

Research Paper



Assessment Flood risk using the UFRM model a case study of Maragheh city



Hasan Mahmoudzadeh¹, Firouz Jafari², Nasrin Dinparvar³

1. Professor, Department of Urban and Regional Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran. mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Geography and Urban and Regional Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Fjafari58@gmail.com
3. PhD Student, Department of Urban and Regional Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran. nasrindinparvar@gmail.com

Keywords

Hazard, Flood , Urban flood, Maragheh city, Northwestern Iran.

Receive: 2025/08/25

Accepted: 2026/02/21

Published: 2026/06/22

ABSTRACT

Introduction

Climate change is a significant threat to the global ecosystem, affecting both human life and the natural environment. While previously considered a natural seasonal change, human activities have accelerated the rate and severity of climate change. Floods are the most common natural hazard worldwide, accounting for almost half of all weather-related disasters. Statistics show that in the period from 1989 to 2019, an average of 326 major natural disasters were reported annually worldwide, among which, floods accounted for more than 60% of all events with a significant frequency. In recent years, global climate change and the increase in the frequency of extreme weather events have turned floods into one of the most important natural disasters and challenges faced by the countries of the world. In addition to global climate change, rapid urbanization may lead to drastic and rapid changes in land use patterns and landscape features. For example, open land and forests are replaced by urban infrastructure such as buildings, parking lots, and highways, resulting in increased impervious surface, reduced runoff infiltration, and increased potential for urban flooding.

Methodology

In order to carry out this research, firstly, land use maps were prepared for the years 1994, 2004, 2022 by Landsat 5&8 satellite images in the GEE environment. GEE provides access to all kinds of research satellite data, including archived Landsat images, online and without the need to download. Then, the invest model was used to calculate the runoff, that is, the amount of runoff remaining in each pixel compared to the volume of the storm. Also, for each watershed, we calculated potential economic damage by incorporating information on potential flood extent and built infrastructure.

*Correspondin Author: Hasan Mahmoudzadeh: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

How to cite this article: : Mahmoudzadeh, H; Firouzi, J; & Dinparvar, N.(2026) . Assessment Flood risk using the UFRM model a case study of Maragheh city. Hydrogeomorphology, 13(47): 80 –98.

DOI:10.22034/hyd.2026.68806.1811



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Results and Discussion

Land use maps in the years 1994, 2004, 2022 saw the decrease of garden lands and the increase of construction and the destruction of a large amount of vegetation in the region. The average amount of rainfall is the highest with 968 mm for the year 1994, 835 mm for the year 2004 and 771 mm for the year 2022. Based on the results, the amount of water retention in the basin for the years 1994, 2004, 2022 is equal to 0.48%, 0.37% and 0.31%. The amount of water absorbed in the basin is equal to 1332, 12/01 and 10/56 in terms of million cubic meters in the mentioned years. The volume of flood realized for the years 1994, 2004, 2022 is equal to 21/56, 31.96, 42/94 million cubic meters, respectively. The amount of damages caused by flood for the years 1994, 2004, 2022 is equal to 7237 thousand dollars, 317908 thousand dollars and 884706 thousand dollars, respectively.

Conclusions

Preventing the change of land use, especially the removal of green uses or vegetation is one of the important ways to deal with flooding in the region. By observing the runoff maps for different years, it can be said that with the increase in construction and the creation of environments with cold surfaces such as asphalt, concrete, etc., which are impermeable surfaces, as well as the loss of vegetation, the volume of runoff and the risk of flooding in the region have increased, and the damage caused by floods has also increased. In fact, the basin service has become much weaker from 1984 to 2022.



ارزیابی خطر سیل با استفاده از مدل UFRM مطالعه موردی شهر مراغه



حسن محمودزاده^{۱*}، فیروز جعفری^۲، نسرين دين پرور^۳

۱. استاد گروه برنامه ریزی شهری و منطقه ای، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

۲. دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری و منطقه ای، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Fjafari58@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری گروه برنامه ریزی شهری و منطقه ای، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. nasrindinparvar@gmail.com

چکیده

سیل یکی از پدیده های موجود در طبیعت بوده که از دیر باز، بشر شاهد وقوع آن می باشد. ضریب جریان سیلاب ایجاد شده در اثر بارش روی یک حوضه به عوامل متعددی همچون توپوگرافی، لیتولوژیکی و بطور کلی مشخصات حوضه و نیز مشخصات بارش باریده روی آن حوضه وابسته می باشد. باتوجه به اینکه شهر مراغه از نظر فرایند دامنه ای و سیل خیزی دارای پهنه های مخاطره آمیز فراوانی نسبت به دیگر قسمت هاست، به منظور بررسی شدت خطر در قسمت های گسترش یافته شهر و توان آن در کنترل جریان سیلاب با استفاده از مدل UFRM در نرم افزار Invest به بررسی پرداخته شده است. در این زمینه، داده های لازم از منابع مختلف و همچنین داده های سنجش از دور جمع آوری شده و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به لایه های اطلاعاتی لازم تبدیل شدند که شامل لایه های خاک، کاربری اراضی، بارش، فرسایش خاک و پوشش گیاهی، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب است. نقشه های کاربری اراضی در سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳ و ۱۴۰۱ شاهد کاهش اراضی باغی و افزایش ساخت و ساز و از بین رفتن حجم وسیعی از پوشش گیاهی منطقه بوده میزان میانگین بارشی براساس داده های گرفته شده از اداره آب و هوا شناسی استان اذربایجان شرقی با بیشترین مقدار با ۹۶۸ میلی متر برای سال ۱۳۶۳، ۸۳۵ میلی متر برای سال ۱۳۸۳ و ۷۷۱ میلی متر برای سال ۱۴۰۱ می باشد. براساس نتایج حاصل میزان نگر داشت آب در حوضه برای سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱، برابر با ۰/۴۸ درصد، ۰/۳۷ درصد و ۰/۳۱ درصد می باشد. میزان آب جذب شده در حوضه به ترتیب سال های گفته شده بر حسب میلیون متر مکعب برابر با ۱۳/۳۲ و ۱۲/۰۱ و ۱۰/۵۶ می باشد. حجم سیلاب برآورده شده برای سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۲۱/۵۶، ۳۱/۹۶، ۴۲/۹۴ میلیون متر مکعب می باشد. میزان خسارات ناشی از سیل برای سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۷۲۳۷ هزار دلار، ۳۱۷۹۰۸ هزار دلار و ۸۸۴۷۰۶ هزار دلار می باشد. به طور کلی تغییرات کاربری اراضی به طور قابل توجهی بر کاهش تاب آوری شهر مراغه در مقابل خطر سیل تاثیر دارد. با مقایسه ی خدمت حوضه در سه دوره ی مختلف می توان گفت حذف پوشش گیاهی، از بین بردن باغات، و افزایش ساخت و سازهای شهری که سطوح سردی مانند بتن، آسفالت به عبارتی افزایش سطوح نفوذ ناپذیر نقش بسیار موثری در افزایش سیلاب و کاهش قدرت خدمت حوضه در کنترل جریان سیل دارد. بنابراین جلوگیری از ساخت و ساز در حریم رودخانه ها افزایش جنگل ها با افزایش نفوذ پذیری خاک برای جلوگیری از جاری شدن آب، ایجاد زیرساخت مقاوم و ساخت بندهای خاکی و کانال های هدایت رواناب میتواند موثر واقع شود.

کلیدواژه ها

مخاطره، سیل، سیل شهری، مراغه، شمالغرب ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

ارجاع به این مقاله: محمودزاده، حسن؛ جعفری، فیروز؛ دین پرور، نسرين (۱۴۰۵). ارزیابی خطر سیل با استفاده از مدل UFRM مطالعه موردی شهر مراغه. هیدروژنومورفولوژی، ۱۳ (۴۷): ۸۰-۹۸.

*نویسنده مسئول: حسن محمودزاده

رایانامه: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2026.68806.1811



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

تغییرات اقلیمی تهدید قابل توجهی برای اکوسیستم جهانی است که هم زندگی انسان ها و هم محیط طبیعی را تحت تأثیر قرار می دهد (رایت^۱ ۲۰۱۴: ۱۸۱). در حالی که قبلاً یک تغییر فصلی طبیعی در نظر گرفته می شد، فعالیت های انسانی سرعت و شدت تغییرات ترنبرث^۲ ۲۰۱۸: ۷۳۴). سیل شایع ترین خطر طبیعی در سراسر جهان است که تقریباً نیمی از بلاهای آب و هوا را تسریع کرده است. به طور متوسط سالانه حدود ۳۲۶ مرتب با آب و هوا را تشکیل می دهد آمارها حاکی از آن است که در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ رخداد بلایای طبیعی بزرگ در سطح جهان گزارش شده که در این میان، سیل با فراوانی قابل توجه ای بیش از ۶۰ درصد از کل وقایع را به خود اختصاص داده است (خو^۳ و همکاران ۲۰۱۴: ۳۶). علاوه بر تغییرات آب و هوایی جهانی، شهرنشینی سریع ممکن است منجر به تغییرات شدید و سریع در الگوی کاربری زمین و ویژگی های سطح چشم انداز شود (چن^۴ و همکاران ۲۰۲۱: ۲). به عنوان مثال، زمین های باز و جنگل ها با زیرساخت های شهری مانند ساختمان ها، پارکینگ ها و بزرگراه ها جایگزین می شوند که منجر به افزایش سطح غیرقابل نفوذ، کاهش نفوذ رواناب و افزایش پتانسیل برای وقوع سیل شهری می شود (وانگ^۵ و همکاران ۲۰۲۳: ۲۷). سیل در شهرها به دلیل افزایش حوادث سیل و ویرانی، که منجر به خسارات جانی و خسارات زیادی به اموال در سراسر جهان شد، توجه بیشتری را به خود جلب کرد. مطالعه ای در بیش از ۶۱۶ شهر گزارش داد که سیل بیش از هر خطر طبیعی دیگر مناطق شهری را به خطر می اندازد و بیش از ۳۷۹ میلیون نفر را تهدید می کند (زو^۶ و همکاران ۲۰۱۹: ۲۶). شهرنشینی کنترل نشده و سریع در کشورهای در حال توسعه، به ویژه از سال ۲۰۰۰، آسیب پذیری محیط شهری را افزایش داده است (هرنانتس^۷ ۲۰۱۹: ۹۸). علاوه بر این، شهرنشینی تغییرات قابل توجهی ایجاد می کند که شرایط سطح زمین را تغییر میدهد (تیرلوف^۸ و همکاران ۲۰۲۱: ۳). سیل در مناطق شهری اغلب ویرانگر LULC در است زیرا تراکم بالای مردم و دارایی ها در مناطق خاصی متمرکز شده و منجر به خسارات اقتصادی و تلفات انسانی می شود (زی^۹ و همکاران ۲۰۱۷: ۹). زیرساخت های شهری، صنعت، تجارت، بازرگانی و خدمات شهری بخش های شهری حیاتی هستند که به شدت تحت تاثیر سیل قرار گرفته اند. به این ترتیب، بهره وری منظم در طول و پس از سیلاب های قابل توجه مانع می شود که آسیب پذیری ساکنان شهر را افزایش می دهد (دنیسن^{۱۰} ۲۰۱۲: ۸۷). سیل شهری به عنوان طغیان مناطق شهری توسط رودخانه ها، سیلاب های ساحلی، سیلاب های آب های زیرزمینی و آب های زیرزمینی و خرابی سیستم های زهکشی در طول بارندگی های شدید تعریف می شود (لو و ران^{۱۱} ۲۰۱۱: ۵۷۶). توزیع خطر سیل در مناطق شهری بسیار ناهمگون است (گراشام^{۱۲} ۲۰۱۹: ۵۸). خطر سیل در مناطق شهری برنامه ریزی نشده و غیر رسمی بسیار حادثتر است (سازمان بهداشت جهانی ۲۰۱۹). عوامل اصلی که باعث ایجاد سیلاب های شهری (به جز شدت بارندگی) می شود، پراکندگی شهری همراه با شهرهای برنامه ریزی نشده، سواحل رودخانه ها، دخالت انسان در جریان های اصلی و تغییر مشخصات جریان هیدرولیک و خرابی کارهای فنی (پل ها، آبریزها و غیره) و جنگل زدایی است (کاستریدیس^{۱۳} ۲۰۲۰: ۷). بزرگی سیل به عواملی مانند توپوگرافی، کاربری زمین، نوع خاک و شرایط هواشناسی بستگی دارد (کلین^{۱۴} ۲۰۱۵: ۸۴۵). علاوه بر این، اکنون مصالح محلی و جهانی در تاب آوری به عنوان مکانیزمی برای افزایش ظرفیت مقابله با تغییرات و آشفتگی های زیست محیطی در مقیاس های مختلف جغرافیایی مانند شهرها وجود دارد (مقدس^{۱۵} ۲۰۱۹: ۱). بسیاری از کشورهای جهان که با خطرات سیل روبه افزایش مواجه هستند. کشورهای آسیایی جزو مخاطره آمیزترین کشورهای جهان از لحاظ وقوع سیل محسوب میشوند، به طوریکه بیش از ۹۰ درصد تلافات ناشی از بلایای طبیعی در این قاره در اثر سیل رخ می دهد (اسمیت^{۱۵} ۲۰۱۲: ۱). ایران نیز به مثابه یکی از مناطق سیلابی آسیا و جهان با توجه به مساحت گسترده حوضه ها، تنوع اقلیمی و تغییرات زمانی فضایی بارش، هر ساله با سیلاب پیشگیری کامل سیل ممکن نیست، ولی ارزیابی و مدیریت سیلاب های (پاریزی و همکاران ۲۰۱۴: ۲۰) های بزرگی روبه رو بوده است. احتمال آینده امکانپذیر است. تاب آوری در برابر سیلاب شهری به معنی توانایی یک شهر و اجزای تشکیل دهنده آن از جمله سیستم

1 _ Wright

2 _ Trenberth

3 _ Xu

4 _ Chen

5 _ Wang

6 _ Zhou

7 _ Hernantes

8 _ Tierolf

9 _ Xie

10 _ Denissen

11 _ Lu & Ran

12 _ Grasham

13 _ Kastridis

14 _ Kelin

15 _ Smith

های اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی و زیرساختی (در جذب، مقابله، بازیابی و سازگاری با اختلالات ناشی از رویدادهای شدید آب و هوایی) می باشد (ژانگ^۱ ۲۰۲۳:۲). روند فعلی و سناریوهای آتی سیل به اطلاعات مکانی و زمانی دقیق نیاز دارد. از سوی دیگر، شناسایی مناطق آسیبپذیر نسبت به سیل و اتخاذ اقدامات مقابله‌ای مناسب میتواند خسارات ناشی از آن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. علاوه بر این، پهنه بندی خطر سیل نقشی اساسی در برنامه ریزی کاربری زمین، سیستمهای هشدار اولیه، طراحی واکنش اضطراری و اقدامات کاهش خطر سیل دارد (الفتا^۲ ۲۰۲۱:۲). به عبارت دیگر، پیشگیری از سیل فرایندی پیچیده است، اما وقوع آن را میتوان با استفاده از روش‌ها و اقدامات مناسب پیشبینی و تا حدی کنترل کرد. در این رابطه، دسترسی به اطلاعات دقیق و به هنگام برای جلوگیری از سیل یا حداقل کاهش اثرات مخرب آن نقش کلیدی دارد (یاریان، ۱۳۹۸:۱۸۷) یکی از مهمترین راه کارها کشورها دنبال استراتژی‌هایی برای مقاوم‌تر کردن شهرهای خود در برابر سیل هستند. تحقیقات مربوط به تاب آوری شهری در برابر سیل در چند دهه گذشته اهمیت زیادی یافته است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی تاب آوری شهری در برابر سیل ایجاد شده است. معمولاً از شاخص‌های کمی استفاده می‌شود زیرا مقایسه بین زمینه‌ها و سناریوهای مختلف را تسهیل می‌کنند تاب آوری به عنوان توانایی یک سیستم برای مقاومت، جذب، سازگاری و بازیابی از اثرات نامطلوب یک خطر به موقع از طریق حفظ و احیای ضروری آن ساختارها و عملکردها این پتانسیل یک جامعه یا یک سیستم برای مقاومت است (ری^۳ ۲۰۲۱:۲). تاب آوری شهری در برابر سیل به توانایی یک شهر برای تحمل سیل، سازماندهی مجدد آسیب فیزیکی و اختلالات اجتماعی-اقتصادی، حفظ هویت فعلی و سازگاری با بلایای سیل آینده اشاره دارد (مهریار^۴ ۲۰۲۱:۸۳۷). با توجه به موارد ذکر شده، در پژوهش حاضر به بررسی ظرفیت کاهش خطر سیل در شهر مراغه با توجه به موقعیت جغرافیایی خود، و خطر سیل پذیری آن با توجه به عوامل موثر از جمله وجود رودخانه صوفی چای در وسط شهر که شهر در هر جهت آن گسترش یافته است مورد بررسی قرار گرفته است. حوضه مطالعاتی یکی از حوضه‌های سیل خیز می‌باشد که میتوان در این باب به سیلاب سال ۹۶ اشاره کرد که به حدود ۵۰ هکتار از باغات و اراضی این شهر خسارت وارد کرده است. در سرتاسر جهان، مدیریت آب شهری (کمبود آب، رواناب سطحی و سیل، آلودگی آب) به یکی از چالش برانگیزترین مسائلی تبدیل شد که باید با رویکردهای جدید مقابله کرد (چی^۵ و همکاران ۲۰۲۲:۴). از میان بلایای طبیعی، سیل و رعد و برق به طور جهانی بیشترین خسارت را به بار می‌آورد، که هر ساله میلیاردها دلار خسارت میرساند، علاوه بر خسارتهای اجتماعی و محیطی که ایجاد می‌کند. هیچ معیاری وجود ندارد که کل تأثیرات سیل‌ها را هر ساله به خوبی نشان دهد، اما تحقیقات نشان میدهد که به دلیل تغییرات اقلیمی، شدت آنها در حال افزایش است (رودل^۶ ۲۰۲۳:۲۴۱). جلوگیری قطعی از وقوع سیل تقریباً غیر ممکن است و عدم قطعیت رفتارهای انسانی به خصوص در مناطق شهری، ارمغان گسترش فیزیکی شهرهای مسکونی برآورد میزان آسیب پذیری را با مشکل مواجه ساخته است (احمدزاده، ۲۰۱۴:۱) سیل شهرنشینی به طور بزرگ در جهان است که صدمات شدیدی به کلان شهرها در جهان توسعه یافته و در حال توسعه وارد می‌سازد گسترده‌ای چرخه‌های آب محلی، منطقه‌ای و ملی را از طریق ناتوانی آشکار سیستم‌های زهکشی سنتی در مقابله با گسترش شهری جدید تغییر داده است (هرناندز^۷ ۲۰۲۴:۱). در طول سیل، آب تا حد زیادی مناطقی را می‌پوشاند که معمولاً توسط آب پوشانده نمی‌شود، زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌های حیاتی را تخریب می‌کند، جمعیت انسانی را جابجا می‌کند، فعالیت‌های اقتصادی را مختل می‌کند و در بدترین موارد منجر به اپیدمی و مرگ می‌شود (جیانگ^۸ ۲۰۱۸:۳۱۴۷). یکی از مهمترین اثرات تغییر کاربری اراضی و تبدیل حوضه‌های طبیعی به شهری، کاهش سطوح نفوذپذیر و در نتیجه افزایش احتمال وقوع سیلاب شهری و آبگرفتگی معابر در هنگام بارندگی میباشد (دریانورد و همکاران، ۲۰۱۴:۱). به دلیل تعدادی از دلایل واضح، تهدید سیل شهری برای شهرهای بزرگ بسیار بیشتر به در شهرها استدلال می‌کنند که سیل شهری به خوبی FRM نظر می‌رسد. چون اولاً، مطالعات موجود مربوط به مدیریت خطر سیل درک نشده و مورد مطالعه قرار نگرفته است، و اقدامات مدیریتی آن یا وجود ندارد یا به اندازه کافی انجام نشده است (برویر^۹ ۲۰۱۸:۱۳۴). ثانیاً، جریان آب در طول سیل شهری بر ناهنجاری‌های هیدرولیکی از جمله جهش‌ها و جریان‌های فوق بحرانی تأکید شهری دشوار است (میگنوت^{۱۰} ۲۰۰۶:۱۸۸). علاوه بر این، بسیاری از مراکز شهری با FRM می‌کند، که همه آنها در یک روش عمومی سطوح غیرقابل نفوذ پوشانده شده‌اند، که نفوذ را کاهش می‌دهد و روان آب‌های سطحی بیشتری تولید می‌کند. که طبیعتاً می‌تواند و دیگری عوامل فیزیوگرافیکی کاملاً مشکل ساز باشد. در فرایند تبدیل بارش به رواناب سطحی، دو دسته عوامل، شامل پارامترهای اقلیمی

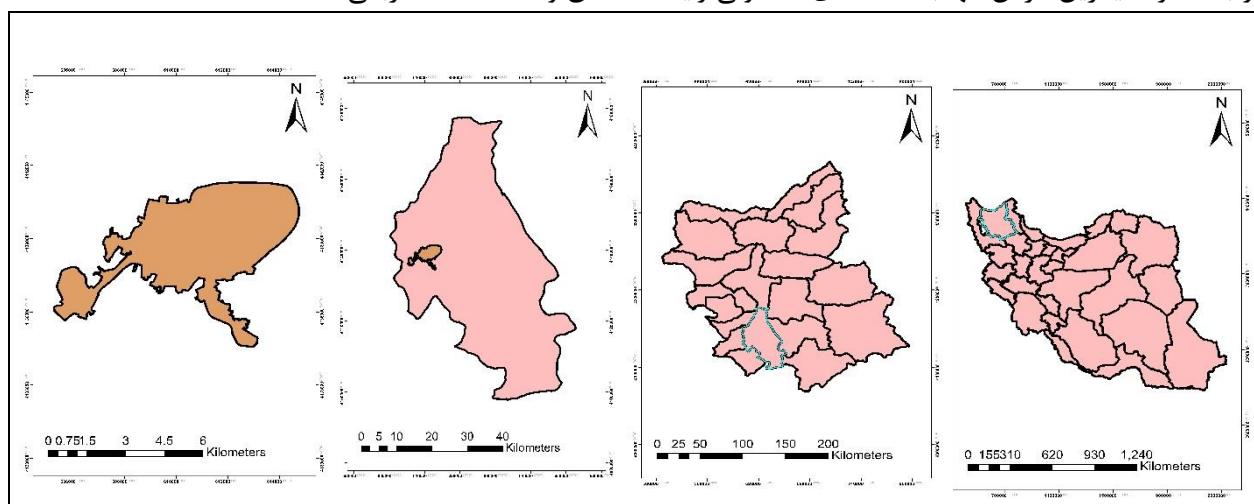
حوضه نقش دارند. در واقع مهار آبهای سطحی و تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی یکی از راهکارهای اساسی ذخیره سازی آب با توجه به خصوصیات بارندگی و جاری شهدن روان اب های سطحی در کشور میباشد(ضیایان، ۱۴۰۰:۳). عوامل اقلیمی شامل نوع، شدت و تداوم بارش و نیز توزیع مکان بارندگی، هم چنین جهت حرکت توده بارانزا و دیگر عوامل اقلیمی نظیر تبخیر و تعرق می باشد. شامل نوع کاربری اراضی، جنس خاک، مساحت حوضه آبریز شکل حوضه، ارتفاع، شیب، جهت و نوع شبکه زهکشی پارامترهای علاوه بر تهدیدها، مدیریت خطر سیل. همه این عوامل هم در میزان حجم رواناب سطحی و هم در مقدار دبی اوج آن به نحوی مؤثرند شهری در به دلیل گستره منابعی که خطر به آنها نسبت داده می شود، چالش برانگیز است، که عمدتاً ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی، فعالیت های انسانی و ماهیت پیچیده ژئومورفولوژیکی زمین شهری است (سامپسون^{۱۱}:۲۰۱۶:۷۳۶۰). با این حال، هدف کلی ساخت شهری تاب آور، برای به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی است (آنجلیدو^{۱۲}:۲۰۱۸:۱۴۶). به منظور کاهش خسارت ناشی از وقوع سیل علاوه بر اجرای عملیات آبخیزداری برای کنترلس یالب باید شناخت الزم از منطقه مورد مطالعه صورت گیرد (نگهبان، ۲۰۲۴:۳). این بدان معناست که هر چه بیشتر ساکنان شهری بتوانند با خطر سازگار شوند، جامعه شانس بیشتری برای استفاده از پتانسیل طبیعی خود در جهت توسعه شهری پایدار دارد. تاب آوری شهری در برابر سیلاب را توانایی سیستم های شهری در تحمل اثرات سیلاب و بازگشت به حالت اولیه پس از وقوع آن تعریف می کنند. موفقیت مدیریت سیلاب و تصمیم گیری در مورد میزان حفاظت منطقه، نیازمند مدیریت ریسک سیل میباشد (فرجی، ۱۴۰۰). سطح تاب آوری سیلاب های شهری و شناسایی راهکارهای تقویت آن، برای تدوین برنامه های بلندمدت توسعه شهری و تصمیم گیری های مدیریتی بسیار حائز اهمیت است (ژو^{۱۱}:۲۰۲۱:۲). در ادامه برخی از پژوهش های مرتبط با ارزیابی خطر سیل مورد اشاره قرار گرفته است. گنجی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی عوامل موثر در سیل پذیری شهرستان آق قلا را مورد بررسی قرار داده اند نتایج حاکی از آن است که مورفولوژی و توپوگرافی بیشترین تاثیر را در میزان بروز سیلاب در این منطقه دارد. سامی و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از وزن دهی با استفاده از نرم افزار سوپردسیژن نقشه نهایی پهنه بندی سیلاب را تهیه کرده نتایج نشان می دهد، (ANP) لایه ها به روش تحلیل شبکه پهنه های با خطر سیل گیری خیلی زیاد در مرکز شهر حاشیه رودخانه صوفی چای به نسبت مناطق دیگر بیشتر است. اسمعیل پور و آباد چای، واقع در شهرستان بستان همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و خطر سیلاب در سطح حوضه اوجان استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار داده و نتایج هیدروگراف سیلاب زیرحوضه ها و خروجی حوضه تا حد زیادی تحت تأثیر های با کمترین میزان پوشش حفاظتی، شیب زیاد، های بالا در زیرحوضه های ژئومورفومتری و پوشش زمین است. پیک ویزگی نفوذپذیری کم، فراوانی برون زدهای سنگی و سطوح غیرقابل نفوذ مشاهده می شود. در زمینه مطالعات خارجی نیز محمد (۲۰۲۲) به مدل تاب آوری سیل در شهر پیشاور، پاکستان پرداخته نتایج نشان Urban با استفاده از GIS ارزیابی تاب آوری سیل شهری مبتنی بر داد که در منطقه غربی منطقه مورد مطالعه، بخش های شمال غربی و مرکزی دارای تاب آوری بسیار بالایی هستند، در حالی که بخش های جنوبی و جنوب غربی قطعات انعطاف پذیری بسیار پایینی دارند. به همین ترتیب، در پهنه شرق منطقه مورد مطالعه، شمال غرب و بخش های جنوب غربی دارای تاب آوری بسیار بالا و بخش های شمالی و غربی بسیار پایین هستند. کریم الله (۲۰۲۴). در بررسی خطر سیل در محدوده میانی رودخانه هیرمند، افغانستان با بیان اینکه محدوده میانی رودخانه هیرمند مستعد سیل است و تجزیه و تحلیل خطر سیل برای مدیریت خطر سیل ضروری است. تجزیه و تحلیل فرکانس نرخ جریان اوج سالانه با استفاده از داده های

- | | | |
|-------------|---------------|--------------|
| 1 _ Zhang | 6 _ Rodell | 11 _ Sampson |
| 2 _ Allafta | 7 _ Hernández | |
| 3 _ Rey | 8 _ Jiang | |
| 4 _ Mehryar | 9 _ Bruwier | |
| 5 _ Chie | 10 _ Mignot | |

هیدروژئومورفولوژیکی موجود برای ساخت هیدروگراف‌های سیلاب انجام شد. ویژگی های خطر سیل فضایی در بالادست و پایین دست به دلیل توپوگرافی متمایز دشت سیلابی متفاوت است. تزه هوی (۲۰۲۳) در بررسی خطر سیل با استفاده از بارندگی طراحی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوضه رودخانه کلانتان، مالزی نشان می دهد که توپوگرافی نقش اساسی در محاسبه CCF ایفا می کند. بوز (۲۰۲۳) با استفاده از مدل UFRM وضعیت سیلابهای شهری کلکته هند را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسی که حدود ۰۱ درصد از سطح شهر کلکته با پوشش های غیرقابل نفوذ مانند آسفالت و بتن پوشیده شده که این امر باعث کاهش شدید نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب سطحی میشود. این نشان میدهد که حتی تغییرات اندک در میزان بارندگی میتواند به طور قابل توجهی بر شدت سیلاب تأثیر بگذارد و تاب آوری اکولوژیک شهری را کاهش دهد. بنابراین فضاهای سبز به عنوان عناصر مهم در کاهش خطر سیلاب، بیشترین پتانسیل را برای جذب آب باران و کاهش رواناب دارند.

محدوده مورد مطالعه

این شهر در گوشه ی شمال غربی کشور در ۳۷ درجه ۲۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و در ۴۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی واقع گردیده است و یکی از ۲۰ شهرستان این استان محسوب میشود. مساحت آن در حدود ۴۱۴۶/۳ کیلومتر مربع است که حدود ۸/۸ درصد از کل مساحت استان را در بر میگیرد. شهرستان مراغه از شمال به شهرستان تبریز، از شرق به شهرستانهای بستان آباد، هشتروند و چاروايماق، از غرب به شهرستانهای اسکو، عجبشیر، بناب و ملکان و از جنوب به استان آذربایجان غربی محدود میگردد (سامی، ۱۴۰۳: ۱۷۷). جمعیت شهر مراغه در سال ۱۳۹۵ در حدود ۱۷۵۶۰۰ نفر بوده است و مساحت شهر در حدود ۳۰۴۱/۷ هکتار میباشد. عدم تعادل بین رشد مساحت و جمعیت در هر دوره از رشد در این شهر باعث شده است که الگوی توسعه فضایی شهر مراغه از نوع الگوی گسترده و پراکنده باشد. به گونه ای که شهر از قسمت مرکزی به قسمتهای خارج کمربندی، به ویژه بخشهای شمال شرقی شهرک ولیعصر و غرب رودخانه صوفی چای، گسترش یافت. همچنین بافت روستایی واقع در جنوب شرقی و جنوب غربی شهر، یعنی روستاهای میکائیل آباد و پهرآباد که در مسیر راههای ارتباطی بین شهری هشتروند و بناب واقع شده اند نیز به سمت شهر توسعه یافته و اراضی حدفاصل آنها به زیرساخت و ساز غیرقانونی رفت. شهر در کنار رودخانه صوفی چای واقع گردیده رودخانه صوفی چای از دامنه های جنوب غربی کوه سهند به ویژه از دره بامدیز سرچشمه می گیرد و پس از عبور از غرب شهر مراغه و جنوب شهر بناب، به دریاچه ارومیه میریزد و با طول ۲۰ کیلومتر در داخل حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد. به طور کلی شهرستان مراغه متشکل از دو ناحیه کوهستانی و جلگه ای است که از شمال به جنوب و از شرق به غرب تا سواحل دریاچه ارومیه و جلگه میاندوآب از ارتفاع کوهها کاسته می شود. منطقه مراغه در زونهای آتشفشانی ترشیری - کواترنر و رسوبات پالتفرمی و حوضه های بین کراتونی مزوزوئیک بعد از تریاس میانی که به طور محلی شامل پالئوژن میشود قرار دارد. رشد شهری، به صورت افقی باعث از بین رفتن مناظر طبیعی و باغات و جایگزین کردن آنها با محله های مسکونی و ایجاد مناطق و... شده است (قربانی، ۱۴۰۰: ۷).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig (1): The study area

روش پژوهش

به منظور انجام پژوهش حاضر، ابتدا برای سالهای ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱ نقشه کاربری اراضی توسط تصاویر ماهواره ای Landsat 5 & 8 در محیط GEE تهیه شده است. GEE امکان دسترسی به انواع داده های ماهواره های تحقیقاتی از جمله تصاویر بایگانی شده Landsat به صورت آنلاین و بدون نیاز به دانلود را فراهم میکند (نبی کندی و همکاران، ۱۴۰۳: ۳۹۵). سپس برای محاسبه رواناب از مدل invest استفاده شده است. یعنی مقدار رواناب باقی مانده در هر پیکسل در مقایسه با حجم طوفان. همچنین برای هر حوضه، خسارت اقتصادی بالقوه را با قرار دادن اطلاعات در مورد پتانسیل وسعت سیل و زیرساخت های ساخته شده محاسبه شد.

جدول (۱): جدول بیوفیزیکی با اعداد منحنی مربوط به هر یک از کاربری ها
Table(1): Biophysical table with curve numbers related to each use

CN_D	CN_C	LULC
95	94	مناطق ساخته شده
0	0	آب
89	73	باغات
87	83	اراضی کشاورزی
54	91	اراضی بایر

رواناب: از رویکرد عدد منحنی استفاده شده است، داده های عدد منحنی اصلی ترین ورودی مدل کاهش سیلاب شهری است CN نشان دهنده پتانسیل رواناب زمین است که متاثر از وضعیت پیشین رطوبت خاک با تعریف نوع کاربری زمین و ویژگی های خاک، نوع خاک، کاربری اراضی بوده و مقدار آن بین ۰ تا ۱۰۰ است. مقادیر بالا نشان دهنده پتانسیل بیشتر رواناب است، در واقع میزان بالا نشان می دهد خاک نفوذ ناپذیرتر بوده و آب ناشی از بارش را به جای زیر زمین در سطح زمین به صورت رواناب جاری می سازد. در این پژوهش، داده های مربوط به بارش از طریق ایستگاه سینوپتیک هواشناسی مراغه به دست آمده است.

(۱)

$$R = \frac{(P_{0.2S})}{(P_{0.8S})}$$

R ارتفاع رواناب بر حسب میلی متر

P ارتفاع بارندگی بر حسب میلی متر

S بیانگر تلفات بارندگی (نفوذ و نگهداشت آب در خاک) و از فرمول زیر استفاده می کند:

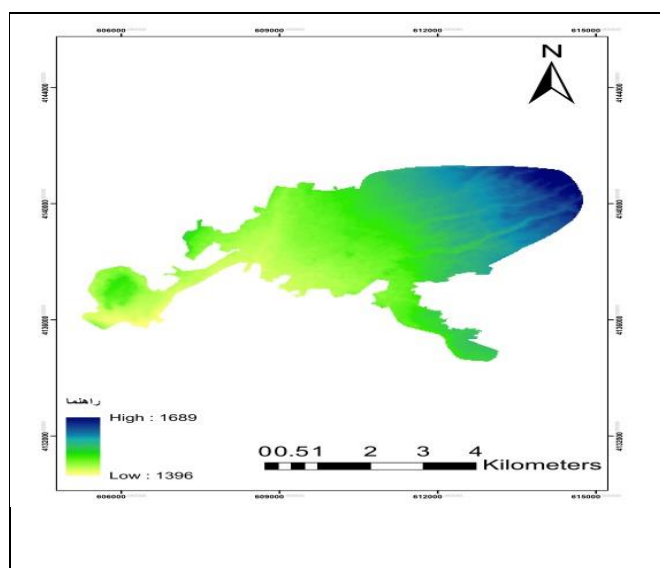
(۲)

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$

مدل : UFRM-InVEST این مدل کاهش خطر سیلاب شهری را بر اساس تحلیل هیدرولوژیک و ویژگیهای فیزیکی حوضه تخمین زده و مدلسازی میکند (بوز ۲۰۲۳:۳۸۳). این مدل با ترکیب داده های محیطی و توپوگرافی به تحلیل تأثیر تغییرات LULC بر کاهش خطر سیلاب شهری میپردازد. بدین منظور میزان رواناب سطحی را با توجه به داده های بارش، نقشه LULC و بافت خاک محاسبه میکند. این مدل از جمله مدل هایی است که کاهش ریسک سیلاب شهری را بر اساس نقشه محدوده مورد مطالعه، نقشه حوضه آبریز محدوده مورد مطالعه، میزان بارش، نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی، نقشه رستری گروه هیدرولوژیکی خاک، جدول بیوفیزیکی، نقشه وکتوری زیرساخت های ساخته شده، جدول خسارات ناشی از سیلاب شهری برآورد میکند. مزیت این مدل نسبت به مدل های دیگر برآورد سیلاب این است که این مدل تمرکز اساسی بر زیرساخت های طبیعی داشته و سعی دارد از طریق کاهش تولید رواناب، کند کردن جریان های سطحی به ایجاد فضای مناسب برای حرکت آب در دشت های سیلابی یا حوضه ها عمل کند و همچنین با استفاده از این مدل می توان برای هر حوزه آبخیز خسارت اقتصادی بالقوه را با همپوشانی اطلاعات مربوط به پتانسیل وسعت سیل و زیر ساخت های ساخته شده محاسبه کرد.

ارتفاع

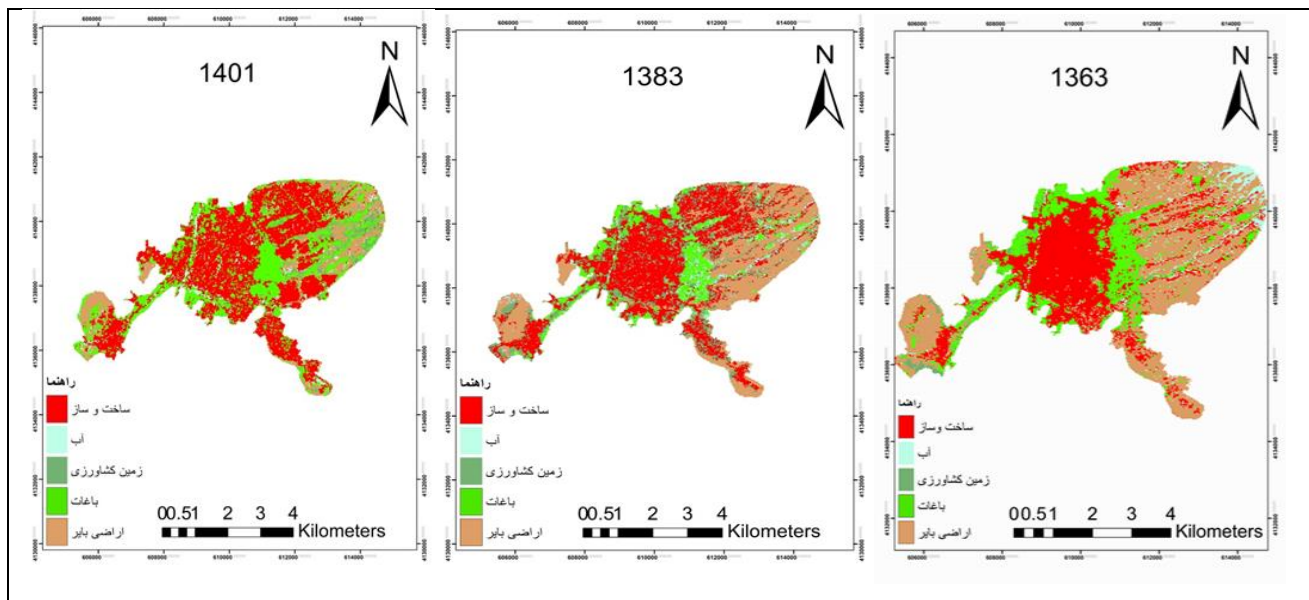
ارتفاع یکی از عناصر کلیدی است که مستقیماً با سیل در یک منطقه مرتبط است عامل ارتفاع نقش کلیدی در کنترل جهت حرکت سیل و عمق سطح آب دارد (زارعی و همکاران، ۱۴۰۱:۱۳۴). مناطق دشت ممکن است زودتر دچار سیل شوند زیرا آب به سرعت از مناطق مرتفع به مناطق پست جریان می یابد. برای ارزیابی ارتفاع و ویژگی های توپوگرافی DEM منطقه مورد مطالعه با رزولوشن ۳۰ متری به کمک ابزار Extraction by Mask در ArcGIS 10.7.1 استخراج شد. مشخصات ارتفاع منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که ارتفاع از ۱۳۹۶ تا ۱۶۸۹ متر متغیر است. ذکر این نکته ضروری است که ارتفاع از شرق به غرب افزایش می یابد، همانطور که نشان داده شده است. این نشان می دهد که قسمت های شرقی منطقه مورد مطالعه سریع تر از قسمت های غربی دچار سیل می شوند.



شکل (۲): نقشه ارتفاعی شهر مراغه
Fig (2): Elevation map of Maragheh city

نقشه کاربری اراضی

در یک اکوسیستم طبیعی بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط محیطی به‌ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار می‌باشد و در نهایت باعث خسارات شدید اقتصادی - اجتماعی می‌شود. لذا پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت سیلاب‌های دهه‌های آتی و رسوب‌زایی حوزه، راهگشای مقابله با این پدیده خواهد بود (طالبی، ۱۳۹۹: ۳۴). تشخیص کاربری و پوشش زمین بر اساس تصویر دیجیتال (LULC) بر اساس داده‌های سنجش از دور چندزمانه و چندطیفی، پتانسیل زیادی را برای درک پویایی چشم‌انداز برای تشخیص، شناسایی نقشه و نظارت بر تفاوت‌ها در الگوی LULC در طول زمان نشان داده است. تشخیص تغییرات LULC گامی مهم در ارزیابی پویایی چشم‌انداز برای یک دوره زمانی خاص است. LULC همچنین یک عامل حیاتی در ارزیابی خطرات سیل است. برای درک بهتر، در این مطالعه لایه‌ای ایجاد شد که در آن از تصاویر لندست ۸ و ۵ استفاده شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی/پوشش اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای سال‌های ۱۹۸۴ سنجنده TM و ۲۰۰۲ سنجنده ETM+ و لندست ۸ برای سال ۲۰۲۲ سنجنده OLS، نرم‌افزار ۸.۵ ENVI، GIS و روش طبقه‌بندی MLC1 بندی حداکثر احتمال استفاده شده است. این تصاویر در نرم‌افزار ArcGIS ترکیب شدند و سپس با کمک ترکیب باندهای ۴، ۳، ۲ یک باند ترکیبی رنگی به دست آمد. در منطقه مورد مطالعه، LULC به چهار کلاس اصلی طبقه‌بندی شد که شامل اراضی باغی، مسکونی، زمین‌های بایر و آب است.



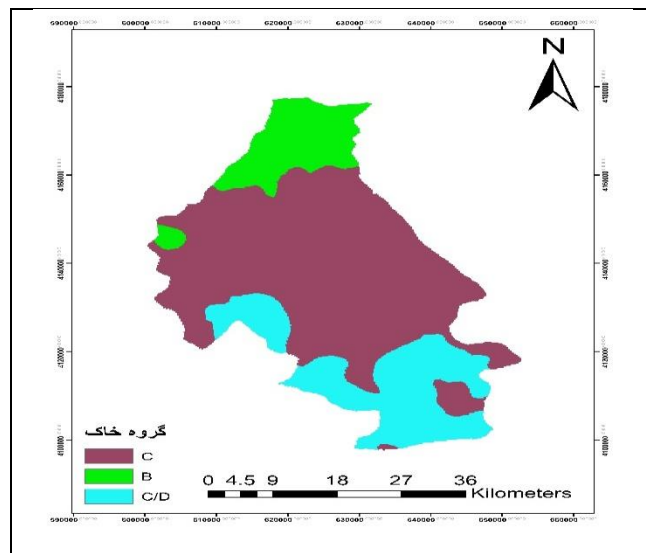
شکل (۳): نقشه‌ی کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۲، ۲۰۲۲

Fig (3): Land use map for the years 1994, 2004 and 2022

نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک

خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک روی تحول و پیدایش رواناب اثر داشته و در محاسبات مربوط به هرزآب باید مد نظر قرار گیرد. هنگامیکه هرزآب ناشی از یک رگبار جهت مطالعه سیلاب‌ها مورد مطالعه باشد. خصوصیات خاک می‌تواند با یک پارامتر هیدرولوژیکی بیان گردد (عالی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳). گروه‌های خاک هیدرولوژیکی (HSGs) یک جزء اساسی از روش عدد منحنی USDA (CN) برای تخمین رواناب بارندگی هستند. گروه هیدرولوژیکی، که با حروف A، B، C یا D مشخص می‌شوند، به طور کلی میزان رواناب مورد انتظار از خاک در حالت اشباع را نشان می‌دهند. خاک‌های گروه A رواناب بسیار کمی تولید می‌کنند زیرا به سرعت یا بسیار سریع نفوذپذیر هستند و آب را با سرعتی برابر یا سریع‌تر از اکثر باران‌های منطقه جذب می‌کنند. خاک‌های گروه هیدرولوژیکی D آب را بسیار آهسته جذب می‌کنند و مقادیر زیادی رواناب تولید می‌کنند. خاک‌های گروه B و C کمتر از گروه D و بیشتر از گروه A رواناب تولید

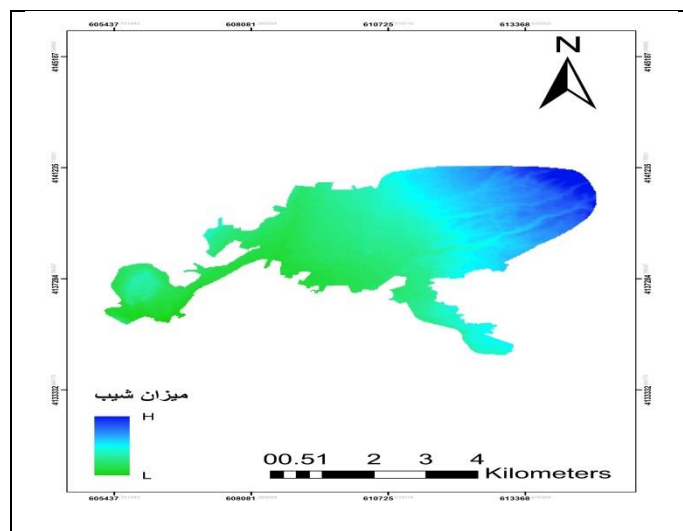
می‌کند. خاک‌های با زهکشی ضعیف معمولاً در گروه D قرار می‌گیرند زیرا سطح ایستایی بالا مانع از حرکت آب در خاک می‌شود. با توجه به نقشه هیدرولوژیکی خاک شهرستان مراغه بیشترین خاک غالب منطقه از نوع خاک گروه C می‌باشد که خاک‌هایی با سرعت نفوذ پایین، که آب را به کندی جذب می‌کنند و بیشتر رواناب تولید می‌کنند.



شکل (۴): نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک شهرستان مراغه
 Fig (4): Map of Maragheh soil hydrological group

شیب

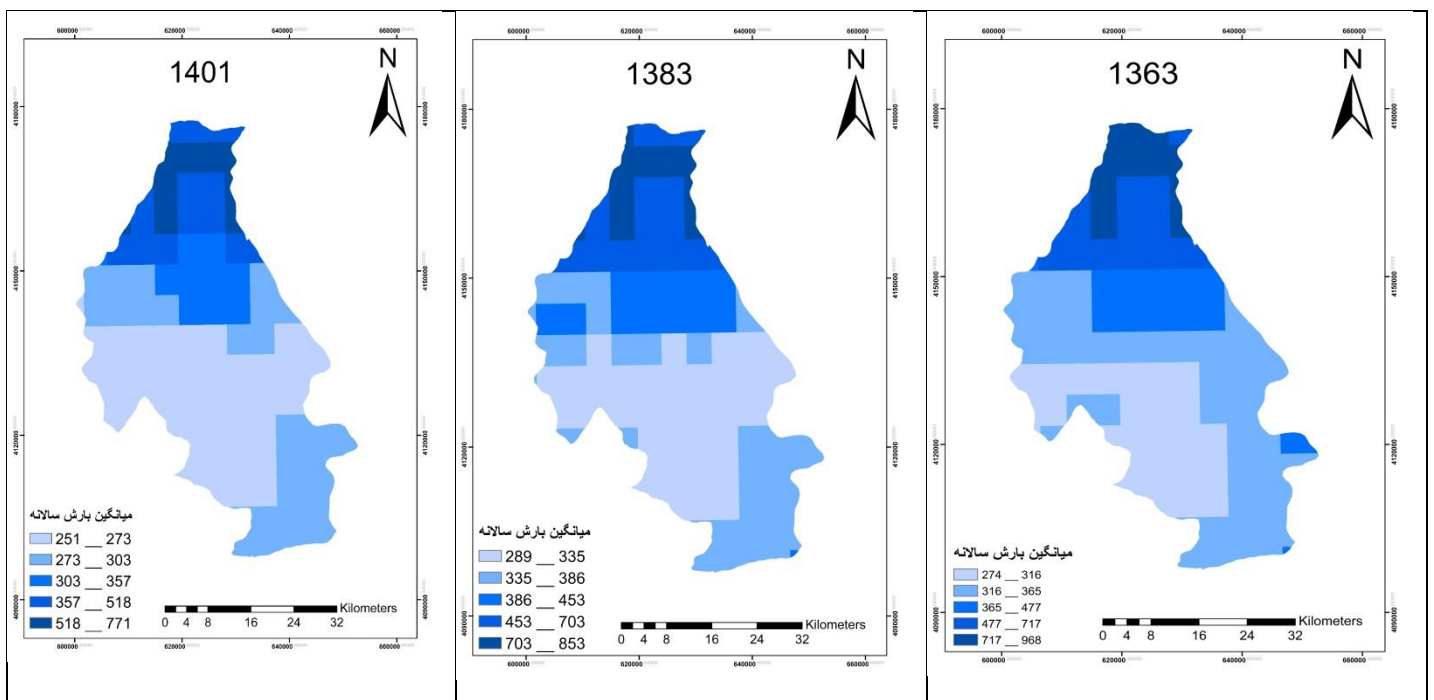
شیب یکی از مهمترین فاکتورهای تاثیر گذار در جریان آب‌های سطح و سرعت رواناب‌ها دارد هرچه شیب زمین بیشتر باشد، سرعت جریان آب روی سطح زمین بیشتر شده و در نتیجه احتمال وقوع سیل افزایش می‌یابد. آب باران در مناطق شیب‌دار با سرعت بیشتری به سمت پایین حرکت کرده و در مسیر خود می‌تواند خاک و سنگ‌ها را شسته و با خود حمل کند. این امر باعث ایجاد رواناب سطحی شده و در نهایت به وقوع سیل منجر می‌شود. شیب‌های کوچکتر نسبت به شیب‌های بزرگتر تاثیر بیشتری بر تولید رواناب دارند (همدانی، ۱۳۹۷: ۶۶۰). شیب منطقه مورد مطالعه بر حسب درصد تنظیم شد؛ مقادیر پایین‌تر نشان دهنده یک منطقه مسطح/شیب ملایم است، در حالی که مقادیر بالاتر نشان دهنده یک شیب تند است.



شکل (۵): نقشه شیب شهر مراغه
 Fig (5): Slope map of Maragheh city

بارش

سیل یکی از مخربترین بلایای طبیعی است (زینالی، ۲۰۱۴). سیل نتیجه ی بارش بسیار زیاد است. پارامترهایی همچون زمان بارش، نوع بارش و بارش‌های شدید کوتاه مدت و ۲۴ ساعته می‌توانند از عوامل موثر ایجاد سیلاب در شهرها است (نگارش، ۱۳۹۲). توزیع بارندگی در منطقه مورد مطالعه بیشترین بارش در ماه فروردین اتفاق می‌افتد در حالی که اوج دبی در اردیبهشت می‌باشد. علت این امر در واقع به نوع بارش مربوط است. در اردیبهشت ماه علاوه بر دبی حاصل از بارندگی همان ماه، دبی حاصل از ذوب برف نواحی مرتفع نیز به این میزان اضافه شده و در نتیجه دبی را نسبت به بارش افزایش می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه، بخش‌های شمال شرقی و شمال غربی شبیه به این هستند که این مناطق بارش نسبتاً سنگینی دریافت می‌کنند، میانگین بارش برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳ و ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۹۸۶ میلی متر، ۸۵۳ میلی متر و در نهایت ۷۷۱ میلی متر که کمترین مقدار می باشد.

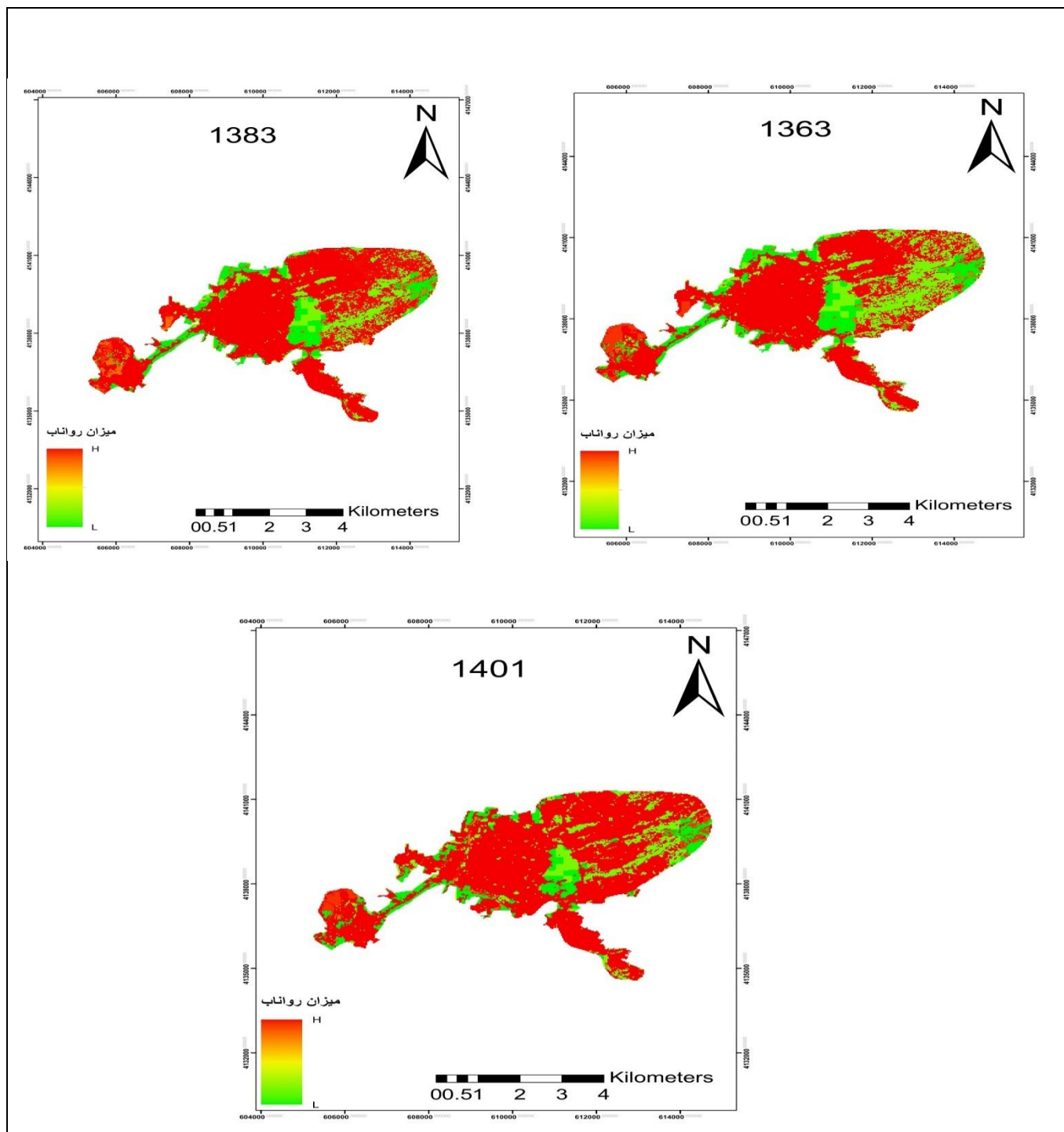


شکل (۶): نقشه توزیع بارش سالانه شهرستان مراغه برای سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱
Fig (6): Maragheh annual rainfall distribution map for the years 1994, 2004 and 2022

کاهش خطر سیل شهری (UFRM)

بررسی پیشینه شکل گیری سیلاب ها و علل بروز آنها نشان می‌دهد؛ جمعیت‌های انسانی در طول تاریخ با بی توجهی خود نسبت به تغییرات اقلیمی، از بین بردن الگوی زیست بوم های طبیعی مناطق شهری به طرز شگفت انگیزی موجب تخریب رژیم و حدود رودخانه ها شده اند که این خود یکی از دلایل مهم عدم کنترل رواناب ها و وقوع سیل های متعدد در نواحی شهری است. در این از پژوهش، پردازش و تحلیل دادهها با توجه به پارامترهای کاربری اراضی، تراکم ساختمانی، شیب، ارتفاع، گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و حوضه آبریز صورت گرفته است. پس از آماده سازی و تهیه لایه های اطلاعاتی، در مدل UFRM مورد پردازش قرار گرفته است. براساس نتایج حاصل میزان نکه داشت آب در حوضه برای سال های ۱۳۶۳ برابر با ۰/۴۸ درصد، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۰/۳۷ درصد و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۰/۳۱ درصد می باشد میزان آب جذب شده در حوضه به ترتیب سال های گفته شده بر حسب متر مکعب برابر با میلیون ۱۳/۳۲ میلیون مکعب، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۱۲/۰۱ میلیون متر مکعب و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۱۰/۵۶ میلیون متر مکعب

می باشد. حجم سیلاب برآورده شده نیز برای سال ۱۳۶۳ برابر با ۲۱/۵۶ میلیون متر مکعب، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۳۱/۹۶ میلیون متر مکعب و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۴۲/۹۴ میلیون متر مکعب است.



شکل (۷): نقشه ضریب رواناب شهر مراغه برای سال های ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱

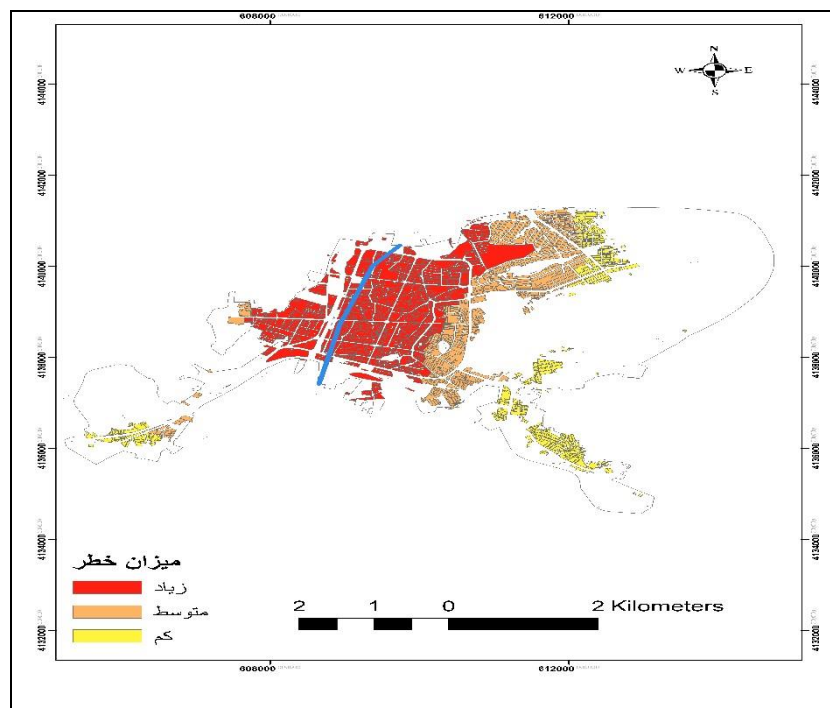
Fig (7): Map of the runoff coefficient of Maragheh city for the years 1994, 2004 and 2022

تعیین خسارت

سیل یکی از مهمترین مخاطراتی هست که سبب وارد آوردن خسارات زیادی به نواحی شهری میشوند. خسارات ناشی از سیل هم موجب تلفات انسانی و هم طبیعی در محیط های شهری می شود. برای برآورد خسارات ناشی از سیلاب در تحقیق فوق اطلاعات مربوط به ساختمان ها که شامل متراژ آن ها و هزینه های ایجاد شده که برای هر نوع ساختمان به ازای هر یک متر به دلار در نظر گرفته شده است. میزان خسارات ناشی از سیل برای سال ۱۳۶۳ برابر ۷۲۳۷ هزار دلار، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۳۱۷۹۰۸ هزار دلار و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۸۸۴۷۰۶ هزار دلار برآورده شده است.

ارزیابی مناطق شهری مراغه در برابر سیلاب

سیلاب یکی از مخرب ترین خطرات طبیعی به ویژه در مناطقی که دارای توسعه انسان ساخت می باشد. با توجه به اینکه حفاظت کامل از خطر سیل امکان پذیر نیست به کارگیری سیاست ها کارساز به ویژه در زمینه مدیریت کاربری اراضی و کنترل ساخت و سازها در حریم رودخانه ها ضروری است. یافته های این پژوهش نشان می دهد خطر سیل در مراغه از عوامل متفاوتی چون توپوگرافی، کاربری اراضی، ساخت و ساز و توسعه شهری متاثر است. مناطق با شیب و ارتفاع کم به دلیل کاهش سرعت جریان سیلاب و ماندگاری آب در این نواحی از خطر سیل بیشتری برخوردارند همچنین با توجه به اینکه مناطق مرکزی شهر در نزدیکی حاشیه ی رودخانه صوفی چای قرار دارد طبق تحقیقات صورت گرفته عمده ی مناطق با خطر سیل گیری زیاد در مرکز شهر وجود دارد. مناطق بالای رودخانه در واقع مناطقی که توسعه فیزیکی شهر صورت گرفته دارای میزان خطر متوسط و مناطق حاشیه ای شهر دارای خطر کم است.



شکل (۸): نقشه پهنه بندی خطر سیل در شهر مراغه

Fig (8): Flood risk zoning map in Maragheh city

نتیجه گیری

سیل‌های شهری شایع‌ترین و گسترده‌ترین بلایای طبیعی در سراسر جهان هستند سیل شهری یک خطر هیدرولوژیکی است که پتانسیل ایجاد خسارت در سکونتگاه‌های شهری را دارد. هر ساله سیل در کشور خسارات بسیار زیادی از نظر اقتصادی، تخریب محیط زیست، منابع طبیعی و مسکونی و تلفات جانی را به وجود می‌آورد. مطابق آمار تهیه شده توسط سازمان ملل متحد در میان بلایای طبیعی، سیل و طوفان بیشترین تلفات و خسارات را به جوامع بشری وارد آورده اند. (فرنام، ۱۳۹۸: ۱). علل اصلی که باعث سیل‌های شهری می‌شوند (به جز شدت بارندگی) عبارتند از: گسترش بی‌برنامه شهرها، همراه با کناره‌های رودخانه‌ها، دخالت انسان در جریان‌های اصلی که ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه را تغییر می‌دهد، و نقص در کارهای فنی (پل‌ها، آبگذرها و غیره)، همراه با جنگل‌زدایی و از بین بردن پوشش گیاهی می‌باشد. در گذشته رویکردهای مدیریت سیلاب‌ها ای شهری، براساس جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب‌ها بوده است در حالی که رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، بر به کارگیری روشهایی که حداکثر تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی داشته باشد، تأکید دارد. در پژوهش حاضر با بررسی فاکتورهای موثر در سیل نتایج حاصل شده به این ترتیب است: ارتفاع که یکی از عناصر کلیدی است که مستقیماً با سیل در یک منطقه مرتبط است ارتفاع در محدوده مورد مطالعه از شرق به غرب افزایش می‌یابد، همانطور که نشان داده شده است. این نشان می‌دهد که قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه سریع‌تر از قسمت‌های غربی دچار سیل می‌شوند. در بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در سالهای ۱۳۶۳، ۱۳۸۳، ۱۴۰۱، شاهد کاهش اراضی باغی و افزایش ساخت و ساز و از بین رفتن حجم وسیعی از پوشش گیاهی منطقه بودیم. میزان بیشترین مقدار با ۹۸۶ میلی‌متر برای سال ۱۳۶۳، ۸۵۳ میلی‌متر برای سال ۱۳۸۳ و ۷۷۱ میلی‌متر برای سال ۱۴۰۱ می‌باشد براساس نتایج حاصل میزان نکه داشت آب در حوضه برای سال‌های ۱۳۶۳ برابر با ۰/۴۸ درصد، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۰/۳۷ درصد و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۰/۳۱ درصد می‌باشد میزان آب جذب شده در حوضه به ترتیب سال‌های گفته شده بر حسب متر مکعب برابر با میلیون ۱۳/۳۲ میلیون مکعب، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۱۲/۰۱ میلیون متر مکعب و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۱۰/۵۶ میلیون متر مکعب می‌باشد. حجم سیلاب برآورده شده نیز برای سال ۱۳۶۳ برابر با ۲۱/۵۶ میلیون متر مکعب، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۳۱/۹۶ میلیون متر مکعب و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۴۲/۹۴ میلیون متر مکعب است. میزان خسارات ناشی از سیل برای سال ۱۳۶۳ برابر ۷۲۳۷ هزار دلار، برای سال ۱۳۸۳ برابر با ۳۱۷۹۰۸ هزار دلار و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۸۸۴۷۰۶ هزار دلار برآورده شده است. براساس نتایج حاصل می‌توان گفت ممانعت از تغییر کاربری اراضی به ویژه حذف کاربری‌های سبزی یا همان پوشش گیاهی یکی از راه‌های مهم مقابله با سیل خیزی منطقه است. با مشاهده نقشه‌های رواناب برای سالهای مختلف می‌توان گفت با افزایش ساخت و ساز و ایجاد محیط‌هایی با سطوح سرد نظیر آسفالت، بتن و ... که سطوح نفوذ ناپذیری هستند و همچنین از بین رفتن پوشش گیاهی بر حجم رواناب و خطر بروز از سیل در منطقه افزوده شده و همچنین خسارت‌های ناشی از سیل افزایش پیدا کرده است. در واقع خدمت حوضه از سال ۱۹۸۴ به سال ۲۰۲۲ بسیار ضعیف‌تر شده است. مقایسه یافته‌های این تحقیق با نتایج سامی و همکاران (۱۴۰۴)، ثروتی و همکاران (۱۳۹۱)، جهان‌تاب و همکاران (۱۴۰۰)، بوز (۲۰۲۳) وجود رابطه معنادار بین پوشش گیاهی و میزان سیلاب و همچنین افزایش رواناب و نفوذ ناپذیری در مناطق دارای ساخت و ساز و سطوح فاقد پوشش گیاهی نشان‌دهنده مطابقت این نتایج با تحقیقات قبلی است. آذرسری محدودیت‌های تحقیق نیز می‌تواند به استفاده از تصاویر لندست با رزولوشن ۳۰ متری اشاره کرد که ممکن است برخی جزئیات ریز در آن نادیده گرفته شده باشد. مدل INVEST میزان بارندگی را یکنواخت فرض می‌کند درحالی‌که میزان بارش در جهت‌های متفاوت شهر می‌تواند یکسان نباشد. استفاده از مدل عدد منحنی که میزان لازم بارندگی برای شروع باران را عدد ثابتی در نظر می‌گیرد این فرضیه با توجه به ظرفیت اشباع و شرایط توپوگرافیک منطقه می‌تواند عدد متفاوتی باشد.

References

- Ahmadzadeh, Hassan and Ahmadzadeh Kalibar, Fariborz, 2024 Spatial assessment of flood effects on the texture of metropolitan areas (case study: Tabriz metropolis), First National Conference on New Ideas and Solutions in Sustainable Development of Lake Urmia Watershed, Tabriz. Volume 56, Issue 3 October 2025 Pages 115-131.
- Ahmed Mustafa , Martin Bruwier , Pierre Archambeau , Sébastien Erpicum , Michel Pirotton , Benjamin De wals , Jacques Teller . Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments, Journal of Environmental Management. Volume 225, 1 November 2018, Pages 193-204.
- Ali, Amir Ali and Shakeri Borujeti, Nima and Soltani, Saeed and Bashari, Hossein (2013), Determination of soil hydrological group and main soil groups using SCS method and land suitability to determine land productivity pattern, Sixth National Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management, Kerman.
- Angelidou M., Balla C., Manousaridou A., Marmeloudis S., Nalmpantis D., Regional Science Inquiry, Vol. X, (3), 2018, pp. 33-45.
- Angelidou, M., Psaltoglou, A., Komninos, N., Kakderi, C., Tsarchopoulos, P. and Panori, A. (2018), "Enhancing sustainable urban development through smart city applications", Journal of Science and Technology Policy Management, Vol. 9 No. 2, pp. 146-169.
- Aristeidis Kastridis, Dimitrios Stathis, Evaluation of Hydrological and Hydraulic Models Applied in Typical Mediterranean Ungauged Watersheds Using Post-Flash-Flood Measurements Hydrology 2020, 7(1), 12.
- Bahman Vaisi Nabi Kandi, Arman Rast Khadio, Faezeh Shoja (1403). Modeling the impact of land use/land cover change on urban ecological resilience to flooding, a study of Rasht city, Quarterly Journal of Agriculture and Natural Resources. Journal of Natural Environment, No. 3, 385_400.
- Bose, S., Mazumdar, A. Urban flood risk assessment and mitigation with InVEST-UFRM model: a case study on Kolkata city, West Bengal state (India). *Arab J Geosci* **16**, 320 (2023).
- Bradford RA, O'Sullivan JJ, van der Craats M, Krywkow J, Rotko P, Aaltonen J, Bonaiuto M, De Dominicis S, Waylen K, Schelfaut K (2012) Risk perception – issues for flood management in Europe. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 12:2299–2309.
- Catherine F. Grasham, Marina Korzenevica, Katrina J. Charles On considering climate resilience in urban water security: A review of the vulnerability of the urban poor in sub-Saharan Africa Volume6, Issue3 May/June 2019 wires water. Volume6, Issue3 May/June 2019 e1344.
- Christopher C. Sampson, Andrew M. Smith, Paul D. Bates, Jeffrey C. Neal, Lorenzo Alfieri, Jim E. Freer, A high-resolution global flood hazard model, water resources resarche. Volume51, Issue9 September 2015 Pages 7358-7381.
- CRED; UNDRR. Human Cost of Disasters an Overview of the Last 20 Years 2000–2019; UNDRR: Geneva, Switzerland, 2020.
- Daryanvard, Mehdi, Ahmadi, Jafar, Rezaei, Mojtaba, and Moghaddam, Mustafa, 2025, Investigation of new methods of collecting surface water for sustainable urban development, 26th National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Shirvan.
- Daniel B. Wright, James A. Smith, Mary Lynn Baeck Flood frequency analysis using radar rainfall fields and stochastic storm transposition Hydroclimatology of flash flooding in Atlanta Volume50, Issue2 February 2014 Pages 1592-1615.
- Denissen, A.-K. Climate Change & Its Impacts on Bangladesh. 2012, artikel/climate-change-its-impacts-bangladesh accessed on 5 April 2021. pp. 86–95.
- E. Mignot , A. Paquier , S. Haider Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations. Journal of Hydrology Volume 327, Issues 1–2, 30 July 2006, Pages 186-199.
- Esmailpour, Marzieh. (2024) flood risk assessment in the Ojanchay watershed using fuzzy logic and HEC-HMS hydrological model, Journal of Geography and Environmental Hazards (2)13, 65_91.

- Farnam, Sina and Mokhtarpour, Akbar and Ghashqaei, Amirhossein and Nejadnik, Pouya. (2019), Flood Management and Strategies to Combat It, 18th Iranian Hydraulic Conference, Tehran.
- Frans Klijn , Heidi Kreibich , Hans de Moel , Edmund Penning-Rowsell, Adaptive flood risk management planning based on a comprehensive flood risk conceptualization, An International Journal Devoted to Scientific, Engineering, Socio-Economic and Policy Responses to Environmental Change, Volume 20, pages 845–864, (2015).
- James A. Smith Mary Lynn Baec Gabriele Villarini Daniel B. Wright, and Witold Krajewski Extreme Flood Response: The June 2008 Flooding in Iowa Journal of Hydrometeorology Page(s): 1810–1825.
- Hadi Allafta and Christian Opp GIS-based multi-criteria analysis for flood prone areas mapping in the trans-boundary Shatt Al-Arab basin, Iraq-Iran GEOMATICS, NATURAL HAZARDS AND RISK 2021, VOL. 12, NO. 1, 2087–2116 .
- Hemmatzadeh, Yalda, Barani, Hossein, and Kabir, Atena. (2009). The role of vegetation management on surface runoff (Case study: Kechik watershed, Golestan province). Soil and Water Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources), 16(2), 19-33.
- Hernantes, J.; Maraña, P.; Gimenez, R.; Sarriegi, J.M.; Labaka, L. Towards Resilient Cities: A Maturity Model for Operationalizing Resilience. Cities 2019, 84, 96–103.
- Hernández-Hernández, M., Olcina, J., and Morote, Á. F. (2020). Urban stormwater management, a tool for adapting to climate change: from risk to resource. Water 12, 1–20.
- Hosseini Rostami, Sepideh Sadat, Zakir Haqiqi, Kianoush and Zabihi, Hossein. (2025). Social analysis of the flood in Aq Qala city based on the framework of development and political institutional analysis. (PIAD) Journal of Natural Environmental Hazards (43)14, 11_79.
- Ganji, Kamran and Gharechelo, Saeed and Ahmadi, Ahmad and Avari Doghaei, Mahmoud. (2019), Preparing a flood risk vulnerability map of Aq Qala city using the AHP method, 19th Iranian Hydraulic Conference, Mashhad.
- Ghorbani, Rasoul, Karabsi, Pooran and Varostaei, Shahrivar (2022). Maragheh city sprawl and periurban land use changes. Journal of Periurban Space Development » Volume 3, Number 1, Spring and Summer 1400.1-18.
- Kardin Hamedani, Reza, Azadi, Saeed, Marouf, Safar, and Taheri Tizro, Abdollah. (2018). The effect of slope rate and direction on sediment and surface runoff, case study: Gonbad watershed. Watershed Engineering and Management, 10(4), 659-670.
- Karimullah Sefat ORCID Icon and Ryota Tsubaki, Flood Risk Assessment of the Middle Reach of the Helmand River, Afghanistan, JDR Vol.19 No.2 pp. 455-464(2024).
- Kevin E. Trenberth Understanding climate change through Earth's energy flows March 2020 Journal of the Royal Society of New Zealand 50(775):1-17.
- L. Cheng, J. Abraham, K.E. Trenberth, J. Fasullo, T. Boyer, R. Locarnini, B. Zhang, F. Yu, L. Wan, X. Chen, X. Song, Y. Liu, M.E. Mann, F. Reseghetti, S. Simoncelli, V. Gouretski, G. Chen, A. Mishonov, J. Reagan, J. Zhu Upper Ocean temperatures hit record high in 2022 Adv. Atmos. Sci., 38 (2021), pp. 523-530.
- Mehryar, S., Surminski, S., 2022. Investigating flood resilience perceptions and supporting collective decision-making through fuzzy cognitive mapping. Science of the Total Environment 837, 155854.
- Moghadas, M.; Asadzadeh, A.; Vafeidis, A.; Fekete, A.; Kötter, T. A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. Int. J. Disaster Risk Reduct. 2019. Volume 35, April 2019, 101069.
- Negaresh, Hossein, and Veisi, Jalil. (2013). Analysis of the effects of precipitation changes on flood risk in the Ravand River basin (West Islamabad region-Kermanshah province). Regional Planning, 3(11), 79-97.
- Negahban Saeed, Marhamat, M. (2024). Flood risk zoning in Jahrom urban basin using machine algorithm (Maxent). Hydrogeomorphology, 11(41): 27– 47.
- Peyman Yariyan a , Mohammadtaghi Avand b , Rahim Ali Abbaspour c , Ali Torabi Haghighi d , Romulus Costachee, f , Omid Ghorbanzadeh g , Saeid Janizadeh band Thomas Blaschke, Flood susceptibility mapping

using an improved analytic network process with statistical models, *GEOMATICS, NATURAL HAZARDS AND RISK* 2020, VOL. 11, NO. 1, 2282–2314.

Qi, Y., Chan, F. K. S., Thorne, C., O'Donnell, E., Quagliolo, C., Comino, E., et al. (2020). Addressing challenges of urban water management in chinese sponge cities via nature-based solutions. *Water* 12, 1–24.

Rey, Emmanuel Laprise, Martine ,Lufkin, Sophie The Multiple Potentials of Urban Brownfields, 2022 *Neighbourhoods in Transition. Brownfield Regeneration in European Metropolitan Areas.* 978-3-030-82207-1.

Rey, W., Martínez-Amador, M., Salles, P., Mendoza, E. T., Trejo-Rangel, M. A., Franklin, G. L., Ruiz-Salcines, P., Appendini, C. M., & Quintero-Ibáñez, J. (2020). Assessing Different Flood Risk and Damage Approaches: A Case of Study in Progreso, Yucatan, Mexico. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(2), 137 .

Rodell, M., Li, B. Changing intensity of hydroclimatic extreme events revealed by GRACE and GRACE-FO. *Nat Water* 1, 241–248 (2023).

Sami, Ebrahim and Ebadi, Maryam. (2024). Zoning of urban flood risk using analytical network (ANP) and fuzzy logic, case study: Maragheh city. *Quarterly Journal of Urban Ecology Research* 15 No. 1 (34), 171-18.

Talebi Ahmad, Raigani Behzad, Talaian Mohammad, and Abbasi Goodarzi Fariba. (2019). Evaluation of the possible effects of land use changes on water quality of Shadegan Wetland using remote sensing data, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Summer 2019, Volume 7 - Issue 2, pp. 33-48.

Tayyab, M.; Zhang, J.; Hussain, M.; Ullah, S.; Liu, X.; Khan, S.N.; Baig, M.A.; Hassan, W.; Al-Shaibah, B. GIS-Based Urban Flood Resilience Assessment Using Urban Flood Resilience Model: A Case Study of Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Remote Sens. Journal: Remote Sens.*, 2021 Volume: 13 Number: 1864.

Tierolf, L., de Moel, H., van Vliet, J., 2021. Modeling urban development and its exposure to river flood risk in Southeast Asia. *Computers, Environment and Urban Systems* 87, 101620.

Tze Huey Tam, Muhammad Zulkarnain Abdul Rahman, Sobri Harun, Shamsuddin Shahid, Sophal Try, Mohamad Hidayat Jamal, Zamri Ismail, Khamarrul Azahari Razak, Mohd Khairolden Ghani, Yusrin Faiz Abdul Wahab , Flood hazard assessment using design rainfall under climate change scenarios in the Kelantan River Basin, Malaysia, *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment* ISSN: 1759-5908.

Viktor Rözer, Sara Mehryar and Swenja Surminski From managing risk to increasing resilience: a review on the development of urban flood resilience, its assessment and the implications for decision making, *Environmental Research Letters*, Volume 17, Number 12.

Xie, J.; Wu, C.; Li, H.; Chen, G. Study on Storm-Water Management of Grassed Swales and Permeable Pavement Based on SWMM. *Water* 2017, 9, 840.

Xuefei Mei, Zhijun Dai, Stephen E. Darby, Shu Gao, Jie Wang, Weiguo Jiang . Modulation of Extreme Flood Levels by Impoundment Significantly Offset by Floodplain Loss Downstream of the Three Gorges Dam. *Geophysical Research Letters: Volume 45, Issue 7. Pages 3147-3155.*

Xu, Z., Ma, J., Zheng, H., Wang, L., Ying, L., Li, R., Yang, Y., 2024. Quantification of the flood mitigation ecosystem service by coupling hydrological and hydrodynamic models. *Ecosystem Services* 68, 101640.

X. Wang, J. Guo, A. Fenech, A.A. Farooque Future climate projections for Eastern Canada *Clim. Dynam.*, 59 (2022), pp. 2735-2750.

Yarian, Peyman and Karami, Mohammad Reza (2020). Assessment and uncertainty of vulnerability of cities due to earthquakes using FAHP model, case study: Sanandaj city. *Quarterly Journal of Geography and Environmental Hazards*, Volume: 8, Issue: 31.

Zarei Mehdi, Zandi Rahman, Naeemi Tabar Mahnaz. Assessing the potential for flood occurrence using support vector machine, CHIAD and random forest data mining models (Case study: Farizi watershed) *Journal of Watershed Management* 2022; 13 (25): 144-133.

- Ziaian Firuzabadi Parviz, Badragnejad Ayoub, Sarli Reza, Babaei Mahboob. Measuring and identifying flood prone areas from the perspective of geological formations in the Birjand watershed using RS/GIS. *Applied Research in Geographic Sciences* 2020; 20 (57): 24-1.
- Zainali Batul, Mahdi Fourotan (2025). Identifying flood-prone areas in the Yamchi watershed by monitoring spectral indices and satellite data. *Journal Hydrogeomorphology*, 12(44): 132 – 150.
- Zhou, Q.; Leng, G.; Su, J.; Ren, Y. Comparison of Urbanization and Climate Change Impacts on Urban Flood Volumes: Importance of Urban Planning and Drainage Adaptation. *Sci. Total Environ.* 2019, 658, 24–33.
- Zhang, Z., Zhang, J., Zhang, Y., Chen, Y., Yan, J., 2023. Urban flood resilience evaluation based on GIS and multi-source data: a case study of Changchun City. *Remote Sensing* 15(7), 1872.
- Zhou, Z., Smith, J. A., Baeck, M. L., Wright, D. B., Smith, B. K., and Liu, S.: The impact of the spatiotemporal structure of rainfall on flood frequency over a small urban watershed: an approach coupling stochastic storm transposition and hydrologic modeling, *Hydrol. Earth Syst. Sci* 2021, 25(9), 4701–4717.