



## Comparative comparison of SWMM and SMADA models to estimate flood hydrograph (case study: Zendan catchment area - Hormozgan province)

Mohammad Ibrahim Afifi , Farshid Hashemipour Petkoi , Vahid Sohrabi\*

Department of Geography, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Larestan Branch, Fars, Iran.

Corresponding author: [sohrabiv@ymail.com](mailto:sohrabiv@ymail.com)

© The Author(s) 2025

Received: 15 Jul 2024

Accepted: 04 Feb 2025

Published: 06 Feb 2025

### Abstract

Forecasting peak discharge and simulating flood hydrographs in streams and rivers is a complex process in hydrology. This study utilizes the SWMM and SMADA precipitation-runoff models, incorporating meteorological data (such as precipitation curves and evaporation rates) along with the physical characteristics of the catchment area and drainage basins to simulate the outflow hydrograph of the Zendan catchment area in Hormozgan Province. The aim of this study is to compare the performance of the SWMM and SMADA models in flood hydrograph simulation to determine the more suitable model for flood management. The research applications include flood mitigation strategies, risk reduction, and infrastructure planning. The watershed was divided into 11 single-branch sub-basins, with each sub-basin characterized by its physical properties, drainage characteristics of the sub-basin, and precipitation parameters. Each sub-basin was simulated as a nonlinear reservoir, and individual hydrographs were calculated based on the given characteristics. These hydrographs were then routed to the watershed outlet using the kinematic wave method to determine the final discharge. The SWMM model demonstrated a higher accuracy in flood hydrograph simulation, mainly due to its capability for calibration with various algorithms. While the SMADA model also produced flood hydrographs, it exhibited a larger discrepancy between simulated and observed floods. This is largely attributed to its reliance on older equations with higher error rates. The results indicate that, for this specific catchment, the SWMM model is more efficient than the SMADA model.

**Keywords:** SWMM, SMADA, Flood hydrograph, Zendan Basin



## مقایسه تطبیقی مدل‌های SWMM و SMADA جهت برآورد هیدرو گراف سیل (مطالعه موردی: حوضه آبریز زندان - استان هرمزگان)

محمدابراهیم عفیفی، فرشید هاشمی‌پور پتکوئی، وحید سهرابی\*

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، فارس، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: [sohrabiv@gmail.com](mailto:sohrabiv@gmail.com)

© The Authors 2025

چاپ:

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵

۱۴۰۳/۱۱/۱۸

### چکیده

پیش‌بینی دبی اوج و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در یک جریان آبراهه‌ای یا رودخانه‌ای، یکی از فرایندهای پیچیده در هیدرولوژی است. با مدل‌های بارش رواناب SWMM و SMADA و با استفاده از اطلاعات هواشناسی (مانند منحنی بارش، میزان تبخیر و...)، مشخصات فیزیکی حوضه آبریز، زهکش‌های حوضه، هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز را می‌توان شبیه‌سازی کرد. هدف از این تحقیق مقایسه مدل‌های SWMM و SMADA برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبریز زندان در استان هرمزگان است تا مدل مناسب‌تری برای مدیریت سیلاب‌ها انتخاب شود. ابتدا هر حوضه آبریز به زیرحوضه‌های آبریز کوچک‌تر تک شاخه‌ای تقسیم شد (۱۱ زیرحوضه). خصوصیات فیزیکی هر زیر حوضه، مشخصات زهکش زیر حوضه آبریز و مشخصات بارش به‌عنوان اطلاعات ورودی به مدل داده شد. سپس هر زیر حوضه آبریز به‌عنوان مخزن غیرخطی شبیه‌سازی و برای آن باتوجه به مشخصات داده شده، یک هیدروگراف واحد محاسبه شد. این هیدروگراف تا نقطه خروجی حوضه آبریز به‌صورت موج سینماتیکی روندیابی شده و در نهایت دبی خروجی از زیر حوضه تعیین شد. باتوجه به نتایج، مدل هیدرولوژی SWMM قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب تا حد قابل‌قبولی می‌باشد. زیرا که این مدل می‌تواند با الگوریتم‌های مختلف مورد کالیبراسیون قرار گیرد. در مدل SMADA نیز هیدروگراف سیلاب تا حدی شبیه‌سازی شد؛ اما به دلایل مختلف اختلاف بین سیلاب‌های رخ داده و شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبتاً زیاد بود. از دلایل مهم این اختلاف می‌توان به استفاده این مدل از چند رابطه که نسبتاً قدیمی و درصد خطای آنها بالاست اشاره نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل SWMM نسبت به مدل SMADA کارایی بیشتری در این حوضه دارد.

واژه‌های کلیدی: SMADA، SWMM، هیدرو گراف سیل، حوضه آبریز زندان

## ۱- مقدمه

سیل همواره در ایران خسارات جانی و مالی فراوانی به همراه داشته است. در این زمینه می‌توان به سیل سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ استان گلستان اشاره نمود که تنها برآثر سیل مردادماه ۱۳۸۰ حدود ۲۱۷ نفر کشته، صدها نفر بی‌خانمان و حدود ۵۰۰ میلیارد ریال به تأسیسات زیربنائی اعم از جاده و پل خسارت وارد شد (Lar Consulting Engineers Company, 2019). وقوع مکرر چنین سیلاب‌هایی در هر منطقه سبب نگرانی شدید مردم و مسئولین شده تا جایی که بررسی این پدیده و ارائه راهکارهای مؤثر برای مقابله و یا پیشگیری از آن ضروری به نظر می‌رسد. بدیهی است جلوگیری از وقوع سیلاب و یا کنترل کامل آن ناممکن است ولی با اتخاذ تمهیداتی می‌توان خسارات ناشی از آن را به حداقل رسانید. انجام این تمهیدات خود ملزم به پیش‌بینی نحوه وقوع سیلاب و مشخصات آن است. اطلاع از میزان و چگونگی تغییرات دبی و حجم در زمان و مکان اهمیت ویژه‌ای در پیش‌بینی سیلاب دارد (Hosseinzadeh et al., 2016). حوضه‌های آبریز امروزه در بسیاری از زمینه‌های مدیریتی در محیط‌های طبیعی مانند منابع طبیعی، آب، محیط‌زیست، کشاورزی و بلایای طبیعی به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی مورد پذیرش و استفاده قرار گرفته‌اند، به نحوی که تمامی برنامه‌ها در مقیاس وسیع و برنامه‌های اجرایی در مقیاس‌های کوچک‌تر در این حوضه‌ها مدنظر قرار می‌گیرند (Mahdavi, 2019). مدیریت حوضه آبریز، یکی از حساس‌ترین و درعین‌حال پیچیده‌ترین اشکال مدیریت منابع و تولید است (Mohammadi Motlagh & Jalal Kamali 2012). مدیریت حوضه آبریز برای کنترل یا کاهش جریان سطحی و تأثیر بر تولید رواناب انجام می‌شود.

تلاش دانشمندان و محققان، در جهت درک بهتر از پدیده‌های اساسی که رفتار فرایندهای ژئوفیزیکی در پیش‌گویی وضعیت‌های آبی را کنترل می‌کنند و همچنین ترکیب این وضعیت‌های پیش‌بینی‌شده برای طراحی، از موارد قابل توجه است. از آنجایی که این فرایندها همواره در طبیعت پیچیده و پویا هستند، مدل‌هایی با درجات مختلف ساده‌سازی برای پیش‌بینی رفتار سیستم توسعه یافتند. از عوامل تأثیرگذار در پیامد سیل می‌توان به رژیم بارش، دما، توپوگرافی، وضعیت پوش گیاهی، جنس خاک، رطوبت، ویژگی‌های فیزیولوژیکی حوضه‌ها و ناپایداری هوا اشاره کرد (Hajjarian, 2023). جهت حفاظت مناسب جامعه و محیط از اثرات وقوع سیلاب مانند: رواناب، فرسایش و آلودگی آب، انتخاب و کاربرد مدل‌های مناسب تجزیه و تحلیل مدیریت سیلاب لازم و ضروری است. این قبیل مدل‌ها بایستی ارائه مناسبی از رفتارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی داشته باشند (Adams & Papa, 2021). به طور کلی اکوسیستم‌های طبیعی همراه با پیچیدگی، پویایی و عدم قطعیت هستند (Mazandaranizadeh & Khodabakhshi, 2024). مدل‌های شبیه‌سازی مبنای کامپیوتری دارند که بخشی از معادلات چرخه آب را ارائه می‌دهند و برای پیش‌بینی میزان و عمق جریان آب، پتانسیل شستشو و بار رسوب استفاده می‌شوند. مدل‌های مذکور باید در برگرینده محاسبات زبری‌های سطحی، مقاومت جریان، حرکت آب، شیب‌های سطحی، عمق‌های رودخانه و خصوصیات خاک باشند (Westervelt, 2020). پیش‌بینی دبی اوج و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در یک جریان آبراهه‌ای یا رودخانه‌ای، یکی از فرآیندهای پیچیده در هیدرولوژی است (Feyzi et al., 2007). هدف اصلی استفاده از مدل‌های هیدرولوژی، شبیه‌سازی رفتار حوضه آبریز و پیش‌بینی اثر تغییرات شرایط حوضه و متغیرها بر عملکرد سیستم آبریز است (Telluri, 1996). مدل‌های هیدرولوژی قادر به شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطح زمین به منظور بهبود مدیریت منابع آب هستند (Dovonce, 2019). مدل‌های بارش - رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی هستند (Lange et al., 2014). دو کاربرد مهم مدل‌های بارش-رواناب، پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی است (Gautam, 2019). مهم‌ترین نقش مدل‌های کامپیوتری حوضه‌های آبریز، امکان‌پذیر ساختن ارتباط منطقی بین فرایندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، کیفیت آب و اقتصادی - اجتماعی با صرف هزینه معقول است. انتخاب مدل مناسب باید پس از ارزیابی همه‌جانبه نیازها، شناسایی امکانات موجود و بررسی مدل‌های قابل دسترس صورت

گیرد. استفاده از مدل‌های کامپیوتری در سیستم‌های جمع‌آوری و تخلیه آب‌های مازاد غالباً با هدف بررسی وضعیت موجود یا تشخیص مشکلات و ارائه روش برای حل مشکلات صورت می‌گیرد (Taheri Behbahani & Bozorgzadeh, 1996). یکی از وظایف مهم دولت‌ها کاهش اثرات بلایای طبیعی هست. طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده بیش از چهل نوع بلای طبیعی در سطح جهان تشخیص داده شده که وقوع ۳۱ مورد آن در ایران ثبت شده است (Payab, 2025). بر اساس آمار ستاد حوادث غیرمترقبه کشور بالاترین میزان خسارات مالی ناشی از حوادث غیرمترقبه پس از خشکسالی بر اثر سیل بوده است. سیلاب یک پدیده طبیعی است که همواره جوامع انسانی را مورد تهدید قرار می‌دهد. لذا با استفاده از اقداماتی می‌توان میزان یا اثرات منفی سیلاب را کاهش داده و حتی‌المقدور از زیان‌های وارده به انسان و املاک و دارایی‌ها جلوگیری به عمل آورد. اقدامات مربوط به جلوگیری از زیان‌های سیلاب و مدیریت آن سعی بر آن دارد که اثرات سیلابی شدن را بر شرایط اجتماعی و اقتصادی که در اثر تغییر کاربری حوضه آبریز و به‌ویژه استفاده از سیلاب دشت به وجود آمده کاهش دهد. اقدامات جامع مدیریت و جلوگیری از زیان‌های سیل شامل دودسته‌اند: اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مدیریتی). اقدامات سازه‌ای، همانند بهسازی آبراه، ذخیره سیلاب و احداث گوره عموماً برای کاهش وقوع سیل یا جلوگیری از توسعه سیل‌زدگی انجام می‌گیرند. درحالی‌که، اقدامات غیرسازه‌ای، همانند بیمه سیل، طرح‌های هشدار سیل، پهنه‌بندی سیلاب دشت و یا ترکیبی از آن‌ها در اصل برای کاهش خسارت سیلاب هستند. سیلاب‌هایی که در ایران اتفاق می‌افتد به‌طور کلی به سه نوع، سیلاب‌های ناشی از انواع باران‌ها، ترکیب ذوب برف باران و در مواقعی تنها ذوب برف تعلق دارند. در نواحی گرم و خشک ایران از جمله مناطق جنوبی، شرقی و مرکزی سیلاب‌های ناشی از باران به‌ویژه باران‌های موسمی نیز دیده می‌شود. در مناطق معتدل و سرد کشور از جمله شمال و شمال غربی و بخش وسیعی از غرب، سیلاب‌های ناشی از باران یا ترکیب ذوب برف باران وجه غالب سیلاب‌ها هستند. سیلاب‌ها، تند آب‌ها و طغیان‌ها عناوین مشابهی هستند که در موارد متفاوت به کار برده می‌شوند. درحالی‌که تعریف جامع و کاملی در این خصوص ارائه نشده است (Shabanloo & Karim Bakhsh, 2013). برخی از متخصصین هیدرولوژی، طغیان را به دبی‌هایی اطلاق می‌کنند که مساوی یا برابر مضرری از دبی متوسط سالیانه باشند مثلاً ۴ تا ۵ برابر، به عقیده برخی دیگر طغیان عبارت از یک دبی با احتمال وقوع کم مثلاً ۱ تا ۵ درصد است (Sohrabi et al., 2023). هر جریان سطحی صرف‌نظر از عامل ایجاد آن در صورتی سیل نامیده می‌شود که برحسب عرف و نظر کلی با افزایش حجم زیاد آب در یک مقطع مشخص همراه باشد. از تداوم زمانی محدودی برخوردار گردد. معمولاً از بستر طبیعی سرریز شده و اراضی حاشیه را در برگیرد و خسارات مالی و جانی به دنبال داشته باشد (Sohrabi & Afifi, 2023). طغیان رودها را که بر اساس آن ضمن بالا آمدن آب از حد معمول، اراضی مجاور را تحت پوشش قرار دهد سیل می‌گویند (Rajabizadeh et al., 2018). سیل پیامد جریان هرز آبی است که بر اثر بارش باران یا ذوب شدن برف رخ داده و به اندازه‌ای است که از سطح معمولی آب در نهرها و رودخانه‌ها بالاتر می‌آید (Ahmadi, 2019).

طغیان کردن جریان آب از یک رودخانه یا دیگر مجاری آب را که باعث خسارت شود سیل می‌گویند. همچنین جریان رودخانه‌ای نسبتاً زیاد که از مقطع طبیعی یا مصنوعی در یک بازه از رودخانه تجاوز کرده و سرریز شود را سیل می‌نامند (Hajjarian, 2023). کاهش اثرات سیل و پیش‌بینی اثرات سیلاب امری ضروری است در این راستا از مدل‌های مختلفی استفاده شده است به عنوان مثال (Ouyang et al., 2012)، در تحقیقی که در سطح شهر پکن انجام دادند، برای یک رخداد بارش نمونه، میزان غلظت اکسیژن موردنیاز (COD)، کل ذرات جامد معلق (TDS) و کل فسفر موجود (TP) را مورد بررسی قراردادند. آن‌ها با استفاده از مدل بارش رواناب SWMM منطقه مورد مطالعه را مدل‌سازی کردند، با مشخص کردن میزان نرخ بارگذاری آلاینده‌ها در مدل در نهایت مدل را اجرا کردند. با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های واقعی آن‌ها اعلام کردند که باید ۲۰ درصد میزان اولیه رواناب حاصل از بارش را

در محاسبات وارد نکنند که این امر می‌تواند در توضیح چگونگی انتقال آلودگی‌ها کمک کند. همچنین با بررسی‌های بیشتر به این نتیجه رسیدند که می‌توان با تنظیم سرعت جریان در منطقه بر روی کاهش دبی اوج و همچنین کاهش بار آلودگی تأثیر گذاشت. (Zamani & Khalilizadeh, 2014)، در تحقیقی جهت ارزیابی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهر بستک از مدل SWMM همراه با تلفیق آن با GIS استفاده نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که ۶ نقطه از شهر بستک با مشکل سیل‌گیری مواجه بوده که برای هر کدام از مناطق راهکار مناسب جهت کنترل سیلاب پیشنهاد گردید. نتایج تحقیق نشان داد که می‌توان از مدل‌هایی نظیر SWMM جهت پیش‌بینی خطر آب‌گرفتگی، طراحی و برآورد مقدار و هزینه زهکشی، مدیریت حوزه‌های شهری و اولویت‌بندی مناطق جهت رفع مشکل آب‌گرفتگی استفاده نمود.

(Mozaffari & Kabarfar, 2016)، به تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت عمق آب در منهول‌های (فاضلاب‌روهای زیرزمینی) مهم خط لوله‌های سیستم‌های زهکشی پرداختند. در این مطالعه که در مرکز شهر تاریخی شیراز در جنوب غرب ایران انجام شده است، از مدل SWMM برای شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب و روندیابی جریان در مجاری آب استفاده شد. همچنین شبیه‌سازی Monte-Carlo و روش LHS برای آنالیز عدم قطعیت بکار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب عمق آب در منهول‌های مختلف از ۱۲ تا ۶۶ درصد متغیر است. همچنین پارامترهای مربوط به زیر حوزه‌ها و بارندگی بیشترین تأثیر را بر دبی پیک سیل و عدم قطعیت آن دارد.

(Motlabi & Khalilizadeh, 2016)، در تحقیقی جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی سیلاب‌ها در شهر جهرم از GIS و مدل SMADA استفاده کردند. ابتدا اقدام به تهیه نقشه‌های شهری مربوط به سال‌های ۱۳۴۴ و ۱۳۸۵ نموده و سپس آن‌ها را در محیط Arc GIS رقومی و کاربری‌های مختلف روی هر کدام مشخص شدند. سپس با توجه به همین نقشه‌ها اقدام به تهیه نقشه شماره منحنی (CN) برای هر دوره در محیط GIS کردند. سپس در نرم‌افزار SMADA هایتوگراف رگبارها در دوره‌های بازگشت مختلف برای تیپ‌های یک و دو ترسیم شدند. در نهایت کلیه داده‌ها در مدل حوزه آبریز شهری SMADA وارد شد و سیلاب تولیدی در حوزه به ازای تیپ‌های مختلف بارش و در دوره بازگشت‌های مختلف یک‌بار برای سال ۱۳۴۴ و یک‌بار برای سال ۱۳۸۵ مشخص شدند. نتایج مدل نشان داد که تغییر کاربری اراضی مخصوصاً تبدیل باغات، اراضی زراعی و مرتعی به مناطق مسکونی و تجاری می‌تواند اثر قابل توجهی در دبی اوج و حجم سیلاب‌ها داشته باشد.

هدف از این پژوهش شبیه‌سازی هیدروگراف حوزه آبریز زندان استان هرمزگان با استفاده از مدل SWMM و SMADA و پیش‌بینی بهتر رفتار سیلابی حوزه آبریز زندان و انتخاب مدل برتر است.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از مدل‌های کامپیوتری SWMM و SMADA برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان استفاده شده است. در این مدل‌ها با استفاده از اطلاعات بارش، مشخصات فیزیکی حوضه آبریز و زهکش‌های حوضه، هیدروگراف خروجی از حوضه شبیه‌سازی می‌شود. پس از آماده کردن نقشه‌های موردنیاز مانند: شیب، کاربری و پوشش اراضی، شماره منحنی، شبکه زهکشی و همچنین داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی، پارامترهای موردنیاز مدل مانند اطلاعات بارش، خصوصیات فیزیکی حوضه و شبکه زهکشی حوضه به‌عنوان اطلاعات ورودی به مدل وارد شده و مدل جهت شبیه‌سازی جریان اجرا می‌گردد. حوضه آبریز به زیر حوضه‌های کوچک‌تر تقسیم شده و به‌عنوان مخزن غیرخطی شبیه‌سازی گردیده و برای آن با توجه به اطلاعات داده شده، یک هیدروگراف واحد

محاسبه شد. سپس این هیدروگراف تا نقطه خروجی حوضه با روش‌های مناسب روندیابی شده و دبی خروجی از زیرحوضه تعیین گردید. در نهایت با توجه به رویدادهای واقعی سیلاب و با استفاده از شاخص‌های ارزیابی کارایی دو مدل با هم مقایسه شدند.

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

گستره حوضه آبریز زندان در فاصله میان دو مدار جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۷ دقیقه و ۳ دقیقه طول خاوری واقع است. جاده آسفالتی بندرعباس به میناب (قسمت جنوبی حوضه) و بندرعباس به سیرجان (قسمت شمالی حوضه) دو جاده اصلی هستند که خارج از گستره مورد بررسی‌اند و از راه‌های فرعی که از جاده‌های یادشده آغاز می‌شوند می‌توان به حوضه آبریز رسید (Hormozgan Regional Water Company, 2014). وجود جلگه‌ی پست و کم ارتفاع در کنار ارتفاعات کوتاه و بلند، دشت‌ها و دره‌های نسبتاً بلند و مرتفع، شرایط اقلیمی ویژه‌ای را برای این منطقه ایجاد نموده که از نظر آب و هوایی در منطقه گرم و خشک ایران قرار گرفته و اقلیم آن تحت تأثیر آب‌وهوای بیابانی و نیمه‌بیابانی است. دمای متوسط سالانه‌ی این منطقه حدود ۲۷ درجه سلسیوس است. با توجه به قرارگیری استان در کمربند بیابانی متوسط بارش ۱۸۸ میلی‌متر در سال و یکی از مناطق کم آب و با درجه شوری نسبتاً زیاد است. تداوم دوره گرمای زیاد، تابستان‌های شرجی، بارش کم و تنوعی از مناطق با ویژگی‌های توپوگرافی متنوع، باعث ایجاد شرایط اقلیمی ویژه‌ای در این منطقه شده است (Rahimzadeh et al., 2011). با کاهش میزان بارش‌های سالانه و افزایش دمای هوا، میزان رواناب در مناطق کوهستانی مانند دهستان احمدی کاهش یافته است. با این حال، بارش‌های ناگهانی و شدید، منجر به سیلاب‌های موقتی شده‌اند که نفوذ آب به زمین را کاهش و تخریب زیست‌بوم‌های طبیعی را افزایش داده‌اند (Rahimzadeh et al., 2011). دهستان احمدی با توجه به تقسیمات کشوری سال ۱۳۸۲ یکی از مراکز دهستان‌های شهرستان حاجی‌آباد است که شامل ۴۹ آبادی است. با عنایت به آمار و اطلاعات حاصل از سرشماری نفوس و مسکن مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ استان هرمزگان شهرستان حاجی‌آباد دارای جمعیتی حدود ۶۴۸۹۷ نفر است که از این تعداد ۱۱۲۳۰ نفر در آبادی‌های دهستان احمدی سکونت دارند (مهم‌ترین مرکز جمعیتی محدوده طرح) (Hormozgan Regional Water Company, 2019). این آبادی در فاصله حدود ۱۳۸ کیلومتری جنوب شرقی حاجی‌آباد و ۱۶۸ کیلومتری شمال بندرعباس و در مسیر میمند-سراج قرار گرفته است. (Hormozgan Regional Water Company, 2021). کاهش بارش‌های فصلی و افزایش دما در منطقه هرمزگان، تأثیر مستقیم بر منابع آبی داشته و رواناب‌ها کاهش یافته است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تغییرات شدید اقلیمی می‌توانند منابع آب سطحی را تهدید کرده و موجب افزایش خشکسالی شوند (C.S. Pour, 2023).

## ۲-۲- مدل SWMM

ساختار مدل SWMM مشابه اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی بوده و در عین سادگی پیشرفته است. در این مدل هر حوضه آبریز به زیر حوضه‌های آبریز کوچک‌تر تک شاخه‌ای تقسیم شده و خصوصیات فیزیکی هر زیرحوضه، مشخصات زهکش زیرحوضه آبریز و مشخصات بارش به‌عنوان اطلاعات ورودی به آن داده می‌شود. در این مدل هر زیرحوضه آبریز به‌عنوان مخزن غیرخطی شبیه‌سازی و سپس برای آن با توجه به مشخصات داده شده، یک هیدروگراف واحد محاسبه می‌شود. سپس این هیدروگراف تا نقطه خروجی حوضه آبریز به صورت موج سینماتیکی روندیابی شده و در نهایت دبی خروجی از زیرحوضه تعیین می‌شود.

## ۲-۲-۱- مفهوم مخزن غیرخطی

به‌منظور تشریح مخزن غیرخطی، ابتدا باید مفهوم مخزن خطی ارائه شود. یک مخزن خطی به منبعی اطلاق می‌گردد که میزان حجم و ذخیره آب در آن با دبی خروجی از مخزن رابطه خطی داشته باشد (معادله ۱).

$$S = KQ \quad (1)$$

چنانچه نسبت میزان حجم آب ذخیره شده در یک مخزن در طول زمان مشخص، به میزان جریان خروجی از آن مقدار ثابتی نباشد به آن مخزن غیرخطی اطلاق می‌گردد (Imam Gholizadeh et al., 2007). در مدل SWMM، هر زیر حوضه آبریز به شکل یک مخزن غیرخطی به صورت شکل (۱) فرض می‌شود که در این مدل عمق رواناب حاصل از بارش (y) پس از کسر عمق چالاب (yp) و میزان تبخیر و نفوذ محاسبه می‌گردد. منظور از چالاب، گودال‌هایی در سطح زیرحوضه آبریز یا مخزن است که رواناب در آن محصور می‌گردد و لذا عملاً از میزان رواناب جاری در زیر حوضه کسر می‌گردد.

شکل ۱- مدل شماتیک مخزن غیرخطی

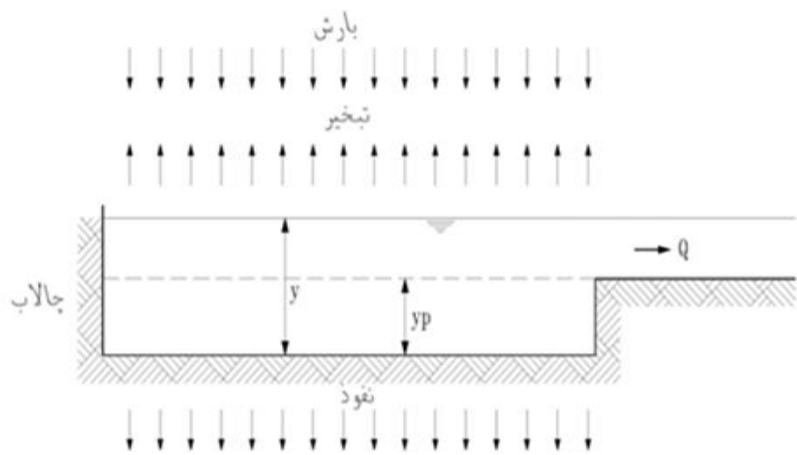


Fig1. Schematic model of the non-linear tank

در مخزن غیرخطی روابط پیوستگی و مانینگ برقرار است. این روابط (۲ تا ۵) به شرح زیر بسط داده شده‌اند:

$$\frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{dy}{dt} = A \cdot i = Q \quad (2)$$

$$V = A \cdot y \quad (3)$$

از ترکیب رابطه پیوستگی و مانینگ در مخزن غیرخطی یک رابطه دیفرانسیل غیرخطی حاصل می‌شود که در این رابطه عمق (y) مجهول است و به صورت زیر تقریب زده می‌شود (معادله ۴ و ۵).

$$\frac{dy}{dt} = i - \frac{1/2W}{\left(\frac{n}{A}\right)} (y - y_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (4)$$

$$\frac{y_2 - y_1}{\Delta t} = i - \frac{1/2WS^{1/2}}{A \cdot n} [y_1 + 1/2 \times (y_2 - y_1) - y_p]^{5/3} \quad (5)$$

این رابطه با روش نیوتن - رافسون برای تعیین  $y_2$  به روش سعی و خطا حل می‌شود. از آن جهت این مدل پیشرفته محسوب می‌شود که کلیه پارامترهای ممکن مانند ذوب برف، بارندگی (به صورت مقدار بارش یا شدت مدت)، داده‌های تبخیر، اطلاعات زهکش‌ها یا کانال‌ها و اطلاعات زیرحوضه‌ها به طور کامل دریافت می‌گردند و پس از اعمال بر روی مدل مخزن غیرخطی، دبی زیر

حوضه به صورت هیدروگراف واحد استخراج می‌شود (Razzaghi et al., 2021). در نهایت هیدروگراف با روش موج سینماتیک تا انتها و محل خروج دبی از زیرحوضه، روندیابی می‌شود.

### ۳-۲- مدل SMADA

نرم‌افزار SMADA توسط ای‌گلین<sup>۱</sup> در دانشگاه فلوریدا تهیه شده است. این برنامه دارای قابلیت‌های مختلفی از جمله، انواع آنالیزهای آماری و ریاضی مورد استفاده در هیدرولوژی، روش‌های مختلف تعیین زمان تمرکز (۷ روش)، محاسبه مقادیر نفوذ (به روش هورتم و SCS) و غیره است. علاوه بر این مهم‌ترین قابلیت آن شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب به روش‌های مختلف (SCS، آشنایدر، کلارک و...) مخصوصاً در مناطق شهری است که به نام روش سانتاباربارا معروف است. برای تهیه هیدروگراف ابتدا باید اطلاعات مربوط به حوضه آبریز و بارندگی به برنامه وارد شود که مراحل استفاده از روش هیدروگراف سانتاباربارا در محیط این نرم‌افزار در ادامه ذکر شده است.

### ۳-۲-۱- روش هیدروگراف سانتاباربارا (SBUH)<sup>۲</sup>

روش هیدروگراف شهری سانتاباربارا توسط استابچر، از بخش حفاظت آب و کنترل سیلاب ناحیه سانتاباربارا (کالیفرنیا) توسعه داده شده است و اولین بار در همایش ملی هیدرولوژی شهری و کنترل رسوب که در دانشگاه کنتوکی (۱۹۷۵) برگزار شد، بیان گردید. یکی از مزایای این روش این است که به زیاد برآورد کردن دبی اوج، تمایلی ندارد (Zehtabian et al, 2001). محاسبات این روش می‌تواند به صورت دستی و یا با کامپیوتر انجام شود. روابط مورد استفاده در این روش در روابط ۶ تا ۱۱ آمده است.

الف - ارتفاع رواناب برای هر پریود زمانی از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$R(\Delta t) = R(I) + R(P) \quad (6)$$

هرکدام از پارامترهای موصوف در رابطه (۶) در رابطه‌های ذیل به دست می‌آید:

$$R(I) = d \quad (7)$$

$$R(P) = (1-d) \{p(\Delta t) - F(\Delta t)\} \quad (8)$$

ب- هیدروگراف لحظه‌ای، به وسیله ضرب کردن ارتفاع کل رواناب برای هر پریود زمانی  $\Delta t$  در سطح حوضه  $A$  و تقسیم آن به زمان تجمعی  $\Delta t$  محاسبه می‌شود (رابطه ۹).

$$I(\Delta t) = R(\Delta t) A / \Delta t \quad (9)$$

ج- هیدروگراف جریان خروجی به وسیله روندیابی هیدروگراف لحظه‌ای  $I(\Delta t)$  با یک مخزن فرضی بازمان تأخیری برابر زمان تمرکز حوضه  $t_c$  به دست می‌آید. این روندیابی سیل با استفاده از روابط (۱۰ و ۱۱) انجام می‌گیرد.

$$Q(2) = Q(1) + Kr \{I(1) + I(2) - 2Q(1)\} \quad (10)$$

<sup>1</sup> Eaglin

<sup>2</sup> Santa Barbara Urban Hydrograph Method



$$K_r = \Delta t / (2t_c + \Delta t) \quad (11)$$

با توجه به روابط فوق مشخص می‌شود که برای استفاده از روش هیدروگراف شهری سانتاباربارا باید زمان تمرکز باران، طراحی و میزان تلفات بارش محاسبه گردد که برای محاسبه تلفات بارش از روش شماره منحنی (CN) استفاده می‌گردد.

### ۲-۳-۲- مراحل ورود اطلاعات به مدل SMADA جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیل

الف- اطلاعات ورودی حوضه آبریز

در این بخش، ویژگی‌های حوضه آبریز به برنامه وارد می‌شود. در این روش حوضه به دو بخش قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ تفکیک می‌گردد. در بخش غیر قابل نفوذ، اتلاف اولیه صورت می‌گیرد ولی نفوذ وجود ندارد. قسمتی از بخش غیرقابل نفوذ که بارندگی در آن مستقیماً به دهانه خروجی حوضه هدایت می‌شود، بخش غیرقابل نفوذ واصل به آبراهه نامیده می‌شود. اتلاف اولیه با استفاده از روش شماره منحنی و برابر  $0.2S$  در نظر گرفته شد.

ب- اطلاعات ورودی بارندگی

در این بخش باید اطلاعات مربوط به ارتفاع بارندگی، زمان تداوم و نوع توزیع زمانی بارندگی به برنامه وارد شود. زمان تداوم بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. فواصل زمانی که بارندگی بر اساس آن‌ها تقسیم می‌گردد، ۱۵ دقیقه و به دلیل این که نوع توزیع زمانی بارندگی منطقه کاملاً مشخص نیست، از توزیع بارندگی تیپ یک و دو به صورت جداگانه استفاده شد. در مورد ارتفاع بارندگی نیز با استفاده از جدول شدت - مدت - فراوانی، ارتفاع بارندگی در هر دوره بازگشت وارد شده و در نتیجه هیدروگراف مربوط به آن دوره بازگشت با توجه به تیپ بارش به دست آمد.

ج- تهیه هیدرو گراف سیل

با انتقال اطلاعات ورودی حوضه آبریز و بارندگی به بخش تهیه هیدروگراف، پس از انتخاب روش موردنظر (سانتاباربارا) هیدرو گراف سیل مربوط به آن به دست می‌آید. لازم به ذکر است که در این تحقیق به ازای بارش‌های طراحی، هیدروگراف‌ها استخراج شدند.

### ۲-۴- شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژی

برای ارزیابی کارایی مدل شاخص‌های مختلفی وجود دارد. به منظور ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های زیر استفاده شد.

الف) شاخص کارایی ناش - ساتکلیف<sup>۳</sup>: (Nash & Sutcliffe, 1970) یک ضریب بی‌بعد به نام کارایی مدل NS ارائه دادند. که مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقدار یک در این شاخص، نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است (رابطه ۱۲) (Kolte, 2019; Ababaei & Sohrabi, 2008; Bridge, 2019; Bahreman, 2019).

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (12)$$

<sup>3</sup>Nash-Sutcliff Efficiency Coefficient

ب) ضریب تبیین<sup>۴</sup>: ضریب تبیین همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر همبستگی بیشتر داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهداتی است (رابطه ۱۳). (Ababaei & Sohrabi, 2008; Bridge, 2019)

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)(Q_{si} - \bar{Q}_s) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2} \quad (13)$$

ج) میانگین حداقل مربعات خطا<sup>۵</sup>: میانگین حداقل مربعات خطا در ارزیابی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده اختلاف دو هیدروگراف را به صورت مقدار اختلاف رواناب نشان می‌دهد. هرچه میزان میانگین حداقل مربعات خطا کمتر باشد، شبیه‌سازی صورت گرفته به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود (رابطه ۱۴) (Ababaei & Sohrabi, 2008; Darabi, 2014)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{si} - Q_{oi}}{n} \right)^2} \quad (14)$$

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مدل رقومی ارتفاعی حوضه

ارتفاع حوضه در میزان بارش، دما، تبخیر و تعرق، تشعشعات خورشیدی، تیپ آب‌وهوایی و به همراه آن در تشکیل و توسعه خاک و تراکم پوشش گیاهی آن اثر دارد. بنابراین اطلاع از ارتفاع متوسط حوضه و نحوه توزیع سطح با ارتفاع به شناخت خصوصیات آبی حوضه آبخیز کمک می‌کند (جدول ۱).

همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌گردد، طبقه ارتفاعی ۳ (۱۵۰۰-۱۰۰۰) بیشترین مساحت و طبقه ارتفاعی ۵ (۲۶۰۰-۲۰۰۰ متر) کمترین مساحت را در بین طبقات ارتفاعی دارد.

جدول ۱- توزیع کلاس‌های ارتفاعی در حوضه آبخیز زندان

Table 1. Altitude classes distribution in the Zendan watershed

طبقه ارتفاع	طبقه ارتفاعی (متر)	مساحت (درصد)
۱	۱۹۸ - ۵۰۰	۱/۵
۲	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۳۴/۷
۳	۱۰۰۰ - ۱۵۰۰	۴۸/۷
۴	۲۰۰۰ - ۱۵۰۰	۱۳/۸
۵	۲۶۰۰ - ۲۰۰۰	۱/۳

#### ۳-۲- خصوصیات فیزیوگرافیک زیر حوضه‌ها

پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی، خصوصیات فیزیوگرافیک مورد نیاز در هر زیر حوضه با استفاده از نرم‌افزار HEC-GeoHMS استخراج و محاسبه گردید، که در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین تقسیمات مربوط به زیر حوضه‌ها و شماره آن‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

<sup>4</sup> Coefficient of Determination

<sup>5</sup> Root Mean Squared Error

جدول ۲- خصوصیات فیزیوگرافیک زیر حوضه‌های زندان

Table 2. Physiographic characteristics of the Zendan catchment sub-basins

نام زیر حوضه	مساحت	محیط	ارتفاع حداکثر	ارتفاع حداقل	ارتفاع متوسط وزنی	شیب متوسط حوضه	شیب متوسط وزنی آبراهه	طول آبراهه اصلی
کیلومتر مربع	کیلومتر	متر	متر	متر	متر	درصد	درصد	کیلومتر
W120	۵۱۱/۲۶	۱۶۶/۵۱	۲۵۳۷	۷۲۷	۱۳۱۸	۱۹/۲۱	۱/۷۷	۶۴/۴۳
W130	۳۳۴/۹۰	۱۳۹/۱۳	۲۳۳۸	۸۸۲	۱۲۹۷	۲۱/۱۰	۱/۷۹	۵۱/۹۸
W140	۱۵۳/۱۳	۹۳/۳۳	۲۳۱۵	۸۸۲	۱۳۰۹	۳۷/۶۶	۲/۹۴	۳۷/۱۷
W150	۲۶/۹۲	۴۰/۶۱	۹۹۹	۸۰۲	۸۸۳	۲۰/۵۰	۱/۱۹	۱۴/۳۴
W160	۱۳۹/۱۹	۸۷/۰۳	۱۸۸۱	۷۹۹	۱۰۷۱	۲۷/۲۶	۴/۱۲	۲۵/۱۵
W170	۴۲/۸۱	۵۰/۶۸	۱۱۰۳	۷۲۷	۸۶۲	۳۱/۶۷	۱/۷۱	۱۵/۷۶
W180	۵۹/۳۳	۵۲/۵۷	۱۴۹۴	۵۷۳	۸۶۵	۲۱/۰۵	۲/۵۷	۲۱/۱۱
W190	۱۰۴/۰۷	۷۴/۷۶	۱۴۶۵	۵۷۰	۹۵۲	۲۷/۱۷	۱/۹۵	۲۶/۸۰

## ۳-۳- نتایج مربوط به تهیه نقشه و تعیین شماره منحنی (CN)

نتایج این بخش در شکل (۳) و جدول (۳) ارائه شده است. لازم به ذکر است که نقشه‌ها و اعداد شماره منحنی مربوط به شرایط متوسط رطوبت خاک است.

جدول ۳- شماره منحنی وزنی محاسبه شده در هر زیر حوضه در حوضه آبریز زندان

Table 3. Weighted curve number calculated for each sub-basin in the Zendan catchment area

شماره زیر حوضه	W120	W130	W140	W150	W160	W170	W180	W190	W200	W210	W220
شماره منحنی متوسط وزنی	۷۷/۵	۷۷/۵	۷۷/۴	۷۹/۴	۷۹/۴	۷۹/۹	۸۰	۸۶	۸۶	۸۶	۷۹/۵

## ۳-۴- توزیع مکانی بارش مولد سیل

مقدار بارندگی در زمان رویداد سیل در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه رودخانه زندان در جدول (۴) نشان داده شده است. همچنین مقدار متوسط بارش در زیر حوضه‌های بالادست ایستگاه هیدرومتری تنگه زندان نیز در جدول (۵) ارائه شده است. اشکال (۷ و ۸) نیز نمونه‌ای از توزیع مکانی بارش را در رویدادها نشان می‌دهد.

شکل ۲- تصویر نقشه تقسیمات زیر حوضه‌ها و شماره آنها

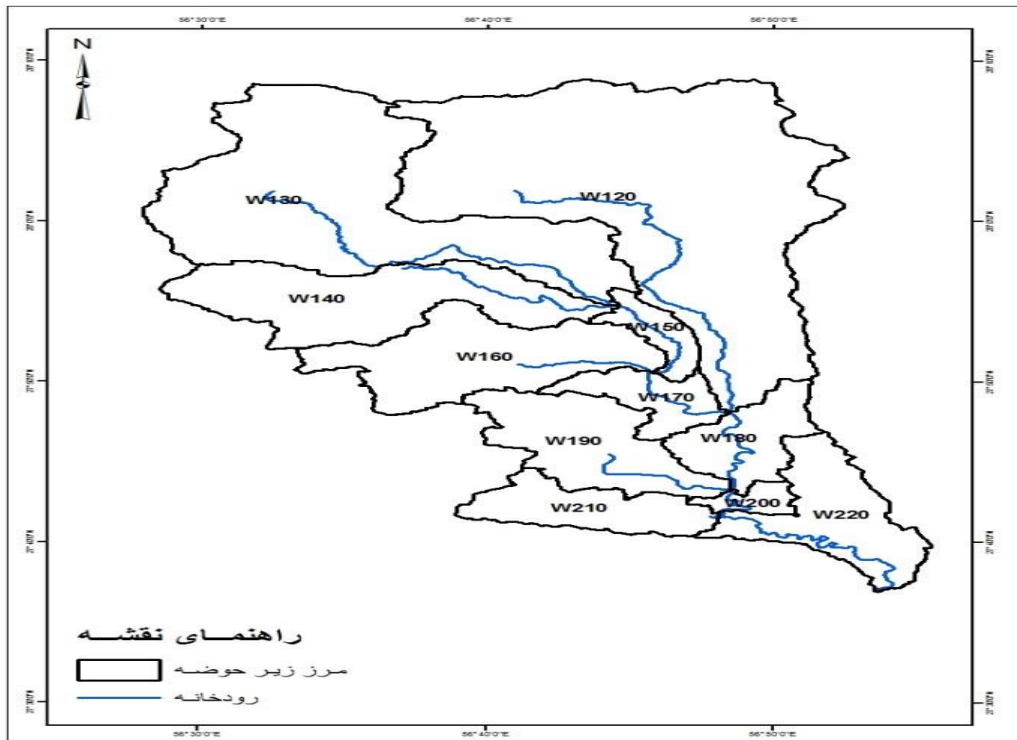


Fig 2. Map of sub-basin divisions and their numbers

شکل ۳- نقشه شماره منحنی حوضه زندان

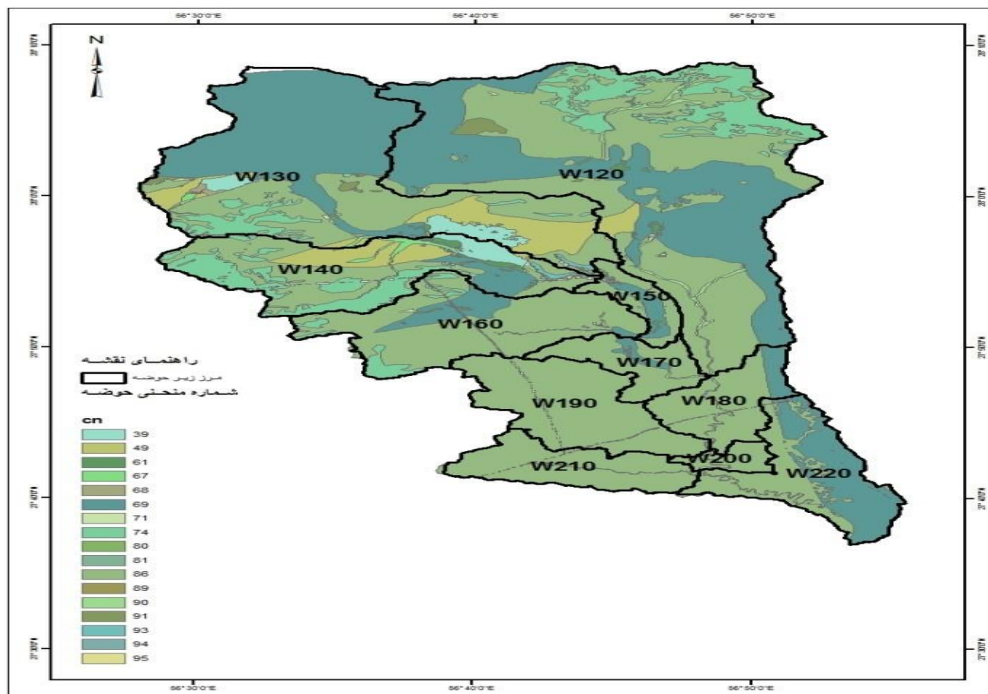


Fig 3. The map of the curve number of the Zendan basin

جدول ۴- مقدار بارندگی به میلی‌متر در زمان رویداد سیل در ایستگاه‌های باران‌سنجی

Table 4. The amount of rainfall in millimeters at the time of the flood event in the rain gauge stations

تاریخ وقوع سیل در ایستگاه هیدرومتری "تنگه زندان"				ایستگاه باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه
۹۳/۱۲/۲۰	۹۲/۱۱/۱۵	۹۰/۱۲/۰۷	۸۸/۱۲/۰۸	
۵۳	۲۴/۵	۳۶/۵	۱۰/۰۱	پوراحمدی
۴۶	۲۶/۵	۱/۵	۱۹	بر رودسر گز احمدی
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	گردکان احمدی
۴۹/۶۷	۲۵	۲۶/۶۷	۲۱/۳۴	متوسط

جدول ۵- مقدار بارندگی به میلی‌متر در زمان رویداد سیل در زیر حوضه‌ها

Table 5. The amount of rainfall in millimeters at the time of the flood event in the sub-basins

مقدار متوسط بارش مولد سیل در زیر حوضه‌ها				نام زیر حوضه
۹۳/۱۲/۲۰	۹۲/۱۱/۱۵	۹۰/۱۲/۰۷	۸۸/۱۲/۰۸	
۵۳	۲۴/۹	۴۰/۰۱	۱۰/۰۱	W۱۲۰
۴۶	۲۶/۵	۱/۵	۱۹	W۱۳۰
۴۶	۲۶/۵	۱/۵	۱۹	W۱۴۰
۴۶	۲۶/۵	۱/۵	۱۹	W۱۵۰
۴۸	۲۵/۲۵	۲۱/۷۵	۲۷	W۱۶۰
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	W۱۷۰
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	W۱۸۰
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	W۱۹۰
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	W۲۰۰
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	W۲۱۰
۵۰	۲۴	۴۲	۳۵	W۲۲۰

### ۳-۵- توزیع زمانی بارش مولد سیلاب

توزیع زمانی بارش مولد سیلاب، با استفاده از توزیع زمانی بارش‌های هم‌زمان در ایستگاه باران‌سنج ثابت پوراحمدی تعیین شده است. شکل ۴ نمونه‌ای از منحنی تراکمی بارش را برای رویدادهای سیل در ایستگاه باران‌سنج ثابت پوراحمدی نشان می‌دهد. در مرحله بعد توزیع زمانی بارش مربوط به هر رویداد به بارش متوسط زیر حوضه‌های مربوطه انتقال داده شد.

### ۳-۶- نتایج اجرای مدل SWMM برای رویدادهای مشاهده شده

باتوجه به اینکه در این تحقیق از ۴ رویداد سیل مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری تنگه زندان استفاده شد. نتایج اجرای مدل به تفکیک هر رویداد در ایستگاه مربوطه ارائه می‌شود. در اکثر رویدادهای بررسی شده شکل هیدروگراف خروجی شبیه‌سازی شده از حوضه مطابقت چندانی با شکل هیدروگراف خروجی واقعی نداشته است که از جمله دلایل این امر را می‌توان به علت کالیبره نبودن مدل اشاره کرد که باید برای منطقه مورد مطالعه این امر صورت بگیرد و از جمله دلایل دیگر می‌توان به اشکالات در برداشت‌های ایستگاه هیدرومتری و همچنین ایستگاه باران‌سنجی (به دلیل استفاده از آمار گذشته) اشاره کرد. بنابراین با کالیبراسیون مدل SWMM این مسئله تا حد امکان اصلاح گردید. شکل‌های (۵ تا ۸) هیدروگراف‌های رخ داده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. جدول (۶) نیز نتایج را پس از کالیبراسیون نشان می‌دهد.

شکل ۴- نمودار منحنی بارش تجمعی ایستگاه باران‌سنجی پوراحمدی در رویدادهای سیل

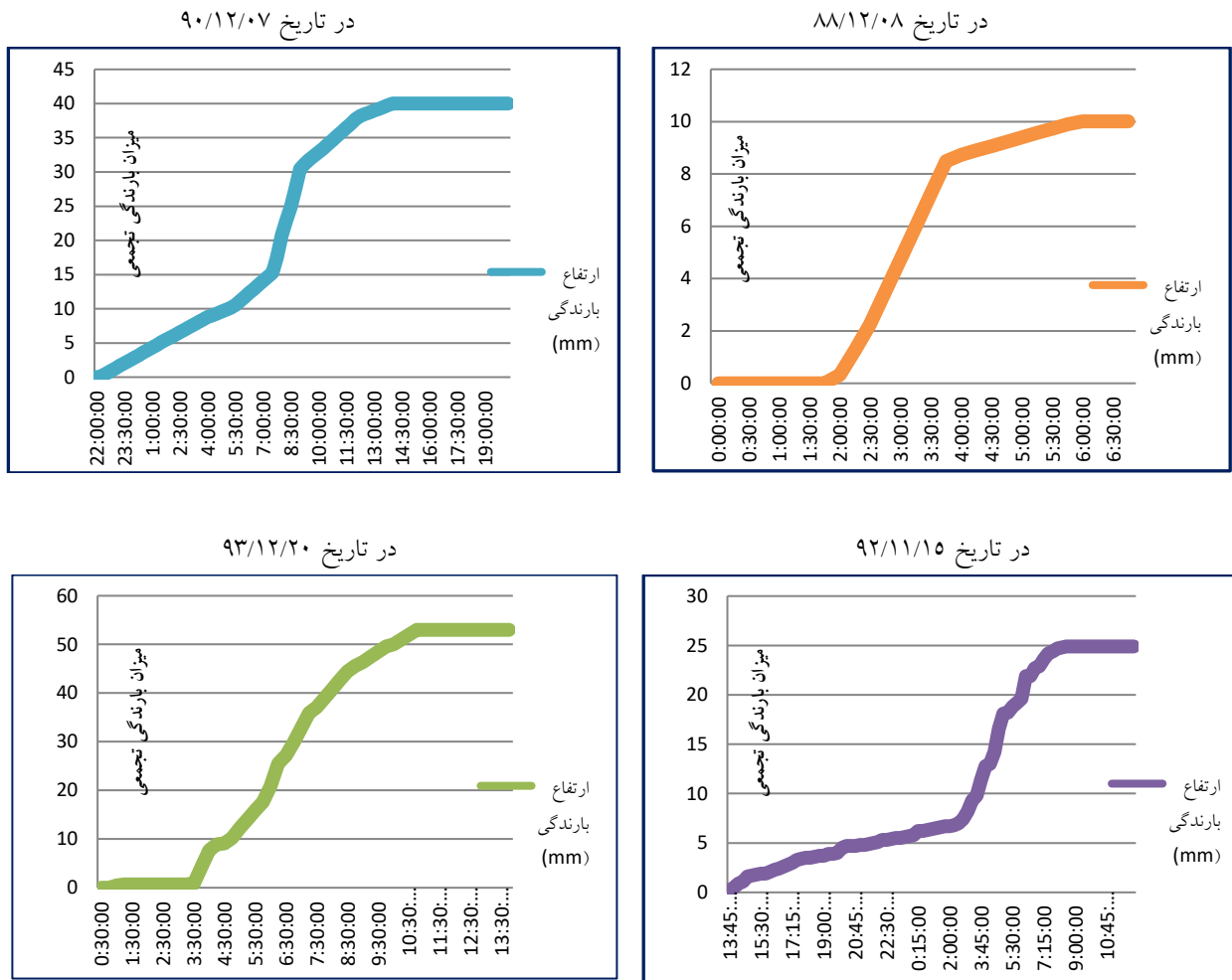


Fig 4. Cumulative precipitation curve diagram of Pourahmadi baranometer station at the time of the flood event

شکل ۵- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال ۸۸

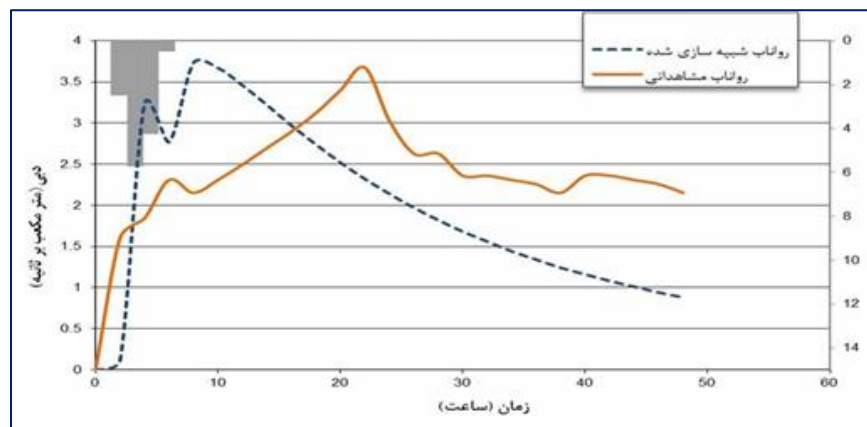


Fig 5. Computational and observational flood hydrographs in 2010

شکل ۶- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال ۹۰

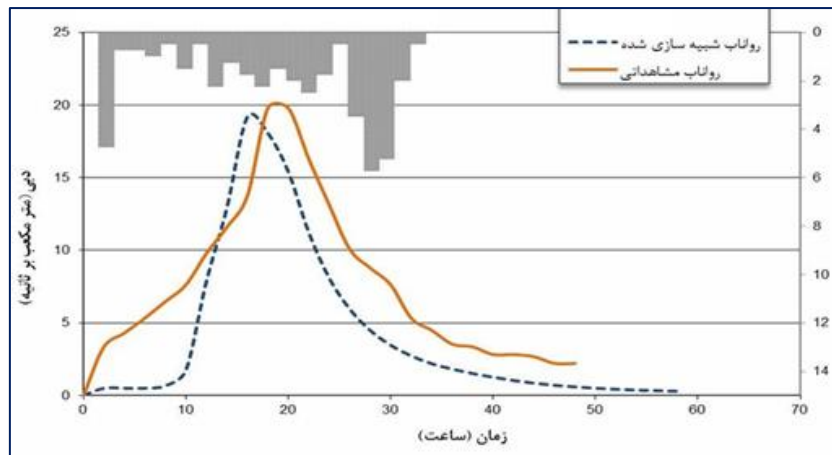


Fig. 6 Computational and observational flood hydrographs in 2012

شکل ۷- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال ۹۲

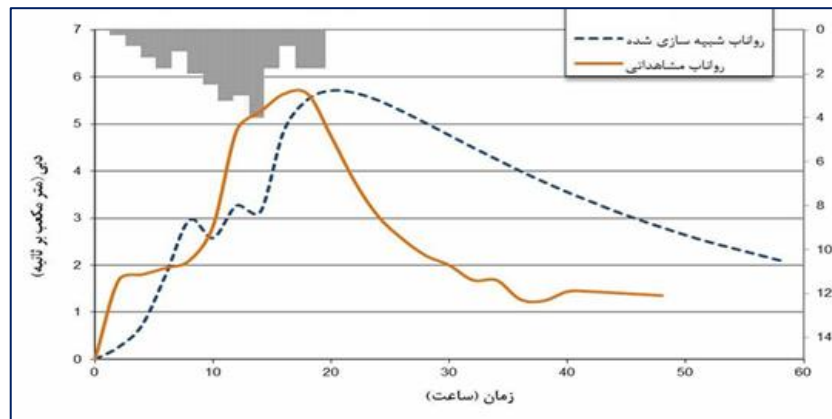


Fig. 7 Computational and observational flood hydrographs in 2014

شکل ۸- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال ۹۳

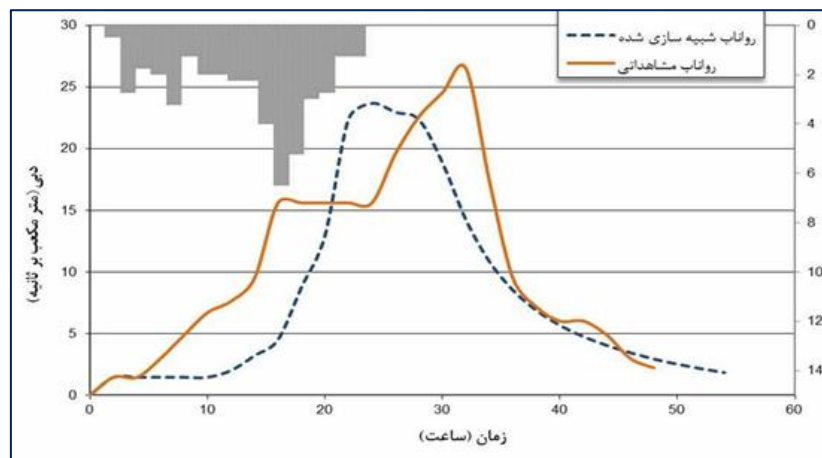


Fig 8. Computational and observational flood hydrographs in 2015

جدول ۶- مقایسه پارامترهای هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی سیل‌های انتخابی در مدل SWMM

Table 6- Comparison of parameters of simulated and observed hydrographs of selected floods in SWMM model

حجم جریان (میلیون مترمکعب)		زمان تا اوج (ساعت)		دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		پارامتر			
اختلاف (درصد)	شبه‌سازی شده	مشاهداتی	اختلاف (درصد)	شبه‌سازی شده	مشاهداتی	اختلاف (درصد)	شبه‌سازی شده	مشاهداتی	رویداد
۱۷/۸۵	۰/۳۵۳	۰/۴۲۹	۶۳/۶	۸	۲۲	-۱/۶	۳/۷۳	۳/۶۷	۱۳۸۸/۱۲/۸
۳۴/۱۵	۰/۸۸۷	۱/۳۴۷	۵/۶	۱۷	۱۸	۰/۴	۱۹/۷۱۱	۱۹/۸	۱۳۹۰/۱۲/۷
-۴۱/۹۶	۰/۶۴۳	۰/۴۵۳	-۱۱/۱	۲۰	۱۸	-۱/۲	۵/۷۱	۵/۶۴	۱۳۹۲/۱۱/۱۵
۱۹/۷۴	۱/۵۱۳	۱/۸۸۵	۲۱/۹	۲۵	۳۲	۱۰/۶	۲۳/۶۸	۲۶/۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۰

### ۷-۳- نتایج اجرای مدل SMADA

باتوجه به اطلاعات ورودی به مدل از قبیل نقشه‌های شماره منحنی مربوط و همچنین هیدروگراف‌های با الگوی زمانی تپ دو، هیدروگراف‌های متناظر با ۴ رویداد از مدل SMADA استخراج شده که نتایج آن در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- مقایسه پارامترهای هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی سیل‌های انتخابی در مدل SMADA

Table 7. Comparison of parameters of simulated and observed hydrographs of selected floods in SMADA model

حجم جریان (میلیون مترمکعب)		زمان تا اوج (ساعت)		دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		پارامتر			
اختلاف (درصد)	شبه‌سازی شده	مشاهداتی	اختلاف (درصد)	شبه‌سازی شده	مشاهداتی	اختلاف (درصد)	شبه‌سازی شده	مشاهداتی	رویداد
+۳۱	۰/۶۲۱	۰/۴۲۹	-۱۷	۵	۲۲	+۷۹/۷	۱۸/۱۲	۳/۶۷	۱۳۸۸/۱۲/۸
+۲۸/۶۱	۱/۸۸۷	۱/۳۴۷	۵/۶	۱۲	۱۸	+۱۸/۸	۲۲/۱۰	۱۹/۸	۱۳۹۰/۱۲/۷
+۳۸/۸۶	۰/۷۴۱	۰/۴۵۳	-۱۱/۱	۱۱	۱۸	+۵۲/۳	۱۱/۸۳	۵/۶۴	۱۳۹۲/۱۱/۱۵
+۲/۱۲	۱/۹۲۶	۱/۸۸۵	۲۱/۹	۲۰	۳۲	+۱۰/۶	۳۲/۶۵	۲۶/۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۰

### ۸-۳- مقایسه مدل‌های SWMM و SMADA در برآورد سیلاب

به منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها می‌توان از شاخص‌های آماری استفاده کرد که این مقادیر برای مدل SWMM در جدول (۸) و برای مدل SMADA در جدول (۹) نشان داده شده است. نگاهی اجمالی به جداول ذکر شده به خوبی نشان می‌دهد که مدل SWMM به خوبی توانسته است به تکامل لازم برسد. شاخص ناش - ساتکلیف در اکثر رویدادهای SMADA خیلی خوب نبوده‌اند این شاخص در مدل SWMM کارایی خوبی از مدل داشته است. شاخص ضریب تبیین نیز به خوبی این موضوع را تأیید می‌کند.

با توجه به نتایج این تحقیق مدل هیدرولوژی SWMM قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب تا حد قابل قبولی (با توجه به درصد به دست آمده) است که باتوجه به جدول (۶) در مورد رویدادهای سیل اختلاف دبی حداکثر لحظه‌ای حدوداً ۱۰ درصد در رویداد سال ۹۳ است. این مسئله اصولاً به این دلیل است که این مدل می‌تواند با الگوریتم‌های مختلف مورد کالیبراسیون قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل SMADA نیز توانسته هیدروگراف سیلاب را تا حدی شبیه‌سازی نماید؛ اما به دلایل مختلف اختلاف بین



سیلاب‌های رخ داده و شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبتاً زیاد است. از دلایل مهم این اختلاف می‌توان به استفاده این مدل از چند رابطه که نسبتاً قدیمی و درصد خطای آن‌ها بالاست اشاره نمود. باتوجه به جداول ۶ و ۷ می‌توان به این نتیجه رسید که مدل SMADA در مقایسه با مدل SWMM تمایل به برآورد بیشتر دبی اوج سیلاب دارد. این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که در مدل SMADA عواملی که باعث اتلاف بارش می‌شوند را کمتر در نظر می‌گیرد در نتیجه دبی رواناب بیشتر خواهد شد. می‌توان برای مقایسه بهتر جدول (۱۰) را مشاهده نمود. همچنین در جدول (۱۰) مقادیر دبی اوج ۴ رویداد انتخابی در کنار یکدیگر ارائه شده است.

جدول ۸- مقادیر شاخص‌های کارایی مدل SWMM در رویدادهای انتخابی

Table 8. Values of SWMM model performance indicators in selected events

رویدادهای انتخاب شده				شاخص‌های آماری
۱۳۹۳/۱۲/۲۰	۱۳۹۲/۱۱/۱۵	۱۳۹۰/۱۲/۷	۱۳۸۸/۱۲/۸	
۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۸۶	شاخص ناش - ساتکلیف (NS)
۰/۷۵	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۴	ضریب تبیین (R2)
۶/۸۷	۰/۴۱	۱/۵۵	۱/۰۰	میانگین حداقل مربعات خطا (MSE)

جدول ۹- مقادیر شاخص‌های کارایی مدل SMADA در رویدادهای انتخابی

Table 9. Values of performance indices of SMADA model in selected events

رویدادهای انتخاب شده				شاخص‌های آماری
۱۳۹۳/۱۲/۲۰	۱۳۹۲/۱۱/۱۵	۱۳۹۰/۱۲/۷	۱۳۸۸/۱۲/۸	
۰/۷۱	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۵۲	شاخص ناش - ساتکلیف (NS)
۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۵۸	ضریب تبیین (R2)
۵/۵۱	۳/۰۷	۱/۳۲	۱/۰۹	میانگین حداقل مربعات خطا (MSE)

جدول ۱۰- مقایسه دبی اوج شبیه‌سازی شده توسط دو مدل هیدرولوژیک

Table 10. Comparison of peak discharge simulated by two hydrological models

دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			مشاهداتی	رویداد
شبیه‌سازی شده (SMADA)	شبیه‌سازی شده (SWMM)	پارامتر		
۱۸/۱۲	۳/۷۳	۳/۶۷	۱۳۸۸/۱۲/۸	
۲۲/۱۰	۱۹/۷۱۱	۱۹/۸	۱۳۹۰/۱۲/۷	
۱۱/۸۳	۵/۷۱	۵/۶۴	۱۳۹۲/۱۱/۱۵	
۳۲/۶۵	۲۳/۶۸	۲۶/۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۰	

در هر دو مدل در برآورد فاکتور زمان تا اوج سیلاب به‌خوبی عمل نکرده‌اند و در مورد حجم کل سیلاب نیز تقریباً نتایج شبیه برآورد

دبی اوج سیلاب است. در نهایت باتوجه به مقادیر مربوط به شاخص‌های کارایی مدل‌ها در جداول مربوط به رویدادهای متوسط میزان شاخص ناش - ساتکلیف در مدل SWMM برابر با ۰/۸۱ و برای مدل SMADA برابر با ۰/۳۱ است که این نشان‌دهنده دقت مناسب مدل SWMM است (شاخص از منفی بی‌نهایت تا یک است، هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بیشتر مدل است).

شاخص ضریب تبیین نیز در مدل SWMM برابر با ۰/۸۸ و در مدل SMADA برابر با ۰/۶ است که باز هم نشان‌دهنده دقت خوب مدل SWMM در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل است و همچنین با مراجعه به شاخص میانگین حداقل مربعات خطا، میزان خطای برآوردی نیز نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل SWMM است. به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیق (Tajbakhsh & Khodashenas, 2012) مطابقت دارد. در تحقیق ایشان علاوه بر استفاده از مدل SWMM موقعیت مکانی هر یک از زیر حوضه‌ها نیز در سیل خیز بودن حوضه در نظر گرفته شده است. در مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق (Eftekharian & Khalilzadeh, 2013) نیز حاکی دقت نسبتاً بالای مدل SWMM است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

مدل‌های هیدرولوژی قادر به شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی سطح زمین به‌منظور بهبود مدیریت منابع آب هستند. مدل‌های بارش- رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی هستند. تجزیه و تحلیل نتایج مدل‌های هیدرولوژی از جمله SWMM و SMADA در پیش‌بینی سیلاب و برنامه‌ریزی به‌منظور کنترل سیل، تغییرات کاربری و پوشش اراضی، به‌صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از GIS به‌منظور مدیریت داده‌ها و سنتز نقشه‌های لازم در این تحقیق سبب افزایش سرعت و دقت محاسبات پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی جریان گردیده است. با توجه به نتایج این تحقیق مدل هیدرولوژی SWMM قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب تا حد قابل‌قبولی است. این تحقیق با استفاده از به‌کارگیری مدل SWMM انجام شد و باتوجه به این‌که حوضه زندان در بالادست سدهای شمیل و نیان واقع شده بنابراین پیشنهاد می‌شود از این مدل در پیش‌بینی سیلاب‌هایی که می‌تواند این سدها را تحت تأثیر قرار دهند استفاده نمود.

باتوجه به استفاده مدل SMADA در این تحقیق و مقایسه آن با مدل SWMM که نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب این مدل در حوضه‌های طبیعی است، پیشنهاد می‌شود باتوجه به سوابق استفاده از آن بیشتر در حوضه‌های شهری بکار گرفته شود. در نهایت می‌توان گفت هرگونه اقدام کنترل سیلاب رودخانه‌ها باید با توجه به تبعات و تأثیرات آن اقدام در دیگر نواحی حوضه انجام پذیرد، بنابراین اقدامات موضعی برای مقابله با خسارت سیل را باید در برنامه‌ای عمومی و جامعی ادغام کرد که سراسر حوضه آبریز رودخانه، رژیم سیلابی، مراکز سیل‌گیر و پیامدهای انواع اقدامات را مدنظر قرار می‌دهد. در غیر این صورت با این اقدامات موضعی فقط مشکل سیلاب را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل کرده و کاهش سیلاب در یک نقطه باعث افزایش سیلاب در نقطه دیگر می‌شود.

#### ۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

#### ۶- منابع

- Ababaei, B., & Sohrabi-Mollayousef, T. (2009). Performance evaluation of SWAT model in Zayandeh Rood watershed. *Soil and Water Conservation Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 16(3), 41-58. (In Persian)
- Adams, B., & Papa, F. (2021). *Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models*. 358 p. Wiley.

- Ahmadi, L. (2019). Investigation of erosion and sedimentation in the dry river of Shiraz by non-permanent method, Master's Thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Persian)
- Bahremand, A. (2019). Fundamentals of hydrological models. Master's Degree Coursebook, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 58 p. (In Persian)
- Bridge, J.S. (2008). Rivers and Floodplains. Translated by Rezaei Moghadam, M., & Thaqafi, M. Vol 1: Dynamics and Processes, Ministry of Culture and Islamic Guidance Publications.
- Darabi, M. (2014). Evaluation of the effects of watershed management projects on flood control and economic and social issues in the Khorami watershed, a tributary of the Sivand Dam in Fars Province. Proceedings of the Sixth National Conference on Watershed Science and Engineering and the Fourth National Conference on Erosion and Sedimentation, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, 8 p.
- Dovonce, E. (2019). A physically based distributed hydrologic model. Master of Science Thesis, The Pennsylvania State University.
- Eftekharian, M., & Khalilizadeh, M. (2013). Forecasting areas prone to flooding and proposing appropriate solutions for urban flood control (Case study: Jahrom city). Master's Thesis. Islamic Azad University - Larestan Branch. (In Persian)
- Feyzi, M., Bagheri, M., & Azmati, H. (2007). Human-environmental approach in landscape architecture design, *Technology of Education Journal*, 1(2), 89-96. (In Persian). <https://doi.org/10.22061/tej.2007.1248>
- Gautam, M.R. (2019). Advances in data-based approaches for hydrologic modeling and forecasting. World Scientific.
- Hajjarian, A. (2023). Comparative study of modeling flood-sensitive areas (Isfahan Province), *Environmental Risk Management*, 10(3), 199-214. (In Persian). <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.362467.786>
- Hormozgan Regional Water Company. (2014). Control and Stability Report of Shamil and Nian Dams. (In Persian)
- Hormozgan Regional Water Company. (2019). Control and Sustainability Report of Shamil and Nian Dams. (In Persian).
- Hormozgan Regional Water Company. (2021). Hydrological studies of Ahmadi study area. Farsab Sanat Consulting Engineers Company. (In Persian)
- Hosseinzadeh, M., Imamgholizadeh, S., Ganji, Z., & Samadi, H. (2016). Comparison of flood trends by MIKE model and 11 HEC-RAS models in Bazfat river, 15th National Hydraulic Conference of Iran. (In Persian)
- Imam Gholizadeh, S., Bina, M., & Ghomshi, M. (2007). Investigation of the effect of reservoir water height and outlet flow rate from the lower discharger on the rate of sediment discharge in pressure washing. *Agricultural Scientific Journal*, 30(4-A), 61-76. (In Persian)
- Kolte, A. (2019). Evaluation of the performance of the LISEM physical model in the representative and paired Kechik watersheds of Golestan province. Master's Thesis in watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 104 p. (In Persian)
- Lange, A.L, George, S., & Aley, T. (2014). Karst hydrogeology and human activities, impacts, consequences, and implications. McGraw Hill Professional - 751 p.
- Lar Consulting Engineers Company. (2019). Report on Golestan Province Floods. (In Persian)
- Mahdavi, M. (2019). Comprehensive watershed management. Fourth National Conference on Watershed Engineering and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 1 p. (In Persian)
- Mazandaranzadeh, H., & Khodabakhshi, F. (2024). Performance evaluation of CANFIS, MLPNN, MLR and M5 models in simulating meteorological drought index (Case study: Kermanshah synoptic station). *Irrigation Science and Engineering*, 47(1), 83-98. (In Persian). <http://doi.org/10.22055/jise.2023.42231.2046>
- Mohammadi Motlagh, R., & Jalal Kamali, A. (2012). Investigating the role of sub-basin participation in flood severity, a case study of Dalaki watershed. *Iranian Irrigation and Water Engineering*, 4(13), 31-44.
- Motlabi, A., & Khalilizadeh, M. (2016). Investigating land use changes and modeling floods in Jahrom city using GIS and SMADA model. Thesis, Islamic Azad University, Larestan Branch. (In Persian)

- Mozaffari, J., & Kabarfard, M. (2016). Investigating the quantitative and qualitative management of urban floods with the EPA-SWMM Model, a Case study of Tehran Region 22. *Iranian Irrigation and Water Engineering*, 7(27), 47-59. (In Persian)
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q.T., Shinde, D., & Huang, C.H. (2012). Assessment of seasonal variations in surface water quality, *Water Research*, 40(20), 3800-3810.
- Payab, M. (2025). Resilience of cities and risk of natural hazards. *Monthly Journal of Expert Reports of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly*, 32(5). (In Persian)
- Rahimzadeh, F., Hedayati Dezfouli, A., & Pourasgharian, A. (2011). Assessment of trends and extreme temperature and precipitation fluctuations in hormozgan province. *Geography and Development*, 9(21), 97-116. (In Persian)
- Rajabizadeh, Y., Ayubzadeh, S.A., & Zahiri, A. (2018). Investigation of Golestan province flood in 2017-2018 and presentation of methods for its control and management in the future. *Ecohydrology*, 6(4), 921-942. (In Persian)
- Razzaghi, A., Asgari Marnani, J., & Rouhanimanesh, M. S. (2021). Numerical evaluation of modified energy method in the analysis of structural problems with nonlinear geometry. *Structural and Construction Engineering*, 8(5), 83-109. (In Persian)
- Shabanloo, S., & Karim Bakhsh, M. (2013). Simulation of flood events at the basin scale with the SWMM model, case study of Golestan province. Fourth Iranian Water Resources Management Conference in 2013 Hormozgan Regional Water Company. Report on the Control and Stability of Shamil and Nian Dams. (In Persian)
- Sohrabi, V., Hashemipour-Petkoy, F., & Sheikhpour-Shahi, H. (2023). Sensitivity analysis of Manning's roughness coefficient of rivers in the HEC-RAS model for determining flood zones (Case study: Kor River - Fars Province). *Quarterly Journal of Geographic Information System and Remote Sensing Application in Planning*, 14(2).
- Sohrabi, V., & Afifi, M. A. (2023). Temporal and spatial modeling of groundwater level using Kriging models and artificial neural networks (Case study: Minab Plain). *Journal of Technical Strategies in Water Systems*, 1(4), 1-22. <https://doi.org/https://doi.org/10.30486/TSWS.2024/1106197>
- Taheri Behbahani, M., & Bozorgzadeh, M. (1996). Urban floods. Publications of the Center for Urban Planning and Architecture Studies and Research, Iran, 536 pp. (In Persian)
- Tajbakhsh, M., & Khodashenas, S. R. (2012). Review of surface runoff drainage network using simulation and application of delay ponds (Case study: East Iqbal Catchment Basin, Mashhad). *Soil and Water Science Journal*, 22, 109–123. (In Persian)
- Telluri, A. R. (1996). Hydrological models in simple language. Tehran University Press, 401 pp. (In Persian)
- Westervelt, J. (2020). Simulation modeling for watershed management. Springer Science & Business Media.
- Zamani, N., & Khalilizadeh, M. (2014). Evaluation of the surface water collection network of Bastak city using the SWMM model and its integration with GIS. Master's Thesis, Islamic Azad University, Larestan Branch. (In Persian)
- Zehtabian, G., Ali Portomaj, A., & Afakhah, M. (2001). Study of the application of artificial unit hydrographs in flood analysis in watersheds of the north of the country. *Natural Resources of Iran*, 54(4), 331-344. (In Persian)