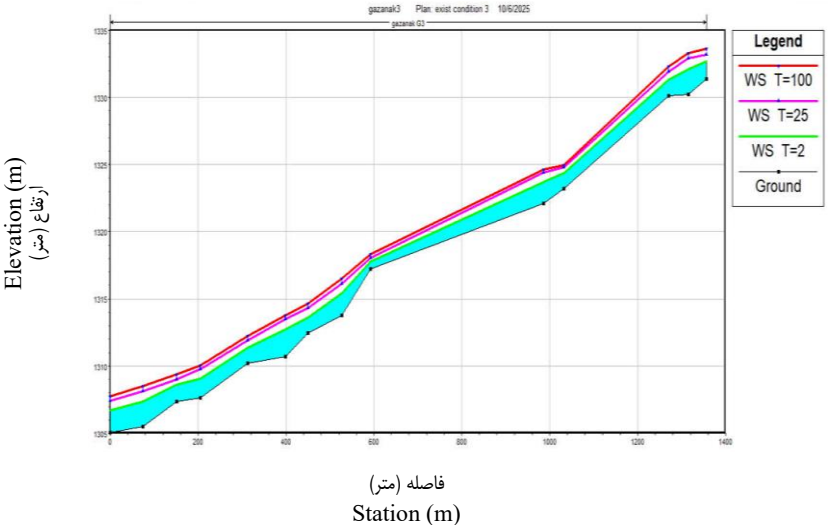
بازه سوم

این بازه از رودخانه هراز به طول ۱۴۰۰ متر واقع در محدوده جغرافیایی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۱/۰۳ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۹/۳۳ ثانیه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۸/۴۶ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه و ۴۷/۷۷ ثانیه شرقی شامل شش واحد مزرعه ماهی در مسیر خود است. نقشه مدل رقومی DEM بازه سوم و خروجی پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۰۰ ساله در بخشی از این مسیر در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سیلاب با دوره‌های بازگشت کمتر و حتی بیشتر، خطر بسیار زیادی را برای مزارع موجود در این بازه ایجاد می‌نماید.

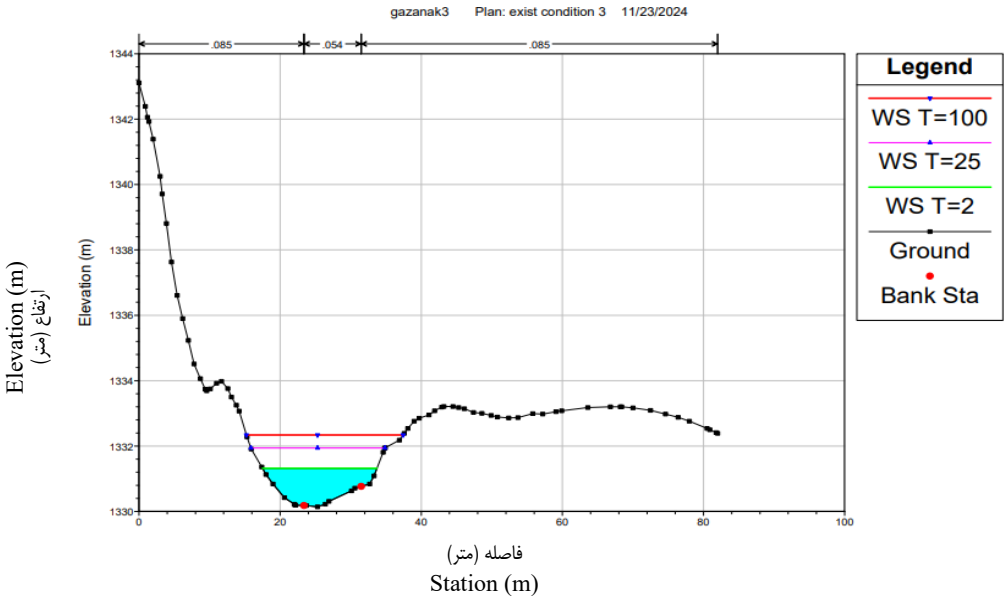


شکل ۸– مدل رقومی بازه سوم. الف: تحلیل خروجی سیل با دوره بازگشت ۲ ساله. ب: تحلیل خروجی سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله
Figure 8. The third-period numerical model. a) Flood output analysis with a 2-year return period. b) Flood output analysis with a 100-year return period

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]



شکل ۹- سطح آب در بازه سوم برای دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله
Figure 9. The water level in the third period for discharge with return periods of 2, 25, and 100 years



شکل ۱۰- سطح آب در یکی از مقاطع عرضی بازه سوم برای سیل با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله
Figure 10. The water level in one of the third interval cross sections for floods with return periods of 2, 25, and 100 years.

تحلیل خسارت سیلاب

در مدل HEC-RAS، پارامترهایی همچون تراز سطح آب، شامل خروجی مقاطع عرضی، پروفیل طولی رودخانه، تغییرات سرعت آب در تمام مقاطع و منحنی دبی–اشل و مشخصات هیدرولیکی جریان در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف به‌دست آمدند. مساحت گسترش یافته پهنه سیلابی بر مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز در بازه‌های مورد مطالعه با توجه به دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار GIS محاسبه گردید. نتایج مساحت خسارت دیده و درصد خسارت در جدول ۳ آورده شده‌اند.

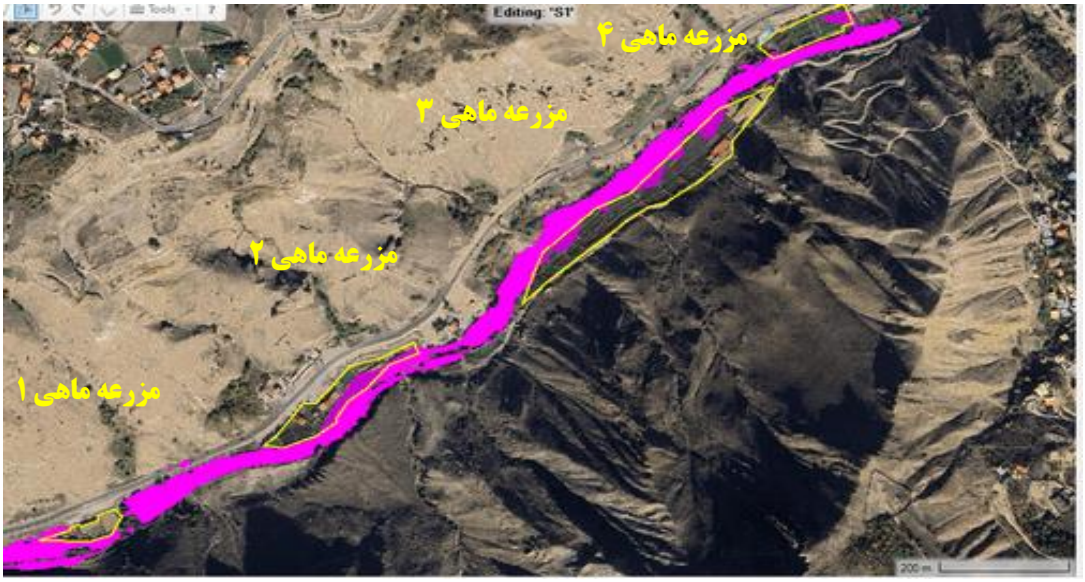
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

جدول ۳- مساحت مزارع ماهی خسارت‌دیده و درصد خسارت در بازه‌های مورد مطالعه

Table 3. Areas of damaged fish farms and percentages of damage in the study periods

شماره بازه Reach No.	مساحت مزارع ماهی (مترمربع) Total Area of Fish Farms (m²)	مساحت و درصد خسارت Area and Damage Percentage	دوره بازگشت سالانه Annual Return Period				
			2	10	25	50	100
1	45262	مساحت (مترمربع) Area (m²)	3644	5249	5258	6650	7654
		درصد خسارت Damage Percentage	8	11.6	11.62	14.7	16.9
2	60529	مساحت (مترمربع) (m²) Area	27748	29991	30059	31396	32498
		درصد خسارت Damage Percentage	45.8	49.6	49.7	52	53.7
3	31389	مساحت (مترمربع) (m²) Area	4984	5030	5152	5318	5561
		درصد خسارت Damage Percentage	15.9	16	16.4	16.9	17.7
مجموع Total	137180	مساحت (مترمربع) (m²) Area	36376	40270	40469	43364	45713
		درصد خسارت Damage Percentage	26.5	29.4	29.5	31.6	33.3

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در بازه نخست این پژوهش، میزان مساحت مزارع ماهی خسارت دیده در سیل ۲ ساله ۳۶۴۴ مترمربع از مجموع ۴۵۲۶۲ مترمربع و معادل ۸ درصد از مزارع این بازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین، با افزایش دوره بازگشت سیل از ۲ سال به ۱۰ سال میزان خسارت ۳/۶ درصد افزایش پیدا کرد ولی با افزایش دوره بازگشت به ۲۵ سال، افزایش ۰/۰۲ درصدی نسبت به سیل با دوره بازگشت ۱۰ ساله محاسبه گردید. با این حال، در دوره‌های بازگشت ۵۰ ساله و ۱۰۰ ساله این افزایش خسارت به ۱۴/۷ و ۱۶/۹ درصد افزایش یافت.



شکل ۱۱- تاثیر پهنه سیلاب ۱۰۰ ساله بر روی مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز- بازه اول

Figure 11. The impact of the 100-year floodplain on fish farms along the Haraz River – the first period

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، مزرعه ماهی شماره ۱ هیچ تاثیری از سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نشان نداد ولی در مزارع ماهی شماره ۲، ۳ و ۴ بخشی از این مزارع، تحت تاثیر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف قرار گرفته است.

در بازه دوم، درصد خسارت مزارع ماهی خسارت‌دیده توسط سیل با دوره بازگشت ۲ ساله، ۴۵/۸ درصد از مزارع این بازه را تحت تاثیر قرار داد و با افزایش دوره بازگشت سیل به ۱۰ سال و بیشتر، این میزان خسارت تا ۵۳/۷ درصد افزایش یافته است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]



شکل ۱۲- تاثیر پهنه سیلاب ۱۰۰ ساله بر روی مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز- بازه دوم
Figure 12. The impact of the 100-year floodplain on fish farms along the Haraz River – the second Period

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، مزرعه ماهی شماره ۱۱، هیچ تاثیری از سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نشان نداد ولی در مزارع ماهی شماره ۵، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ بخشی از این مزارع، تحت تاثیر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف قرار گرفته است و در نهایت مزرعه شماره ۱۱، به‌طور کامل در معرض خطر سیل قرار دارد.

در بازه سوم، میزان خسارت در دوره بازگشت سیل با دبی ۲ ساله، از ۲۶/۵ درصد شروع و در نهایت با افزایش دوره بازگشت سیل با دبی ۱۰۰ ساله این میزان خسارت تا ۳۳/۳ درصد تحت تاثیر قرار داد.



شکل ۱۳- تاثیر پهنه سیلاب ۱۰۰ ساله بر روی مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز- بازه سوم
Figure 13. The impact of the 100-year floodplain on fish farms along the Haraz River - Third Period

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، مزارع ماهی ۱۲، ۱۴ و ۱۵ تحت تاثیر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف قرار نمی‌گیرند ولی مزارع ۱۳ و ۱۶ در این بازه در معرض خطر سیلاب قرار دارند. در مجموع سه بازه مورد تحقیق، از میزان ۱۳۷۱۸۰ مترمربع مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز، ۳۶۳۷۶ مترمربع از این مزارع در دوره بازگشت با دبی ۲ ساله که معادل ۲۶/۵ درصد است، تحت تاثیر سیل قرار گرفت. همچنین، با افزایش دوره بازگشت سیل از ۲ سال به ۱۰ سال، میزان خسارت ۲/۹ درصد افزایش پیدا کرد ولی با افزایش دوره بازگشت به ۲۵ سال، افزایش ۰/۱ درصدی نسبت به سیل با دوره بازگشت ۱۰ ساله محاسبه گردید. با افزایش دوره بازگشت سیل به ۵۰ ساله و ۱۰۰ ساله، این افزایش خسارت به ۳۱/۶ و ۳۳/۳ درصد افزایش یافت.

پهنه‌بندی سیلاب و تأثیر آن بر مزارع پرورش ماهی

نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی نشان می‌دهند که با افزایش دوره بازگشت، وسعت پهنه سیلابی در تمامی بازه‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد. به‌ویژه در بازه دوم، درصد خسارت به مزارع پرورش ماهی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از سایر بازه‌ها بود (جدول ۳). این امر ناشی از تراکم بالاتر مزارع، مجاورت مستقیم با بستر اصلی رودخانه و محدودیت‌های توپوگرافی منطقه است.

در بازه اول، مزارع عمدتاً در موقعیت ایمن‌تری احداث شده‌اند و به‌دلیل وجود دیوارهای حفاظتی و فاصله نسبی از بستر اصلی رودخانه، حتی در دوره بازگشت‌های بالا نیز خسارت‌ها محدود باقی مانده‌اند. در مقابل، بازه سوم با وجود تعداد کمتر مزارع، به‌دلیل عرض کمتر دشت سیلابی و تمرکز جریان، حساسیت بیشتری نسبت به افزایش دبی‌های سیلابی نشان داد.

مقایسه خسارت در بازه‌های مختلف

بر اساس نتایج محاسبات، بیش از ۶۰ درصد از کل مزارع پرورش ماهی حاشیه رودخانه هراز در معرض خطر سیلاب قرار دارند. شدت خسارت در بازه دوم در تمامی دوره‌های بازگشت بالاتر بود و در برخی سال‌ها (۲۵ و ۵۰ ساله) نزدیک به نیمی از مزارع این بازه تحت تأثیر سیلاب قرار گرفته‌اند.

این موضوع نشان می‌دهد که توزیع جغرافیایی مزارع و نوع کاربری زمین نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان آسیب‌پذیری دارند. در حالی که در بازه اول، موقعیت مناسب‌تر مزارع منجر به کاهش چشمگیر خسارات شده است، در بازه دوم تمرکز و جانمایی نامناسب واحدها باعث افزایش شدید آسیب‌پذیری گردیده است.

تحلیل اثر دوره‌های بازگشت

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در بازه‌های اول و سوم، افزایش دوره بازگشت از ۲ به ۲۵ سال باعث افزایش خسارت قابل توجهی شده است، اما از ۲۵ به ۱۰۰ سال تغییرات چندان محسوس نبوده‌اند. این موضوع بیانگر آن است که پس از رسیدن به یک آستانه بحرانی، افزایش بیشتر دبی تأثیر چندانی بر وسعت پهنه سیلاب ندارد.

اما در بازه دوم، روند خسارت تقریباً خطی و صعودی است، به‌گونه‌ای که با افزایش هر دوره بازگشت، درصد بیشتری از مزارع تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این امر ناشی از موقعیت قرارگیری مزارع در کم‌ارتفاع‌ترین بخش‌های حاشیه رودخانه است که کوچک‌ترین تغییر در سطح آب، باعث ورود جریان به مزارع می‌شود.

پیامدهای مدیریتی و راهکارهای کاهش خسارت

بر اساس یافته‌های این پژوهش، می‌توان چند راهکار مدیریتی و اجرایی را برای کاهش خطر سیلاب در مزارع پرورش ماهی حاشیه رودخانه هراز پیشنهاد کرد:

۱. ایجاد دیوارهای حفاظتی و سازه‌های غیرسازه‌ای در بازه‌های بحرانی (به‌ویژه بازه دوم).

۲. اصلاح الگوی جانمایی مزارع جدید و جلوگیری از احداث استخرهای پرورش ماهی در مناطق با ریسک بالا (بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی).

۳. بهبود سامانه هشدار سیل و اطلاع‌رسانی به موقع به بهره‌برداران، به‌ویژه در فصل بارش‌های شدید.

۴. احیای پوشش گیاهی و مدیریت کاربری اراضی در حاشیه رودخانه برای کاهش سرعت و حجم رواناب.

۵. تعیین حد بستر قانونی رودخانه و نظارت جدی بر تجاوز به حریم آن، به‌ویژه در بازه دوم.

جمع‌بندی نتایج

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که اگرچه تمامی بازه‌های مورد مطالعه در معرض خطر سیلاب قرار دارند، اما بازه دوم بحرانی‌ترین بخش رودخانه هراز از نظر خسارت به مزارع پرورش ماهی محسوب می‌شود. این موضوع ضرورت برنامه‌ریزی جامع برای مدیریت سیلاب و کاهش خسارات را برجسته می‌سازد.

مقایسه سه بازه مورد مطالعه

بازه اول (کم‌خطر): به‌دلیل عرض بیشتر و شیب مناسب، بخش قابل‌توجهی از جریان در بستر اصلی هدایت شد. در نتیجه، میزان تأثیرگذاری سیلاب بر مزارع محدود بود و بیشتر مزارع تنها در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در معرض خطر جدی قرار گرفتند.

بازه دوم (بحرانی‌ترین): در این محدوده، تراکم بالای مزارع، عرض کم رودخانه و نبود سازه‌های حفاظتی باعث شد بخش عمده‌ای از مزارع حتی در دوره بازگشت ۲۵ ساله در معرض سیلاب قرار گیرند. افزایش قابل توجه عمق و گسترش پهنه در دوره‌های بلندمدت، شدت خطر را دوچندان کرد.

بازه سوم (متوسط): شرایط نسبتاً متعادل بودند. اگرچه در دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله بخشی از مزارع تحت تأثیر قرار گرفتند، اما به دلیل پراکندگی کمتر مزارع و پهنای رودخانه، آسیب‌پذیری کلی کمتر از بازه دوم برآورد شد.

مقایسه با مطالعات مشابه

یافته‌های این تحقیق با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارند. سیلوا (Silva, 2014) نیز نشان داد که در رودخانه‌های با عرض کم و نبود دیواره‌های حفاظتی، خطرپذیری فعالیت‌های اقتصادی حاشیه‌ای به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. همچنین کاظمی (Kazemi, 2016) در مطالعه‌ای مشابه در ایران بیان کرده است که تمرکز فعالیت‌های انسانی در پهنه سیلابی یکی از عوامل اصلی افزایش آسیب‌پذیری است. نتایج حاضر با این مطالعات همسو هستند و اهمیت مدیریت فضایی مزارع در کاهش خطر را تأیید می‌کنند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

تحلیل چرایی آسیب‌پذیری بازه دوم

بازه دوم به‌عنوان بحرانی‌ترین محدوده شناسایی شد. دلایل اصلی آسیب‌پذیری بالا در این بازه عبارتند از:

تراکم بالای مزارع در پهنه سیلابی.

باریک بودن مقطع عرضی رودخانه که منجر به افزایش عمق جریان در زمان وقوع سیلاب می‌شود.

نبود سازه‌های حفاظتی مناسب (دیوار حائل یا سیل‌بند).

تغییر کاربری اراضی حاشیه رودخانه بدون در نظر گرفتن ظرفیت هیدرولیکی آن.

این عوامل در کنار هم باعث شده‌اند که بازه دوم حتی در سیلاب‌های با دوره بازگشت کوتاه، آسیب‌پذیرتر از سایر بخش‌ها باشد.

بحث تکمیلی

یکی از نکات مهم این پژوهش، نشان دادن روند افزایشی خطر با طولانی‌تر شدن دوره بازگشت است. به‌طور مثال، درصد مزارع آسیب‌پذیر در بازه دوم از حدود ۵۵٪ در دوره ۲۵ ساله به نزدیک ۹۰٪ در دوره ۱۰۰ ساله افزایش یافته است. این روند، بیانگر شدت بالای خطر در شرایط وقوع سیلاب‌های نادر ولی ویرانگر است.

یافته‌های اصلی

۱- بیش از ۶۰ درصد از مزارع پرورش ماهی حاشیه رودخانه هراز در معرض خطر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف قرار دارند.

۲- بازه دوم بیشترین آسیب‌پذیری را دارد و در دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله حدود نیمی از مزارع آن تحت تأثیر سیلاب قرار گرفتند.

۳- بازه اول ایمن‌تر است و به دلیل جانمایی مناسب و وجود اقدامات حفاظتی، خسارات در آن حداقل است.

۴- بازه سوم با وجود تعداد کمتر مزارع، به دلیل عرض محدود و تمرکز جریان، در معرض خطر متوسط تا زیاد قرار دارد.

۵- افزایش خسارت از دوره بازگشت ۲ تا ۲۵ ساله محسوس است، اما از ۲۵ تا ۱۰۰ ساله تغییرات کمتری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی

مزارع ماهی حاشیه رودخانه هراز به‌عنوان یکی از واحدهای مهم اقتصادی در استان مازندران هستند، نقش مهمی در توسعه اقتصادی منطقه دارند و خسارت به ابنیه و ورود سیل به این واحدها و تلفات ناشی از آن، خسارات اقتصادی زیادی را برای این واحدها به دنبال دارد. در سال‌های متمادی، تعداد زیادی از این واحدها دچار خسارت ناشی از سیل گردیدند که پهنه‌بندی سیل می‌تواند کمک بسیاری برای مدیریت و کاهش خسارات احتمالی در آینده به‌دنبال داشته باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل، می‌توان گفت که در بازه نخست، مزارع ماهی احداث شده ریسک پایینی از خسارات ناشی از سیل با دوره‌های بازگشت مختلف دارند و دارای جانمایی درستی هستند. در بازه دوم، میزان خسارت سیل در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله، حدود ۵۰ درصد محاسبه شد. در بازه سوم، میزان خسارت به طور متوسط در حدود ۳۰ درصد برآورد گردید. همان‌طور که مشاهده گردید، در بازه‌های دوم و سوم، تعداد مزارع تحت تاثیر سیل بیشتر از بازه اول مشاهده شدند و از ریسک بالایی در مواجهه با خطر سیل برخوردار بودند که با نتایج و گزارشات اخذ شده از خسارت سیل در سال‌های گذشته مطابقت دارد. این میزان خسارت ناشی از محدود کردن مجرای جریان است که عمدتاً سبب افزایش عمق جریان و یا سرعت جریان می‌شود که این امر منجر به آب‌گرفتگی زمین‌های مجاور (نسبت به شرایط طبیعی رودخانه) و یا پدیده آبشستگی بستر و کناره‌ها (بر اثر افزایش سرعت جریان) خواهد شد. در هر دو صورت، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مورفولوژی رودخانه ایجاد خواهد شد که از آن جمله می‌توان به تغییر مسیر جریان رودخانه، تعریض رودخانه به واسطه فرسایش کناره‌های آن و تغییر شیب رودخانه به واسطه پدیده کف‌کنی اشاره کرد و همچنین ساخت و ساز بی رویه و نادرست در مسیر و حاشیه رودخانه، خسارات عمده‌ای را به دنبال خواهد داشت. نتایج به دست آمده حاکی از کارایی و حساسیت بالای مدل هیدرولیکی HEC-RAS جهت پهنه‌بندی سیل هستند. با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای GIS و HEC-RAS می‌توان عمق، سرعت سیل و پهنه‌های سیل‌گیر را در نقاط مختلف بدست آورد که این با نتایج سایر محققان مطابقت دارد. به این طریق می‌توان از مناطق احتمالی خطر سیل آگاهی یافته و به منظور مقابله با آن و کاهش اثرات ناشی از آن، اقدامات و اصلاحات لازم را به عمل آورد. بنابر این، برنامه‌ریزی در مورد تمهیدات لازم در زمینه رفع خسارات احتمالی ناشی از این پدیده طبیعی امری ضروری و اجتناب ناپذیر است.

References

Amirmorady, K., Shokouhi, A.R., & Azizian, A. (2019). Research on risk assessment and uncertainty of financial losses caused by river floods in urban areas (Study area: Kan basin). *Journal of Iran's Water and Soil*, 50(9), 2239-2259. [In Persian]

Avand, M. T., Moradi, H. R., & Ramezanzadeh Lesboei, M. (2022). *Assessment of flood vulnerability in the Tajan watershed using the Best-Worst Method (BWM)*. *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 10–20. https://doi.org/10.52547/jwmr.13.26.10. [In Persian]

Change, C. (2014). Mitigation of Climate Change; Contribution ofWorking Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York.

Ganji Norouzi, Z., Shokoohi, A.R., & Singh, V.P. (2016). Calculating the effect of uncertainty of the probability discharge function in estimating the risk of agricultural damage caused by floods using the Monte Carlo method. *Journal of Iranian Water Resources Research*, 12(2), 13-23. [In Persian]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]

Houshmand, A.M., Hosseini, S.A., & Qormezcheshmeh, B. (2019). Estimation of flood damage intensity based on global damage-depth functions in the Jajrood River area. *Journal of Water Resources Engineering,* 16(57), 61-74. [In Persian]

Jafari, A., Ebrahimnejad, M., & Hadiani, A. (2007). Investigation of the effects of flooding on the production of cold-water fish and the resulting damages in the Haraz River. *Third Conference on Applied Geology and Environment*. [In Persian]

Junger, L., Hohensinner, S., Schroll, K., Wagner, K., & Seher, W. (2022). Land Use in Flood-Prone Areas and Its Significance for Flood Risk Management—A Case Study of Alpine Regions in Austria. https://www.mdpi.com/journal/land.

Valizadeh Kamran, Kh., Dalir Hassannia, R., & Azari-Amghani K. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using drone images and geographic information systems. *Journal of Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources*, 10(3), 59-75. [In Persian]

Kazemi, A., Rezaei Moghadam, M.H., Nikjoo, M.R., Hejazi, M.A., & Khazri, S. (2016). Zoning and flood risk management in the Simineh Rood River using the HEC-RAS hydraulic model. *Journal of Environmental Risk Management (Former Risk Knowledge),* 3(4), 379-393. [In Persian]

Li, H., Xie, J., & Guo, L. (2017). A review of the study on flash flood early warning in China. Pearl River, 38(6), 29–35.

Malayeri, S., & Bashirgonbad, M. (2024). Estimation of runoff height to analyze the flood production potential of the watershed overlooking Malayer City. *Journal of Watershed Management Research*, 15(1), 29–39. https://doi.org/10.61186/jwmr.15.1.29. [In Persian]

Masoudian, M., Fenderski, N., & Ghareghezloo, M. (2014). Reducing urban flood damage using non-structural management (Case study: Neka flood, 1999). *Journal of Watershed Management Research*, 5(10), 1-14. [In Persian]

Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology,* 391(1-2), 202-216.

Panahi, R., Hosseinzadeh, M.M., & Khaleghi, S. (2019). Zoning of flood hazards to determine river boundaries (case study: Gamasyab River). *Journal of Ecohydrology*, 6(2), 553-567. [In Persian]

Pathan, A. I., & Agnihotri, P.G. (2021). Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic flood modeling with special reference through geospatial techniques: a case of River Purna at Navsari, Gujarat, India. *Modeling Earth Systems and Environment,* 7(2), 1133–1144. https://doi.org/10.1007/s40808-020-00961-0

Silva, F.V., Bonuma, N.B., & Uda, P. K. (2014). Flood Mapping In Urban Area Using Hec-Ras Model Supported By GIS, International Conference on Flood Management, 9pp.

Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., & Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management*, 25(13), 3465-3484.

Zhang, Q., Wang, Y., Singh, V. P., Gu, X., Kong, D., & Xiao, M. (2016). Impacts of ENSO and ENSO Modoki+ A regimes on seasonal precipitation variations and possible underlying causes in the Huai River basin, China. *Journal of Hydrology,* 533, 308-319.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61882/jwmr.2026.1313]