تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال بیست و دوم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵
Volume 22, No.1, Spring 2026 (IR-WRR)
۳-۱۶

بررسی تأثیر تغییرات مدت بارش و پوشش گیاهی بر میزان خطرپذیری در اجزای سامانه آبرسانی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی

سینا صفری[۱]، مسعود تابش[۲*]

چکیده

تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت در شهرها و به طبع آن افزایش ساخت و ساز در حریم رودخانه‌ها و تخریب جنگل‌ها و تغییر در بافت پوشش گیاهی باعث شده‌اند که در سال‌های اخیر فرکانس سیلاب‌ها و شدت اثر آن‌ها افزایش یابد. از عوامل مؤثر در عمق سیلاب و در نتیجه عمق آب‌گرفتگی، پوشش گیاهی و مدت بارش هستند. برای بررسی تأثیر این عوامل بر میزان عمق آب‌گرفتگی، در این مقاله سیلاب سال ۱۳۹۸ لرستان بر روی رودخانه کشکان با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS مدل‌سازی شد تا تأثیر هم‌زمان دو عامل پوشش گیاهی و مدت بارش بر آب‌گرفتگی ایستگاه پمپاژ سامانه آبرسانی شهر پلدختر بررسی شود. برای این منظور، سناریوهای مختلف تغییر ضریب زبری و مدت بارش در مدل اجرا شد تا تأثیر هرکدام بر عمق آب‌گرفتگی بررسی شود. برای تهیه این سناریوها تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه تا سال ۲۰۴۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پیش‌بینی شد. در این روش علاوه بر بررسی تغییرات عمق سیلاب، سرعت جریان نیز در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله از مدل هیدرولیکی در سناریوهای مختلف، با افزایش ضریب مانینگ معادل به مقدار ۲/۷۲ درصد بین سناریوهای دارای بیشترین و کمترین ضریب زبری (از ۰/۰۳۹۰ تا ۰/۰۴۰۳)، عمق آب‌گرفتگی به مقدار ۱۰/۳ درصد افزایش و سرعت به مقدار ۳/۴۴ درصد کاهش یافت. در سناریوهای تغییر طول بارش، با تغییر مدت بارش به مقدار ۳۰ درصد (از ۱۰- تا ۲۰ درصد)، عمق آب‌گرفتگی به مقدار ۴۴ درصد افزایش و سرعت سیلاب ۱۲/۷ درصد کاهش داشت. نتایج نشان دادند که پوشش گیاهی نسبت به مدت بارش تأثیر بیشتری بر عمق و سرعت سیلاب دارد.

کلمات کلیدی: HEC-RAS، مدل‌سازی سیلاب، خطرپذیری، آب‌گرفتگی، سامانه آبرسانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۹/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۹/۴

۱- کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول

Investigating the Impact of Variations in Rainfall Duration and Vegetation Cover on the Risk Level in Water System Components Using Hydraulic Modeling

S. Safari [1], M. Tabesh[2]*

Abstract

In recent years, due to climate changes, loss of vegetation, increase in urbanization and population growth along rivers, the frequency and intensity of floods have increased and significant damages have been done to urban infrastructures. Duration of rainfall and vegetation cover are among the important factors that affect the depth of flood and thus depth of inundation in water system components. To investigate the effect of these factors on the depth and velocity of flooding, the 2018 flood on the Kashkan River in Lorestan Province was modeled using HEC-RAS software to investigate the effect of each factor on the flooding depth in Poldokhtar pumping station. Different scenarios of changing the roughness coefficient (to represent inundation) and duration of rainfall were implemented in the model in order to check the effect of each parameter on the depth of inundation. The vegetation changes were forecasted up to year 2045 using the satellite images. In this method, in addition to checking the changes in flood depth, the flow velocity was also analyzed in the studied area. Based on the results obtained from the hydraulic model in different scenarios, an increase of the Manning coefficient by 2.72% where the roughness coefficient varies between the highest and the lowest values (between 0.0390 to 0.0403), resulted in an inundation depth increase by 10.3% and the velocity decrease by 3.44%. In duration of rainfall scenarios, with a 30% change in the duration of rainfall (from -10% to 20%), the inundation depth of flooding was increased by 44% and the flow velocity was decreased by 12.7%. Results showed that vegetation had more impact on depth and velocity of the flood compared to duration of rainfall.

Keywords: HEC-RAS, Flood Modelling, Risk, Inundation, Water Supply Systm.

eceived: December 14, 2024

Accepted: November 25, 2025

1- M.Sc., School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: sina.safari1313@gmail.com

2- Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: mtabesh@ut.ac.ir

*- Corresponding Author
Doi: 10.22034/iwrr.2025.493977.2810

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت در شهرها و به طبع آن افزایش ساخت و ساز در حریم رودخانه‌ها و تخریب جنگل‌ها و به دنبال آن ایجاد تغییر در بافت پوشش گیاهی باعث شده‌اند که در سال‌های اخیر فرکانس سیلاب‌ها و شدت اثر آن‌ها افزایش یابد. آسیب به اموال ساکنین شهرها، ایجاد وقفه در تولیدات صنعتی و خدمات و تلفات انسانی از جمله بلایایی هستند که بر اثر سیلاب در مقیاس محلی و مقیاس بین‌المللی خسارت زیادی وارد می‌آورند. برای انجام یک مطالعه درباره مخاطرات زیرساخت‌های شهری ابتدا باید شناخت مناسبی از مخاطره موردنظر داشت. مدل‌سازی‌های کامپیوتری یکی از ابزارهای رایج برای ارزیابی شدت و گستره مخاطرات طبیعی در زیرساخت‌ها هستند. برای یافتن بهترین روش‌ها برای مدیریت این مخاطرات باید نتایج حاصل از مدل‌سازی ارزیابی شوند. یکی از ابزارهای قابل استفاده برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر خسارت به سیلاب، مدل‌سازی سیلاب است. در ادامه به برخی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه اشاره شده است.

Abdulrazzak et al. (2019) در یک پژوهش خطرپذیری و ریسک سیلاب ناگهانی را در شهر مدینه محاسبه کردند. برای محاسبه ریسک از یک روش ماتریس ریسک استفاده شد. در این آنالیز، ترکیبی از مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفتند تا مناطق در معرض آب‌گرفتگی تخمین زده شود. در انتها ماتریس ریسک با استفاده از احتمال سیلاب و عمق آب‌گرفتگی تهیه شد. Eftekhari et al. (2011) با استفاده از مدل HEC-RAS مطالعه‌ای بر روی رودخانه اترک انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش ضریب زبری، گستره پهنه سیل افزایش می‌یابد. Sugianto et al. (2022) در پژوهشی تأثیر تغییرات در کاربری زمین بر وقوع سیلاب را در شهر Aceh بررسی کردند. در این پژوهش تغییرات کاربری زمین از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ بررسی شد و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مناطق تحت اثر سیلاب مشخص شد. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش مساحت زمین‌های زراعی و مسکونی، خطرپذیری ناشی از سیلاب به میزان حدود ۶۸٪ مساحت کل منطقه افزایش یافته است.

Praskievicz et al. (2020) در یک پژوهش اثرات ضریب زبری را در شرایط مختلف توپوگرافی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی تحلیل کردند. در این پژوهش دو رویداد سیلاب در فلوریدا (منطقه جنگلی) و تگزاس (منطقه شهری) با استفاده از دو محدوده ضریب مانینگ مدل‌سازی شدند که این ضرایب برای پوشش‌های مختلف تا ۲۰٪ اختلاف داشتند. نتایج این مدل‌سازی نشان داد که عمق سیلاب در مناطق شهری نسبت به مناطق جنگلی در برابر تغییرات ضرایب مانینگ حساسیت بیشتری دارد. Emanuelsson et al. (2014) خطر سیل را برای اجزای شبکه آب و فاضلاب ارزیابی کردند. در این پژوهش سناریوهای مختلف بارش شدید باران مورد بررسی قرار گرفت.(2016) Sheikh Alishahi et al. سیل را در حوضه آبریز منشاد استان یزد با استفاده از مدل هیدرولیکی پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با مدل HEC-RAS در تحلیل مناطق سیل‌خیز باعث تسهیل محاسبات و کاهش نیاز به عملیات میدانی خواهد شد و کاربرد آن در حوضه‌های آبریزها توصیه می‌شود. Bezak et al. (2018) در یک پژوهش ده سناریوی متفاوت سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت بین ۱۰ تا ۱۰۰ ساله را مورد مطالعه قرار دادند تا اثر مدت بارش بر نتایج مدل هیدرولیکی بررسی شود. در این سناریوها با استفاده از نتایج مدل هیدرولیکی تغییرات گستره سیلاب و سرعت جریان بررسی شد. نتایج حاصله از مدل‌سازی نشان دادند که انتخاب سیل مناسب برای مدل‌سازی اهمیت قابل‌توجهی دارد، زیرا تغییرات زیادی در نقشه حدود سیلاب مشاهده شد.

Mohammadi Kia (2017) ریسک محیط‌زیستی وقوع سیل را بررسی و سیل‌خیزی را پهنه‌بندی کرد. در این پژوهش از داده‌های هیدرومتری و نقشه توپوگرافی محیط رودخانه زرینه‌رود در نرم‌افزار HEC-RAS استفاده شد تا یک مدل هیدرولیکی برای بررسی عوامل مؤثر بر میزان تخریب سیلاب تهیه شود. Ámon and Bene (2023) اثر مدت‌زمان بارش را در سیل‌های ناگهانی در تالاب‌های شیب‌دار بررسی کردند. در این پژوهش تلاش شد تا با استفاده از آنالیز حساسیت، پارامترهایی که بیانگر عدم قطعیت در مدت بارش در سیلاب‌های ناگهانی هستند پیدا شده و اثر آن‌ها بررسی شود. بر اساس نتایج حاصله از مدل هیدرولیکی، اوج دبی جریان در مدت‌های بارش یک ساعته بیشتر از مدت‌های بارش بالای دو ساعت بود. Kiss and Fehérváry (2023) با استفاده از یک مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS تلاش کردند تا اثرات چگالی پوشش گیاهی در حریم و بستر رودخانه را بر جریان سیلاب تحلیل کنند. در این پژوهش از داده‌های سیستم جغرافیایی LiDAR برای تشخیص بافت و چگالی پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد که در یک دوره صد ساله، افزایش چگالی پوشش گیاهی حریم رودخانه تا ۳۵ درصد باعث افزایش ارتفاع سیلاب به مقدار ۱۷ سانتی‌متر شد. با ادامه این روند، انتظار می‌رود که این مقدار به ۷ سانتی‌متر دیگر افزایش یابد. Feizbahr et al. (2021) اثرات پوشش گیاهی بر جذب انرژی سیلاب در کانال‌های باز را بررسی

کردند. ۴۸ مدل هیدرولیکی ساخته شد تا اثرات ضرایب زبری در کانال مورد بررسی قرار گیرند. نتایج نشان داد که در سرعت‌های پایین، پوشش گیاهی کانال تأثیر زیادی در کاهش سرعت در بستر رودخانه ندارد در حالی که در سرعت‌های پایین این تأثیر زیاد است. Alonso et al. (2024) اثرات تغییرات کاربری اراضی را بر ریسک سیلاب بررسی کردند. در این پژوهش دو محدوده رودخانه در کشورهای اسپانیا و اسلوونی در نرم‌افزار HEC-HMS مورد مطالعه قرار گرفتند. در این مناطق مطالعاتی اثرات تغییر کاربری زمین از کشاورزی به جنگل و بالعکس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در اسپانیا، با توجه به اولویت داشتن کشاورزی، جنگل‌کاری در بالادست رودخانه ریسک سیلاب را کاهش می‌دهد و تغییرات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه اسلوونی تغییرات کمی را در تمام شرایط نشان دادند.

با مطالعه انواع پژوهش‌های انجام شده در رابطه با عواملی که بر سیلاب تأثیر می‌گذارند، این نتیجه حاصل می‌شود که پارامترهایی مانند پوشش گیاهی و مشخصات بارش اهمیت قابل‌توجهی دارند. اما در پژوهش‌های انجام شده عموماً یکی از این پارامترها مورد آزمایش قرار گرفته و درباره توأم این عوامل با یکدیگر پژوهش‌های زیادی انجام نشده است. با توجه به این امر، در این پژوهش با مدل‌سازی دو عامل پوشش گیاهی و مدت بارش، اهمیت این دو پارامتر در تغییرات سرعت و ارتفاع سیلاب مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر این اساس با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار HEC-RAS برای شبیه‌سازی سیلاب و امکان مشخص کردن گستره، ارتفاع، سرعت سیلاب، رایگان بودن و دقت بیشتر برای محاسبه حالات جریان ناماندگار، برای رودخانه کشکان در نزدیکی شهر پلدختر واقع در استان لرستان مدل‌سازی هیدرولیکی انجام شد و با تغییر ضریب زبری و طول مدت بارش، تأثیر این عوامل در میزان آب‌گرفتگی یک ایستگاه پمپاژ مورد بررسی قرار گرفت. فلوچارت مراحل مختلف پژوهش در شکل ۱ مشخص شده‌اند. نوآوری‌های پژوهش با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

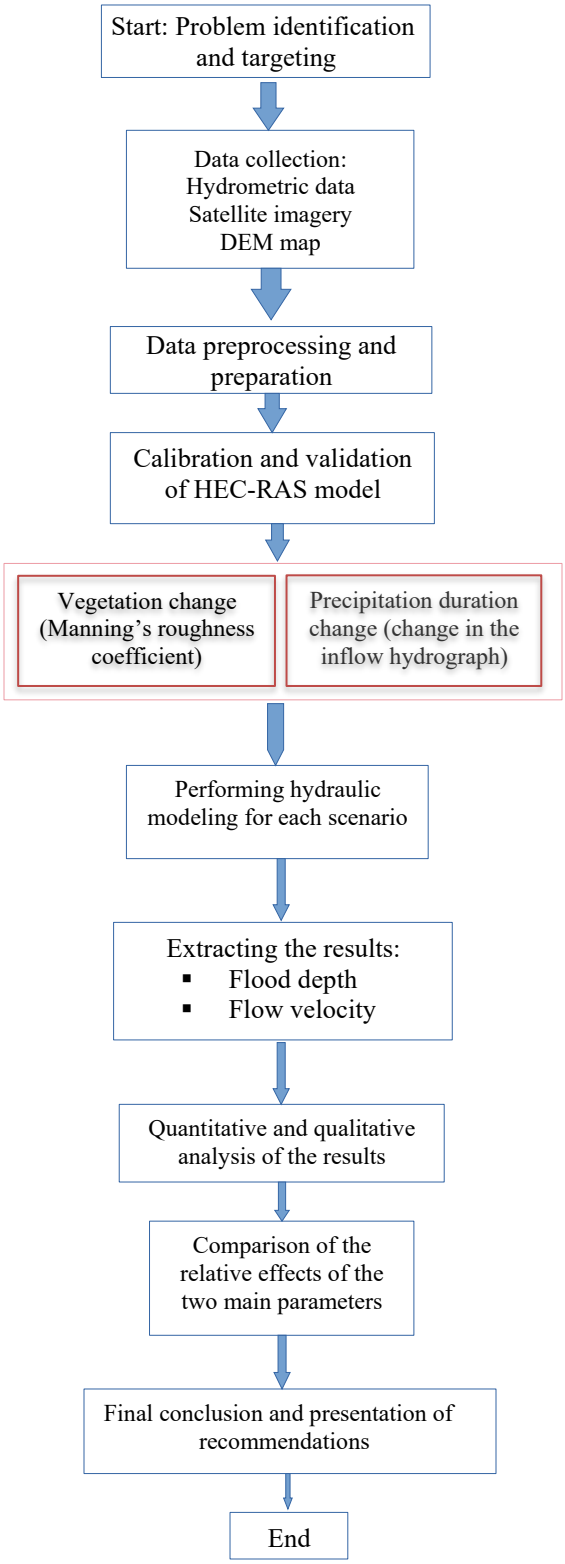


Fig. 1- Flowchart of the research process

شکل ۱- فلوچارت روند تحقیق

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل کامپیوتری HEC-RAS

مدل HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا[1] توسعه یافته است. این نرم‌افزار توانایی مدل‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی کانال‌ها را دارد. تمرکز این نرم‌افزار بر روی مدل‌سازی و شبیه‌سازی آب در کانال‌های طبیعی و یا مصنوعی است. این نرم‌افزار توانایی مدل‌سازی رسوبات و آلاینده‌های شیمیایی در جریان را نیز دارد. نرم‌افزار HEC-RAS سطح آب و سرعت جریان را محاسبه می‌کند و مدل‌های یک یا دوبعدی برای شبیه‌سازی حرکت آب را در حالت ماندگار یا غیرماندگار تهیه می‌کند (USACE, 2010). برای محاسبه پروفیل سطح آب در این نرم‌افزار به اطلاعاتی مانند داده‌های هندسی (مقاطع عرضی و ضریب مانینگ)، اطلاعات جریان شامل اندازه‌گیری رقوم سطح آب در ایستگاه‌های هیدرومتری ابتدایی و انتهایی برای کالیبراسیون در آینده و شرایط مرزی جریان نیاز است. داده‌های هندسی با استفاده از نقشه‌های رقوم ارتفاعی (DEM)[2] که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شدند به دست آمدند. پس از تهیه پلان شبکه رودخانه‌ای و سایر اطلاعات جریان، سیل در نرم‌افزار مدل‌سازی می‌شود. پس از مدل‌سازی سیلاب در نرم‌افزار، به کالیبراسیون نیاز است تا مدل اصلاح شود. هدف از کالیبراسیون تخمین ضریب زبری مانینگ سیلاب‌دشت و بستر رودخانه است. این روند به این صورت انجام می‌شود که در ازای یک دبی مشخص با تغییر ضریب مانینگ، تراز محاسباتی نرم‌افزار با تراز مشاهداتی منطبق شود. در این پژوهش با توجه به این‌که به دقت بالایی برای ارزیابی میزان آب‌گرفتگی تجهیزات نیاز است، مدل‌سازی با روش جریان ناماندگار انجام می‌شود.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در جنوب غرب کشور واقع شده است. رودخانه کرخه یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه خلیج فارس است که آب منطقه وسیعی از استان‌های ایلام، کرمانشاه، لرستان و همدان را جمع‌آوری می‌کند. کرخه دارای چند شعبه اصلی و تعداد زیادی شعب فرعی است. کشکان شاخه دیگر رودخانه کرخه است که در استان لرستان جاری بوده و از ارتفاعات شمالی و شرقی خرم‌آباد منشأ می‌گیرد. با توجه به گزارش‌های وزارت نیرو، همه رودخانه‌ها و سدهای استان لرستان با ورود سامانه بارشی فروردین ۱۳۹۸، سرریز نموده و سیلابی شدند. اما در میان رودخانه‌های استان، رودخانه کشکان و سرشاخه‌های آن بیشترین مشکل را داشتند و نقاط بحرانی استان، شهرستان‌های پلدختر و دورود اعلام شد. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه هیدرومتری برای مدل‌سازی سیل سال ۱۳۹۸ استفاده شد. ایستگاه‌های هیدرومتری متعددی بر روی رودخانه کشکان وجود دارند که با توجه به موقعیت ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه در نزدیکی شهر پلدختر در شکل ۲، ایستگاه هیدرومتری افرینه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۲ نمودار دبی ساعتی سیلاب رودخانه کشکان از ۱۱ فروردین ماه تا ۱۵ فروردین سال ۱۳۹۸ قابل مشاهده است (National Water and Wastewater Engineering Company of Iran, 2022). شکل ۳ نیز هیدروگراف دبی سیلاب در ایستگاه هیدرومتری افرینه را نشان می‌دهد.

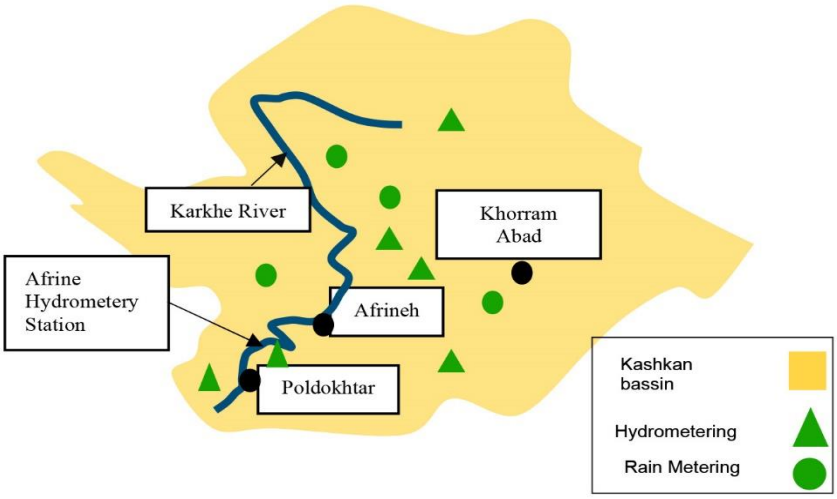


Fig. 2- Map of the Karkheh River Basin and the hydrometric stations in Lorestan Province

شکل ۲- نقشه حوضه رودخانه کرخه و ایستگاه‌های هیدرومتری در استان لرستان

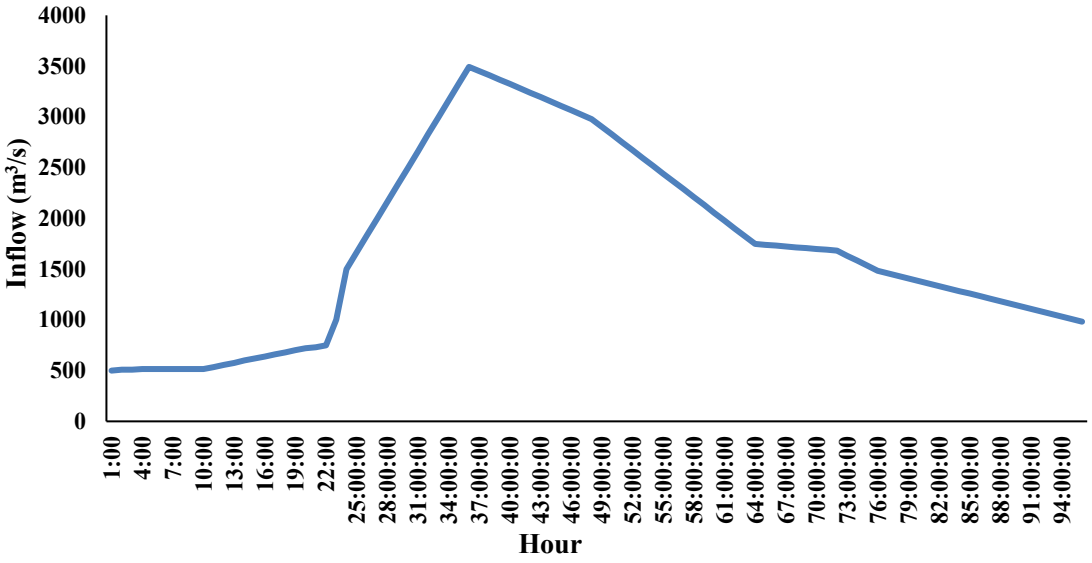


Fig. 3- Flood discharge hydrograph at the Afrineh hydrometric station

شکل ۳- هیدروگراف دبی سیلاب در ایستگاه هیدرومتری افرینه

۲-۳- کاربری اراضی

کاربری اصلی اراضی در منطقه مورد مطالعه، عمدتاً اراضی مرتعی، زراعی، مسکونی و باغی است. نحوه کاربری اراضی در شدت و میزان سیلاب مؤثر است. بر اساس اطلاعات موجود در تصاویر ماهواره‌ای درصد وسعت انواع پوشش گیاهی در محدوده سیلاب در جدول ۱ قابل مشاهده است. در این جدول ضرایب زبری نهایی استفاده شده برای هر بافت پوشش گیاهی بر اساس Chow (1959) نیز درج شده است. برای ایجاد سناریوهای مختلف تغییر پوشش گیاهی ابتدا باید به روند کلی تغییر پوشش گیاهی در این منطقه در طول زمان دست یافت تا میزان تغییرات در ضریب زبری به طرز واقع‌گرایانه‌ای اعمال شود. برای این امر ابتدا فرایند تغییرات پوشش گیاهی از گذشته تا زمان حال مورد بررسی قرار گرفت تا بر مبنای آن بتوان روندی را برای تغییرات در آینده (سال ۲۰۴۵) پیش‌بینی کرد. با استفاده از ابزار Google Earth تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه در ۱۳ سال پیش بررسی شده و مساحت انواع پوشش گیاهی در این تاریخ محاسبه شد. نمایی از نحوه تغییر بخشی از محدوده مورد مطالعه در شکل ۴ قابل مشاهده است. بر اساس این شکل، روند عمده تغییر پوشش گیاهی در این منطقه در ۱۳ سال گذشته تبدیل زمین‌های کشاورزی به زمین‌های باغی بوده است. برای درک دقیق‌تر از روند کلی تغییر پوشش گیاهی در این بازه مساحت انواع پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۴ به تفکیک در جدول ۲ مشخص شده است. با توجه به این روند تغییر پوشش گیاهی، سه سناریو برای پوشش گیاهی در سال ۲۰۴۵ ایجاد شد. در سناریوی اول فرض شد که حداکثر رشد بافت مسکونی رخ دهد. با توجه به روند طی شده در جدول ۲ این مقدار برابر با ٪۲۰ افزایش مساحت بافت مسکونی در نظر گرفته شد. در سناریوی دوم فرض شد که میزان گسترش بافت مسکونی نصف سناریوی اول و برابر ٪۱۰ باشد. برای سناریو سوم فرض حداکثر افزایش معقول زمین‌های باغی در نظر گرفته شد، به این صورت که زمین‌های باغی حدود ٪۳۰ افزایش یابند. برای آنکه تمام افزایش زمین‌های باغی در سال ۲۰۴۵ ناشی از تبدیل زمین‌های زراعی نباشد و منطقی‌تر کردن سناریو، حداکثر کاهش زمین‌های زراعی ٪۱۵ در نظر گرفته شد. برای هر یک از سناریوها بر اساس درصد مساحت هر یک از پوشش‌های گیاهی وزن‌دهی مطابق رابطه (۱) انجام شد و یک ضریب زبری معادل برای هر سناریو محاسبه شد.

$$nt = \frac{\sum(Ai \times ni)}{Atotal} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، nt: ضریب زبری کل، Ai و ni: مساحت و ضریب زبری هر منطقه با پوشش گیاهی مشخص و Atotal: مساحت کل منطقه هستند.



Fig. 4- Changes in vegetation in 2024 (right side) vs 2011 (left side)
شکل ۴- تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۱۱ (سمت چپ) نسبت به وضعیت سال ۲۰۲۴ (سمت راست)

۲-۴- مدت بارش

برای به دست آوردن دبی حاصل از رواناب از رابطه Rational Method استفاده می‌شود (رابطه (۲)). مشاهده می‌شود در به دست آوردن مقدار دبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

$$Q = 2.78CAI \quad (۲)$$

که C: ضریب رواناب، I: شدت بارش (برحسب mm/hr) و A: مساحت محدوده رودخانه (برحسب هکتار) هستند. مدت‌زمان بارش در این روش تابعی از شدت بارش است. از رابطه (۳) که رابطه Bernard نام دارد می‌توان مدت‌زمان بارش را محاسبه کرد.

$$I = \frac{a}{t^b} \quad (۳)$$

که t: مدت‌زمان بارش و a و b ضرایب محلی هستند که از مراجع هیدرولیکی و تحقیقات (Vaziri, 1992) برای استان لرستان استخراج شدند.

برای مدل‌سازی سناریوهای مختلف، از آن‌جایی که مقدار ضریب رواناب و مساحت محدوده رودخانه ثابت هستند، تغییر مدت‌زمان بارش با تغییر مقادیر مختلف t و دبی‌های جدید ایجاد شده از طریق روابط (۲) و (۳) استفاده می‌شود. دبی‌های جدید تولید شده به‌عنوان دبی ورودی سیلاب وارد نرم‌افزار شده تا تغییرات در عمق آب‌گرفتگی بررسی شود. مقدار شدت بارش برای هیدروگراف سیلاب اولیه در زمان‌های بارش (هنگامی که دبی رو به افزایش است) محاسبه شده و از طریق رابطه (۳) مقدار t اولیه به دست می‌آید. هیدروگراف سیلاب‌های جدید برای سه سناریو محاسبه شد. در سناریوی اول طول مدت بارش به مقدار ٪۱۰ افزایش یافت. در سناریوی دوم به مقدار دو برابر سناریوی اول یعنی ٪۲۰ افزایش یافت و در سناریوی سوم طول مدت بارش به مدت ٪۱۰ کاهش یافت. در شکل ۵ هیدروگراف‌های تولید شده قابل مشاهده‌اند.

Table 1- Manning coefficients in study area (Chow, 1959)
جدول ۱- ضرایب زبری محدوده مورد مطالعه

Vegetation type	Manning coefficient	Percentage of total flood area
Orchard	0.060	13.98
Agricultural land	0.025	16.43
River perimeter	0.035	9.30
Residential	0.090	4.07
Shrubland	0.035	56.20

Table 2- Changes in vegetation area from 2011 to 2024
جدول ۲- تغییرات مساحت پوشش گیاهی از ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴

Vegetation type	Area (km^2)	
	2011	**2024**
Orchard	1.027	2.554
Agricultural land	4.735	3.002
River perimeter	1.330	1.700
Residential	0.628	0.745
Shrubland	10.170	10.269

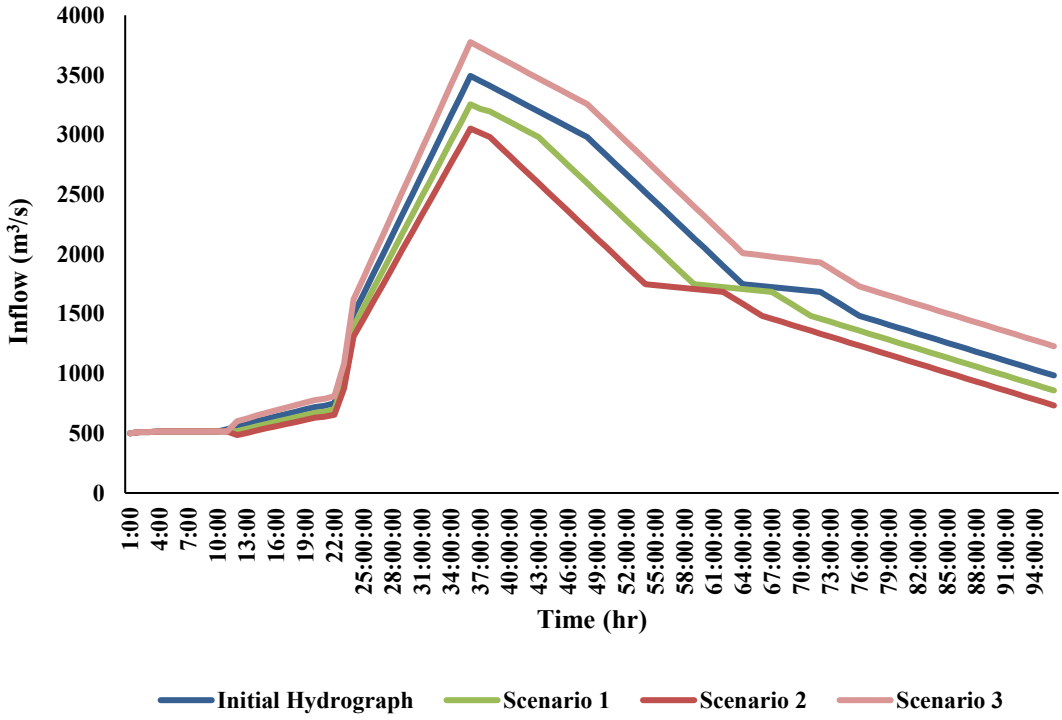


Fig. 5- Generated flow hydrographs for different rain duration scenarios
شکل ۵- هیدروگراف‌های تولید شده برای سناریوهای مدت بارش

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش برای مدل‌سازی سیلاب از نرم‌افزار HEC-RAS استفاده شد. برای کالیبراسیون مدل هیدرولیکی، ضریب مانینگ را در محدوده مجاز هر بافت پوشش گیاهی طوری باید تغییر داد تا ارتفاع سیلاب در نقطه مدنظر در ایستگاه پمپاژ واشیان، با شرایط واقعی سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ کمترین تفاوت را داشته باشد. در این تحقیق ابتدا نقشه DEM با استفاده از ابزارهای Google Earth و GIS استخراج و به فرمت tiff ساخته شد که در شکل ۶ قابل مشاهده است. سپس مدل‌سازی جریان با استفاده از روش جریان غیرماندگار صورت گرفت و سناریوهای مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند.

برای مدل‌سازی سیلاب در نرم‌افزار HEC-RAS، نقشه رقومی فراخوانی شد تا نرم‌افزار با استفاده از آن محیط سیلاب را تعیین کند. در مرحله بعد با انتخاب گزینه جریان غیرماندگار شبیه‌سازی انجام گرفت. شرط مرزی بالادست برابر با هیدروگراف ورودی سیلاب و شرط مرزی پایین‌دست برابر با عمق نرمال فرض درنظر گرفته شد تا پیچیدگی‌های مدل به حداقل برسد. برای شیب عمق نرمال از شیب مسیر رودخانه از بالاست تا پایین‌دست استفاده شد. برای این‌که پهنه آب‌گرفتگی در محدوده ایستگاه پمپاژ واشیان مشخص شود، یک لایه از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth به نقشه مدل در محیط نرم‌افزار اضافه شد. در شکل‌های ۷ و ۸، نتایج این شبیه‌سازی که آب‌گرفتگی در محدوده ایستگاه پمپاژ را با رنگ آبی نشان می‌دهد قابل مشاهده است.

پس از ساخت مدل اولیه، سناریوهای مختلف تغییرات مدت بارش و ضریب زبری اجرا شدند تا با استفاده از اختلاف بین حداقل و حداکثر عمق آب‌گرفتگی در این سناریوها، اهمیت هر یک از این دو پارامتر نسبت به یکدیگر مشخص شود. بر اساس نتایج حاصله از مدل هیدرولیکی در سناریوهای مختلف، با افزایش ضریب مانینگ معادل به مقدار ۲/۷۲ درصد بین سناریوهای دارای بیشترین و کمترین ضریب زبری (از ۰/۳۹۰ تا ۰/۴۰۳)، عمق آب‌گرفتگی به مقدار ۱۰/۳ درصد افزایش و سرعت به مقدار ۳/۴۴ درصد کاهش یافت. در سناریوهای تغییر طول بارش، با تغییر مدت بارش به مقدار ۳۰ درصد (از ۱۰- تا ۲۰ درصد)، عمق آب‌گرفتگی به مقدار ۴۴ درصد افزایش و سرعت سیلاب ۱۲/۷ درصد کاهش داشت. نتایج حاصله از آزمایش سناریوهای مختلف در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نمایش داده شده‌اند.

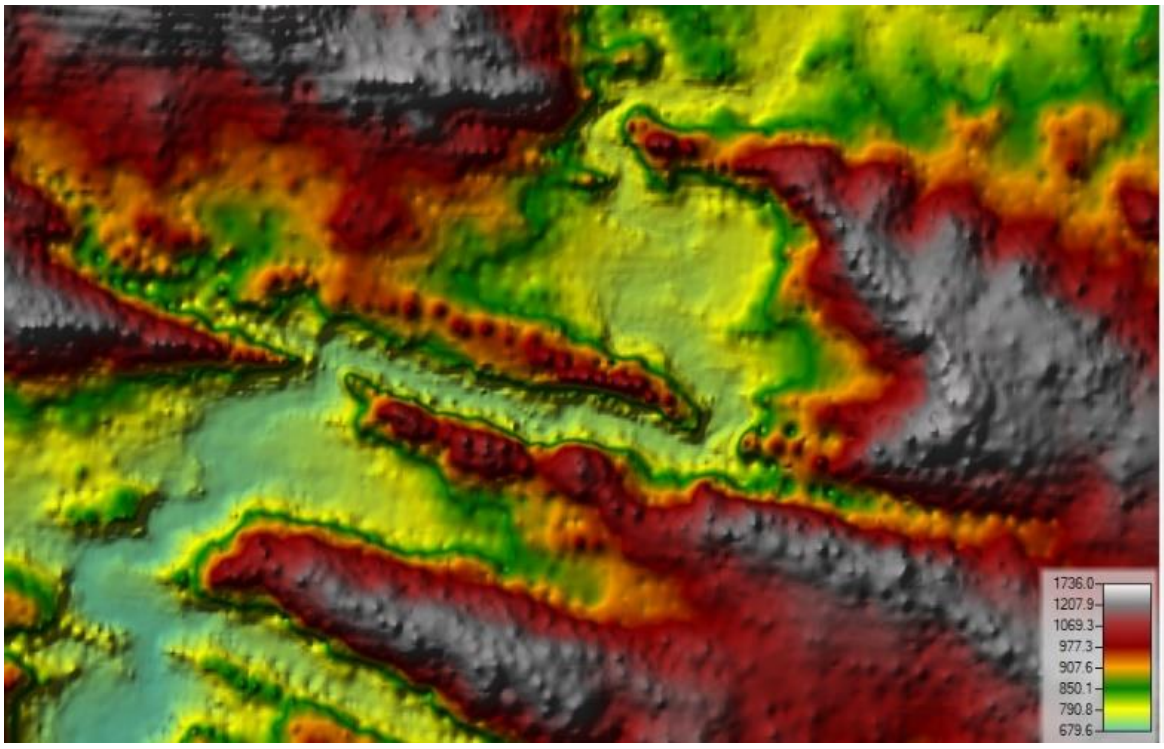


Fig. 6- DEM map of the study area
شکل ۶- نقشه رقوم ارتفاعی

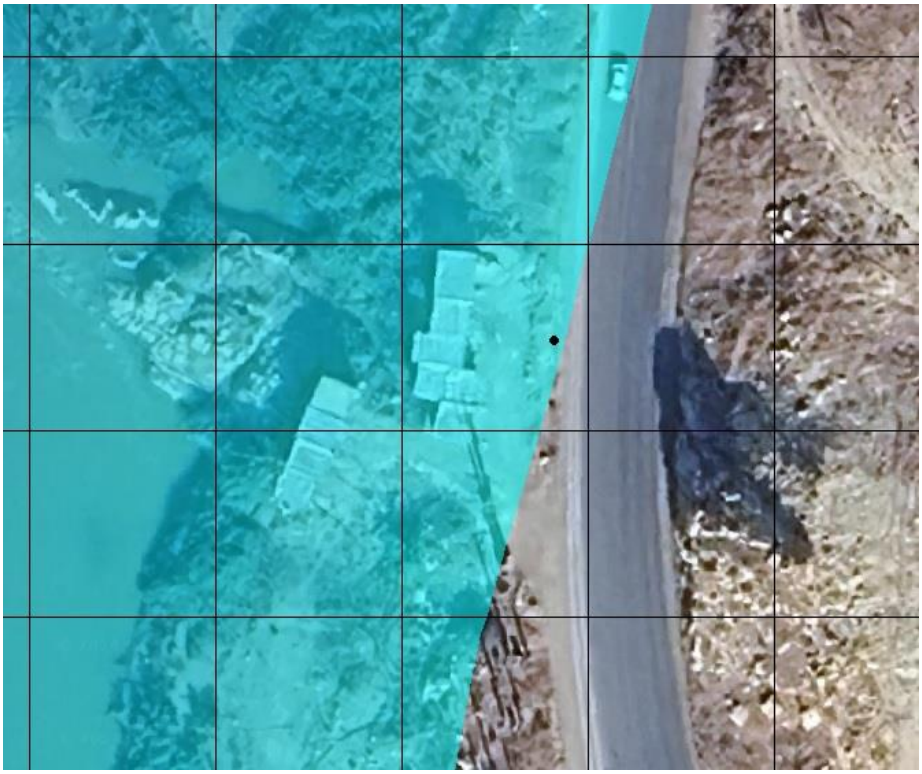


Fig. 7- Inundated area near Vashian pumping station

شکل ۷- ناحیه تحت آب‌گرفتگی در محدوده ایستگاه پمپاژ واشیان

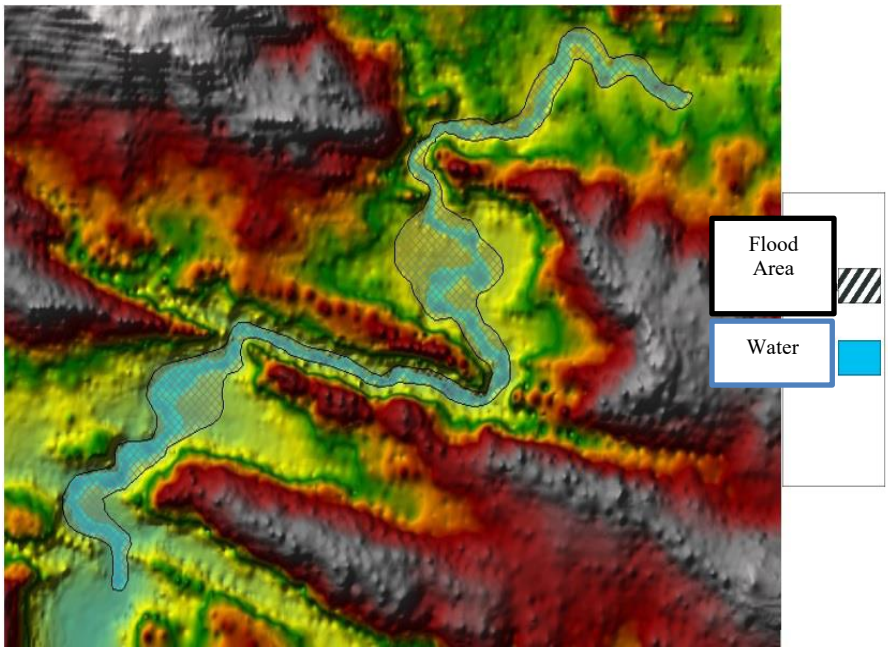


Fig. 8- Results of the flood model

شکل ۸- نتایج حاصل از مدل‌سازی سیلاب

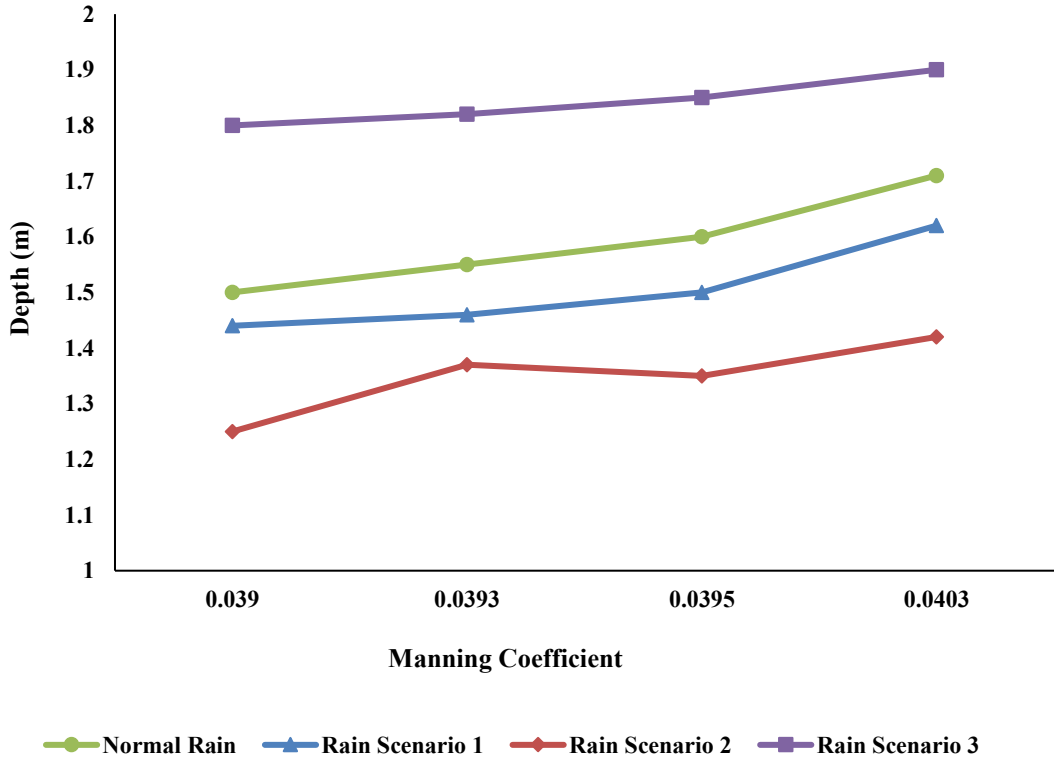


Fig. 9- Depth results obtained for different scenarios of vegetation

شکل ۹- نتایج حاصله از سناریوهای تغییر پوشش گیاهی در ضرایب مانینگ متفاوت برای عمق جریان

در شکل ۹، چهار نمودار قابل مشاهده‌اند. هر یک از این نمودارها بیانگر اجرای مدل سیلاب در هر یک از سناریوهای باراش باران هستند. هر یک از این سناریوهای بارش باران نیز در چهار سناریوی تغییر پوشش گیاهی اجرا شدند که تغییرات عمق جریان در طول هر نمودار قابل مشاهده است. در طول هر نمودار چهار نقطه مشخص شده‌اند که هرکدام ضریب مانینگ منتسب به سناریوهای تغییر پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. به‌طور کلی در تمام نمودارها افزایش عمق جریان با افزایش ضریب مانینگ مشاهده می‌شود. این تغییر در نمودارهای مختلف مدت بارش باران روند مشابهی دارند. اما با اختلاف اندکی می‌توان مشاهده کرد که در سناریوی ۳ مدت بارش باران (که بیشترین دبی سیلاب را دارد) و با رنگ زرد نمایش داده شده است، شیب تغییرات عمق جریان با افزایش ضریب مانینگ اندکی بیشتر از سناریوهای دیگر است. در سناریوی ۲ مدت بارش باران که با رنگ طوسی نمایش داده شده است، به علت این‌که که دبی کم سیلاب ورودی باعث کاهش عمق جریان و افزایش خطا شده بود، روند تغییرات عمق جریان نسبت به باقی نمودارها تفاوت دارد.

در شکل ۱۰ نیز همانند شکل ۹، چهار نمودار قابل مشاهده‌اند که هر یک از این نمودارها بیانگر اجرای مدل سیلاب در هر یک از سناریوهای بارش باران هستند. در این شکل، نمودارها تغییرات سرعت جریان را برحسب متر بر ثانیه نسبت به تغییرات ضریب مانینگ نمایش می‌دهند. در روند تغییرات سرعت جریان با افزایش ضریب مانینگ می‌توان مشاهده کرد که در مقایسه با تغییرات عمق جریان در شکل ۹، شیب تغییرات سرعت نسبت به تغییر ضریب مانینگ بیشتر است. پس می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات سرعت نسبت به عمق جریان از تغییرات ضریب مانینگ حساس‌تر است. در این شکل نیز مشاهده می‌شود که به‌دلیل افزایش خطا در سناریوی ۲ مدت بارش باران، روند تغییرات سرعت در این سناریو با بقیه متفاوت است. در بین نمودارهای دیگر همچنین، می‌توان مشاهده کرد که با افزایش دبی در سناریوهای مدت بارش باران، شیب نمودار سرعت کاهش می‌یابد که احتمالاً به علت خطای محاسبات جریان غیرماندگار در عمق کم در محدوده ایستگاه پمپاژ واشیان است.

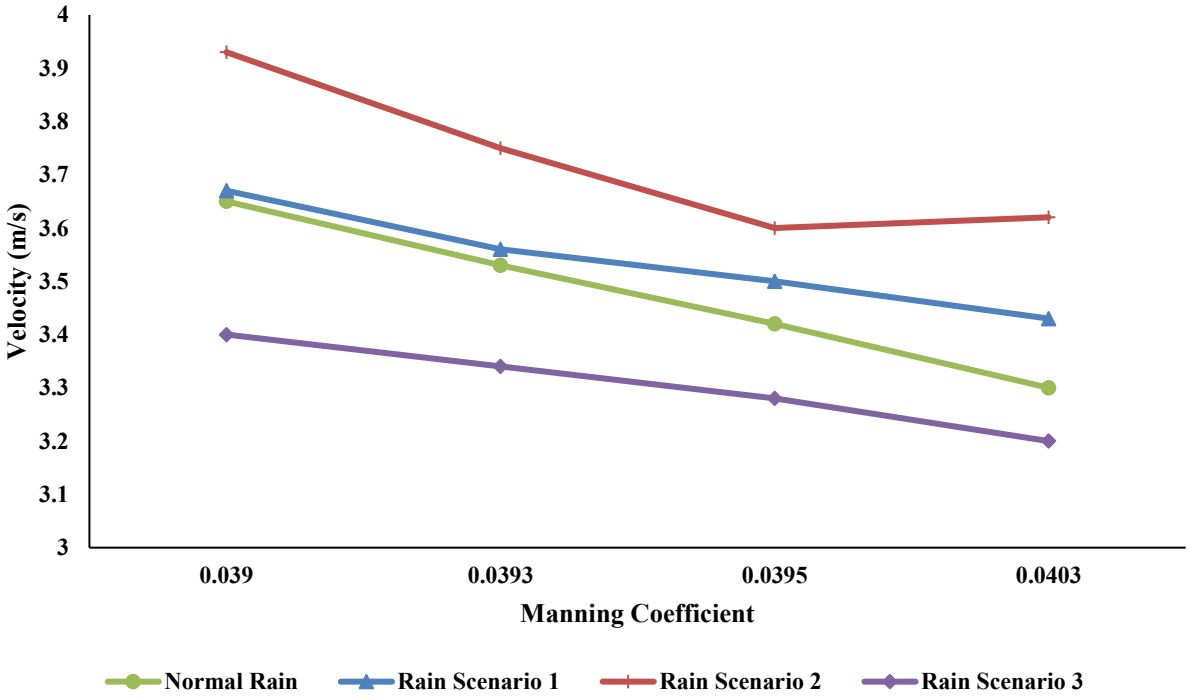


Fig. 10- Velocity results obtained for different scenarios of vegetation

شکل ۱۰- نتایج حاصله از سناریوهای تغییر پوشش گیاهی در ضرایب مانینگ متفاوت برای سرعت جریان

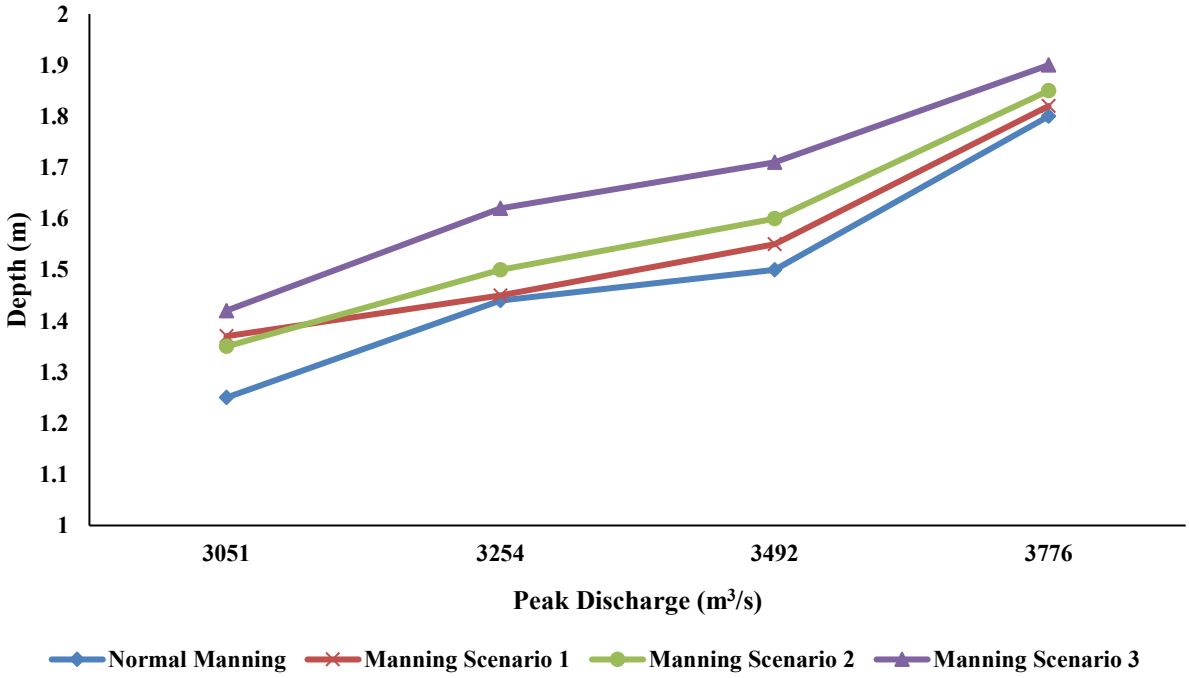


Fig. 11- Depth results obtained for different scenarios of rain duration

شکل ۱۱- نتایج حاصله از سناریوهای تغییر مدت بارش در ضرایب مختلف مانینگ برای عمق جریان

در شکل ۱۱، چهار نمودار برای نمایش تغییرات عمق سیلاب در دبی‌های مختلف نمایش داده شده‌اند. در محور افقی، برای نمایش سناریوهای تغییرات مدت بارش از عدد دبی پیک سیلاب استفاده شده است. برای هر یک سناریوهای مختلف پوشش گیاهی در هر سناریوی تغییر مدت بارش، مدل اجرا شده و هر یک از سناریوهای تغییر پوشش گیاهی با یک رنگ خاص قابل مشاهده‌اند. شماره هر یک از سناریوهای تغییر مدت بارش به‌صورت نقاطی بر روی نمودارها درج شده است. در تغییرات عمق جریان با افزایش دبی پیک سیلاب مشاهده می‌شود که در تمام نمودارها، عمق جریان با شیب تقریباً مشابهی افزایش پیدا می‌کند. با مقایسه با تغییرات عمق در شکل ۹ می‌توان نتیجه گرفت که عمق جریان در ضرایب مانینگ متفاوت نسبت به دبی‌های با پیک متفاوت، با شیب بیشتری افزایش می‌یابد. یعنی تغییرات عمق جریان نسبت به ضریب مانینگ از تغییرات عمق جریان نسبت به مدت بارش دارای حساسیت بیشتری است.

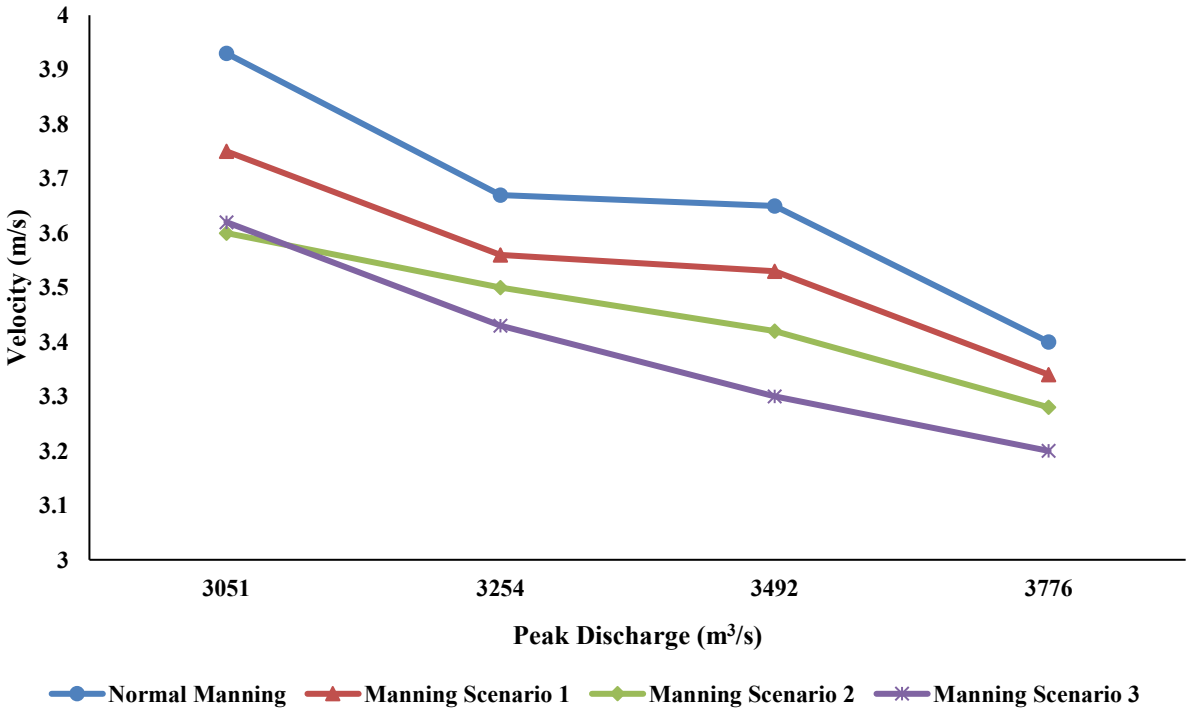


Fig. 12- Velocity results obtained for different scenarios of rain duration

شکل ۱۲- نتایج حاصله از سناریوهای تغییر مدت بارش در ضرایب مختلف مانینگ برای سرعت جریان

در شکل ۱۲ نیز مشابه شکل ۱۱ چهار نمودار ترسیم شده‌اند که هر یک بیانگر یک حالت ضریب مانینگ است که در دبی‌های پیک متفاوت مدل شده‌اند و سرعت جریان را برحسب متر بر ثانیه نمایش می‌دهند. شماره سناریوهای مدت بارش به‌صورت نقاطی بر روی هر یک از نمودارها مشخص شده است. در هر یک از نمودارها می‌توان مشاهده کرد که با افزایش دبی پیک سیلاب، سرعت جریان در تمامی حالات ضریب مانینگ کاهش یافته و در مقایسه با شکل ۱۱، تغییرات سرعت با شیب کمتری رخ داده است. این امر بیانگر تأثیرپذیری بیشتر عمق نسبت به‌سرعت جریان در برابر تغییرات مدت بارش است. در ضرایب مانینگ بالاتر (سناریوهای پوشش گیاهی شماره ۱ و ۳) کاهش سرعت نسبت به دیگر نمودارها با شیب نسبتاً بیشتری همراه است. در مقایسه با شکل ۹ می‌توان دریافت که سرعت جریان نیز همانند عمق جریان حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات پوشش گیاهی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان اثرپذیری اجزایی از جریان سیلاب مانند عمق آب‌گرفتگی و سرعت نسبت به تغییرات پوشش گیاهی و مدت بارش در محدوده اجزای سامانه آبرسانی (در این‌جا: ایستگاه پمپاژ) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای سیلاب نسبت به تغییرات در ضریب زبری و مدت بارش حساسیت قابل‌توجهی دارند، به‌طوری‌که صرفاً با افزایش ضریب مانینگ معادل به مقدار ۲/۷۲

درصد، عمق آب‌گرفتگی به مقدار ۱۰/۳ درصد افزایش و سرعت به مقدار ۳/۴۴ درصد کاهش یافت. با مقایسه نسبت تغییرات سرعت و عمق آب‌گرفتگی برای دو عامل ضریب زبری و مدت بارش، مشاهده شد که به ازای یک درصد تغییر، عامل ضریب زبری در مقایسه با عامل مدت بارش تأثیر بیشتری بر ایجاد تغییر در ارتفاع آب‌گرفتگی و سرعت جریان دارد. به‌طوری‌که با افزایش ضریب زبری به میزان ۱٪، ارتفاع آب‌گرفتگی به مقدار ٪۳ افزایش و سرعت به مقدار ۱/۲۶ درصد کاهش یافت. در حالی‌که با افزایش مدت بارش به میزان ٪ ۱، افزایش ارتفاع آب‌گرفتگی به میزان ٪۱/۴۶ و کاهش سرعت به میزان ۰/۴۲ درصد مشاهده شد. همچنین، مشاهده شد که سرعت و ارتفاع جریان سیلاب نسبت به ضریب زبری در مقابل پیک جریان تغییرات بیشتری دارند. درنهایت نتایج نشان داد که با توجه به ارتباط مستقیم ارتفاع آب‌گرفتگی و سرعت جریان با تغییرات ضریب زبری، عامل ضریب زبری که بیانگر پوشش گیاهی است، نسبت به عامل مدت بارش، تأثیر بیشتری بر ایجاد مخاطره در اجزای سامانه آبرسانی بر اثر سیلاب دارد.

پی‌نوشت‌ها

1- U.S. Army Corps of Engineers
2- Digital Elevation Model

۵- منابع

Abdulrazzak M, Elfeki A, Kamis A, Kassab M, Alamri N, Chaabani A, and Noor K (2019) Flash flood risk assessment in urban arid environment: Case study of Taibah and Islamic universities' campuses, Medina, Kingdom of Saudi Arabia. Geomaterial National Hazards Risk 10(1):780–796

Acuña-Alonso C, Álvarez X, Bezak N, and Zupanc V (2024) Modelling the impact land use change on flood risk: Umia (Spain) and Voglajna (Slovenia) case studies. Ecological Engineering 200:107185

Ámon G and Bene K (2023) Rainfall duration and parameter sensitivity on flash-flood at a steep watershed. Pollack Periodica 18(2):54-59

Bata MH, Carriveau R, and Ting DSK (2012) Urban water supply systems' resilience under earthquake scenario. Science Report 12:20555

Bezak N, Šraj M, Rusjan S, and Mikoš M (2018) Impact of the rainfall duration and temporal rainfall distribution defined using the Huff curves on the hydraulic flood modelling results. Geosciences 8(2):69

Chow VT (1959) Open channel hydraulics. McGraw-Hill, New York

Eftekhari A, Saljogh AS, and Hosseini A (2011) Evaluation of flood zoning with changes in roughness coefficient: Case study of the Atrak River. Natural Geography 4(12):106-91

Emanuelsson J (2014) Risk assessment for scenarios of increased water levels; Problem forecast and management for technical facilities within the municipality of Gothenburg. Master of Science Thesis in the Master Degree Programme, Infrastructure and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

Feizbahr M, Tonekaboni N, Jiang G, and Chen H (2021) Optimized vegetation density to dissipate Energy of flood flow in open canals. Mathematical Problems in Engineering 2021(1):9048808

Kalyanapu AJ, Jud DR, McPherson TN, and Burian SJ (2011) Monte Carlo-based flood modeling framework for estimating probability weighted flood risk. Journal of Flood Risk Management 5:37–48

Kiss T and Fehérváry I (2023) Increased riparian vegetation density and its effect on flow conditions. *Sustainability 15*:12615

Mohammadi Kia F (2018) Assessment of environmental risk of flooding and flood zoning using the HEC-RAS model (Study area: Zarrineh River in Miandoab County). Master's Thesis, Arak University (Iran) (In Persian)

National Water and Wastewater Engineering Company of Iran (2019) Effects of the spring 2019 flood on water and wastewater services. Special Committee for National Flood Reports, Management and Supervision Office, Tehran, Iran

National Water and Wastewater Engineering Company of Iran (2022) Minor damages from the floods of 2022. Special Committee for National Flood Reports, Management and Supervision Office, Tehran, Iran

Praskievicz S, Carter S, Dhondia J, and Follum M (2020) Flood-inundation modeling in an operational context: Sensitivity to topographic resolution and Manning's n. Journal of Hydroinformatics 22(5):338–1350

Sheikh Alishahi N, Jamali A, and Hasanzadeh Nefouti M (2016) Flood zoning using hydraulic modeling of river analysis (Case study: Maneshad watershed - Yazd Province). Geographical Space 16(53):77-96 (In Persian)

Sugianto S, Deli A, Miswar E, Rusdi M, and Irham M (2022) The effect of land use and land cover changes on flood occurrence in Teunom watershed, Aceh Jaya. Land 11:1271

Vaziri F (1992) Determination of relationships between short-term rainfall areas in Iran. DoctoralDissertation, K.N. Toosi University of Technology (In Persian)