



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و چهارم، شماره‌ی ۸۸
زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۲۷۹-۲۵۲

احمد رضا محقق^۱

سینا فرد مرادی نیا^{۱*}

ابراهیم سلامی^۲

مدیریت و ارزیابی ریسک خطر سیلاب در مناطق شهری و روستایی تحت شرایط تغییر اقلیم

(مطالعه موردی: رودخانه مهران رود تبریز)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۰

چکیده

تغییر اقلیم بر رفتار پدیده‌های طبیعی همچون سیلاب تاثیر گذار است. مدیریت و ارزیابی ریسک سیلاب و ساماندهی رودخانه‌ها به جهت کاهش خطرات جانی و مالی ناشی از سیلاب امری ضروری است. در این مطالعات ارزیابی نمودار میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله نشان می‌دهد بارش کم کم وارد دوره ترسالی شده و انتظار می‌رود بارش حوضه و دبی رودخانه مهران رود افزایش یابد. به کمک سری زمانی مدل $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ دبی ماهانه ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شد. با نرم‌افزار HEC-HMS دبی با دوره بازگشت مختلف برای دو حالت الف) برآورد دبی براساس داده‌های موجود، ب) برآورد دبی براساس داده‌های موجود و داده‌های پیش‌بینی شده، برآورد گردید. در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله دبی ۲۴/۵ درصد افزایش داشت. نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه مهران رود با نرم‌افزار HEC-RAS نشان می‌دهد پهنای سیلاب ۲۰۰ ساله در حالت تغییر اقلیم ۱۰ درصد بیشتر از شرایط موجود است. همچنین تراز سطح آب در شرایط تغییر اقلیم ۱۱ درصد افزایش داشته است. با بهره‌گیری از نتایج مدل‌سازی و بازدیدهای میدانی و بررسی نشریات و مقالات معتبر، به کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره SAW سناریو ترکیب روش سازه‌ای و بیولوژیکی جهت مدیریت ریسک سیلاب و کاهش خسارات جانی و مالی، رودخانه مهران رود انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، تغییر اقلیم، ارزیابی ریسک سیلاب، مدل HEC-Geo RAS، SAW

۱- گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- مرکز تحقیقات ریباتیک و فناوری های نرم، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران* نویسنده مسئول، fardmoradnia@iaut.ac.ir
۳- دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، خطر سیل حتی در مناطق خشک با میزان بارندگی سالانه محدود نیز افزایش یافته‌است. بیش از ۵۰ درصد از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و انتظار می‌رود که قرار گرفتن این شهرها در معرض سیل به دلیل عواملی مانند تغییر اقلیم، فرونشست زمین و تغییرات اجتماعی-اقتصادی (مانند افزایش شهرنشینی) افزایش یابد حتی اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای امروز تثبیت شود، تغییر اقلیم ناشی از انسان برای قرن‌ها ادامه خواهد داشت (IPCC 2007) پیش‌بینی می‌شود که تغییر اقلیم منجر به افزایش دما، بارندگی شدیدتر و افزایش اوج جریان رودخانه شود. بر این اساس، نیاز به سازگاری با سیلاب بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

به طور سنتی، مدیریت سیل بر جلوگیری از سیل از طریق اقدامات سازه‌ای، مانند سیل بندها و دایک‌ها متمرکز شده‌است. با این حال در حال حاضر، شاهد تحولی جهانی به سمت سیستم‌های مدیریت یکپارچه و سازگار با محیط زیست برای مقابله با خطر سیل هستیم. بر اساس این رویکرد، خطر سیل به عنوان حاصل ضرب احتمال وقوع سیل در پیامدهای بالقوه آن، مانند تلفات جانی و خسارت اقتصادی تعریف می‌گردد (De MOEL et al., 2011). این تغییر به طور فزاینده‌ای در سطوح منطقه‌ای و ملی پذیرفته می‌شود. برخی مطالعات به منظور بررسی افزایش فراوانی وقوع سیل متأثر از تغییر اقلیم انجام شده‌است (Kuo et al. 2015; Jiang et al., 2015). بارش در مناطق خشک از نظر زمانی متغیرتر از مناطق مرطوب است (Pilgrim et al., 1988) و بنابراین این مناطق در برابر پدیده‌های هیدرولوژیکی (وقایع حادی) مانند سیل و خشکسالی آسیب پذیرتر هستند به عنوان مثال، در خشک‌ترین قاره، قاره آفریقا، تغییر اقلیم با وقوع بیشتر خشکسالی‌های شدید، افزایش دما و تغییر الگوهای بارش مرتبط است (Ramanathan et al., 2001; Shanahan et al., 2009; Williams and Funk, 2011). در کشورهایی مانند ایران نیز، سیل در دهه‌های اخیر به دفعات و با شدت بیشتری رخ داده است.

Andam (2003)، در یک پژوهش از دانشگاه تگزاس، با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS، تغییرات سرعت و پهنه سیلاب در رودخانه‌های جنگلی و خارج از جنگل را مورد بررسی قرار داد. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار فیزیکی و پهنه سیلاب در این دو نوع رودخانه بود. نتایج این پژوهش، کارایی این مدل‌ها در پهنه‌بندی را نشان می‌دهد. (Nebel et al (2005)، با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، اوج سیلاب در حوضه سن آنتونیو تگزاس مرکزی در آمریکا را پیش‌بینی و با استفاده از مدل HEC-RAS پهنه سیلاب آن را ارائه کردند. سپس با سیلاب تابستان سال ۲۰۰۲ مقایسه نتایج و عملکرد مدل در پیش‌بینی سیلاب در مقیاس منطقه‌ای را بررسی کردند و نتایج نشان داد که مدل‌های هیدرولوژیکی HEC-HMS و HEC-RAS در پیش‌بینی سیلاب با کارایی بسیار خوبی عمل می‌کنند.

Papenberger et al (2005) عدم قطعیت در واسنجی پارامتر ضریب‌زبری در نرم‌افزار HEC-RAS را مورد مطالعه قرار داده و تأثیر آن را بر روی نتایج پروفیل سطح آب حاصل از مدل در پایین دست مورد ارزیابی قرار داده و نتایج مدل را با پروفیل سطح آب موجود مقایسه نمودند و به لزوم صحت‌سنجی مدل با استفاده از آمار مشاهده‌ای تأکید کردند. (Napradean and Chira (2006) نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری برای حوضه‌های آبریز کوچک در

نزدیکی دریای بایا در دره آستورو را تهیه نمودند. برای این منظور از ترکیب دو برنامه HEC-RAS و WetSpa استفاده شده است، به این ترتیب که از خروجی داده‌های برنامه WetSpa به عنوان ورودی برای برنامه HEC-RAS و از نرم افزار ArcView جهت نمایش نقشه پهنه خطر استفاده شد. (Stevenson (2009، مدل هیدرولیکی قسمتی از رودخانه کلایر را با استفاده از عکس‌های هوایی تهیه کرده و مقاطع مختلفی از رودخانه فوق را در سال ۱۹۷۱ با سال ۲۰۰۷ به کمک مدل هیدرولیکی HEC-RAS مقایسه نمودند. در این مطالعه به ضریب‌زبری به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها که نقش مقاومت در برابر جریان را دارد پرداخته و آنالیز حساسیت ضریب‌زبری را برای سه قسمت رودخانه، ساحل چپ و ساحل راست انجام داده است. با کمک نتایج مدل هیدرولیکی HEC-RAS و مقایسه نمودارهای حاصله از مدل هیدرولیکی از قبیل سرعت و پهنه سیل، تغییرات رودخانه کلایر طی سال‌های ۱۹۷۱ الی ۲۰۰۷، مورد ارزیابی قرار گرفت. (Hasani(2013 در تحقیقی با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS پهنه سیل‌گیر رودخانه زیرگل (استان گلستان) واقع در شمال ایران در برای دبی با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تعیین نمودند. محدوده مورد مطالعه از مناطق در معرض خطر سیلاب می‌باشد. نتایج نشان داد که ترکیب دو مدل HEC-RAS و GIS جهت تجزیه تحلیل مطالعات هیدرولیکی و تعیین پهنه سیل مفید واقع می‌گردد. (Shammout (2014 موفقیت مدل WMS در شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز و مدیریت داده‌ها، را ارزیابی نموده است. او با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوضه و رودخانه زرقا در کشور اردن را مدل‌سازی نموده و میزان دبی پایه و دبی اوج رودخانه زرقا را مدل‌سازی و برآورد نموده است. ایشان مدل WMS را یکی از بهترین مدل‌ها در آماده‌سازی و مدیریت داده‌ها، سهولت در بهره‌برداری و مدیریت منابع آب معرفی کرده است.

(Abdelbasset et al (2015 با ادغام GIS و HEC-RAS حوادث سیل رخ داده رودخانه اورگا در شمال مراکش را مدل‌سازی نمودند. این رودخانه ۵۰ درصد آب شمال مراکش را تامین می‌کند. آنها به کمک مدل‌سازی هیدرولیکی یک بعدی، پروفیل سطح آب را برای حوادث سیل رخ داده در پایین سد الوحده محاسبه نمودند. بهره‌برداری از نتایج منجر به تهیه نقشه‌های پهنه سیل گردید. این نوع از نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی هیدرولیکی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به طور قابل توجهی می‌تواند در هنگام سیل به مدیریت هیدرولیکی سد الوحده به ویژه هنگام سرریز شدن سد کمک نماید. (Kusratmoko et al. (2016 سیل رخ داده در جاکارتای اندونزی (۱۵ الی ۲۳ ژانویه ۲۰۱۳) را به کمک مدل WMS و HEC-RAS مدل‌سازی نمودند. این سیل خسارات بسیار زیادی به منازل و کسب و کار مردم، وارد نموده و موجب آواره شدن ۲۰۰۰۰ نفر شد. به کمک نقشه پهنه‌بندی سیلاب به دست آمده از مدل‌سازی WMS عمق و وسعت سیلاب به دست آمده است. نتایج نشان داد که برآورد مدل به داده‌های مشاهده شده (داغاب سیل موجود) بسیار نزدیک است، به خصوص در مناطق دشت سیلابی این تطابق بیشتر مشاهده می‌شود.

مدیریت رودخانه در بسیاری از موارد به منظور کنترل تثبیت کناره در رودخانه به کار میرود. تکنیک‌های بیولوژیکی به عنوان یک جایگزین برای rip-rap و کنترل فرسایش کناره رودخانه‌ها بویژه قوسها استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها جدید نیستند،

اما در طی دهه گذشته مورد توجه جدید قرار گرفته است. (Posi et al (2018) نتایج آزمایش‌های اولیه Flume را با هدف بررسی مقاومت حفاظت از کناره‌های رودخانه با استفاده از تکنیک‌های زیست‌شناسی ارائه نمودند. هدف نهایی پیشنهاد یک کار ساختمانی برای استفاده مناسب از چنین تکنیک‌هایی هستند که برای حفاظت از مورفودینامیک رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. (Ali Danandeh Mehr et al (2022) به کمک مدل سری زمانی ARIMA و مدل الگوریتم ژنتیک یک مدل سری زمانی دبی رودخانه رودخانه اولوجوکی، فنلاند را پیش‌بینی نمودند و از معیار خطا سنجی نش ساتکلیف جهت ارزیابی هر دو مدل استفاده نمودند. نتایج هر دو مدل نزدیک به واقعیت بود.

(Bakhtiyari et al (2012) با داده‌های توپوگرافی رودخانه باراجین قزوین و نقشه طغیان رودخانه، سیلاب طرح و عمق‌یابی رودخانه، اقدام به تعیین حریم رودخانه و تاثیر سازه‌های متقاطع بر مورفولوژی رودخانه با کمک نرم‌افزار-HEC-RAS نمودند. (Yamani et al (2012) در تحقیقی، سطوح سیل‌گیر رودخانه طالقان (بالادست سد طالقان) را برای دبی با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS تهیه نمودند. به این منظور از نقشه ۱:۴۰۰ منطقه و از آمار ایستگاه هیدرومتری طالقان رود استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که از کل مساحت در قلمرو سیل ۲۰۰ ساله حدود ۸۰ درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله هستند.

(Roushan et al (2013) در تحقیقی به کمک مدل رقومی ارتفاع (DEM) و الحاقیه HEC-Geo-RAS پارامترهای هیدرولیکی رودخانه بشار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد، را شبیه‌سازی نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را جهت مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها ارائه دهد و جهت پهنه‌بندی سیلاب با دقت بالا و هزینه اندک مورد استفاده قرار گیرد.

(Pakbaz et al (2013) با استفاده از مدل WMS اثرات تغییر ضریب‌زبری کف بر مشخصات جریان سیلاب در یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبخیز چهل‌چای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل رودخانه نشان داد که با افزایش ضریب زبری، مقدار میانگین عدد فرود و مقدار متوسط سرعت کاهش پیدا کرد همچنین متناظر با افزایش مقدار ضریب زبری، مقدار میانگین شیب انرژی افزایش یافت. (Shayan-Nejad et al. (2014) ماکزیمم سیل خروجی از مدل HEC-RAS را با ماکزیمم سیل خروجی مدل توسعه یافته ماسگینگام غیر خطی مقایسه و پارامترهای بهینه برای ضرایب مدل توسعه یافته ماسگینگام غیر خطی به صورت تابعی از مشخصات رودخانه و سیلاب ورودی ارائه نمودند. نتایج نشان داد دقت مدل توسعه یافته مشابه نرم‌افزار HEC-RAS است. Sheikh-

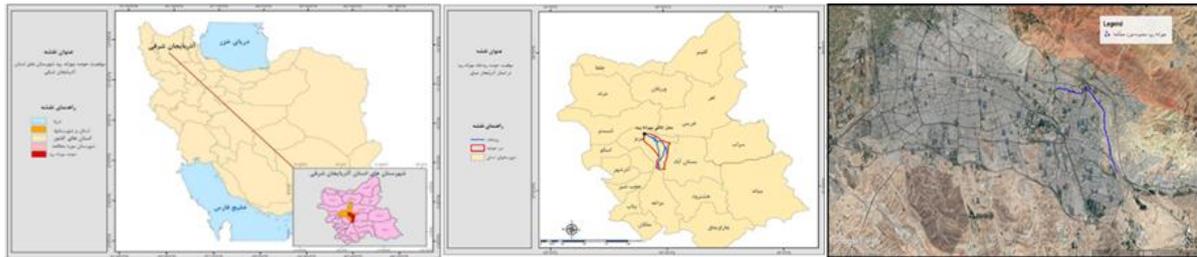
(Alishahi et al (2016) با هدف تلفیق مدل هیدرولیکی HEC-RAS و الحاقیه HEC-GeoRAS به برآورد پهنه‌سیل در حوضه آبریز منشاد یزد پرداختند. در این پژوهش که از نقشه‌های رقومی مختلف استفاده شد، گستره سیلاب در اراضی حاشیه رودخانه برای سیلاب با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. (Shakib and Hashemiyan (2017) به کمک نرم افزارهای HEC-RAS , HEC-GeoRAS نقشه پهنه سیلاب رودخانه کشف رود در استان خراسان رضوی را تهیه نموده‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نسبت اراضی سیلگیر توسط سیل ۲۰ ساله به مساحت اراضی سیلگیر توسط سیل ۲۰۰ ساله برابر با ۲۵ درصد می‌باشد. (Damadi et al (2020) سیلاب رودخانه سرباز در استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و مساحت مناطق تحت تاثیر سیلاب با دوره بازگشت مختلف را محاسبه نمودند. (Ali Ahmadi et al (2020) به کمک بهترین مدل سری

زمانی در حوضه آبریز هیرمند پارامترهای اقلیمی را برای سال‌های آتی پیش‌بینی نمودند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که این مدل‌ها از دقت تقریباً خوبی برای پیش‌بینی دما و بارش فصلی برخوردار می‌باشند. (Khosrav and Azari 2021) در پژوهشی روند بارش و دما در سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه در ایستگاه‌های حوضه کشف‌رود برای دوره آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. کاهش شدید بارش در زمستان و ماه‌های دی و بهمن و افزایش آن در آبان می‌تواند مدیریت منابع آب حوضه را در فصل خشک با چالش جدی مواجه کند. اغلب مطالعات، تغییرات کاربری اراضی را به اندازه کافی در نظر نگرفته‌اند، در حالی که این تغییرات می‌تواند به طور قابل توجهی بر الگوهای رواناب و شدت سیلاب‌ها تأثیر بگذارد. علاوه بر این نقش عوامل انسانی مانند مدیریت نادرست منابع آب، ساخت و سازهای غیرمجاز در حریم رودخانه‌ها و عدم رعایت قوانین ساختمانی در افزایش آسیب‌پذیری در برابر سیل، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین به عدم قطعیت ذاتی در مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی توجه کافی نشده‌اند. این عدم قطعیت می‌تواند ناشی از خطاهای داده‌ای، ساده‌سازی‌های مدل و عدم قطعیت در پارامترهای مدل باشد. در نهایت بسیاری از مطالعات، بر یک جنبه خاص از مسئله سیل تمرکز می‌کنند و ارتباط بین جنبه‌های مختلف مانند هیدرولوژی، هیدرولیک، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به اندازه کافی بررسی نمی‌کنند. ترکیب مدل‌های هیدرولیکی، آماری و تصمیم‌گیری چندمعیاره، بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر شدت و فراوانی سیلاب‌ها، استفاده از داده‌های مکانی و GIS برای تحلیل فضایی خطر سیل که به درک بهتر پراکنش خطر کمک می‌کنند و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین راهکار مدیریتی از موارد نوآورانه این تحقیق می‌باشد. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از نقشه CAD با مقیاس ۱:۲۰۰۰ که از شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی دریافت گردیده است مدل رقومی (TIN در GIS آماده شده و محاسبات هیدرولیکی در مدل HEC-RAS برای دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله مدل سازی گردید. اطلاعات مربوط به ضریب زبری با توجه شرایط رودخانه و پوشش گیاهی از نشریه ۳۳۱ وزارت نیرو استخراج شده سپس با ارزیابی گزارشات موجود از گذشته تا حال و بررسی اطلاعات هیدرولوژیکی موجود تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و به کمک نرم افزار SPSS و مدل‌های ARIMA پیش‌بینی دبی آینده انجام گردید. در نهایت با توجه به نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی HEC-RAS نفاط سیل خیز مورد ارزیابی قرار گرفته و به کمک تصمیم‌گیری چند معیاره به روش SAW بهترین راهکار مدیریتی برای کاهش خسارات در نقاط سیل خیز انتخاب گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

رودخانه مهران رود یکی از سرشاخه‌های رودخانه اجی چای (تلخه رود) و جزئی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌گردد. وسعت حوضه آبریز آن تا محل تلاقی با رودخانه آجی چای ۶۴۰ کیلومتر مربع و طول رودخانه ۷۵ کیلومتر می‌باشد. در این مطالعات ۵ کیلومتر از رودخانه مهران رود بالادست شهر تبریز و قسمتی از بازه شهری مورد مدل‌سازی قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure 1 : Location of the study area

۲-۲- معادلات پایه جریان یک بعدی در کانال‌های باز (معادلات مورد استفاده در HEC-RAS)

نرم‌افزار HEC-RAS نیز برای تحلیل جریان از سه معادله پیوستگی، اندازه حرکت (معادله مومنتوم) و انرژی استفاده می‌نماید که در زیر روابط این معادلات ارائه شده است.

الف- معادله پیوستگی

با فرض متعامد بودن بردارهای سرعت موضعی v بر مساحت مقطع عرضی A ، شدت جریان Q و سرعت متوسط V توسط معادله ۱ تعریف می‌شود (نشریه ۵۸۴):

$$Q = \int_A v dA = VA \quad (1)$$

با توجه به قانون بقای جرم خواهیم داشت (معادله ۲):

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dQ + \int_{cs} \rho v dA = 0 \quad (2)$$

با ثابت فرض نمودن ρ (چگالی)، معادله فوق به صورت زیر تبدیل می‌شود (معادله ۳)

$$\frac{\partial A}{\partial t} dx + Q + \frac{\partial Q}{\partial x} dx - Q - q dx = 0 \quad (3)$$

که dx طول حجم کنترل در راستای x و q شدت جریان جانبی ورودی در واحد طول می‌باشد. بنابراین معادله پیوستگی جریان در کانال‌های باز به صورت رابطه ۴ ارائه می‌شود:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (4)$$

و برای جریان دائمی (رابطه ۵):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (5)$$

ب- معادله اندازه حرکت (معادله مومنتوم)

معادله اندازه حرکت که به صورت معادله ۶ بیان می‌شود:

$$\sum F_x = ma \quad (6)$$

با توجه به شکل (۲) و موقعیت ۲ مقطع ۱ و ۲ می‌توان معادله (۶) را به فرم (۷) نوشت.

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (7)$$

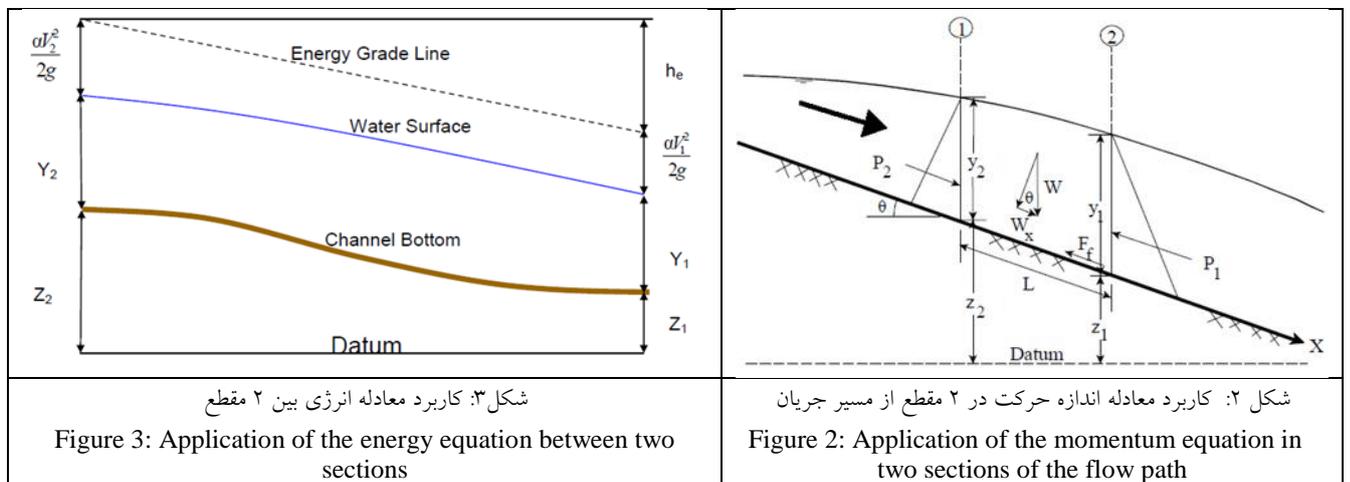
که ΣF_x برآیند نیروهای وارد در راستای x ، فشار هیدرولیکی، W_x نیروی وزن در راستای x ، F_f نیروی اصطکاک می‌باشند.

ج- معادله انرژی

معادله انرژی جهت محاسبه پروفیل سطح آب به کار می‌رود که به صورت معادله (۸) بیان می‌شود و در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (8)$$

که در آن ارتفاع بستر رودخانه از سطح مبنا Y ارتفاع آب رودخانه V سرعت g شتاب گرانش زمین و h_e افت انرژی می‌باشند.



۲-۳- تعیین ضریب زبری

نظر به این که ضریب زبری پارامتر عمده افت انرژی در کانال‌ها و رودخانه‌ها می‌باشد، نقش مؤثری در تراز سطح آب و سرعت جریان در هر مقطع را دارد. تعیین ضریب زبری مناسب که معرف شرایط واقعی رودخانه می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از نشریه ۳۳۱-الف معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها)، کاربرد روش‌های مختلف، عکس‌های هوایی، نقشه‌ها که معرف مورفولوژی شرایط سیلاب‌دشت رودخانه می‌باشند و با توجه به قضاوت‌های مهندسی مبتنی بر بازدیدهای صحرائی از کل مسیر رودخانه، ضریب زبری مانینگ برای هر مقطع در سه قسمت سیلاب‌دشت راست و چپ و بستر اصلی تخمین زده می‌شود که در مرحله واسنجی این مقادیر تدقیق می‌گردند. از میان روش‌های موجود در برآورد ضریب زبری مانینگ، روش چاوو (Chow) و روش کاون (Cowen) بسیار معروف هستند. در روش کاون نقش کلیه عوامل نامبرده را در محاسبات خود وارد می‌کند و به همین دلیل در مطالعات هیدرولیک رودخانه مهران رود به عنوان روش پایه برآورد ضریب زبری مانینگ برگزیده شده است (نشریه ۳۳۱).

نحوه برآورد ضریب زبری مانینگ در این روش با رابطه ۹ بیان می‌شود:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad (9)$$

که در این رابطه عوامل معادله به ترتیب عبارتند از:

n: ضریب زبری مانینگ ترکیبی

n_b: ضریب زبری پایه با توجه به جنس بستر و دانه بندی مصالح کف رودخانه در حالت رودخانه صاف و مستقیم

n₁: ضریب زبری مربوط به نامنظمی در سطح بستر رودخانه

n₂: ضریب زبری مربوط به تغییرات سطح مقطع رودخانه

n₃: ضریب زبری مربوط به وجود موانع در مسیر رودخانه

n₄: ضریب زبری مربوط به وضعیت پوشش گیاهی

m: ضریب زبری مربوط به درجه پیچ و خم مسیر رودخانه

با استفاده از نشریه ۳۳۱-الف، و با استفاده از روش کاون ضریب زبری مانینگ برای هر مقطع در سه قسمت سیلاب دشت راست و چپ و بستر اصلی رودخانه مهران رود تخمین زده شد و در قسمت صحت سنجی تدقیق گردید. جدول (۱) میزان ضریب زبری تدقیق شده را نشان می دهد.

جدول ۱: میزان ضریب زبری مانینگ رودخانه مهران رود

Table 1: Manning's roughness coefficient for the Mehran river

ضریب مانینگ		
ساحل چپ	رودخانه	ساحل راست
۰/۰۵۲	۰/۰۴۵	۰/۰۵۲

۲-۴- تصمیم گیری چند معیاره

روش های تصمیم گیری چند معیاره MCDM^۶ به دو دسته تصمیم گیری چند هدفه MODM^۷ و تصمیم گیری چند شاخص MADM^۸ تقسیم می شوند. هدف از تصمیم گیری انتخاب بهترین گزینه یا وزن دهی به عوامل تصمیم گیری است.

۲-۴-۱- تکنیک SAW

روش وزن دهی ساده یا مجموع ساده وزنی SAW^۹، ساده ترین روش تصمیم گیری چند معیاره است. این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هدانگ و یون ارائه شده است (Ataei, 2003). روش SAW به دلیل سهولتی که دارد محبوب ترین و رایج ترین روش در MADM است. روش SAW را می توان ساده ترین و مستقیم ترین روش مواجهه با مسائل تصمیم گیری چند معیاره در نظر گرفت. چرا که در این روش از یک تابع افزایش خطی برای نمایش

⁶ Multiple Criteria Decision Making

⁷ Multiple Objective Decision Making

⁸ Multiple Attribute Decision Making

⁹ Simple Additive Weighting

ترجیحات تصمیم گیرندگان استفاده می‌شود. با این حال این تکنیک زمانی کاربرد پیدا می‌کند که فرض کنیم ترجیحات مستقل یا مجزا از هم هستند. در این روش که با نام روش ترکیب خطی وزن دار نیز شناخته می‌شود، پس از بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم، با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم بی مقیاس وزن دار به دست آمده و با توجه به این ماتریس، امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود.

۲-۵- پیش‌بینی دبی با سری زمانی

۲-۵-۱- مدل باکس - جنکینز (Box and Jenkins) یا ARIMA

مدل خودرگرسیو میانگین متحرک انباشته ARIMA که تحت عنوان روش باکس و جنکینز شناخته می‌شود، یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در پیش‌بینی سری‌های زمانی است.

باکس - جنکینز مدلی را به نام مدل‌های فصلی ضربی‌پذیر ارائه کردند. در این مدل به ترتیب ضرایب مرتبه غیر فصلی و مرتبه فصلی فرآیندهای اتورگرسیو و میانگین متحرک می‌باشند. هرگاه میانگین، واریانس و خصوصیات آماری یک سری زمانی در طول زمان ثابت باشد سری زمانی، سری ایستا (مانا)^{۱۰} گفته می‌شود، در صورتی که سری زمانی فاقد میانگین و واریانس ثابتی باشد، سری زمانی نایستا^{۱۱} است. مهم‌ترین عوامل ایجاد نایستایی در یک سری، مولفه‌های چون روند و تناوب می‌باشند. در صورتی که داده‌ها نایستا باشد با یک بار دیفرانسیل‌گیری^{۱۲} داده‌ها ایستا می‌شوند. این عبارت به این معنا است که مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک (ARMA) که برای داده‌های ایستا است تبدیل به مدل خودهمبسته با میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA) که برای داده‌های نایستا تبدیل می‌شود/ این مدل در اکثر موارد به صورت ARIMA(p,d,q) نشان داده می‌شود که در آن p, d, q اعداد حقیقی غیرمنفی هستند که درجه اتورگرسیو، یکپارچگی و میانگین متحرک را معلوم می‌کنند. در مدل‌های خود همبسته با میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA) که به شکل (P,D,Q), ARIMA(p,d,q) بیان می‌شوند برای تعریف مرتبه‌های غیر فصلی و (P,D,Q) برای تعریف مرتبه‌های فصلی بکار می‌روند.

مدل‌های ARIMA بخش مهمی از رویکرد باکس - جنکینز به مدل‌های سری زمانی را می‌سازند. در صورتی که یکی از جزءها برابر با صفر باشند معمولاً به صورت AR (اتورگرسیو)، I یا MA (میانگین متحرک) نوشته می‌شود. برای مثال I همان مدل (0, 1, 0) ARIMA است و یا MA همان مدل (0, 0, 1) ARIMA می‌باشد.

۲-۶- صحت سنجی و اعتبار سنجی مدل‌ها

این مرحله که به نوعی تأیید مدل نیز می‌باشد، شامل اثبات اینکه مدل انتخابی، برای شرایط شناخته شده به درستی کار می‌کند. نتایج مدل در طی دوره شبیه‌سازی صحت سنجی بایستی با مجموعه داده‌ها مقایسه گردند. در صورت رسیدن به یک میزان قابل قبول از سازگاری بین داده‌ها و نتایج شبیه سازی مدل، می‌توان صحت مدل را حداقل برای شرایط تعریف شده توسط مجموعه داده‌های مرحله صحت سنجی مورد تأیید قرار داد. در صورتیکه

¹⁰Stationary

¹¹Non-Stationary

¹²Integrated

¹³Autoregressive Moving Average Model (ARMA)

¹⁴Autoregressive Integrated Moving Average Model (ARIMA)

حداقل سازگاری قابل قبول تحقق نیابد، در اینصورت تجزیه و تحلیل بایستی برای مشخص نمودن دلایل ممکن برای بازبینی و پالایش مدل برای تفاوت‌های موجود بین داده‌ها و نتایج شبیه سازی مدل انجام گیرد. به منظور بررسی و تعیین بهترین مدل پیش‌بینی سری زمانی و صحت سنجی از معیار اطلاعاتی آکائیکه (رابطه ۱۰) و معیار خطا سنجی شامل جذر میانگین مربعات خطا RMSE^{۱۵} (رابطه ۱۱)، میانگین قدرمطلق خطا MAE^{۱۶} (رابطه ۱۲) و همبستگی (R^۲) (رابطه ۱۳) می‌توان استفاده کرد که روابط مربوطه در زیر اشاره گردیده است (نشریه ۵۸۴).

$$AIC = 2K + n[\ln\left(\frac{RSS}{n}\right)] \quad (۱۰)$$

RSS: مجموع مربعات باقیمانده، N: تعداد داده‌ها و K: تعداد پارامترهای مدل می‌باشند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}{n}} \quad (۱۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z(x_i) - Z^*(x_i)|}{n} \quad (۱۲)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))(Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))^2 \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i))^2}} \right]^2 \quad (۱۳)$$

Z: مقادیر تخمینی Z*: مقادیر مشاهده ای N: تعداد داده

۳- نتایج و بحث

در این مطالعات ابتدا با توجه به گزارشات موجود شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی وضعیت اقلیمی حوضه مورد مطالعه با استفاده از شاخص میانگین متحرک تغییرات متوسط بارندگی سالانه و نوع اقلیم حوضه مورد مطالعه با توجه به شاخص دومارتن و آمبرژه ارزیابی شده و به کمک نرم‌افزار SPSS مدل ARIMA دبی رودخانه مهران رود برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شده و سپس به کمک نرم‌افزار HEC-HMS دوره بازگشت جدید با توجه به ۱۰ سال پیش‌بینی، محاسبه گردید. سپس با نرم‌افزار HEC-RAS پهنه سیلاب مشخص و مناطقی که نیاز به ساماندهی دارند تعیین شد و در نهایت روش‌های مدیریتی برای کاهش ریسک سیلاب در مناطق پرخطر به کمک تصمیم‌گیری چند متغیره، روش SAW بهترین گزینه با امتیازدهی و وزن‌دهی انتخاب گردید.

۳-۱- ارزیابی وضعیت اقلیمی با شاخص میانگین متحرک

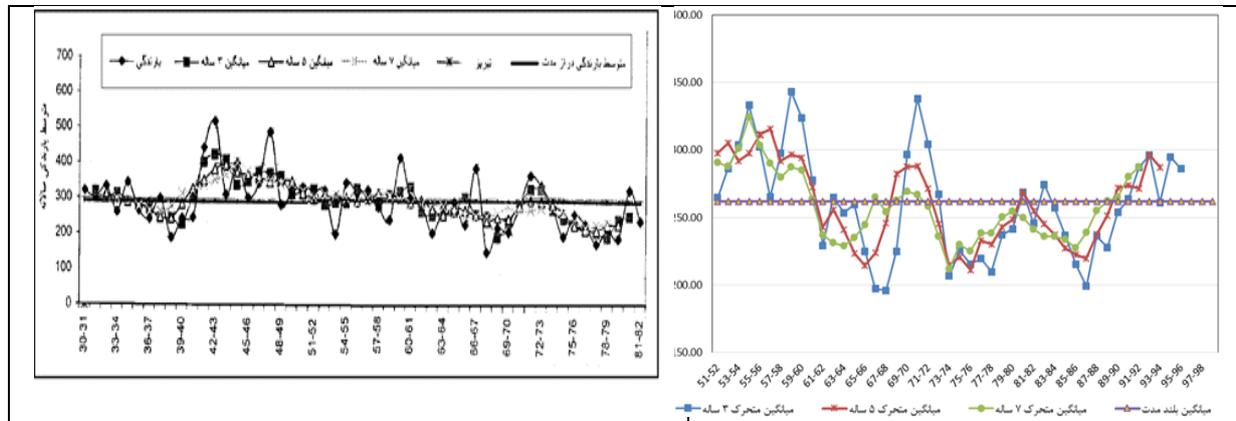
یکی دیگر از روش‌های بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی استفاده از میانگین متحرک یا لغزان می‌باشد. میانگین متحرک می‌تواند در پایه‌های زمانی مختلف محاسبه شود؛ سازمان هواشناسی جهانی، میانگین متحرک ۵ ساله و ۷ ساله بارش را توصیه می‌کند.

در محدوده مورد مطالعه ۲ ایستگاه بارانسنجی موجود است یک ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی و دیگری متعلق به سازمان وزارت نیرو است. داده‌های دریافتی از شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی متعلق به وزارت

¹⁵ Root Mean Square Error

¹⁶ Mean Absolute Error

نیرو دارای طول آماری ۱۳۵۰-۱۴۰۰ می‌باشد. شکل ۴ میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله بارش سالانه برآورد شده با اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی و شکل ۵ میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله بارش سالانه مستخرج از گزارش هواشناسی پروژه سد مخزنی شهید ونیار را نشان می‌دهد.



شکل ۵: میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله مستخرج از گزارش هواشناسی پروژه سد مخزنی شهید ونیار (ایستگاه هواشناسی)

Figure 5: 3, 5 and 7-year Moving Averages Extracted from the Meteorological Report of Shahid Venyar Dam Reservoir Project (Meteorological Station)

شکل ۴: میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله برآورد شده با اطلاعات دریافتی (ایستگاه وزارت نیرو)

Figure 4: Estimated 3, 5 and 7-year Moving Averages Based on Data from the Ministry of Power Station

ارزیابی دو نمودار نشان می‌دهد از سال آبی ۶۰-۶۱ بارندگی سالانه کمتر از متوسط دراز مدت بارندگی است یعنی وارد یک دوره خشکسالی شده که بر روی میانگین دراز مدت بارندگی سالانه نیز تاثیر گذاشته از بارش ۲۹۵ میلیمتر در سال به ۲۶۵ میلیمتر کاهش یافته است ولی از سال آبی ۹۴-۹۳ کم وارد دوره ترسالی شده و انتظار می‌رود بارش‌ها افزایش یابد.

۲-۳- بررسی اقلیم منطقه

بطور کلی حالت متوسط کمیت‌های مشخص‌کننده وضع هوای یک منطقه بدون توجه به لحظه وقوع آنها را اقلیم یا آب و هوای آن منطقه می‌نامند با توجه به اهمیت تعیین نوع اقلیم یک منطقه در مطالعات هیدرولوژیکی از طبقه‌بندی سیستم‌های اقلیمی متداولی استفاده می‌گردد که تعیین بعضی از این طبقه‌بندی‌ها توسط فرمول و بعضی دیگر توسط نمودار انجام می‌گیرد. با توجه به توضیحات مندرج در فوق و جهت تعیین نوع اقلیم منطقه آمار و اطلاعات بارش و دمای ایستگاه‌های منطقه جمع‌آوری و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن و اقلیم نمای آمبرژه نسبت به تعیین نوع اقلیم بشرح زیر اقدام شده است.

۳-۲-۱- طبقه‌بندی اقلیم به روش دومارتن

پارامترهای بکار رفته در این روش بشرح زیر می‌باشند:

T_m : متوسط درجه حرارت سالانه برحسب سانتی‌گراد، P_m : میانگین بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر

I : ضریب خشکی دومارتن که با استفاده از رابطه تجربی $I = \frac{P_m}{T_m + 10}$ بدست می‌آید.

در این رابطه (I_a) شاخص خشکی، (P) میانگین بارندگی سالانه و (T) نرمال سالانه دما می‌باشد و دامنه مقادیر

شاخص خشکی به ازاء اقلیم مختلف بشرح جدول (۲) و نتایج محاسبات در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۲- شاخص خشکی (Ia) و نوع اقلیم- روش دومارتن

Table 2- Aridity Index (Ia) and Climate Type - De Martonne Method

شاخص خشکی (Ia)	نوع اقلیم
۰-۵	فراخشک
۵-۱۰	خشک
۱۰-۲۰	نیمه خشک
۲۰-۲۴	مدیترانه‌ای
۲۴-۲۸	نیمه مرطوب
۲۸-۳۵	مرطوب

جدول شماره ۳- پارامترهای طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن

Table 3- Parameters for De Martonne Climate Classification

نوع اقلیم	پارامترها			نام ایستگاه	شماره
	I	P _m (mm)	T _m 'c		
منطقه					
نیمه خشک	۱۱/۳۸	۲۶۱/۷	۱۳	تبریز	۱

محاسبات نشان می‌دهد ضرایب خشکی دومارتن در ایستگاه سینوپتیک تبریز ۱۱/۳۸ بوده لذا اقلیم براساس این روش از نوع نیمه خشک می‌باشد.

۳-۳-۲- روش اقلیم نمای آمبرژه

پارامترهای بکار رفته در این روش جهت تعیین اقلیم عبارتند از:

M: میانگین حداکثر دما در گرمترین ماه سال برحسب درجه کلونین، m: میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال برحسب درجه کلونین، P_m: میانگین بارنگی سالانه برحسب میلی متر

با استفاده از داده‌های ایستگاه مورد نظر این پارامترهای مشخص و همچنین میزان تجربی Q₂ از رابطه تجربی

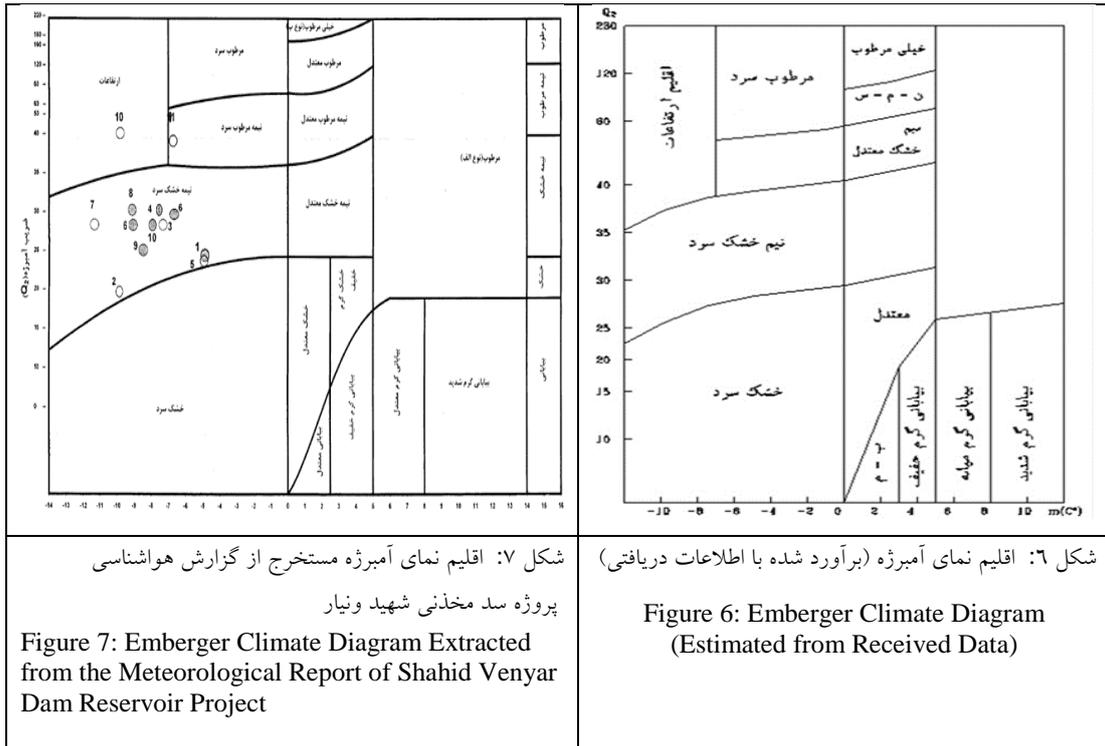
$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

برآورد شده با اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی و شکل (۷) اقلیم نمای آمبرژه مستخرج از گزارش هواشناسی پروژه سد مخزنی شهید ونیار نشان می‌دهد.

جدول شماره ۴- پارامترهای اقلیم نمای آمبرژه

Table 4- Parameters of the Emberger Climate Diagram

نوع اقلیم	Q ₂	P _m	m	M	نام ایستگاه	شماره
خشک سرد	۲۳/۴۹	۲۶۱/۷	۲۶۷/۷۵	۳۰۶/۵۵	تبریز	۱



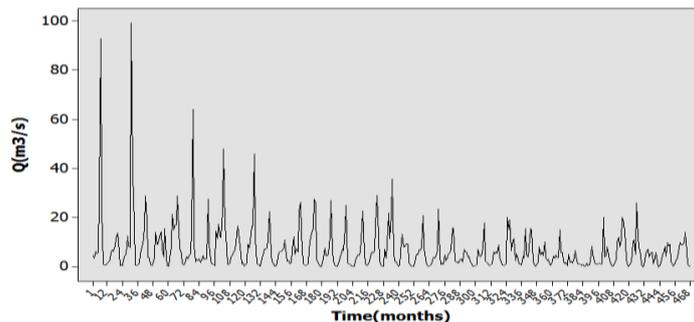
اقلیم نمای آمبرژه نشان می‌دهد ۲۰ سال قبل تبریز در ناحیه نیمه خشک و سرد قرار داشته ولی در حال حاضر در ناحیه خشک و سرد قرار دارد. با خشکتر شدن اقلیم لایه‌های سطحی خاک خشکتر شده، در بارندگی نفوذ رواناب به خاک کمتر شده و انتظار می‌رود دبی سیلابی افزایش یابد.

۳-۳- پیش‌بینی دبی متوسط ماهانه مهران رود به کمک سری زمانی مدل ARIMA در این مطالعه از دبی متوسط ماهانه ایستگاه هیدرومتری لیقوان هروی (بالادست رودخانه مهران رود) استفاده شده است (جدول ۵). اولین مرحله در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، رسم گرافیکی سری زمانی داده‌های دبی متوسط ماهانه ایستگاه هیدرومتری لیقوان - هروی با استفاده از برنامه SPSS ۲۲ می‌باشد (شکل ۸).

جدول ۵- مشخصات ایستگاه هیدرومتری لیقوان هروی

Table 5- Specifications of Liqvan Heravi Hydrometric Station

ایستگاه هیدرومتری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سطح حوضه (km ²)	طول دور آماری
لیقوان- هروی	۲۹-۴۶	۵۵-۳۷	۱۹۲۰	۱۸۶/۲۵	۱۴۰۰-۱۳۵۸

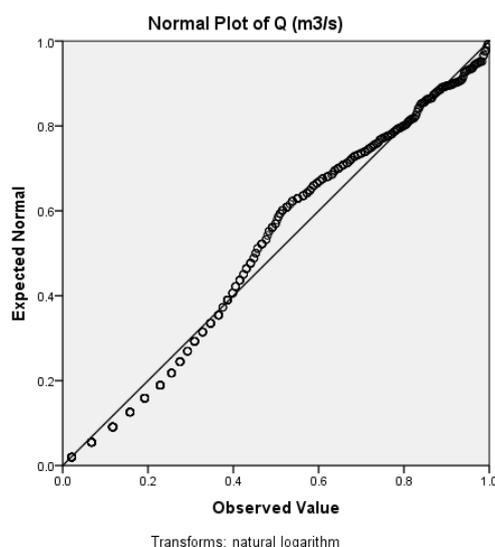


شکل ۸: سری زمانی دبی متوسط ماهانه رودخانه مهران رود (۱۳۵۸-۱۳۹۸)

Figure 8: Monthly Average Discharge Time Series of Mehran river (1979-2019)

۳-۳-۱- بررسی نرمال بودن داده‌ها

اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می‌شود. برای جلوگیری از چنین شرایطی و همچنین به منظور یکسان نمودن ارزش داده‌ها، قبل از برازش و پیش بینی، داده‌ها بایستی استاندارد (نرمال) شوند. در نرم افزار SPSS در بخش محاسبات، آزمون نرمالیت و نرمال سازی انجام گردید. شکل (۹) نمودار حاصل از تست نرمال را نشان می‌دهد. برای آزمون نرمالیت روش استاندارد سازی لگاریتم بکار گرفته شده است.



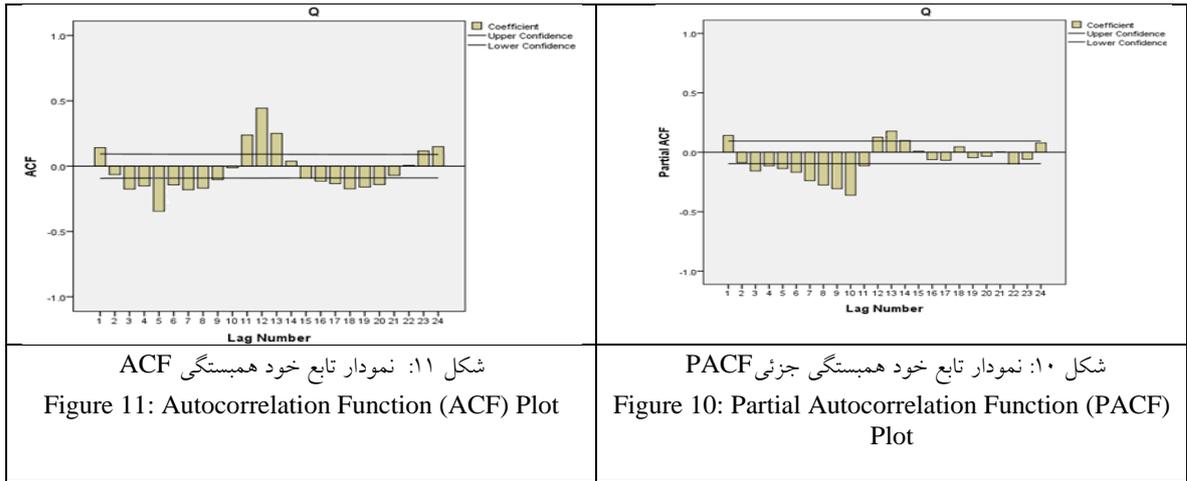
شکل ۹: نمودار حاصل از تست نرمال

Figure 9: Normality Test Plot

۳-۳-۲- برازش مدل‌های (ARIMA)

در مدل‌های خود همبسته با میانگین متحرک یکپارچه (ARIMA) که به شکل $ARIMA(p,d,q),(P,D,Q)$ بیان می‌شوند (p,d,q) برای تعریف مرتبه‌های غیر فصلی و (P,D,Q) برای تعریف مرتبه‌های فصلی بکار می‌روند. در روش باکس و جنکینز ابتدا تابع خود همبستگی ACF و تابع خود همبستگی جزئی PACF برای تشخیص شناسایی نوع و مرتبه مدل (تشخیص مدل) ترسیم گردید (شکل ۱۳ و ۱۴).

با توجه به اینکه هر دو تابع به صورت موج سینوسی است برای آنالیز داده‌ها باید از مدل‌های ترکیبی خود همبسته با میانگین متحرک استفاده نمود. همچنین با توجه به وجود مولفه روند در سری زمانی دبی متوسط ماهانه رودخانه مهران رود داده‌ها نایستا بوده و برای حذف نایستایی از روش تفاضل (Differencing) استفاده می‌شود لذا مولفه d باید در یکی از مرتبه‌های فصلی و غیر فصلی مدل‌ها موجود باشد. مقدار خود همبستگی جزئی PACF بعد از ۲ تأخیر کاهش یافته و در محدوده اطمینان قرار گرفته است (شکل ۱۰) در مورد تابع خود همبستگی ACF نیز جهش‌های بلند در تأخیرهای ابتدایی دیده می‌شود (شکل ۱۱) که بعد از ۲ تأخیر این جهش‌ها دیگر مشاهده نمی‌شود. بنابراین مرتبه مدل از ۲ تجاوز نمی‌کند.



شکل ۱۱: نمودار تابع خود همبستگی ACF

Figure 11: Autocorrelation Function (ACF) Plot

شکل ۱۱: نمودار تابع خود همبستگی ACF

Figure 11: Autocorrelation Function (ACF) Plot

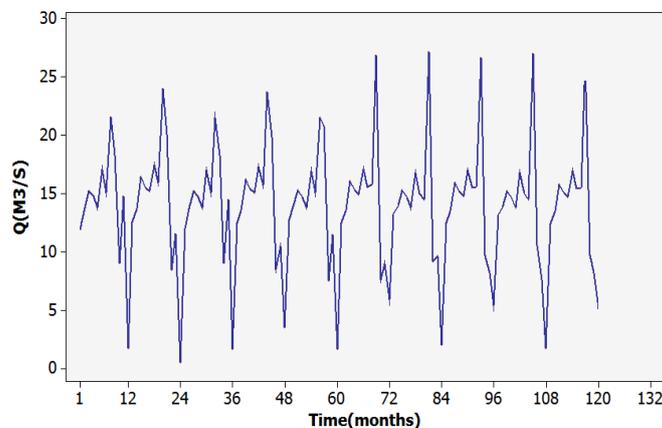
به منظور بررسی صحت داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها و تعیین بهترین مدل پیش‌بینی سری‌های زمانی، در این تحقیقات از معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC)، معیار خطا سنجی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای مطلق میانگین (MAE) و همبستگی (R^2) استفاده گردیده است.

جدول (۶) معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC)، معیار خطا سنجی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای مطلق میانگین (MAE) و همبستگی (R^2) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده مدل‌های ایجاد شده را نشان می‌دهد. جدول ۶- مدل‌های مختلف ارائه شده برای پیش‌بینی دبی متوسط ماهانه رودخانه مهران رود و معیارهای خطا سنجی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده

Table 6- Various Models Proposed for Forecasting Monthly Average Discharge of the Mehran river and Error Metrics Between Actual and Predicted Values

ردیف	مدل	(p,d,q)	(P,D,Q)	R^2	RMSE (m)	MAE	AIC	پیش‌بینی مقادیر منفی
۱	ARIMA	(۰و۰)	(۱و۲و۱)	۰/۹۴	۴/۱	۲/۷	۱۱۹۳/۹	-
۲	ARIMA	(۰و۰)	(۲و۲و۲)	۰/۸	۷/۹	۳/۷	۱۴۵۸/۶	√
۳	ARIMA	(۱و۱)	(۲و۲و۲)	۰/۹۶	۴	۲/۶	۱۱۶۳/۱	-
۴	ARIMA	(۰و۰)	(۰و۰و۰)	۰/۹۱	۳	۲/۱	۱۰۲۹/۶	-
۵	ARIMA	(۰و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۹۱	۳/۱	۲	۹۹۳/۳	-
۶	ARIMA	(۰و۰)	(۰و۰و۰)	۰/۸۹	۳/۲	۲/۴	۱۰۲۸	-
۷	ARIMA	(۰و۰)	(۱و۰و۰)	۰/۹	۲/۸	۲/۱	۱۱۹۰/۵	-
۸	ARIMA	(۱و۱)	(۰و۰و۰)	۰/۸۶	۳/۸	۲/۶	۱۱۹۲/۶	√
۹	ARIMA	(۱و۱)	(۱و۱و۱)	۰/۹۲	۳/۳	۲/۲	۱۰۶۴/۷	-
۱۰	ARIMA	(۰و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۸۹	۳/۳	۲/۲	۱۰۴۵	√
۱۱	ARIMA	(۱و۱)	(۱و۱و۱)	۰/۹۳	۲/۷	۱/۹	۸۷۵/۵	√
۱۲	ARIMA	(۱و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۸۸	۳/۴	۲/۳	۱۰۷۵	√
۱۳	ARIMA	(۰و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۸۸	۴	۲/۷	۱۱۶۳/۱	-
۱۴	ARIMA	(۱و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۸۹	۳/۲	۲/۲	۱۰۳۲	√
۱۵	ARIMA	(۱و۰)	(۰و۰و۰)	۰/۹	۳/۱	۲/۲	۱۱۹۱/۸	-
۱۶	ARIMA	(۱و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۸۹	۳/۲	۲/۲	۹۸۹/۶	√
۱۷	ARIMA	(۱و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۹۲	۲/۸	۱/۹	۹۵۵/۵	-
۱۸	ARIMA	(۱و۱)	(۰و۰و۲)	۰/۹۱	۳/۱	۲/۱	۱۰۰۸	√
۱۹	ARIMA	(۲و۰)	(۱و۱و۱)	۰/۸۹	۳/۲	۲/۲	۱۱۹۳/۹	√
۲۰	ARIMA	(۱و۱)	(۲و۰و۲)	۰/۹۳	۲/۷	۱/۹	۹۱۶	-

سه مدل $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ ، $ARIMA(1,1,1)(1,0,1)$ و $ARIMA(1,1,0)(1,0,1)$ که دارای کمترین مقدار معیار آکائیکه، خطای RMSE، خطای MAE و همبستگی (R^2) مناسب هستند، به عنوان مدل‌های برتر انتخاب گردیده اند و با توجه به اینکه مدل $ARIMA(1,1,1)(1,0,1)$ برای پیش‌بینی دبی متوسط ماهانه مقادیر منفی را در نظر می‌گیرد این مدل قابل استفاده برای این پارامتر (Q) نمی‌باشد. با توجه به اینکه طبق نظر محققان معیار آکائیکه یک معیار بسیار مناسب برای ارزیابی مدل‌های باکس و جنکینز است [۱۲]. مدل $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ دارای کمترین مقدار معیار آکائیکه بوده است لذا این مدل به عنوان بهترین روش پیش‌بینی دبی دراز مدت دبی متوسط ماهانه رودخانه مهران رود انتخاب گردید. صحت‌سنجی برای ۲۵ درصد داده‌های موجود ۱۰ سال اخیر انجام و پیش‌بینی برای ۱۰ سال آینده در نظر گرفته شده‌است. نتایج پیش‌بینی مدل‌ها مدل $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ در شکل (۱۲) و جدول (۷) ارائه شده‌است.



شکل ۱۲: نمودار حاصل از پیش‌بینی مدل $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ (۱۰ سال آینده)

Figure 12: Forecast Plot from $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ Model for the Next 10 Years

جدول ۷- نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ برای ۱۰ سال آینده

Table 7- Forecast Results from the $ARIMA(1,1,1)(2,0,2)$ Model for the Next 10 Years

نام رودخانه	سال آبی		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
مهران رود	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۱/۹	۱۳/۸	۱۵/۲	۱۴/۸	۱۳/۸	۱۷/۱	۱۵/۱	۲۱/۶	۱۸/۳	۹	۱/۷	۹/۸
مهران رود	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۲/۶	۱۳/۷	۱۶/۴	۱۵/۵	۱۵/۲	۱۷/۴	۱۵/۹	۲۴	۲۰/۱	۸/۴	۰/۵	۱۱/۶
مهران رود	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۲	۱۳/۷	۱۵/۲	۱۴/۸	۱۳/۸	۱۷	۱۵/۱	۲۱/۵	۱۸/۳	۹	۱/۶	۹/۵
مهران رود	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۲/۵	۱۳/۶	۱۶/۲	۱۵/۴	۱۵/۱	۱۷/۳	۱۵/۷	۲۳/۷	۱۹/۹	۸/۵	۲/۵	۱۰/۵
مهران رود	۱۴۰۴	۱۴۰۵	۱۲/۸	۱۳/۹	۱۵/۳	۱۴/۸	۱۳/۸	۱۶/۹	۱۵/۱	۲۱/۵	۲۰/۸	۷/۵	۱/۶	۹/۵
مهران رود	۱۴۰۵	۱۴۰۶	۱۲/۵	۱۳/۶	۱۶/۱	۱۵/۳	۱۴/۹	۱۷/۱	۱۵/۶	۱۵/۸	۲۶/۹	۷/۶	۲/۹	۹

مهران رود	۱۴۰۶	۱۴۰۷		۱۳/۳	۱۳/۹	۱۵/۳	۱۴/۷	۱۳/۸	۱۶/۸	۱۵	۱۴/۵	۲۷/۲	۹/۲	۲	۹/۶
مهران رود	۱۴۰۷	۱۴۰۸		۱۲/۵	۱۳/۵	۱۵/۹	۱۵/۲	۱۴/۸	۱۷	۱۵/۵	۱۵/۶	۲۶/۷	۹/۷	۲/۴	۸/۲
مهران رود	۱۴۰۸	۱۴۰۹		۱۳/۲	۱۳/۸	۱۵/۲	۱۴/۷	۱۳/۸	۱۶/۸	۱۵	۱۴/۵	۲۷	۱۰/۶	۱/۷	۷/۶
مهران رود	۱۴۰۹	۱۴۱۰		۱۳/۱	۱۳/۸	۱۵/۲	۱۴/۶	۱۳/۸	۱۶/۷	۱۴/۹	۱۴/۵	۲۶/۷	۱۰/۵	۱/۸	۷/۶

۳-۴- برآورد دبی با دوره بازگشت مختلف به کمک مدل HEC-HMS

۳-۴-۱- روش SCS

به طور کلی برآورد سیلاب‌ها در طراحی سازه‌ها و تاسیسات کنترل سیل جهت جلوگیری از خطرات جانی و مالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات برآورد دبی با استفاده از روش آماری و بارندگی حداکثر و اعمال الگوهای تیپ بارندگی (منطبق با شرایط آب و هوایی حوزه آبریز مورد مطالعه) و ارزیابی پارامترهای هندسی حوضه با استفاده از مدل HEC-HMS صورت پذیرفته است. در مطالعات حاضر پارامترهای ورودی به مدل بشرح زیر مدنظر قرار گرفته است:

۱- پارامترهای هندسی حوزه آبریز مورد مطالعه، ۲- مساحت حوضه آبریز در نقاط مورد مطالعه و زمان تمرکز براساس نتایج فیزیوگرافی (دریافتی)، ۳- بارندگی ۶ ساعته (آمار و اطلاعات دریافتی) و ۴- CN براساس کاربری اراضی منطقه و نقشه زمین شناسی منطقه، با در نظر گرفتن میزان نفوذ پذیری خاک از نوع B و $CN=75$ تعیین گردیده است. و در نهایت با استفاده از پارامترهای مذکور و بکارگیری مدل HEC-HMS هیدروگراف سیلاب‌های حداکثر رودخانه مهران رود برآورد و در جدول شماره (۸) ارائه شده است. دبی با دوره بازگشت مختلف برای دو حالت زیر برآورد گردید:

(۱) برآورد دبی براساس داده‌های دریافتی (۲) برآورد دبی براساس داده‌های موجود و داده‌های پیش‌بینی شده جدول ۸ مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف برای حالت ۱ و جدول ۹ برای حالت ۲ نشان می‌دهد

جدول ۸- مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف (m^3/s) (داده‌های دریافتی)

Table 8- Flood Discharge Values for Different Return Periods (m^3/s) (Received Data)

ردیف	نام محل	دوره برگشت (سال)						
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۱	حوضه مهران رود	۲۳/۰۴	۴۵/۵۳	۶۴/۶۴	۹۳/۹۴	۱۱۹/۴۴	۱۴۸/۵۱	۱۸۱/۱۷

جدول ۹- مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف (m^3/s) (داده‌های موجود و پیش‌بینی شده)

Table 9- Flood Discharge Values for Different Return Periods (m^3/s) (Observed and Predicted Data)

ردیف	نام محل	دوره برگشت (سال)						
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۱	حوضه مهران رود	۲۳/۲	۴۵/۶	۶۹/۲	۱۱۲/۸	۱۴۶/۹	۱۸۱/۶	۲۲۰/۵

نتایج نشان می‌دهد دبی‌ها تا دوره بازگشت ۱۰ ساله تغییر چندانی ندارند ولی در دوره بازگشت‌های بالاتر تغییرات محسوس‌تر است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- درصد افزایش مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف (m^3/s) با در نظر گرفتن ۱۰ سال آینده

Table 10- Percentage Increase in Flood Discharge Values for Different Return Periods (m^3/s) Considering the Next 10 Years

ردیف	داده‌ها	دوره برگشت (سال)						
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۱	موجود	۲۳/۰۴	۴۵/۲۳	۶۴/۶۴	۹۳/۹۴	۱۱۹/۴۴	۱۴۶/۵۱	۱۸۱/۱۷
۲	موجود + پیش‌بینی شده	۲۳/۲	۴۵/۶	۶۹/۲	۱۱۲/۸	۱۴۶/۹	۱۸۱/۶	۲۲۰/۵
۳	درصد افزایش	%۰/۶	%۰/۸	%۷	%۱۶/۷	%۲۳	%۲۳/۹	%۲۴/۵

۳-۵- آنالیز حساسیت

در آنالیز حساسیت میزان تأثیرگذاری پارامترها بر روی نتایج مدل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از جمله پارامتری که در شبیه سازی جریان رودخانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد ضریب زبری است. ضریب زبری بر سرعت، عمق و پهنه سیل تأثیر گذار است از طرفی وقوع سیل و دخل و تصرف در بستر و حریم رودخانه در ضریب زبری موثر است/ در این تحقیق در انجام آنالیز حساسیت تغییرات رقوم سطح آب به ازای تغییر پارامترها مدنظر بوده است. تغییرات تراز سطح آب به ازای تغییرات ضریب زبری کانال اصلی و سیلاب‌دشت در بازه‌های مختلف در جدول (۱۱) ارائه شده است. نتایج حاصله حاکی از آن است که تغییرات زبری تغییرات چندانی در رقوم سطح آب ایجاد نمی‌کند. تغییر ۲۰ درصدی ضریب زبری مانینگ رودخانه مهران رود و سواحل آن به طور متوسط ۴/۲ درصد تراز سطح آب را تغییر می‌دهد.

جدول ۱۱- درصد تغییرات تراز سطح آب نسبت به درصد تغییرات ضریب زبری

Table 11- Percentage Change in Water Level Relative to Percentage Change in Roughness Coefficient

درصد تغییرات ضریب زبری				بازه رودخانه	
-۲۰	-۱۰	+۱۰	+۲۰		
-۴/۲	-۱/۵	+۱/۴	+۴	کانال اصلی	درصد تغییرات تراز
-۴/۵	-۱/۵۲	+۱/۴۳	+۴/۱	سیلاب دشت	آب

۳-۶- نتایج HEC-RAS

مدل به ازاء دبی با دوره‌های بازگشت مختلف در حالت ماندگار، برای دو حات (داده‌های موجود و پیش‌بینی شده) اجرا گردید. حداکثر سرعت ۷/۶۴ متر بر ثانیه و سرعت متوسط ۴/۸ متر بر ثانیه شرایط موجود می‌باشد. نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه مهران رود برای دو حالت (شرایط موجود و اطلاعات حاصل از تغییر اقلیم) نشان می‌دهد سرعت در هر دو مدل تغییرات محسوسی ندارد تنها ۵ درصد افزایش داشته است اما تراز سطح آب (ارتفاع آب) و پهنای سیلاب تغییرات چشمگیری دارند به طوری که پهنای سیلاب ۲۰۰ ساله در حالت تغییر اقلیم ۱۰ درصد بیشتر از شرایط موجود است. همچنین تراز سطح آب در شرایط تغییر اقلیم ۱۱ درصد افزایش داشته است.

۴-۷- اقدام مدیریتی و ساماندهی مورد نیاز جهت مدیریت و کاهش ریسک سیلاب

طبق بازدیدهای محلی و ارزیابی نقشه پهنه سیلاب با واقعیت و موقعیت جغرافیایی منطقه، مناطق مسکونی در فاصله مناسبی از حاشیه رودخانه قرار دارند و بیشترین بحث کنترل حجم سیلاب و تثبیت کناره‌های رودخانه جهت جلوگیری از تخریب کناره‌ها در سیلاب‌های بزرگ است.

به منظور ارزیابی و مدیریت و انتخاب بهترین گزینه از روش تصمیم‌گیری چند منظوره استفاده شد. سناریوهای پیشنهادی عبارتند از:

R1: روش‌های سازه‌ای، R2: روش غیر سازه‌ای، R3: روش بیولوژیکی، R4: ترکیب سازه‌ای و بیولوژیکی و

R5: ترکیب سازه‌ای و غیر سازه‌ای.

به جهت اولویت‌بندی با توجه به اهداف طرح ۶ معیار با وزنه‌های متفاوت برای این مطالعات تعریف گردید:

C1 تامین مواد و مصالح، C2 بعد مسافت (حمل و نقل)، C3 سهولت اجرا، C4 هزینه اجرا، C5 هزینه نگهداری و C6 طول عمر سازه.

پس از تعیین بازه‌های مختلف به صورت متوسط وزنی بر پایه وزن معیار در وزن اولویت‌بندی، امتیازدهی گردید. جدول شماره (۱۲) معیارهای ارزیابی، جدول شماره (۱۳) امتیاز بازه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲- معیارهای ارزیابی

Table 12- Evaluation Criteria

C6	C5	C4	C3	C2	C1	معیارهای ارزیابی
طول عمر سازه	هزینه نگهداری	هزینه اجرا	سهولت اجرا	حمل و نقل	تامین مواد و مصالح	شرح معیار
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۲۰	وزن معیار

جدول ۱۳- امتیاز بازه‌های مطالعاتی

Table 13- Study Range Scores

جمع کل	C6		C5		C4		C3		C2		C1		معیارهای ارزیابی
	طول عمر سازه		هزینه نگهداری		هزینه اجرا		سهولت اجرا		حمل و نقل		تامین مواد و مصالح		شرح معیار
	۰/۱۵		۰/۱۵		۰/۳		۰/۱		۰/۱		۰/۲۰		وزن معیار
۱/۹۵	نمره	جمع	نمره	جمع	نمره	جمع	نمره	جمع	نمره	جمع	نمره	جمع	
۱/۹۵	۱	۰/۱۵	۲	۰/۳	۱	۰/۳	۳	۰/۳	۵	۰/۵	۲	۰/۴	R1
۱/۸۰	۱	۰/۱۵	۱	۰/۱۵	۰/۶۷	۰/۲	۲	۰/۲	۵	۰/۵	۳	۰/۶	R2
۱/۴۰	۲	۰/۴۵	۳	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۱	۱	۰/۱	۱	۰/۱	۱	۰/۲	R3
۲/۸۵	۱	۰/۱۵	۲	۰/۳	۰/۶۷	۰/۵	۴	۰/۴	۵	۰/۵	۵	۱	R4
۲/۶۵	۱	۰/۱۵	۲	۰/۳	۱/۳۳	۰/۴	۵	۰/۵	۵	۰/۵	۴	۰/۸	R5

با توجه به هدف مطالعات که ساماندهی ۵ کیلومتر از رودخانه مهران رود در بالادست تبریز است از مدل‌سازی هیدرولیکی و با توجه به بازدیدهای میدانی بازه‌های مختلفی تعیین به روش علمی SAW به صورت متوسط وزنی بر پایه وزن معیار در وزن اولویت‌بندی، امتیازدهی گردید. جدول شماره (۱۴) اولویت‌بندی نهایی را نشان می‌دهد. سناریو منتخب ترکیب روش‌های سازه‌ای و بیولوژیکی است

جدول ۱۴- اولویت‌بندی نهایی

Table 14- Final Prioritization

امتیاز	نام	سناریو
۲/۸۵	ترکیب روش سازه‌ای و بیولوژیکی	R4
۲/۶۵	ترکیب روش سازه‌ای و غیر سازه‌ای	R5
۱/۹۵	روش‌های سازه‌ای	R1
۱/۸	روش غیر سازه‌ای	R2
۱/۴	روش بیولوژیکی	R3

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به گزارشات موجود شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی وضعیت اقلیمی حوضه مورد مطالعه با استفاده از شاخص میانگین متحرک تغییرات متوسط بارندگی سالانه و نوع اقلیم حوضه مورد مطالعه با شاخص دومارتن و آمبرژه ارزیابی شده و به کمک نرم‌افزار SPSS مدل ARIMA دبی رودخانه مهران رود برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شده و سپس به کمک نرم‌افزار HEC-HMS به روش SCS دوره بازگشت جدید با توجه به ۱۰ سال پیش‌بینی، محاسبه گردید/ سپس با نرم‌افزار HEC-RAS پهنه سیلاب مشخص و مناطقی که نیاز به ساماندهی دارند تعیین شد و در نهایت روش‌های مدیریتی برای کاهش ریسک سیلاب در مناطق پر خطر به کمک تصمیم‌گیری چند متغیره، روش SAW بهترین گزینه با امتیازدهی و وزن‌دهی انتخاب گردید.

خلاصه نتایج به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- ارزیابی نمودار میانگین متحرک ۵،۳ و ۷ ساله نشان می‌دهد از سال آبی ۶۱-۶۰ بارندگی سالانه کمتر از متوسط دراز مدت بارندگی است یعنی وارد یک دوره خشکسالی شده که بر روی میانگین دراز مدت بارندگی سالانه نیز تاثیر گذاشته و بارش ۲۹۵ میلیمتر در سال به ۲۶۵ میلیمتر کاهش یافته‌است. ولی از سال آبی ۹۴-۹۳ کم کم وارد دوره ترسالی شده و انتظار می‌رود بارش حوضه و دبی رودخانه مهران رود افزایش یابد.
- ۲- جهت تعیین نوع اقلیم منطقه از روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن و اقلیم نمای آمبرژه استفاده شده‌است. محاسبات نشان می‌دهد براساس ضرایب خشکی دومارتن اقلیم شهر تبریز نیمه‌خشک می‌باشد. همچنین اقلیم نمای آمبرژه نشان می‌دهد ۲۰ سال قبل تبریز در ناحیه نیمه خشک و سرد قرار داشته ولی در حال حاضر در ناحیه خشک و سرد قرار دارد (تغییر اقلیم) با خشکتر شدن اقلیم لایه‌های سطحی خاک خشکتر شده، در بارندگی نفوذ رواناب به خاک کمتر شده و انتظار می‌رود دبی سیلابی افزایش یابد.
- ۳- نرم‌افزار SPSS ۲۲ مدل ARIMA را برای پیش‌بینی دبی پیشنهاد نمود. در بررسی مدل‌های مختلف ARIMA همبستگی بین مقادیر واقعی و مدل‌بندی شده تقریباً بین ۸۰ الی ۹۰ درصد بود.
- ۴- مدل $ARIMA(1,1,1)$ و $ARIMA(2,0,2)$ دارای کمترین مقدار معیار آکائیکه، خطای RMSE، خطای MAE و همبستگی (R^2) است، به عنوان مدل برتر انتخاب شد.
- ۵- نرمال سازی داده‌های آماری ورودی به عنوان یکی از شرایط حل مسائل پیش‌بینی به کمک سری زمانی بایستی مورد توجه قرار گیرد.
- ۶- در مدل‌های ARIMA صحت‌سنجی برای ۲۵ درصد داده‌ها و پیش‌بینی برای ۱۰ سال آینده در نظر گرفته شده‌است.
- ۷- با نرم‌افزار HEC-HMS به روش SCS دبی با دوره بازگشت مختلف برای دو حالت الف) برآورد دبی براساس داده‌های موجود، ب) برآورد دبی براساس داده‌های موجود و داده‌های پیش‌بینی شده، برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد دبی‌ها تا دوره بازگشت ۱۰ ساله برای دو حالت تغییر چندانی ندارند ولی در دوره بازگشت‌های بالاتر تغییرات محسوستر است، بطوری که در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله دبی ۲۴/۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد.
- ۸- با توجه به نتایج محاسبات هیدرولیکی نرم‌افزار HEC-RAS حداقل سرعت در مسیر رودخانه ۲/۷۲ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت ۷/۶۴ متر بر ثانیه می‌باشد غالباً جریان فوق بحرانی است.
- ۹- تغییر ۲۰ درصدی ضریب زبری مانینگ رودخانه مهران رود و سواحل آن به‌طور متوسط ۲/۴ درصد تراز سطح آب را تغییر می‌دهد لذا نتایج آنالیز حساسیت حاکی از آن است که تغییرات زبری تغییرات چندانی در رقوم سطح آب ایجاد نمی‌کند.
- ۱۰- نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه مهران رود برای دو حالت (شرایط موجود و اطلاعات حاصل از تغییر اقلیم) نشان می‌دهد سرعت در هر دو مدل تغییرات محسوسی ندارد تنها ۵ درصد افزایش داشته است اما تراز سطح آب (ارتفاع آب) و پهنای سیلاب تغییرات چشمگیری دارند به طوری که پهنای سیلاب ۲۰۰ ساله در حالت تغییر اقلیم ۱۰ درصد بیشتر از شرایط موجود است. همچنین تراز سطح آب در شرایط تغییر اقلیم ۱۱ درصد افزایش داشته است.

- ۱۱- با بهره‌گیری از مدل هیدرولیکی HEC-RAS می‌توان پهنه‌های سیلاب را برای دوره‌های بازگشت مختلف ارائه و به کمک نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب نقاط در معرض خطر را شناسایی نمود.
- ۱۲- به کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره سناریو ترکیب روش سازه‌ای و بیولوژیکی جهت مدیریت ریسک سیلاب و کاهش خسارات جانی و مالی، رودخانه مهران رود انتخاب گردید.

References

- Abdelbasset, M., Abderrahim, L., Abdel_Ali, CH., Abdellah, B., & Lahcen, B. (2015). Integration of GIS and HEC-RAS in Floods Modeling of The OUERGHA RIVER, Northern Morocco. *European Scientific Journal*, 11(2), 196-204.
- Ali-Ahmadi, N., Moradi, A. H., & Sardar-Shaharki, A. (2021). Forecasting the best time series model for climatic parameters in the Helmand watershed. *Climatology Research Journal*, 47, 85-120. [In Persian].
- Andam, K. S. (2003). *Comparing physical habitat conditions in forested and non-forested stream.. Doctoral dissertation, University of Vermont.*
- Ataei, M. (2015). *Fuzzy multi-criteria decision Making, Second Edition, shahrood: Shahrood University of Technology, [In Persian].*
- Bakhtiyari, M., Kashfi-Pour, S. M., & Asgari Pari, S. A. (2012). Investigating the effect of cross-sectional structures on floodplain using the HEC-RAS hydraulic model in a GIS environment. *Agricultural Sciences and Irrigation Engineering Journal*, 35(3), 37-46. [In Persian]. Doi: 20.1001.1.25885952.1391.35.3.5.3
- Damadi, S., Dehvari, A., & Dehmorda Qal'eh-No, A. (2021). Flood zoning using HEC-RAS hydraulic model in the Sarbaz river, Sistan and Baluchestan province. *Watershed Engineering and Management Scientific-Research Journal*. 13(3), 590-610. [In Persian]. Doi.org/10.22092/ijwmse.2021.124028.1573
- Danandeh Mehr, A., Ghadimi, S., Marttila, H., & Torabi Haghghi, A. (2022). A new evolutionary time series model for streamflow forecasting in boreal lake-river systems. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(1), 255-268.
- De MOEL, H., & Aerts, J. C. J. H. (2011). Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Natural Hazards*, 58, 407-425. DOI 10.1007/s11069-010-9675-620
- Hasani, H. (2013). Determination of Flood Plain Zoning in Zarigol river Using the Hydraulic Model of HEC-RAS. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 5(3), 399-403. ISSN 2251-838X.
- Jiang, C., Xiong, L., Wang, D., Liu, P., Guo, S., & Xu, C. Y. (2015). Separating the impacts of climate change and human activities on runoff using the Budyko-type equations with time-varying parameters. *Journal of Hydrology*, 522, 326-338. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.12.060
- Khosravi, A., & Azari, M. (2020). Determining the Spatio-temporal trend and the point of temperature and precipitation change in the Keshfarood watershed. *Applied Researches in Geographical Sciences Journal*, 66, 306-319. [In Persian]. Doi: 10.52547/jgs.22.66.289
- Knebl, M. R., Yang, Z. L., Hutchison, K., & Maidment, D. R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio river Basin Summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management*, 75(4), 325-336. DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.11.024
- Kuo, C. C., Gan, T. Y., & Gizaw, M. (2015). Potential impact of climate change on intensity duration frequency curves of central Alberta. *Climatic Change*, 130, 115-129. DOI: 10.1007/s10584-015-1347-9
- Kusratmoko, E., Kuswantoro, M., & Amro, M. (2016). Spatial modelling of flood inundation case study of Pesanggrahan floodplain, Jakarta, Indonesia. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 5(3), 1-10. DOI: 10.9734/JGEESI/2016/23524
- Napradean, I., & Chira, R. (2006). The hydrological modeling of the Usturoi valley-using two modeling programs-WetSpa and HecRas. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 1(1), 53-62.
- Office of Strategic Planning and Supervision of the President. (2011). *Guide to determining hydraulic roughness coefficient of rivers (Report No. 331, 106 pages.)*. Tehran, Iran. [In Persian].
- Office of Strategic Planning and Supervision of the President. (2012). *Guide to the application of mathematical and physical models in engineering studies and river management (Report No. 584, 154 pages.)*. Tehran, Iran [In Persian].
- Pakbáz, H., Zarei, N., & Zahedi, A. (2013). Effects of bed roughness coefficient changes on hydraulic flow components using the WMS model: Case study of the Chehel Chai watershed. *12th Iranian Hydraulic Conference, Karaj 2013*. <https://civilica.com/doc/379468>, 8 pages. [In Persian].

- Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M., & Blazkova, S. J. J. O. H. (2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *Journal of hydrology*, 302(1-4), 46-69. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.06.036
- Pilgrim, D. H., Chapman, T. G., & Doran, D. G. (1988). Problems of rainfall-runoff modelling in arid and semiarid regions. *Hydrological Sciences Journal*, 33(4), 379-400. Doi.org/10.1080/02626668809491261
- Posi, S., Montabonnet, L., Recking, A., & Evette, A. (2018). Experimental study of riverbank protection with bio-engineering techniques. Ninth International Conference on Fluvial Hydraulics. In E3S Web of Conferences (Vol. 40, p. 05023). EDP Sciences. Doi.org/10.1051/e3_sconf/20184005023
- Ramanathan, V. C. P. J., Crutzen, P. J., Kiehl, J. T., & Rosenfeld, D. (2001). Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *science*, 294, 2119-2124. DOI: 10.1126/science.1064034
- Roushan, H., Vahabzadeh, G., Soleimani, K., & Farhadi, R. (2013). Simulation of river hydraulic behavior using the HEC-RAS model in GIS environment: A case study of the Bashar river, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Watershed Management Research Journal*, 4(7), 70-86. [In Persian].
- O-IPCC. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridg: Cambridge university press.
- Shakib, H., & Hashemiyani, R. (2017). Water quality assessment and flood zoning using HEC-RAS hydraulic model and ARCGIS: Case study of Kashf Rood river, Razavi Khorasan province. *4th International Conference on Environmental Planning and Management*. [In Persian].
- Shammout, M. (2014). Comparison and assessment of success of models in watershed simulation and management. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, 599-608. DOI: 10.4236/jwarp.2014.66058
- Shanahan, T. M., Overpeck, J. T., Anchukaitis, K. J., Beck, J. W., Cole, J. E., Dettman, D. L., ... & King, J. W. (2009). Atlantic forcing of persistent drought in West Africa. *science*, 324, 377-380. DOI: 10.1126/science.1166352
- Shayan-Nejad, M., Akbari, N., & Honarbakhsh, A. (2014). Development of a nonlinear masking model and comparison with the HEC-RAS model for flood routing in rivers. *Ecohydrology Journal*, 2, 111-122. [In Persian]. Doi: 10.22059/IJE.2014.53547
- Sheikh-Alishahi, N., Jamali, A., & Hassan-Zadeh, M. (2016). Flood zoning using the river hydraulic model (Case study: Manshad watershed, Yazd province). *Geographical Space Scientific-Research Journal*, 16(53), 77-96. [In Persian].
- Solomon, S. (2007). *Climate change the physical science basis*. New York: In Agu fall meeting abstracts Pub.
- Stevenson, D. (2009). *1-D HEC-RAS Model and Sensitivity Analysis for St. Clair river from 1971 – 2007*. International Joint Commission, International Upper Great Lakes Study. Ottawa: IJCI UGL Pub: 57 p.
- Williams, A. P., & Funk, C. (2011). A westward extension of the warm pool leads to a westward extension of the Walker circulation, drying eastern Africa. *Climate Dynamics*, 37, 2417-2435. DOI 10.1007/s00382-010-0984-y
- Yamani, M., Torani, M., & Chazgeh, S. (2012). Determining flood-prone areas using the HEC-RAS model: Case study of the upstream of Taleqan Dam from Gholink Bridge to Voshta Bridge. *Geography and Environmental Hazards Journal*, 1, 1-16. [In Persian]. Doi: 10.22067/GEO.V1I1.16519

Management and risk assessment of flash floods in urban and rural areas under climate change conditions (A case study: Mehran river, Tabriz)

Ahmadreza Mohaghegh¹, Sina Fard Moradnia^{1,2*}, Ebrahim Salami³

1. Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2. Robotics & Soft Technologies Research Center, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

3. Department of Civil Engineering, Payame Noor University(PNU). P.O. Box,19395-3697, Tehran, Iran

* Correspondence: fardmoradnia@iaut.ac.ir- ORCID:0000-0003-3539-7311

Abstract

Climate change is having a significant impact on natural phenomena such as floods. The effective management and risk assessment of floods, as well as the organization of river systems, are essential in reducing the risks to human life and property damage caused by flooding. This study assesses the 3.5 and 7-year moving average graphs and finds that precipitation has gradually entered a triennial period. It is expected that the precipitation in the Mehran river basin and its flow rate will increase. The Ambrageh climate map shows that Tabriz was located in a semi-arid and cold area 20 years ago, but now it is located in a dry and cold area. It is expected that the flood flow will increase due to these changes. Monthly flow rates for the next 10 years were predicted using the time series model (2,0,2) (1,1,1) ARIMA. The HEC-HMS software was used to estimate the flow rate for different return periods under two scenarios: a) estimating the flow rate based on available data and b) estimating the flow rate based on available and predicted data. The flow rate showed a 5.24% increase in the 200-year return period under the second scenario. Furthermore, hydraulic modeling of the Mehran river using the HEC-RAS software indicated that the width of the 200-year flood in climate change conditions would be 10% higher than current conditions. Additionally, the water level would increase by 11% under these conditions. The study employed the SAW multi-criteria decision-making method to combine structural and biological methods in managing flood risks and reducing the damage to human life and property. The Mehran river was selected as the focus for implementing these methods based on modeling results, field visits, and review of reputable publications and articles.

Key Words: Floodzooming, Climate change, Evaluation of the flood risk, SAW. HEC-Geo RAS Model

Introduction

Climate change, driven by increasing greenhouse gas emissions, has exerted profound impacts on hydrological cycles over the past few decades, leading to more frequent and intense floods. Projections from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicate that even with stabilized greenhouse gas emissions, climate change will persist for centuries, resulting in higher temperatures, more extreme precipitation events, and flash floods. These changes have rendered urban and rural areas increasingly vulnerable due to rising population densities, urbanization, and land-use changes. Traditionally, flood management has focused on structural measures such as levees and dikes. However, contemporary approaches emphasize a combination of structural and non-structural measures, particularly multi-criteria decision-making and environmentally friendly methods, to mitigate flood impacts. This study selected the Mehranrud river in Tabriz as a case study to investigate the effects of climate change on discharge and flood behavior using advanced forecasting models, hydraulic modeling, and multi-criteria decision-making techniques. The primary objective was to develop strategies to reduce flood-related casualties and financial losses while ensuring environmental sustainability and the safety of urban infrastructure.

Materials and Methods

A multi-faceted approach, combining statistical, hydrological, hydraulic, and multi-criteria decision-making methods, was employed to assess and manage flood risk in the Mehranrud river. The ARIMA model was used to forecast future changes in river discharge. Historical discharge data from the Liqvan-Heravi hydrometric station were analyzed after normalization. The ARIMA model with parameters (2,0,2)(1,1,1) was selected using SPSS, offering the lowest errors and highest prediction accuracy. The HEC-HMS model and SCS method were then used to estimate flood discharge for various return periods (2 to 200 years) under two scenarios: historical

data and projected data. This comparative approach clearly demonstrated the impact of climate change on increasing flood intensity and frequency. The HEC-RAS software was employed for hydraulic analysis and flood zone delineation, calculating water surface profiles based on continuity, momentum, and energy equations. Climate change impacts on flood extent and water depth were simulated. Additionally, sensitivity analysis was conducted on the roughness coefficient, revealing its significant influence on water levels and flood extent. Finally, the Simple Additive Weighting (SAW) multi-criteria decision-making method was used to select the optimal management scenario based on criteria such as cost, ease of implementation, structure lifespan, and material supply. After weighting and aggregation, a combined approach of structural and biological measures was selected as the best option for flood management.

Results and Discussion

The results indicate that climate change has significantly impacted the discharge and flood behavior of the Mehranrud river. Analysis of annual precipitation data revealed a shift towards a wetter period since 1993-1994, with a projected 24.5% increase in discharge for longer return periods. This increases the risk of more frequent and severe floods, especially in urban areas. Hydraulic modeling using HEC-RAS demonstrated that climate change not only increases discharge but also expands floodplains and elevates water levels. For a 200-year return period, flood extent increased by 10% and water surface elevation by 11%, posing significant threats to urban areas. Sensitivity analysis of the roughness coefficient highlighted its crucial role in determining flood extent and severity. The SAW method identified a combination of structural and biological measures as the optimal management strategy. This approach, which includes levees, bank stabilization, and increased riparian vegetation, reduces casualties, financial losses, and enhances ecosystem health. It offers a sustainable solution with increased environmental resilience and lower long-term maintenance costs.

Conclusion

This research demonstrates that climate change has profoundly impacted the hydrological and hydraulic behavior of the Mehranrud river, necessitating a reassessment of flood management strategies. The projected increase in discharge and the identified vulnerabilities in urban areas underscore the need for proactive measures. Hydraulic modeling and sensitivity analysis emphasize the importance of accurate parameterization and the consideration of climate change impacts in flood risk assessment. The combined structural and biological approach offers a promising solution for sustainable flood management. This study provides a comprehensive framework for flood risk management in similar regions, aiding decision-makers in developing effective strategies to protect infrastructure and communities from future floods.

