



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Annual Economic Flood Risk Assessment in the Golestan Province

Sara Moallemi Gorji¹ | Seyed Mossa Hosseini^{2*} | Mojtaba Yamani³ | Mehrnoosh Ghadimi⁴

1. Ph.D Candidate of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: s.moalemigorji@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: smhosseini@ut.ac.ir
3. Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: myamani@ut.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ghadimi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article History: Received: 13 March 2026 Revised: 30 April 2026 Accepted: 02 May 2026 Published: 15 May 2026</p> <p>Keywords: Golestan Province, Flood Economic Damage, Peak Discharge, Damage-Probability Curve.</p>	<p>Objective: Expected Annual Damage (EAD) is a quantitative indicator widely used to assess flood risk and support flood management planning, land-use development, and safety enhancement in at-risk areas. Golestan Province, located in northern Iran, experiences recurrent flood events that result in significant economic losses. The objective of this study is to estimate EAD at the county level across Golestan Province. Method: To achieve this, historical flood data—including recorded economic damages and peak instantaneous discharge—were collected for the period from the 1989–1990 to the 2023–2024 water years. Return periods were estimated and frequency analysis of peak discharges was performed using EasyFit software. EAD values were then calculated by integrating the damage–probability curve for each county. Results: The results indicate that among the counties of Golestan Province, Galikesh County has the highest expected annual flood damage (8,553 million IRR), while Bandar Torkaman County has the lowest (251 million IRR). Conclusions: Further analysis shows that land-use change from forest to agriculture on steep slopes, along with the concentration of urban and rural settlements at sub-basin outlets, are key factors contributing to higher flood damages in Galikesh and Maraveh Tappeh compared to other counties. The findings of this study can support managerial decision-making, prioritization of risk-reduction investments, and the development of effective strategies to mitigate the economic impacts of flooding.</p>

Cite this article: Moallemi Gorji, S.; Hosseini, M.; Yamani, M. & Ghadimi, M. (2026). Annual Economic Flood Risk Assessment in the Golestan Province. *Environmental Hazards Management*, 12 (4), 333-349. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.412234.926>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.412234.926>

Introduction

Floods are among the most destructive natural hazards in Iran, particularly in northern provinces such as Golestan. This region frequently experiences flood events due to heavy rainfall and complex topography. In recent decades, Golestan has undergone several severe floods, including a significant event in 2019 that caused extensive damage to infrastructure and private property. Historical records indicate that the area's hydrological and geomorphological conditions, combined with changes in land use, have increased its vulnerability to flood hazards. Traditional flood control measures have become increasingly unreliable due to uncertainties related to climate change and shifting rainfall patterns. Consequently, modern flood management now emphasizes risk-based approaches that quantify potential losses. One such approach is the Expected Annual Damage (EAD) index, which provides a

probabilistic estimate of the average long-term flood damage. This index is widely used in risk assessment and resource allocation. While several studies have investigated the impacts of flooding in various parts of Golestan Province, a comprehensive assessment of expected economic losses due to flooding across all counties has not yet been conducted. This study aims to address that gap by estimating the EAD for the entire province, using data on historical flood losses and peak discharge. The findings will help identify high-risk areas and support the development of effective flood risk management strategies.

Methods

This study utilized historical flood damage data, peak discharge records, and flood location information sourced from the Regional Water Organization and the Golestan Province Watershed Management Organization. Additionally, digital elevation data and land use maps were employed to enhance spatial interpretation. Initially, hydrometric stations in each county were surveyed, and a representative station was chosen based on the frequency of recorded flood events. Instances of flood occurrences were correlated with peak discharge values, and the economic losses were adjusted to reflect the fiscal year 2024. The relationship between discharge and damage was evaluated using the coefficient of determination (R^2). Frequency analysis was conducted using Easy Fit software. After testing multiple probability distributions, the most suitable distribution for each county was selected based on the Anderson–Darling, Kolmogorov–Smirnov, and chi-square criteria. Discharge values for return periods ranging from 2 to 1000 years were estimated, and a logarithmic function was fitted to establish a continuous discharge–return period relationship. The expected annual damage (EAD) was calculated by integrating the damage probability curve using the inverse of return periods as event probabilities. Only counties with valid and meaningful damage functions were included in the final estimation of EAD.

Results

Analysis of flood data from the water years 1990-1991 to 2023-2024 reveals significant changes in annual flood losses across the counties of Golestan province. The average annual economic losses during this period amount to 2,136 million Rials. A strong correlation was found between peak discharge and flood losses, with R^2 values ranging from 0.70 to 0.97. The flood frequency analysis produced well-fitting logarithmic discharge-return period curves for all counties. The estimated expected annual loss (EAD) values demonstrate clear spatial differences: Galikesh reported the highest EAD at 8,553.89 million Rials, followed by Maraveh Tappeh and Ramian. In contrast, the lowest EAD values were observed in Bandar Torkaman and Bandar Gaz. Overall, these results indicate that the economic risk associated with floods varies significantly across the province, reflecting differences in hydrological behavior and exposure patterns among the counties.

Conclusions

The results of this study reveal significant spatial variations in flood-related economic risk across the counties in Golestan province. The high Expected Annual Damage (EAD) values observed in counties such as Galikesh and Maraveh Tepe are attributed to a combination of hydrological behavior, topographic conditions, and flood exposure patterns. An analysis of land-use change using Google Earth Engine (GEE) indicates that the expansion of agricultural areas on sloping lands, along with the growth of rural and urban settlements near the outlets of sub-basins, has increased the sensitivity of these regions. These changes have led to heightened economic losses during floods. Counties with lower EAD values display distinct spatial and hydrological characteristics, implying that variations in flood exposure and watershed responses significantly influence flood risk throughout the province. By combining historical flood loss data with peak discharge measurements, we established a reliable basis for estimating expected annual losses and identifying areas with high economic vulnerability. Overall, the findings underscore the importance of considering land-use dynamics, watershed characteristics, and historical flood behavior in regional flood risk assessments. The EAD values derived from this study can aid provincial planning efforts by pinpointing priority areas for risk reduction, enhancing resource allocation, and guiding the development of targeted flood management strategies.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



برآورد خطرپذیری اقتصادی سیلاب در استان گلستان

سارا معلمی گرگی^۱ | سیدموسی حسینی^{۲*} | مجتبی یمانی^۳ | مهرنوش قدیمی^۴

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: s.moalemigorji@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: smhosseini@ut.ac.ir

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: myamani@ut.ac.ir

۴. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ghadimi@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

برآورد خسارت مورد انتظار سالانه سیلاب (Expected Annual Damage: EAD) یکی از شاخص‌های کمی مؤثر برای سنجش ریسک این مخاطره است که می‌تواند در برنامه‌ریزی مدیریت سیلاب، توسعه سرزمین و ارتقای ایمنی مناطق در معرض خطر استفاده شود. استان گلستان یکی از استان‌های شمالی ایران است که به‌طور مستمر با مخاطره سیلاب و خسارات اقتصادی ناشی از آن مواجه است. هدف این پژوهش، برآورد میزان EAD به تفکیک شهرستان‌های استان گلستان است. بدین منظور، از داده‌های تاریخی سیلاب شامل خسارات ثبت‌شده و دبی حداکثر لحظه‌ای طی دوره آماری سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۴۰۳-۱۴۰۲ استفاده شد. پس از برآورد دوره بازگشت و انجام تحلیل فراوانی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای با استفاده از نرم‌افزار EasyFit، میزان EAD از طریق انتگرال‌گیری از منحنی خسارت - احتمال برای هر شهرستان محاسبه شد. نتایج نشان داد که در میان شهرستان‌های استان گلستان، شهرستان گالیکش با خسارت مورد انتظار سالانه ۸۵۵۳ میلیون ریال بیشترین و شهرستان بندر ترکمن با ۲۵۱ میلیون ریال کمترین مقدار EAD را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی عوامل مؤثر نشان داد که تغییر کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی در مناطق شیبدار و تمرکز سکونتگاه‌های شهری و روستایی در خروجی زیرحوضه‌ها از مهم‌ترین عوامل افزایش خسارت در شهرستان‌های گالیکش و مراوه‌تپه نسبت به شهرستان‌های دیگر بوده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌های کاهش خطر و تدوین راهکارهای اجرایی برای کاهش پیامدهای اقتصادی سیلاب استفاده شود.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۵

کلیدواژه:

استان گلستان،
خسارت اقتصادی سیلاب،
دبی حداکثر لحظه‌ای،
منحنی خسارت - احتمال.

استناد: معلمی گرگی، سارا؛ حسینی، سیدموسی؛ یمانی، مجتبی و قدیمی، مهرنوش (۱۴۰۴). برآورد خطرپذیری اقتصادی سیلاب در استان گلستان. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲ (۴)، ۳۳۳-۳۴۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.412234.926>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.412234.926>



مقدمه

یل رایج‌ترین و مخرب‌ترین بلای طبیعی در چند نقطه از جهان است (مک‌گراس^۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ فیچکو و همکاران،^۲ ۲۰۱۹). طبق گزارش مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا (CRED^۳)، تعداد بلایای طبیعی رخ داده در سال ۲۰۲۲ بیشتر از میانگین تعداد بلایای طبیعی سالانه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ بوده است که سیل بیشترین فراوانی را در بین آنها داشته است (CRED, 2023). امروزه، وقوع سیل در سراسر جهان به دلیل بارندگی‌های شدید که انتظار می‌رود در نتیجه پدیده تغییرات اقلیمی بیشتر رخ دهد، در حال افزایش است (لی و کیم^۴، ۲۰۱۸؛ لی و چوی^۵، ۲۰۱۸؛ دسیلوا و کاوازاکی^۶، ۲۰۱۸). سیل موجب آسیب‌های زیادی به مردم، خسارات شدید به املاک و همچنین تأثیرات شدید بر فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی می‌شود (چانگ و همکاران^۷، ۲۰۰۸). حتی بدتر از آن، سیل‌های بزرگ اغلب سبب از دست رفتن جان انسان‌ها و کاهش کیفیت سلامت انسان می‌شود (جانکمن و همکاران^۸، ۲۰۰۴). در طول دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵، در مجموع ۱۲۰۰۰ فاجعه هیدرولوژیکی در سطح جهان گزارش شده که سبب کشته شدن بیش از ۳۵۳۰۰۰۰ نفر و خسارت کلی بیش از ۲۶۰۰ میلیون دلار شده است (کیو و همکاران^۹، ۲۰۲۱). ایران همه‌ساله در معرض خطر سیل است، به طوری که بیش از ۸۰ درصد وسعت شهرهای ایران در معرض وقوع سیل قرار دارند (معیری و انتظاری، ۲۰۰۸). بر اساس تحلیل مقررات بودجه، ایران در ۱۰۰ سال اخیر ۲۹ میلیارد دلار برای بلایای طبیعی هزینه کرده است که از این میزان، خشکسالی با ۱۴ میلیارد دلار و سیل و زلزله، هر کدام با ۶ میلیارد دلار در صدر قرار داشته‌اند (صدیقی و همکاران، ۲۰۲۰). استان گلستان که یکی از استان‌های شمالی ایران است، بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵، ۶۴ سیل را تجربه کرده است. این سیل‌ها سبب ۶۵ میلیون دلار خسارت و مرگ ۲۶ نفر شد (صفری‌پور و همکاران، ۲۰۱۲). ۴۵ رودخانه با طول حدود ۲۷۰۰ کیلومتر در پنج حوضه اصلی گرگان‌رود توزیع شده‌اند که بیشترین تعداد سیل گزارش شده را دارند (عظیمی و همکاران، ۲۰۲۲). اقدامات سازه‌ای کنترل سیلاب با اینکه سالیان طولانی از روش‌های غالب مدیریت سیلاب بوده است، در سال‌های اخیر به علت عدم قطعیت زیاد در تعیین سیل طراحی به دلایل گوناگونی مانند تغییرات اقلیمی به وجود آمده و تغییر الگوی بارش، با تردید مواجه شده‌اند. در مقابل، روش‌های جدیدی که تأکید بیشتری بر اقدامات غیرسازه‌ای کاهش یا کنترل سیلاب دارند، توسعه یافته‌اند. مهم‌ترین دستاورد در این زمینه، تغییر سیاست‌ها از مدیریت بحران به مدیریت ریسک سیلاب بوده است (امیرمردادی و همکاران، ۲۰۲۰). در این زمینه ارزیابی خسارت سیلاب اهمیت زیادی در زمینه تصمیم‌گیری و مدیریت سیلاب دارد. خسارات سیل را می‌توان به مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی کرد (رز^{۱۰}، ۲۰۰۴). خسارات مستقیم را می‌توان با استفاده از توابع خسارت که خسارات دارایی‌ها را به مجموعه‌ای از توصیف‌کننده‌های سیل مانند عمق جریان، سرعت جریان، مدت زمان طغیان، غلظت رسوب، آلودگی آب و اقدامات هشدار سیل و موارد دیگر مرتبط می‌کنند، کمی کرد (مرز و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰). تاکنون تحقیقات متعددی به برآورد خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم، ملموس و غیرملموس ناشی از سیل در بخشی از استان گلستان انجام گرفته است؛ برای نمونه میرزایی و همکاران (۱۴۰۴)، تمسکنی زاهدی و همکاران (۱۴۰۰) و میرزایی و همکاران (۲۰۱۹) به محاسبه خسارات سیل در این استان پرداخته‌اند. تخمین خسارت مورد انتظار اقتصادی به طور معمول توسط مدل‌های تخمین خسارت انجام می‌گیرد. از خروجی‌های رایج مدل‌ها می‌توان به برآورد خسارت مستقیم احتمالی به دارایی‌ها یا زیان‌های غیرمستقیم ناشی از اختلال در فعالیت‌های اقتصادی اشاره کرد که یک مخاطره معین (سیلاب با احتمال وقوع مشخص) می‌تواند ایجاد کند. همچنین این خروجی‌ها می‌توانند شامل خسارت سالانه مورد انتظار (EAD^{۱۲}) ناشی از یک

1. McGrath
2. Fijko
3. Center for Research on the Epidemiology of Disaster
4. Lee & Kim
5. Lee & Choi
6. De Silva & Kawasaki
7. Chang
8. Jonkman
9. Qiu
10. Rose
11. Merz
12. Expected annual damage

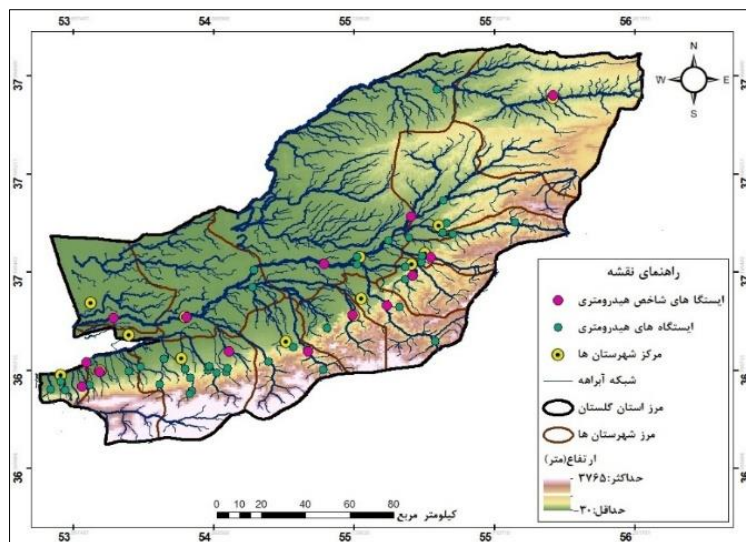
مخاطره باشند (مکملر^۱، ۲۰۱۶). خسارت سالانه مورد انتظار EAD یکی از انواع مدل اقتصادی است که میانگین خسارت سالانه مورد انتظار در تعداد زیادی سال است که از احتمال تجاوز سالانه خسارات سیل به دست می‌آید (آرنل^۲، ۱۹۸۹). افزون بر این، EAD می‌تواند برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر خطرهای سیل مفید باشد (بودیونو و همکاران^۳، ۲۰۱۶؛ تلیند و همکاران^۴، ۲۰۱۱). تا کنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج به تخمین خسارت پرداخته‌اند. کلامی و احمدی (۱۴۰۲) به ارزیابی خسارت مورد انتظار سیلاب در بازه‌ای از رودخانه شور واقع در حوضه آبریز هلیل‌رود پرداخته‌اند. در این پژوهش میزان خسارت مورد انتظار سالیانه EAD براساس دبی حداکثر لحظه‌ای و دبی حداکثر روزانه برآورد شد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش دوره بازگشت سیل در بازه بررسی شده، محدوده متأثر از سیل تا دوره بازگشت ۱۳۳ سال افزایش چشمگیری دارد و پس از آن چندان متأثر از دوره بازگشت قرار نمی‌گیرد. کلامی و احمدی (۱۴۰۲) در پژوهشی با ارائه راهکار طبیعی در قالب افزایش طول مسیر رودخانه با ایجاد خم در مسیر اصلی آن به بررسی اثرگذاری آن بر میزان خسارت مورد انتظار سالیانه پرداختند و دریافتند که این راهکار موجب کاهش ۱۵ درصدی خسارت مورد انتظار سالیانه EAD می‌شود. هوشمند و همکاران (۱۴۰۲) به برآورد شدت خسارت سیلاب براساس توابع جهانی خسارت- عمق در محدوده رودخانه جاجرود پرداختند. آنها بدین منظور از داده‌های هیدرولوژیکی و DEM استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش دوره بازگشت، میزان خسارت و مساحت پهنه سیلابی پرخطر افزایش می‌یابد. امیرمردادی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی خسارت مستقیم ناشی از سیلاب بر ساختمان‌ها و دارایی‌ها و محتویات داخل ساختمان پرداخته‌اند. در این تحقیق از مشخصه‌های هیدرولوژیکی عمق و سرعت جریان استفاده شد. در الگوریتم توسعه یافته از منحنی عمق - خسارت پنج مدل مختلف استفاده و میزان خسارت مورد انتظار سالیانه محاسبه شد. پاولیک و همکاران^۵ (۲۰۲۶) در پژوهشی با ارائه اولین ارزیابی سراسری از خسارت سالانه مورد انتظار EAD به ساختمان‌ها ناشی از سیل رودخانه‌ای و بارانی در شرایط آب‌وهوایی امروزی، به یک شکاف تحقیقاتی کلیدی در نیوزیلند پرداختند. آنها گردش کار سراسری برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تحلیل خطر سیل، EAD را در مقیاس ساختمان و مقیاس‌های ملی و منطقه‌ای برشمردند. در تحقیقات بین‌المللی سئونگ و همکاران^۶ (۲۰۲۵) میزان خسارت مورد انتظار سالیانه EAD ناشی از سیل شهری را مناطق گانگنام و سوچو سؤل در کره جنوبی تخمین زدند. خسارات اقتصادی با استفاده از احتمال وقوع محاسبه و به چهار سطح ریسک طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که شدیدترین خسارات به وسایل نقلیه و پس از آن به ساختمان‌ها، زیرساخت‌های عمومی، انسان‌ها (تلفات) و کشاورزی وارد می‌شود. شرسکا و همکاران^۷ (۲۰۲۴) با انتخاب حوضه رودخانه سولو در اندونزی به‌عنوان منطقه پژوهش، ویژگی‌های سیل را با استفاده از یک مدل بارش- رواناب- سیلاب مبتنی بر بودجه آب و انرژی محاسبه کردند و خسارت سیل را با استفاده از منحنی‌های خسارت سیل توسعه یافته براساس ویژگی‌های خانه و ارزش ملک در معرض خطر تخمین زدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از سد برای کنترل سیل در حوضه می‌تواند خسارت سالانه مورد انتظار EAD به مناطق مسکونی را تا ۲۱ درصد کاهش دهد. وو و همکاران^۸ (۲۰۲۱) به ارائه روشی برای ایجاد منحنی خسارت سیل برای مناطق فاقد خسارت سیل پرداختند. آنها منحنی خسارت- عمق را به منطقه پژوهش انتقال داده و منحنی خسارت را در شهر ژنگزو برای ده نوع کاربری مختلف ارائه دادند. استان گلستان هر ساله با سیلاب‌های متعددی روبه‌رو است که خسارت مالی زیادی برای شهرستان‌ها به همراه دارد؛ اما تحقیقات گسترده‌ای که شدت خسارت این سیلاب‌ها را در کل استان بررسی کند صورت نگرفته است؛ از این‌رو این پژوهش برای نخستین بار خسارت ناشی از سیلاب را در کل استان از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۳ بررسی کرده و خسارت مورد انتظار سالیانه EAD آن را با استفاده از داده‌های واقعی میزان خسارت و دبی حداکثر لحظه‌ای به تفکیک شهرستان‌ها محاسبه می‌کند. این

1. Mechler
2. Arnell
3. Budiyo et al
4. te Linde et al
5. Paulik et al
6. Seong et al
7. Shrestha et al
8. Wu et al

شاخص نشان می‌دهد که کدام شهرستان‌ها برای اقداماتی با هدف مدیریت ریسک در اولویت هستند و در واقع محاسبه آن به‌منظور برنامه‌ریزی سازگاری و مدیریت اضطراری ضروری است.

منطقه پژوهش

استان گلستان از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به استان سمنان، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به دریای کاسپین و استان مازندران محدود می‌شود (شکل ۱). این استان متشکل از ۱۴ شهرستان است. استان گلستان دارای پنج حوضه آبریز با نام‌های اترک، گرگان رود، قره‌سو، خلیج گرگان و نکارود با سطحی بالغ بر ۲۲۰۰۰۰۰ هکتار است (گزارش فنی سیلاب سال ۹۸ استان گلستان). با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی و جنس خاک‌ها این استان از پوشش گیاهی متنوعی از قبیل جنگل انبوه، چمنزار و استپ برخوردار است (استانداری گلستان، ۱۴۰۳). بیش از ۲۳ درصد سطح استان را سه نوع خاک لس با ویژگی‌های رسوب‌شناسی و مشخصات ژئوتکنیکی متفاوت پوشانده است. حدود ۷۰ درصد از خاک‌های لسی استان، از نوع لس سیلتی هستند (امانزاده و یازرلو، ۲۰۱۴). ارتفاع استان از ۲۶- متر در ساحل دریای مازندران تا ۲۵۰۰ متر در ارتفاعات جنوبی متغیر است. آب‌وهوای استان تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاعات، امتداد رشته‌کوه البرز، فاصله از دریا و بیابان ترکمنستان، توده‌های هوایی و پوشش جنگلی از تنوع زیادی برخوردار است. متوسط بارندگی استان ۴۵۰ میلی‌متر است و در نواحی شمالی، بارندگی سالیانه حتی به کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر هم می‌رسد میانگین دمای سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد با رطوبت ۷۵ درصد است. ۶۴ ایستگاه هیدرومتری فعال در استان وجود دارد. تعداد ایستگاه‌ها در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است، اما همچنان بسیاری از مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری است و ایستگاه‌ها پراکنش مناسبی ندارند (آقاجان لیافو و همکاران، ۲۰۲۵). بیشتر بارندگی‌ها مربوط به فصل زمستان است، اما تابستان‌های آن نیز خشک نیست. در این منطقه سیل‌های بزرگ بیشتر در تابستان و در نتیجه توفان‌های شدید ایجاد می‌شود که اصلی‌ترین سانه طبیعی در این منطقه است و در بیشتر موارد موجب تلفات جانی و مالی می‌شود (حیدرپور و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۱. موقعیت استان گلستان

روش پژوهش

برای محاسبه خسارت مورد انتظار، اطلاعاتی مانند مدل رقمی ارتفاع، موقعیت ایستگاه‌ها، داده دبی حداکثر لحظه‌ای تمامی ایستگاه‌ها در استان، تاریخ، محدوده وقوع و میزان خسارت سیلاب‌های رخ داده در استان در ۱۴ شهرستان از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا سال آبی ۰۳-۱۴۰۲ از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان و اداره آبخیزداری جمع‌آوری و سپس به کمک سامانه GEE از

تصاویر مودیس تغییرات کاربری اراضی به منظور بررسی صحت نتایج استخراج شد. مراحل پژوهش در طی چند گام شرح داده خواهد شد:

ارتباط خسارت و دبی حداکثر لحظه‌ای

در ابتدا از بین ایستگاه‌های هر شهرستان، ایستگاهی که بیشترین فراوانی رخداد‌های سیلابی را داشت، به‌عنوان ایستگاه شاخص هر شهرستان انتخاب شد. به این ترتیب، از بین ۱۴ شهرستان، ۱۴ ایستگاه هیدرومتری شاخص مشخص شد. سپس رخداد‌های سیلابی که تاریخ وقوع آنها با دبی پیک لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه منتخب همخوانی داشت، استخراج شد. از طرفی میزان خسارت مالی هر سیلاب براساس پایه مالی سال ۱۴۰۳ محاسبه شد. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای هیدرولوژیکی و اقتصادی سیلاب، ضریب تعیین (R^2) به‌عنوان شاخص سنجش میزان همبستگی بین دبی حداکثر لحظه‌ای و خسارت سیلاب برای هر شهرستان محاسبه شد. این تحلیل امکان ارزیابی اعتبار داده‌های هیدرومتری و نقش دبی در تعیین خسارت اقتصادی را فراهم می‌کند.

تحلیل فراوانی دبی حداکثر لحظه‌ای

در مرحله بعد، داده‌های دبی پیک لحظه‌ای سیلاب‌ها به نرم‌افزار Easy-Fit منتقل شد. استفاده از Easy-Fit به دلیل قابلیت‌های پیشرفته آن در برازش توزیع‌های آماری و ارزیابی مناسب‌ترین توزیع برای داده‌های حدی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پس از بررسی استقلال و روند زمانی داده‌های دبی حداکثری از نرم‌افزار Easy-Fit بهترین توزیع احتمالاتی برازشی داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای براساس سه معیار نکویی برازش شامل اندرسون دارلینگ، کولموگروف - اسمیرنوف و کای اسکوتر انتخاب شد و پس از تعیین توزیع بهینه، مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های در دوره‌های بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ سال با استفاده از توزیع مناسب تهیه شد. برای استخراج رابطه تحلیلی پیوسته بین دوره بازگشت و دبی حداکثر لحظه‌ای، داده‌ها در محیط اکسل برازش شده و یک تابع لگاریتمی به‌عنوان بهترین رابطه تجربی انتخاب شد. این رابطه ریاضی امکان تعمیم مقادیر دبی حداکثر در دوره‌های بازگشت مختلف و استفاده در محاسبات خسارت سیلاب را فراهم می‌کند.

محاسبه خسارت مورد انتظار سالیانه سیلاب

خسارت مورد انتظار سالیانه به تفکیک شهرستان‌ها با انتگرال‌گیری از تابع خسارت در بازه احتمال محاسبه شد. بدین منظور از رابطه ۱ استفاده شد:

$$EAD = \int_0^1 D(P) dp \quad (1)$$

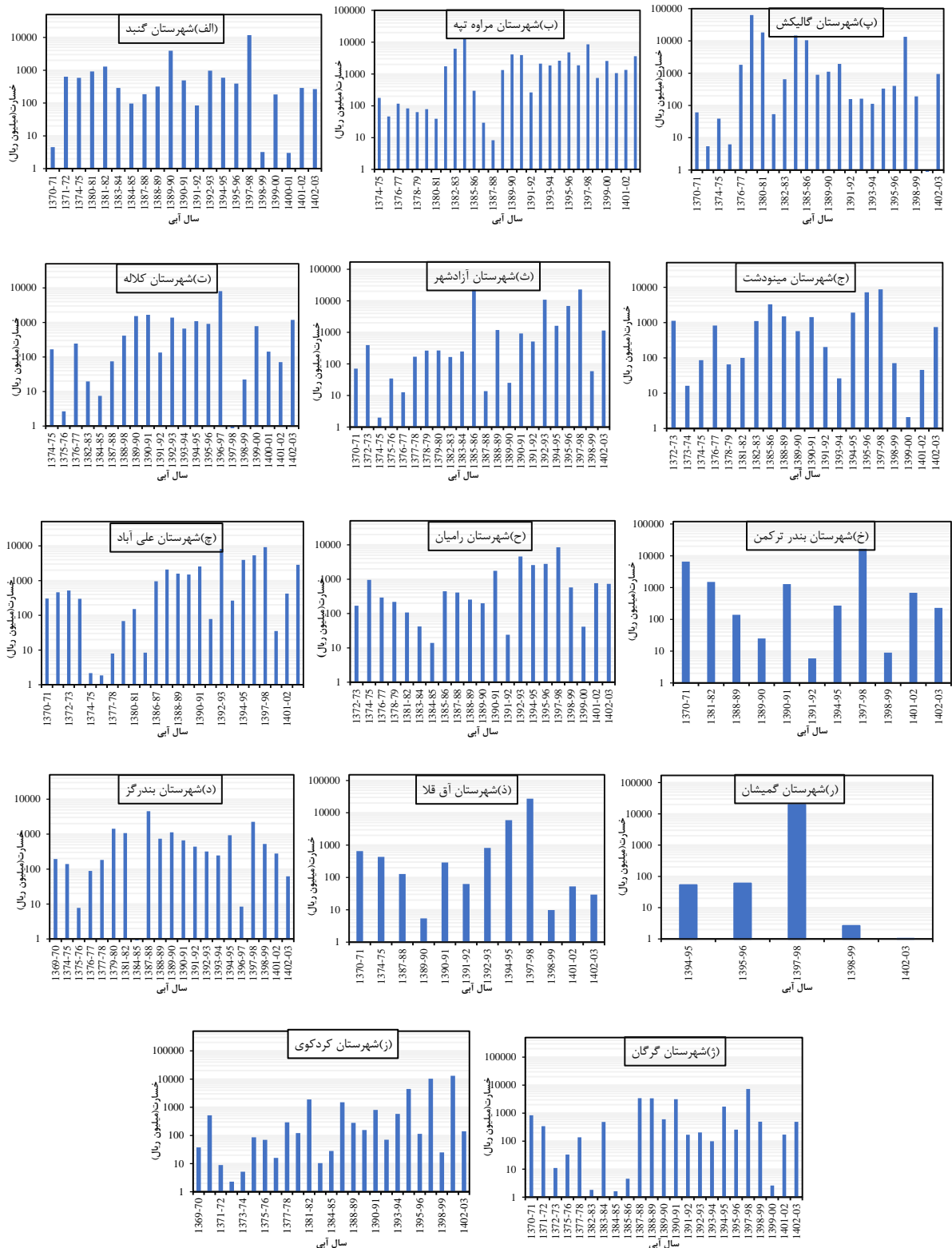
که در آن EAD میزان خسارت مورد انتظار سالیانه برحسب میلیون ریال و P احتمال وقوع رویداد است که از معکوس دوره بازگشت محاسبه می‌شود. $D(P)$ تابع خسارت برحسب میلیون ریال است. بازه انتگرال‌گیری در تابع خسارت از بازه احتمال نیز در مقادیر مختلف ارزیابی شد تا بتواند همه رخداد‌های محتمل سیلاب را شامل شود.

یافته‌های پژوهش

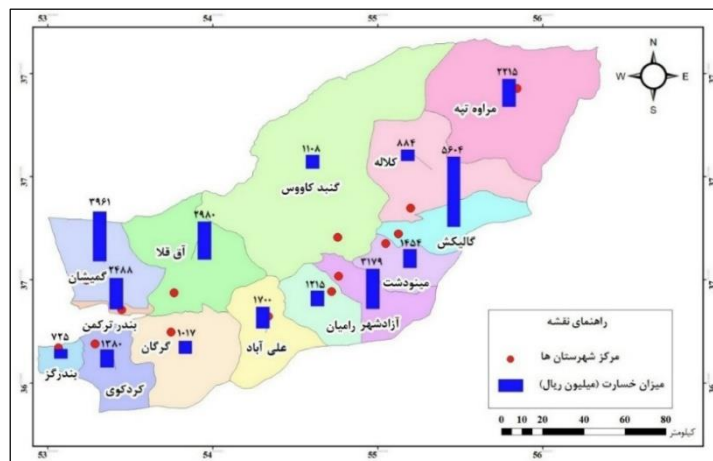
خسارت سالانه سیلاب

استان گلستان هر ساله خسارات جانی و مالی زیادی را از وقایع سیلاب متحمل می‌شود. در این پژوهش خسارات مالی ناشی از سیلاب در بازه سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۰۳-۱۴۰۲ براساس پایه مالی سال ۱۴۰۳ بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های مذکور، استان گلستان به‌طور متوسط، سالیانه ۲۱۳۶ میلیون ریال خسارت اقتصادی ناشی از سیلاب داشته است. بیشترین میانگین خسارت سالانه مربوط به شهرستان گالیکش با مبلغ ۵۶۰۴ میلیون ریال و کمترین آن مربوط به شهرستان بندر گز با ۷۲۵ میلیون ریال است (شکل‌های ۲ و ۳). یکی از خسارت‌بارترین سیل‌های استان گلستان، سیل فروردین سال ۱۳۹۸ بوده است. مجموع خسارات وارده در بخش‌های مختلف به استان گلستان ناشی از این سیلاب مبلغ ۶۲۴۷۸ میلیارد ریال برآورد شده است (گزارش فنی سیلاب سال ۹۸). با توجه به نمودارهای شهرستان به‌جز چند شهرستان، بقیه شهرستان‌های استان بیشترین

خسارات ناشی از سیلاب را از سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ متحمل شده‌اند که بیشترین خسارت اقتصادی ناشی از این سیلاب مربوط به شهرستان آق‌قلا است.



شکل ۲. نمودارهای تغییرات خسارت سالانه سیلاب براساس سال پایه مالی ۱۴۰۳ به تفکیک شهرستان‌ها در استان گلستان طی سال‌های آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۰۳-۱۴۰۲



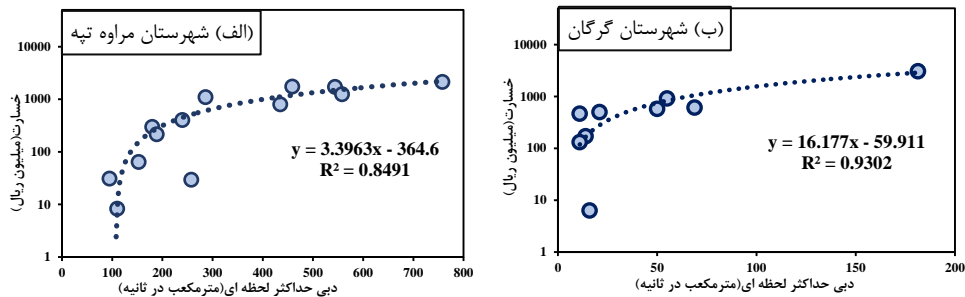
شکل ۳. میانگین خسارت ناشی از سیلاب در شهرستان‌های استان گلستان

ارتباط خسارت و دبی حداکثر لحظه‌ای

به منظور محاسبه شاخص EAD، در بازه زمانی سال آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۰۳-۱۴۰۲ محدوده‌های سیلاب در شهرستان‌های یادشده بررسی شد و بر این اساس از بین ایستگاه‌های هر شهرستان، ایستگاه‌های شاخص تعیین شد. این ایستگاه‌ها که بیشتر سیلاب‌ها در حوالی آنها رخ می‌دهد، اغلب در محل اتصال سرشاخه‌ها به رودخانه اصلی قرار دارند. نتایج بررسی همبستگی بین دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه شاخص و میزان خسارت در تاریخ‌های متناظر وقوع سیلاب نشان می‌دهد که بین این دو متغیر رابطه قوی وجود دارد، به طوری که مقادیر ضریب تعیین (R^2) در بازه ۰/۷ تا بیش از ۰/۹ متغیر است (جدول ۱ و شکل ۴). در واقع اغلب، زمانی که در ایستگاه شاخص، دبی حداکثر لحظه‌ای وجود داشته، سیلابی با خسارت مالی نیز به وقوع پیوسته است.

جدول ۱. معادله‌های برازش شده خسارت-دبی در شهرستان‌های استان گلستان

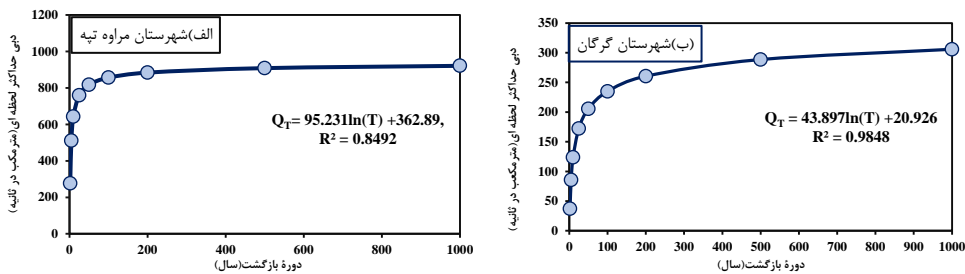
ردیف	نام شهرستان	رابطه تجربی دبی - خسارت	ضریب تعیین (R^2)
۱	گنبد	$D = 20.318Q - 1478.2$	۰/۹۷۶۴
۲	مراوه تپه	$D = 3.3963Q - 364.6$	۰/۸۴۹۱
۳	گالیکش	$D = 179.24Q - 6843.5$	۰/۸۶۵۴
۴	کلاله	$D = 4.8519Q - 164.25$	۰/۸۹۱۲
۵	آزادشهر	$D = 22.785Q - 1570.4$	۰/۸۴۱۱
۶	مینودشت	$D = 30.068Q - 757.78$	۰/۹۳۰۹
۷	علی آباد	$D = 62.12Q - 194.7$	۰/۷۹۳۹
۸	رامیان	$D = 12.606Q - 357.67$	۰/۸۵۰۷
۹	بندر ترکمن	$D = 33.921Q - 320.29$	۰/۷۷۵۲
۱۰	شهرستان بندر گز	$D = 36.378Q - 5.5502$	۰/۷۰۵۱
۱۱	آق قلا	$D = 32.424Q - 1093.7$	۰/۸۵۸
۱۲	گمیشان	$D = 207.06Q - 9145.8$	۰/۹۴۹۳
۱۳	کردکوی	$D = 450.13Q - 2294.7$	۰/۷۰۲
۱۴	گرگان	$D = 16.177Q - 59.911$	۰/۹۳۰۲



شکل ۴. دو نمونه از نمودار تغییرات بین دبی حداکثر لحظه‌ای و شدت خسارت در شهرستان‌های مراوه‌تپه و گرگان

تحلیل فراوانی دبی حداکثر لحظه‌ای

در چارچوب تحلیل فراوانی دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های شاخص، دبی‌های متناظر با وقوع سیلاب هر شهرستان با نرم‌افزار Easy-Fit برازش داده شد. از بین توزیع‌های ارائه‌شده Log-Pearson3 براساس سه معیار نکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف، اندرسون-دارلینگ و کای اسکوتر توسط نرم‌افزار انتخاب شد، زیرا این توزیع بهترین تطابق را با داده‌ها داشته است و توانایی زیادی در توصیف داده‌های با چولگی مثبت دارد. دوره‌های بازگشت دبی حداکثر لحظه‌ای برای دامنه ۲ تا ۱۰۰۰ سال محاسبه شد و معادله برازش داده‌شده بین دبی‌های حداکثر و دوره بازگشت متناظر آنها (Q_T-T) برای هر شهرستان محاسبه شد که در جدول ۲ خلاصه شده است. مقادیر R² حاصل از برازش‌ها بین ۰/۶ تا ۱ قرار داشت که نشان‌دهنده برازش بسیار خوب مدل در توضیح تغییرات داده‌ها است.



شکل ۵. دو نمونه از نمودار تغییرات بین دوره بازگشت و دبی حداکثر لحظه‌ای در شهرستان‌های مراوه‌تپه و گرگان

جدول ۲. معادله‌های برازش‌یافته منحنی فراوانی سیلاب و ضرایب تعیین آنها به تفکیک شهرستان‌ها

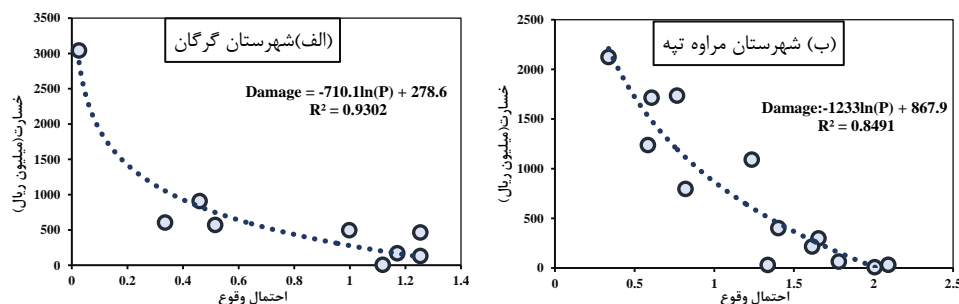
ردیف	نام شهرستان	معادله حداکثر لحظه‌ای - دوره بازگشت (Q _T -T)	ضریب تعیین (R ²)
۱	گنبد	Q _T = 1351.9ln(T) - 2659.3	۰/۷۴۹۲
۲	مراوه‌تپه	Q _T = 95.231ln(T) + 362.89	۰/۸۴۹۲
۳	کالیکش	Q _T = 98.277ln(T) - 5.5254	۰/۹۹۹
۴	کلاله	Q _T = 71.733ln(T) + 50.272	۰/۹۹۹
۵	آزادشهر	Q _T = 524.32ln(T) - 894.51	۰/۸۲۴۸
۶	مینودشت	Q _T = 370.8ln(T) - 650.41	۰/۸۰۱۹
۷	علی‌آباد	Q _T = 130.17(T) - 230.02	۰/۸۰۳۶
۸	رامیان	Q _T = 74.929ln(T) + 81.832	۰/۹۳۳
۹	بندر ترکمن	Q _T = 21.212ln(T) - 4.1892	۰/۹۵۵۵
۱۰	بندرگز	Q _T = 2.1756ln(T) + 13.103	۰/۷۶۷۵
۱۱	آق‌قلا	Q _T = 6985.6ln(T) - 15753	۰/۶۲۵۷
۱۲	گمیشان	Q _T = 208.16 ln(T) - 394.45	۰/۷۱۶۵
۱۳	کردکوی	Q _T = 9.121ln(T) - 4.7748	۰/۹۷۲۲
۱۴	گرگان	Q _T = 43.897ln(T) + 20.926	۰/۹۸۴۸

برآورد خسارت مورد انتظار سالیانه سیلاب EAD

این نمودارهای خسارت-احتمال با استفاده از داده‌های خسارت سیلاب و برازش تابع لگاریتمی خسارت-احتمال برای هر شهرستان استخراج شده است (شکل ۶). شاخص EAD از طریق انتگرال‌گیری از تابع خسارت-احتمال در بازه احتمال وقوع ۰/۰۰۱ تا ۱ محاسبه شده است که این بازه دامنه‌ای از رخدادهای بسیار نادر ($T = 1000 \text{ yr}$) تا رخدادهای با احتمال زیاد ($T = 1 \text{ yr}$) را در بر می‌گیرد. حل تحلیلی رابطه EAD را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد.

$$EAD = \int_{0.001}^1 (a \ln P + b) dp = [a P \ln(P) + (b - a) P] \Big|_{0.001}^1 = 0.999b - 0.992a \quad (2)$$

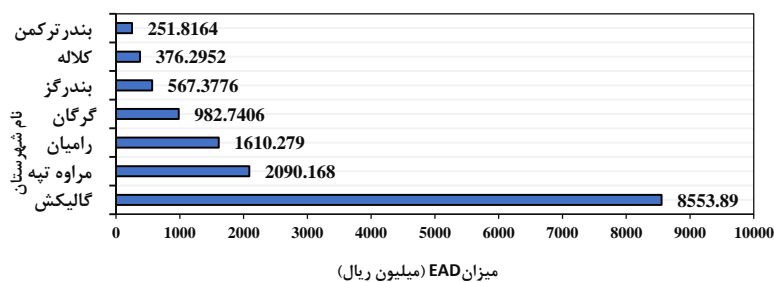
که در آن EAD میزان خسارت مورد انتظار سالیانه و a و b ضرایب تابع خسارت-احتمال برازش شده است. نتایج حاصل از محاسبات شاخص EAD و ضرایب تابع خسارت-احتمال در جدول ۳ و نقشه پراکندگی ظاهری آن در شکل ۷ نشان داده شده است. براساس نتایج محاسبه‌شده، تنها شهرستان‌هایی که مقدار EAD آنها مثبت و از نظر مفهومی و فیزیکی معنادار بوده است در تحلیل نهایی لحاظ شدند. در برخی شهرستان‌ها، به دلیل شکل تابع برازش‌شده خسارت-احتمال و توزیع داده‌های خسارت در بازه‌های مختلف احتمال وقوع سیلاب، مقدار EAD فاقد اعتبار فیزیکی بود و از این رو این شهرستان‌ها از ادامه تحلیل حذف شدند. این رویکرد موجب تمرکز تحلیل بر مناطقی شد که برآورد خسارت سالانه مورد انتظار در آنها از قابلیت اتکای علمی برخوردار است. تابع خسارت-احتمال بیانگر رابطه بین میزان خسارت سیلاب و احتمال وقوع آن بوده و نقش کلیدی در برآورد کمی خسارت سالانه مورد انتظار ایفا می‌کند، به گونه‌ای که مساحت زیر این تابع در بازه احتمال مدنظر معرف مقدار EAD هر شهرستان است. از بین مناطق تحت بررسی، شهرستان گالیکش با بیشترین مقدار EAD در رتبه نخست از نظر خسارت سالانه و در مقابل، شهرستان بندر ترکمن کمترین مقدار EAD را در میان شهرستان‌های یادشده به خود اختصاص داده و از ریسک نسبی کمتری برخوردار است. براساس این نقشه، تمرکز مقادیر بالاتر EAD عمدتاً در بخش‌های شرقی و مرکزی استان، در حالی که شهرستان‌های واقع در بخش‌های غربی استان از مقادیر کمتری برخوردارند.



شکل ۶. دو نمونه از نمودار خسارت-احتمال سیلاب در شهرستان‌های گرگان و مراوه تپه

جدول ۳. تابع خسارت-احتمال و شاخص EAD در شهرستان‌های منتخب استان گلستان

ردیف	نام شهرستان	تابع خسارت (D) - احتمال وقوع (P)	ضریب تعیین (R^2)	EAD (میلیون ریال)
۱	شهرستان گالیکش	$D = -17418 \ln(P) - 8733.5$	۰/۸۳۰۸	۸۵۵۳/۸۹
۲	شهرستان مراوه تپه	$D = -1233 \ln(P) + 867.9$	۰/۸۴۹۱	۲۰۹۰/۱۶
۳	شهرستان رامیان	$D = -944.6 \ln(P) + 673.91$	۰/۸۵۰۷	۱۶۱۰/۲۷
۴	شهرستان گرگان	$D = -710.1 \ln(P) + 278.6$	۰/۹۳۰۲	۹۸۲/۷۴
۵	شهرستان بندر گز	$D = -73.42 \ln(P) + 495.04$	۰/۷۶۸۵	۵۶۷/۳۷
۶	شهرستان کلاله	$D = -331.4 \ln(P) + 47.594$	۰/۸۱۲۹	۳۷۶/۳۹
۷	شهرستان بندر ترکمن	$D = -719.5 \ln(P) - 462.39$	۰/۷۷۵۲	۲۵۱/۸۱



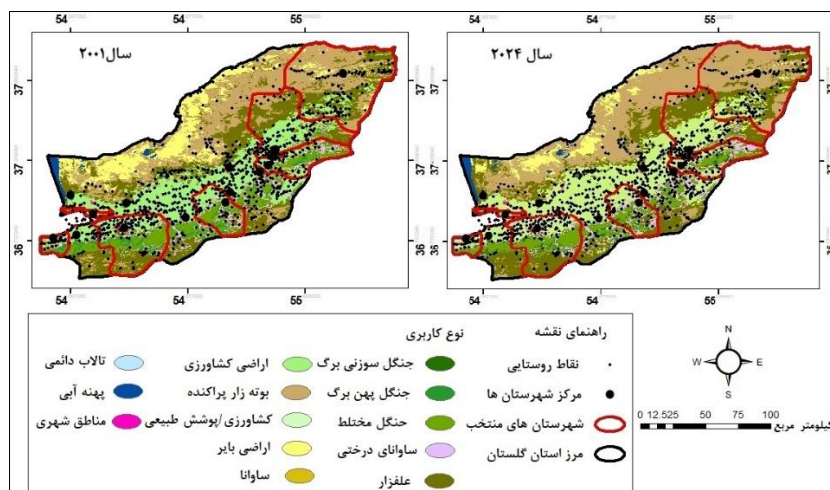
شکل ۷. مقدار شاخص EAD در شهرستان‌های منتخب استان گلستان

بحث

در این پژوهش، خسارت مورد انتظار سالیانه EAD برای مخاطره سیلاب در استان گلستان به تفکیک شهرستان‌ها برآورد شد. به این منظور، از داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای و شدت خسارت مالی سیلاب‌ها در سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۳ جمع‌آوری و شدت خسارت آنها بر اساس پایه مالی ۱۴۰۳ (ارزش برحسب میلیون ریال) محاسبه شد. میزان EAD هفت شهرستان از طریق انتگرال‌گیری از تابع خسارت در بازه احتمال محاسبه شد. نتایج نشان داد که از بین این ۷ شهرستان، گالیکش و مراوه تپه بیشترین مقدار EAD را دارد، درحالی که شهرستان بندر ترکمن کمترین EAD را تجربه کرده است. به منظور بررسی نتایج این پژوهش نقشه کاربری اراضی و ارتفاع از استان تهیه شد. نقشه کاربری اراضی استان گلستان از سامانه GEE به کمک تصاویر مودیس در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۲۴ استخراج شد تا تغییرات کاربری نمایان شود. با توجه به جدول ۴ و شکل ۸ می‌توان دریافت که در طی این سال‌ها اراضی بیشتری از پوشش جنگلی به کشاورزی به‌ویژه در شهرستان‌های گالیکش و مراوه تپه تغییر یافته‌اند. عمده‌ی این اراضی در بخش مخروط‌افکنه زیرحوضه‌ها واقع شده‌اند. با توجه به شکل می‌توان دریافت که این اراضی کشاورزی به دلیل اختلاف ارتفاع رشته‌کوه البرز نسبت به سایر نواحی استان که دشت هستند، شیب بسیار زیادی دارند. ضمن اینکه تراکم نقاط شهری و روستایی در نواحی پایکوه نسبت به سایر نواحی استان بسیار بیشتر است که موجب خسارت زیادی در هنگام سیلاب به این نوع کاربری می‌شود. در واقع تغییرات کاربری از پوشش جنگلی به کشاورزی در نواحی با شیب زیاد و گسترش شهرها و روستاها در نواحی پایکوهی موجب شده شهرهایی مثل گالیکش و مراوه تپه دچار خسارت مالی بیشتری از مخاطره سیلاب نسبت به شهرهای کوچک‌تر محدوده‌ی دشت مانند بندر ترکمن و بندرگز باشند. می‌توان گفت توزیع فضایی EAD به‌خوبی الگوی خطرپذیری اقتصادی سیلاب را در سطح شهرستان‌ها نمایان ساخته و نقاط با آسیب‌پذیری بیشتر را مشخص کرده است.

جدول ۴. تغییرات کاربری اراضی برحسب کیلومتر مربع (km²) در استان گلستان

ردیف	نوع کاربری	سال ۲۰۰۱	سال ۲۰۲۴	ردیف	نوع کاربری	سال ۲۰۰۱	سال ۲۰۲۴
۱	جنگل‌های سوزنی‌برگ	۷/۳۹	۵/۳۷	۸	مناطق شهری	۱۸۰/۹۰	۱۷۹/۴۷
۲	جنگل پهن‌برگ	۴۹۸/۸۳	۳۳۰/۷۸	۹	مناطق کشاورزی/پوشش طبیعی	۳۰/۳۳	۱۴/۳۵
۳	جنگل مختلط	۱۴۶۶/۷۴	۱۴۷۴/۵۳	۱۰	اراضی بایر	۱۹۲۳/۸۶	۷۵۸/۵۲
۴	بوته‌زار پراکنده	۵۴۳۱/۲۹	۵۸۷۴/۶۳۶	۱۱	پهنه آبی	۲۰۳/۳۰	۲۰۳/۵۴
۵	ساوانای درختی	۸۶۸/۱۷	۸۰۱/۳۴	۱۲	اراضی کشاورزی	۴۰۳۸/۲۸	۵۵۳۹/۰۷
۶	ساوانا	۱۹۴/۴۷	۹۱/۷۵	۱۳	تالاب‌ها	۲۵/۸۳	۱۵/۳
۷	علفزار	۵۲۷۸	۴۸۵۹/۰۷				



شکل ۸. کاربری اراضی استان گلستان در دامنه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۱

نتیجه گیری

این پژوهش تخمین جامع‌تری از خسارات اقتصادی ناشی از سیل شهری را فراهم کرد. از اصلی‌ترین محدودیت‌ها این شاخص، وابستگی کامل به داده‌های دقیق خسارت مالی رویدادهای گذشته است؛ فقدان داده‌های کافی، ناقص بودن آنها یا کیفیت کم آنها می‌تواند سبب افزایش عدم قطعیت در برآورد EAD شود و قابلیت تعمیم نتایج را کاهش دهد. با وجود این محدودیت‌ها، شاخص EAD ابزار مفیدی برای شناخت خطرپذیری و برنامه‌ریزی کاهش خسارت در سطح شهرستان‌ها فراهم می‌آورد. هنگام اعمال این روش در مناطق دیگر، باید تاریخچه سیلاب‌ها، میزان خسارت و محدوده هر کدام در نظر گرفته شود. درحالی‌که این تحلیل بر خسارات ملموس مستقیم (ساختمان‌ها، وسایل نقلیه، تلفات انسانی و کشاورزی) متمرکز بود، تأثیرات ناملموس مانند اثرات سلامت روان، جابه‌جایی و اختلال در کسب‌وکار به دلیل فقدان روش‌های کمی‌سازی استاندارد و مجموعه داده‌های قابل اعتماد لحاظ نشده است. با این حال، این تأثیرات می‌توانند به‌طور چشمگیری بر بهبود و تاب‌آوری پس از سیل تأثیر بگذارند و کارهای آینده باید رویکردهای مکملی را برای پرداختن به آنها بررسی کنند. توجه به تأثیرات شتابنده تغییرات اقلیمی، تنظیم پویای تخمین‌های EAD برای توسعه سیاست‌های پایدار پیشگیری از بلایا و سازگاری با آب‌وهوا بسیار مهم است. در نتیجه، این مطالعه فراتر از کمی‌سازی EAD است. همچنین پیامدهای چشمگیری برای مدیریت ریسک سیل شهری و طراحی سیاست دارد. به‌طور خاص، این تحلیل بر اساس حوزه اجرایی، مبنای عملی برای اولویت‌بندی مناطق پرخطر در تخصیص منابع کاهش سیل فراهم می‌کند. در مجموع، برآوردهای کمی ارائه‌شده در اینجا، پایه محکمی برای مدیریت بحران تشکیل می‌دهند.

تعهدات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در اجرا و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول (دانشجو): اجرای طراحی پژوهش، تهیه پیش‌نویس مقاله، گردآوری داده‌ها، داده‌آوری و تحلیل.
 نویسنده دوم (استاد راهنما): مشارکت در طراحی پژوهش، راهنمایی و نظارت بر پژوهش و تحلیل داده‌ها، اصلاح و بازبینی.
 نویسنده سوم (مشاور): مشارکت در طراحی پژوهش، تحلیل داده‌ها، مطالعه و بازبینی مقاله.
 نویسنده چهارم (مشاور): مشارکت در طراحی پژوهش، تحلیل داده‌ها، مطالعه و بازبینی مقاله.

حامی مالی

این مقاله از حمایت مالی هیچ سازمانی برخوردار نبوده است.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارند.

هماندجویی

نتیجه هماندجویی مقاله براساس اعلام سامانه ایرانداک، درصد است.

تقدیر و تشکر

از داوران محترم بابت ارائه نظرات علمی، ساختاری و ارزشمند سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- [1] Aghajan Liyafo, F., Javid, M., Javan Mahjoubdoust, M., Nazarnajad, H., & Niniava, P. (2025). Validation of rainfall estimation methods in Golestan Province. *Rainwater Harvesting Systems*, 13(1), 1–16. [in Persian]
- [2] Amanzadeh Seyed, A., & Yazarlu, R. (2014). Studying geotechnical characteristics of silty loam soil in Golestan province. Paper presented at the 2nd National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Qom. <https://civilica.com/doc/431295>
- [3] Amirmoradi, K., Shokouhi Langroudi, A., & Azizian, A. (2019). Assessment of risk and uncertainty of financial damages caused by river floods in urban areas (Case study: Kan watershed). *Water and Soil Research*, 50(9), 2239–2259. [in Persian]
- [4] Arnell, N. W. (1989). Expected annual damages and uncertainties in flood frequency estimation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115(1), 94–107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1989\)115:1\(94\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1989)115:1(94))
- [5] Budiyo, Y., Aerts, J. C. J. H., Tollenaar, D., & Ward, P. J. (2016). River flood risk in Jakarta under scenarios of future change. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 757–774. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-757-2016>
- [6] Chang, L., Lin, C., & Su, M. (2008). Application of geographic weighted regression to establish flood-damage functions reflecting spatial variation. *Water SA*, 34(2), 209–216.
- [7] CRED – Center for Research on the Epidemiology of Disaster. (2023). 2022 disaster in numbers. https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT
- [8] De Silva, M. M. G. T., & Kawasaki, A. (2018). Socioeconomic vulnerability to disaster risk: A case study of flood and drought impact in a rural Sri Lankan community. *Ecological Economics*, 152, 131–140.
- [9] De Silva, M. M. G. T., & Kawasaki, A. (2018). Socioeconomic vulnerability to disaster risk: A case study of flood and drought impact in a rural Sri Lankan community. *Ecological Economics*, 152, 131–140. [Duplicate removed]
- [10] Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Zele, M., & Markovi, G. (2019). Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kruzlov village, Slovakia. *Journal of Cleaner Production*, 212, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.008>
- [11] Golestan Governorate. (2014). Retrieved from <https://golestanp.ir/>
- [12] Heidarpour, B., Saghafian, B., Yazdi, J., & Azamathulla, H. M. (2017). Effect of extraordinary large floods on at-site flood frequency. *Water Resources Management*, 31(13), 4187–4205.
- [13] Hooshmand, A. M., Hosseini, S. A., & Ghermezcheshmeh, B. (2023). Estimation of flood damage intensity based on global depth–damage functions in the Jajrood River. *Journal of Water Resources Engineering*, 16(57), 61–74. [in Persian]
- [14] Jonkman, S. N., Brinkhuis-Jak, M., & Kok, M. (2004). Cost benefit analysis and flood damage mitigation in the Netherlands. *Heron*, 49(1), 95–111.
- [15] Kalami, S., & Ahmadi, M. M. (2023). Assessment of expected flood damage (Case study: A reach of Shoor River in the Halil-Rud watershed). *Iranian Water Resources Research*, 19(1), 125–135. [in Persian]
- [16] Kalami, S., Ahmadi, M. M., & Hassanzadeh, R. (2024). Effect of discharge return period in applying a natural flood management measure on flood risk reduction. *Journal of Water Management and Irrigation*, 14(3), 601–613. [in Persian]
- [17] Lee, E. H., & Kim, J. H. (2018). Development of a flood-damage-based flood forecasting technique. *Journal of Hydrology*, 563, 181–194.
- [18] Lee, J. S., & Choi, H. I. (2018). Comparison of flood vulnerability assessments to climate change by construction frameworks for a composite indicator. *Sustainability*, 10(3), 768. <https://doi.org/10.3390/su10030768>
- [19] McGrath, H., Stefanakis, E., & Nastev, M. (2015). Sensitivity analysis of flood damage estimates: A case study in Fredericton, New Brunswick. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.003>
- [20] Mechler, R. (2016). Reviewing estimates of the economic efficiency of disaster risk management: Opportunities and limitations of using risk-based cost–benefit analysis. *Natural Hazards*, 81(3), 2121–2147.
- [21] Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thielen, A. (2010). Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1697–1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- [22] Mirzaei, S., & Saadoddin, A. (2019). A framework for comprehensive assessment of flood economic damages (direct, indirect, tangible and intangible): The flood event of April 18, 2016, Nodeh Khanduz, Gorganroud basin. *Journal of Disaster Prevention and Management Knowledge*, 9(4), 383–392. [in Persian]
- [23] Mirzaei, S., Saadoddin, A., Bahramand, A., Ounagh, M., & Mostafizadeh, R. (2025). Direct–tangible costs in floodplains simulated by the HEC-RAS two-dimensional hydraulic model (Arazkoosheh River, Golestan Province). *Water and Soil Modeling and Management*, 5(1), 74–75. [in Persian]

- [24] Moayeri, M., & Entezari, M. (2008). Floods and review floods in province of Esfahan. *Journal of Geographic Perspective*, 3(6), 110–124.
- [25] Moayeri, M., & Entezari, M. (2008). Floods and review floods in province of Esfahan. *Journal of Geographic Perspective*, 3(6), 110–124.
- [26] Moayeri, M., & Entezari, M. (2008). Floods and review floods in province of Esfahan. *Journal of Geographic Perspective*, 3(6), 110–124. [in Persian]
- [27] Paulik, R., Hosse, L., Pelmar, J., Bosserelle, C., Harang, A., Powell, J., ... & Foster, L. (2026). Evaluating New Zealand's building risk to fluvial and pluvial flooding. *Discover Hazards*, 2(1), 2.
- [28] Qiu, J., Cao, B., Park, E., Yang, X., Zhang, W., & Tarolli, P. (2021). Flood monitoring in rural areas of the Pearl River Basin (China) using Sentinel-1 SAR. *Remote Sensing*, 13, 1384.
- [29] Rose, A. (2004). Economic principles, issues, and research priorities in natural hazard loss estimation. In Y. Okuyama & S. E. Chang (Eds.), *Modeling the spatial economic impacts of natural hazards* (13–36). Heidelberg: Springer.
- [30] Seddighi, H., & Seddighi, S. (2020). How much the Iranian government spent on disasters in the last 100 years? A critical policy analysis. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 18(1), 46.
- [31] Seong, Y., Yu, Y., Kim, G., & Jung, Y. (2025). Estimation and quantitative analysis of expected annual damage (EAD) caused by urban flooding: A case study of Seoul, Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 16(1), 2582753.
- [32] Shrestha, B. B., Rasmy, M., & Shinya, T. (2024). Assessment of flood damage to residential houses and analysis of effectiveness of flood damage reduction measures. *Journal of JSCE*, 12(2), 23–16158.
- [33] Tamaskani Zahedi, A., Barani, H., Mokhtari, S., & Bahramand, A. (2021). Flood hazard and damage mapping using the LISFLOOD-FP two-dimensional hydraulic model (Case study: Arazkooseh basin). *Water and Soil Conservation Research*, 28(4), 1–25. [in Persian]
- [34] ten Veldhuis, J. (2011). How the choice of flood damage metrics influences urban flood risk assessment. *Journal of Flood Risk Management*, 4, 281–287. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01112.x>
- [35] Wu, Z., Lv, H., Meng, Y., Guan, X., & Zang, Y. (2021). The determination of flood damage curve in areas lacking disaster data based on the optimization principle of variation coefficient and beta distribution. *Science of The Total Environment*, 750, 142277.