نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال شانزدهم- شماره ۵۸- پاییز ۱۴۰۱

Vol. 16, No. 58, Fall 2022

بررسی مقایسه‌ای مدل بارش-رواناب HEC-HMS با روش های تجربی مختلف برآورد سیلاب

شبنم وکیلی[1] و علیرضا مقدم نیا [2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷

چکیده

مهم‌ترین مشکل در برآورد سیلاب‌ها، نبود آمار کافی و در نتیجه عدم ارزیابی مناسب مقدار جریان می‌باشد. یکی از روش‌های برآورد سیلاب در این حوضه‌ها، استفاده از روش مدل‌سازی هیدرولوژیک است. از این‌رو، در این مطالعه به مدل‌سازی سیلاب رودخانه شاه بهرام با ایستگاه آب‌سنجی نازمکان واقع در استان کهکیلویه و بویراحمد با HEC-HMS و مقایسه آن با روش‌های مختلف برآورد سیلاب (روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب و روش‌های تجربی دیکن، فولر، کریگر و فرانکو-رودیر) پرداخته شد. مدل هیدرولوژیک HEC-HMS نتایج بهتری با درصد خطای کم‌تری (بیش‌ترین مقدار ۱۰/۵۱ با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال و کم‌ترین مقدار ۲/۷۲ با دوره بازگشت ۵ سال) نسبت به روش‌های تجربی و تحلیلی ارائه داد. بیش‌ترین خطا مربوط به روش دیکن با دوره بازگشت ۱۰۰۰ و مقدار ۸۶/۸۵ درصد و کم‌ترین خطا در بین روش‌های تجربی مربوط به روش فولر با مقدار ۳/۴۴ درصد و دوره بازگشت ۵۰۰ سال و روش تحلیل منطقه‌ای با ۳ درصد خطا با دوره بازگشت ۵ سال می‌باشد. بنابراین، به‌دلیل استفاده مدل نیمه‌توزیعی HEC-HMS از پارامترهای بارش و مساحت با واسنجی مناسب می‌توان از این مدل نتایج با دقت بیشتری گرفت.

کلیدواژه‌ها: ***تحلیل منطقه ای سیلاب، روش‌های برآورد سیلاب، سیلاب حداکثر روزانه و لحظه‌ای، مدل‌سازی بارش-رواناب، HEC-HMS***

۱- نویسنده مسئول و کارشناس ارشد، مهندسی عمران، گروه آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، ایران،
vakili_c@yahoo.com

۲- دانشیار مهندسی آبخیزداری (هیدرولوژی)، گروه آموزشی احیای مناطق خشک، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

مقدمه

یکی از مسائل مهم درباره نوع و موقعیت مکانی، ابعاد و ویژگی‌های هیدرولیکی تأسیسات آبی به منظور مهار سیلاب و هم‌چنین حفاظت تأسیسات جانبی، مطالعه و ارزیابی شدت سیل با احتمال وقوع معین می‌باشد. معمولاً برای بررسی شدت طغیان‌ها از آمار و اطلاعات سیلاب‌های پیشین در حوضه مورد مطالعه استفاده می‌شود. یعنی براساس آنچه در گذشته رخ داده، شرایط احتمالی آینده برآورد می‌گردد. از این رو در کلیه طراحی‌های مربوط به سازه‌های آبی به‌خصوص سازه‌هایی که بر روی رودخانه احداث می‌گردد برآورد سیلاب طراحی یکی از مهم‌ترین داده‌هایی است که عموماً در مراحل اولیه مطالعات باید با روش مناسب تعیین گردد. محققان زیادی از جمله الیبل [۱۶]، مجیدی [۱۳]، هالواتور [۱۲] به برآورد سیلاب با روش‌های هیدرولوژیکی پرداختند و نویسندگانی از جمله اسدی [۳]، راتد [۱۷]، سمپات [۲۰]به مدل‌سازی بارش-رواناب پرداختند وعظمت [٤]، ویش‌وش‌واران [۲۳]، هایبو [۱۱]، دارجی [۷] و بی‌هویان [۵] روش‌های مختلف مدل‌سازی را برای به دست آوردن بهترین مدل مناسب در شرایط مختلف هیدرولوژیکی مقایسه کردند و HEC-HMS را به عنوان یک مدل خوب نسبت به بقیه یافتند و آن را برای شبیه‌سازی رواناب توصیه کردند. محققان دیگری از جمله واشوا در سال ۲۰۱۳ به محاسبه هیدروگراف‌های سیل از مدل‌های بارش-رواناب HEC-HMS بر اساس روش‌های استاندارد هیدرولوژیک سرویس حفاظت منابع طبیعی و KINFIL که ترکیبی از نفوذ مورل‌سیتوکس و تبدیل رواناب مستقیم موج حرکتی است، پرداخته است. هدف ایشان از این مطالعه ارزیابی توانایی این روش‌ها برای پیش‌بینی دبی اوج طرح در مقایسه با داده‌های به‌دست آمده از مؤسسه آب و هواشناسی چک (CHMI) بود که مرجع ارائه داده‌های هیدرولوژیک در جمهوری چک است [۲۲]. آل‌شریف در سال ۲۰۱۳ جهت تخمین دبی اوج، چهار روش HEC-HMS، PRM، MTM و RFFA را برای برآورد دبی‌های اوج برای دوره‌های بازگشت ۲ ، ۵ ، ۱۰ ، ۲۵ ، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در حوزه آبخیز وادی مروانی بکار برد و از ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) برای اندازه‌گیری دقت چهار روش استفاده نمود و نتیجه گرفت که معادلات MTM و RFFA خطاهای بسیار بیشتری را نشان می‌دهند [۲]. دردور در سال ۲۰۱۸ با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS و رگبار فراوانی برای مدل هواشناسی، شماره منحنی سازمان حفاظت خاک (SCS-CN) برای محاسبه میزان تلفات و روش هیدروگراف واحد

سازمان حفاظت خاک برای شبیه‌سازی سرعت رواناب، به شبیه‌سازی رواناب در منطقه نیمه‌خشک آین‌سفرا پرداخت و پس از واسنجی و اعتبارسنجی، نتایج قابل قبولی از مقایسه دبی‌های اوج شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده به‌دست آورد [۸]. نیاپانه در سال ۲۰۱۸ به مطالعه در زمینه استفاده از مدل HEC-HMS برای پیش‌بینی دبی اوج جریان در حوزه آبخیز اروین‌کریک (۱۵/٤٦ کیلومترمربع) واقع در شارلوت، کارولینای شمالی پرداخت. نتایج حاصل از این مطالعه ضرورت رویکردهای مناسب برای کاهش رواناب برای توسعه بیشتر منطقه مورد مطالعه را نشان می‌داد [۱۵]. محمدرشید عالی در سال ۲۰۲۰ دو مدل هیدرولوژیکی، از ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) و مرکز مهندسی هیدرولوژیک- سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیک (HEC-HMS) برای پیش‌بینی جریان در حوضه رودخانه کاتار، اتیوپی استفاده کردند. عملکردهای این دو مدل را به منظور انتخاب مدل مناسب برای حوزه مورد مطالعه مقایسه کردند. برای ارزیابی کارایی مدل‌ها از خطای(NSE)[1] و ضریب تعیین (R^2) استفاده کردند. نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی آن‌ها نشان داد که برای حوضه رودخانه کاتار، هر دو مدل می‌توانند جریان آب را به خوبی شبیه‌سازی کنند. SWAT عملکرد مدل را با $R^2>$ ۰/۷۸ و NSE> ۰/٦۷ ارائه داد و مدل HEC-HMS عملکرد مدل را با $R^2>$ ۰/۸۷ و NSE> ۰/۷۳ ارائه داد. از این‌رو، آن‌ها جریان شبیه‌سازی شده ارائه شده توسط مدل HEC-HMS را از آنچه در مدل SWAT ارائه شده بود، رضایت بخش‌تر معرفی کردند [۱]. غلامی در سال ۲۰۲۱ از یک سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (HEC-HMS) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در اراضی جنگلی حوزه آبخیز کاسیلیان با مساحت ٦۸ کیلومترمربع استفاده کردند. آن‌ها از مدل HEC-HMS با استفاده از داده‌های ثانویه بارندگی و دبی در ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی، سرویس حفاظت خاک (SCS) برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان، روش عدد منحنی (CN) برای تخمین رواناب و روش زمان تأخیر برای روندیابی جریان استفاده کردند. به‌علاوه، از یک شبکه چند لایه پرسپترون (MLP[2]) برای شبیه‌سازی فرایند بارندگی استفاده شد. از مدل HEC-HMS برای بهینه‌سازی مقادیر تلفات اولیه (IL) در فرآیند بارش-رواناب به‌عنوان ورودی استفاده شد. IL شرایط پوشش گیاهی، نفوذ خاک و شرایط رطوبت پیشین (AMC) را در خاک منعکس می‌کند. سپس، از مقادیر IL و همچنین بارندگی افزایشی به عنوان ورودی به شبکه عصبی ANN جهت شبیه‌سازی مقادیر رواناب استفاده کردند. سپس مقایسه نتایج شبیه‌سازی RRP در دو سناریو، با استفاده از IL و بدون IL، نشان داد که پارامتر IL دارای اثر بالایی در افزایش عملکرد شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب است. علاوه بر این، پیش‌بینی ANN در مقایسه با مدل HMS دقیق‌تر بود. همچنین، آن‌ها نتیجه گرفتند که زمین‌های جنگلی می‌توانند به طور قابل توجهی مقادیر IL را افزایش دهند و تولید رواناب را کاهش دهند [۱۰]. محققان دیگری از جمله صالح [۱۹]، گبره [۹]، ساهو [۱۸]، سینگ [۲۱] و بریهت [٦] در زمینه مشابه به بررسی و تحقیق پرداختند. در مطالعه حاضر جهت تخمین سیلاب در زیر حوضه‌ها و محل‌های کنترل از روش‌های تجربی، تحلیل منطقه‌ای سیلاب و مدل‌سازی بارش-رواناب با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS استفاده گردیده است. آمار ایستگاه آب‌سنجی نازمکان بر روی رودخانه شاه بهرام مجهول در نظر فرض شده و از آمار سیلاب ایستگاه‌های آب‌سنجی حوضه‌های مجاور که دارای تشابه هیدرولوژیک و مورفولوژیک با حوزه آبخیز محدوده مطالعاتی هستند (۲ ایستگاه پل‌فلور و خیرآباد واقع بر روی رودخانه آب‌شیرین و ایستگاه سیدآباد واقع بر روی رودخانه چم‌سیاه) جهت تحلیل‌های منطقه‌ای سیلاب استفاده گردیده است. هدف از این مطالعه، مقایسه روش‌های مختلف برآورد دبی حداکثر سیلاب مبتنی بر آمار دبی ایستگاه‌ها و مقایسه آن‌ها با مدل هیدرولوژیکی حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار HEC-HMS می‌باشد، تا با ارائه روشی مناسب با توجه به اطلاعات موجود از ویژگی‌های حوزه آبخیز مورد مطالعه و حوضه‌های مشابه، تخمین دبی سیلابی با دید همه جانبه‌ای صورت گیرد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه دبی‌های حداکثر ٢٤ ساعته و حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در محدوده مطالعاتی جمع‌آوری شده و مورد استفاده قرار گرفته است. سپس تجزیه و تحلیل آماری دبی‌های حداکثر ٢٤ ساعته و حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام شد و مقادیر دبی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف برای ایستگاه‌های مورد مطالعه برآورد گردید. اصولاً نتایج حاصل از تحلیل فراوانی سیلاب حساسیت زیادی نسبت به تغییر داده‌ها دارد. بنابراین قبل از محاسبه دبی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف لازم است از صحت و سقم داده‌های مشاهداتی اطمینان حاصل شود. بدین منظور بررسی‌های زیر مدنظر قرار گرفته است:

- بررسی همگنی دبی‌های حداکثر ٢٤ ساعته، با مقادیر آبدهی در روزهای قبل و بعد از وقوع سیلاب (آمار خام)
- آزمون داده‌های پرت (Outliers) پس از تکمیل و تطویل آمار

آزمون داده‌های پرت توسط کمیته فدرال منابع آب ایالات متحده جهت شناسایی سیلاب‌های استثنایی پیشنهاد گردیده است.

پس از انجام آزمون داده‌های پرت (قبل و بعد از بازسازی)، مشخص گردید که برخی از ایستگاه‌ها دارای حد پایین می‌باشند. بنابراین مجددا تجزیه و تحلیل پس از حذف حد پایین انجام گردید. جهت تعیین طول دوره آماری سیلاب دو موضوع مدنظر قرار گرفت. در ابتدا طول دوره آماری ایستگاه‌های آب‌سنجی و سپس بررسی سیلاب‌های تاریخی، بنابراین با توجه به طول دوره آماری ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه، یک دوره ٦۰ ساله از سال آبی ۳۷-۱۳۳٦ تا ۹٦-۱۳۹۵ به عنوان دوره شاخص آماری در

1. Nash-Sutcliffe
2. Multi Layer Perceptron

برآورد سیلاب در نظر گرفته شده تا اثرات سیلاب‌های بزرگ نیز در محاسبات مدنظر قرار گیرد. لازم به ذکر است به دلیل بهره‌برداری از سد مخزنی کوثر از سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ آمار سیلاب‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی پل‌فلور و خیرآباد بر روی رودخانه آب‌شیرین تنظیمی می‌باشند. بنابراین از آمار حداکثر دبی لحظه‌ای و حداکثر دبی ۲٤ ساعته قبل از سال آبی ۸۳-۱۳۸۲، این ایستگاه‌ها در بازسازی‌ها و نیز تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده شده است. جهت تکمیل و بازسازی آمار دبی‌های حداکثر۲٤ ساعته کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه از روابط همبستگی یک متغیره بین دو ایستگاه استفاده شده است. هم‌چنین به‌منظور کنترل و بازسازی نواقص آماری دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های آب سنجی مورد مطالعه از روابط همبستگی یک متغیره بین مقادیر سیلاب‌های حداکثر ۲٤ ساعته و لحظه‌ای همان ایستگاه استفاده شده است. همبستگی خوبی با ضرایب همبستگی بالا بین مقادیر دبی های حداکثر ۲٤ ساعته و لحظه‌ای برقرار بود.

به منظور محاسبه سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف، از دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته و لحظه‌ای ایستگاه‌ها استفاده شده است.

سری‌های مذکور هر کدام با ٦ توزیع آماری متداول لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، پیرسون تیپ ۳، لوگ پیرسون تیپ ۳ و ... با استفاده از نرم افزار HYFRAN مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای برازش توزیع روی داده‌های مشاهداتی از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم گشتاورها[1] و روش حداکثر درست‌نمایی[2] و برای انتخاب بهترین توزیع آماری ممکن با در نظر گرفتن نتایج آزمون‌های مجموع میانگین مربعات انحراف، مجموع میانگین نسبی انحراف و آزمون کـــــای‌اسکور [3]و قضاوت کارشناسی استفاده شده است. لازم به ذکر است که جهت برآورد سیلاب در محل طرح‌ها علاوه بر تجزیه و تحلیل دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و حداکثر ۲٤ ساعته و انتخاب تحلیل سیلاب لحظه‌ای با توجه به توصیه ارتش آمریکا از روش دیگری نیز استفاده می‌گردد. در این روش ابتدا دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته را تجزیه و تحلیل نموده و سپس در ضرایب بین دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته و لحظه‌ای ضرب می‌کنند. با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه دبی‌های حداکثر لحظه‌ای برآورد شده با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از هر دو روش (تحلیل فراوانی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و تحلیل فراوانی دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته و اعمال ضریب بین دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته و حداکثر لحظه‌ای) مشخص گردید که در اغلب ایستگاه‌ها هم‌خوانی نسبتاً مناسبی مشاهده می‌شود، ولی با توجه به کمبود آمار در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه به خصوص آمار دبی‌های حداکثر لحظه‌ای، با توجه به توصیه‌های مهندسین ارتش آمریکا در رابطه با تحلیل دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته و تبدیل آن‌ها به دبی‌های حداکثر لحظه‌ای، در کلیه ایستگاه‌ها نتایج به دست آمده از تحلیل دبی‌های حداکثر ۲٤ ساعته (و تبدیل آن‌ها به دبی‌های حداکثر لحظه‌ای) به عنوان سیلاب‌های نهایی انتخاب گردید.

جهت کنترل مقادیر سیلاب برآورد شده در ایستگاه‌های مختلف و بررسی تأثیر تطویل آمار بر روی نتایج بدست آمده، از نمودارهای فرانکو_رودیر استفاده گردید. ملاحظه گردید در رودخانه‌های محدوده مطالعاتی سیلاب کلیه ایستگاه‌ها تقریبا هم‌خوانی دارد. در مجموع کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه، جهت آنالیزهای منطقه‌ای و حوضه‌ای قابل استفاده می‌باشند.

به منظور برآورد سیلاب طراحی روش‌های مختلفی وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان روش‌های برآورد سیلاب طراحی را در دو دسته کلی طبقه‌بندی نمود. دسته اول که بیشتر مورد توجه هیدرولوژیست‌ها قرار دارد استفاده از آمار و اطلاعات ثبت شده سیلاب طی سال‌های متمادی است، این روش‌ها بر تحلیل فراوانی داده‌های سیلاب استوار بوده و به طور مستقیم و یا با روش‌های منطقه‌ای که بر تناسب بین پیک سیلاب و سطح حوزه‌های آبخیز تاکید دارد به برآورد سیلاب می‌پردازند. دسته دوم از روش‌های برآورد سیلاب، تخمین سیلاب از بارش منطقه است که در این روش کلی نیز روش‌های متعددی همچون روش منطقی، روش شماره منحنی مربوط به سازمان حفاظت آمریکا (NRCS) و انواع مختلف مدل‌های بارش-رواناب وجود دارد که استفاده از هریک از آن‌ها بستگی به عوامل مختلف از جمله هدف و اهمیت پروژه و وجود آمار دارد. در این قسمت، در کلیه زیر حوضه‌های مطالعاتی مقادیر سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف (۲ الی ۱۰۰۰ ساله) با توجه به دسترسی به اطلاعات، از روش‌های تجربی، منطقه‌ای و بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS برآورد می‌گردد و نهایتاً با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و نظر کارشناسی یکی از روش‌ها به عنوان روش نهایی انتخاب می‌گردد.

روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب

جهت تحلیل منطقه‌ای سیلاب در منطقه مورد مطالعه، از آمار و اطلاعات ۳ ایستگاه آب‌سنجی واقع بر روی رودخانه‌های منطقه مطالعاتی استفاده گردید. بنابراین در ابتدا، همگنی ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

- آزمون همگنی

یکی از پارامترهای مهم، موثر در صحت نتایج حاصله از روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب، همگن بودن ایستگاه‌های مورد مطالعه است. فاکتور همگنی[4] داده‌های آماری در ایستگاه‌های منتخب به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$K=\frac{1}{n}\sum_{n-1}^{n}\left(\frac{Q_{10}}{Q_{mean}}\right) \qquad (۱)$$

که در آن، n تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه، Q_{10} سیلاب حداکثر لحظه‌ای با دوره‌بازگشت ده ساله و Q_{mean} سیلاب حداکثر لحظه‌ای

1. Moments
2. Maximum likelihood
3. Chi-Square

4 Uniformity Factor

می‌باشد. سپس دبی یکنواخت شده برای هر ایستگاه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_k = K.Q_{mean} \qquad (۲)$$

و در نهایت دوره بازگشت دبی یکنواخت شده برای هر ایستگاه از طریق منحنی‌های ترسیم شده مشخص می‌گردند. جدول ۱ پارامترهای مختلف آزمون همگنی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با انتقال دوره‌برگشت دبی‌های یکنواخت شده و تعداد سال‌های آماری موجود در هر ایستگاه در دوره شاخص روی کاغذ مخصوص آزمون همگنی، آزمون فوق صورت پذیرفته است. در این آزمون تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه با اطمینان ۹۵ درصد در محدوده همگن قرار گرفتند.

تعیین رابطه سیلاب دوساله با مساحت حوضه

در یک حوزه آبخیز، متوسط سیلاب دو ساله با عوامل مختلفی ارتباط دارد که از آن میان مهم‌ترین عامل را مساحت حوضه تشکیل می‌دهد. در شکل ۲ رابطه بین دبی سیلاب دو ساله در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب محدوده مطالعاتی، در تحلیل منطقه‌ای سیلاب مورد بررسی قرار گرفته و در نتیجه رابطه زیر به دست آمده است:

$$Q_{peak} = 1.4137A^{0.7494} \qquad R^2 = 0.86$$

که در آن Q سیلاب دوساله به مترمکعب بر ثانیه و A مساحت حوضه در محل ایستگاه‌های هیدرومتری به کیلومترمربع می‌باشد.

حال برای محاسبه سیلاب‌های بی‌بعد ایستگاه‌های مورد مطالعه، سیلاب‌ها با دوره برگشت مختلف به سیلاب دوساله تقسیم گردیده است. نتایج در جدول ۱ ارائه گردیده است.

در این مرحله با استفاده از رابطه اشکال و با در اختیار داشتن مساحت حوزه آبخیز زیر حوضه نازمکان ، سیلاب دوساله زیر حوضه مورد مطالعه محاسبه شده و سپس با استفاده از متوسط نسبت‌های حوضه‌های ایستگاه‌های منتخب، سیلاب با دوره‌های برگشت در محل مورد نظر محاسبه می‌شود.

برآورد سیلاب به روش‌های تجربی

در روش‌های تجربی پارامترهای فیزیکی حوضه به‌خصوص مساحت از مهمترین عوامل در محاسبه سیلاب می‌باشند به عبارتی در روش تجربی مقادیر سیلاب براساس سیلاب ویژه و مساحت به صورت تجمعی محاسبه می‌گردد. جهت برآورد سیلاب در حوضه مورد مطالعه از روش‌های دیکن، فولر، کریگر و فرانکو-رودیر استفاده گردیده است. دلیل انتخاب این روش‌ها این است که در رابطه دیکن و فرانکو-رودیر دبی اوج سیلاب با استفاده از مساحت حوضه و ضریب منطقه‌ای محاسبه می‌شود و این پارامترها در دسترس می‌باشد. امتیاز روش فولر نسبت به بسیاری از روش‌ها، در نظر گرفتن دوره بازگشت دبی سیلاب در آن می‌باشد . رابطه کریگر اغلب در مواقعی بکار می‌رود که دبی اوج سیلاب در یک ایستگاه اندازه‌گیری شده و می‌توان آن را برای حوضه‌های فرعی و یا حوضه‌های بزرگتر تعمیم داد .

روش دیکن

در این روش، دبی حداکثر سیلاب با استفاده از مساحت حوضه و ضریب منطقه‌ای به‌دست می‌آید و می‌توان آن را از روی آمارهای موجود تعیین نمود. با توجه به تشابه هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی حوزه آبخیز ایستگاه سیدآباد در روش دیکن برای محاسبه سیلاب ورودی ایستگاه نازمکان به عنوان ایستگاه مبناء انتخاب گردیده است. از فرمول‌های پیشنهادی دیکن برای حوضه‌ها با مساحت‌های مختلف رابطه زیر برای ایستگاه مبنای سیدآباد با مساحت ۵۹۶/۸ انتخاب گردید که در آن Q_x دبی حداکثر سیلاب به مترمکعب در ثانیه، Q دبی حداکثر سیلاب ایستگاه مبنا مترمکعب در ثانیه، A_x مساحت حوضه به کیلومترمربع و A مساحت حوضه ایستگاه مبنا به کیلومترمربع می‌باشد.

$$Q_x = Q\left(\frac{A_x}{A}\right)^{0.5} \qquad (۳)$$

در نهایت مقادیر سیلاب در دوره‌های برگشت مختلف برآورد گردیده است.

جدول ۱- نسبت سیلاب با دوره های برگشت مختلف به سیلاب دوساله ایستگاه‌های حوضه مطالعاتی

Table 1. Flood ratio with different return periods to two-year flood of study basin stations

ایستگاه Station	مساحت Area (km2)	دوره بازگشت Return period								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
پل فلور Pol Felor	3695.5	1	1.6	2	2.4	3.1	3.7	4.3	5.1	5.9
سید اباد Seyedabad	596.8	1	1.8	2.5	3.1	4.1	4.8	5.7	6.8	7.7
خیرآباد Kheyrabad	2114.6	1	1.9	2.6	3.2	3.9	4.5	5.1	5.8	6.3
مقادیر متوسط Medium values		1	1.76	2.36	2.86	3.7	4.33	5.03	5.9	6.63

روش فولر

در این روش از رابطه ذیل جهت برآورد سیلاب در محل‌های مورد مطالعه و مهم استفاده می‌گردد:

$$Q_{tr} = CA^{0.8}[1 + 0.8\, Log\ (Tr)](1 + 2.66\, A)^{-0.3} \quad (٤)$$

که در آن Q_{tr} دبی حداکثر لحظه‌ای (مترمکعب در ثانیه)، C ضریب فولر و A مساحت حوضه (کیلومترمربع) می‌باشد.

روش کریگر

روش کریگر یکی از روش‌های تعیین دبی حداکثر سیلاب در سطوح حوزه‌های آبخیز بزرگ و کوچک بوده که فرمول آن به صورت زیر می‌باشد.

$$Q = \frac{1}{3}\, C\, (0.386\, A)^{0.894(0.386A)-0.048} \quad (٥)$$

که در آن:

A مساحت حوضه برحسب کیلومترمربع، C ضریب کریگر و Q دبی سیلاب برحسب مترمکعب در ثانیه می‌باشند.

با استفاده از فرمول فوق‌الذکر، ضریب کریگر برای حوزه‌های آبخیز رودخانه مورد مطالعه تعیین شده و در نهایت با استفاده از فرمول کریگر مقادیر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در محل مورد نظر برآورد گردیده است.

روش فرانکو- رودیر

در این روش از رابطه ذیل جهت برآورد سیلاب در محل‌های مورد مطالعه استفاده می‌گردد:

$$Q_p = 10^6 (\frac{A}{10^8})^{1-0.1k} \quad (٦)$$

که در آن Q_p دبی حداکثر لحظه‌ای (مترمکعب در ثانیه)، k ضریب فرانکو-رودیر و A مساحت حوضه (کیلومترمربع) می‌باشد. با استفاده از مقادیر سیلاب در دوره‌های برگشت مختلف ، مقادیر ضریب فرانکو-رودیر برای دوره‌های برگشت مختلف تعیین گردیده و سپس با استفاده از ضریب فوق‌الذکر و مقادیر سیلاب ایستگاه‌های مجاور محل طرح، سیلاب‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف برآورد گردیده است.

با توجه به تشابه هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی حوزه آبخیز ایستگاه سیدآباد در روش‌های فوق برای محاسبه سیلاب ورودی ایستگاه مجهول به عنوان ایستگاه مبناء انتخاب گردیده است.

روش سیلاب ویژه

در این روش که براساس مقدار سیلاب و مساحت حوزه آبخیز ایستگاه آب‌سنجی مبناء و سیلاب ویژه و مساحت حوزه آبخیز فاقد آمار ارائه می‌شود، می‌توان مقدار آبدهی برای حوزه آبخیز مورد نظر برآورد نمود. در این روش با توجه به تشابه هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی از دو ایستگاه سیدآباد و خیرآباد واقع در مجاورت حوزه آبخیز مطالعاتی، جهت برآورد سیلاب استفاده شده است.

مقادیر ضریب ویژه ایستگاه‌های مبناء با دوره‌های بازگشت مختلف بی بعد در جدول ۳ آورده شده است. از تقسیم نمودن دبی به مساحت، دبی ویژه (Specific discharge) حاصل خواهد شد.

$$Q_S = \frac{Q}{A} \quad (٧)$$

$$Q_1 = Q_2 \frac{A_1}{A_2} \quad (٨)$$

که در آن پارامترهای فرمول فوق به شرح زیر می‌باشد:

Q_1: سیلاب در محل حوزه آبخیز (لیتر در ثانیه در کیلومترمربع)،

Q_2: سیلاب در محل ایستگاه آب‌سنجی (لیتر در ثانیه در کیلومترمربع)

A_1: مساحت حوزه آبخیز (کیلومترمربع)

A2: مساحت ایستگاه مبناء (کیلومترمربع).

برآورد سیلاب به روش بارش-رواناب

HEC-HMS نرم‌افزار توسعه‌یافته نسخه Hec-1 تحت ویندوز جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب توسط گروه ارتش ایالات متحده (مرکز مهندسی هیدرولوژیکی) می‌باشد. هر مولفه مدل یک جنبه از فرآیند بارش-رواناب را در داخل بخشی از حوضه که معمولاً به عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند. به عبارتی با ترکیب مولفه‌های مختلف، پس از محاسبات لازم، اقدام به ترمیم و محاسبه هیدروگراف کامل می‌کند.

اداره حفاظت خاک آمریکا با توجه به مطالعات متعددی که بر روی حوضه‌هایی با آمار موجود بارندگی و سیلاب انجام داده است، روش بارش-رواناب را برای برآورد سیلاب ارائه نموده است. در برآورد سیل با روش بارش-رواناب استفاده از مدل HEC-HMS، پارامترهای اصلی مانند بارش طرح، عدد CN یا شماره منحنی، نفوذپذیری پایه و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت محاسبه سیلاب به روش بارش-رواناب دو مدل وجود دارد:

الف: مدل‌های یکپارچه[1]

ب: مدل‌های توزیعی[2]

که در مطالعات حاضر جهت محاسبه سیلاب در زیر حوضه‌های مطالعاتی از روش مدل‌های یکپارچه استفاده گردیده است که در زیر چگونگی تعیین هریک از آن‌ها در منطقه طرح داده شده است.

- استخراج باران طرح

بارش طرح از ملزومات طراحی در هر طرح مهندسی هیدرولوژی است. زیرا سیل طرح بر اساس رگبار طرح بوده و رگبار طرح نیز دارای تداوم معینی است که می‌بایست شدت آن مشخص گردد. به منظور تجزیه و تحلیل رگبارهای کوتاه مدت منطقه و شدت بارش‌های با دوام کمتر از ٢٤ ساعت، کوشش گردید. نظر به اینکه زمان تمرکز حوضه مورد مطالعه کمتر از ٢٤ ساعت می‌باشد،

1 Lumped
2 Distributed

رگبارهای با تداوم در حدود ٦ ساعت، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. بدین منظور اطلاعات رگبارهای ایستگاه باران‌سنجی ثبات دهدشت که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه می‌باشد از امور آب کهگیلویه و بویراحمد اخذ و سپس کلیه رگبارهای شدید استخراج و سپس بعد از بی‌بعد نمودن زمان و مقادیر بارندگی نتایج در یک مختصات قائم رسم گردید. در مرحله بعد منحنی تیپ توزیع زمانی بارندگی بر روی همان نمودار ترسیم شد.

لازم به ذکر است با توجه به توصیه‌های SCS جهت محاسبه سیلاب طراحی، از بارش‌های معادل زمان تمرکز استفاده می‌گردد. بنابراین در این مطالعات شبیه‌سازی سیلاب با دو رویکرد صورت پذیرفته است. در حالت اول براساس بارش طراحی معادل زمان تمرکز و در حالت دوم براساس حداکثر بارش یک‌روزه .

مقادیر بارش: در این مطالعات جهت استخراج بارش طراحی با توجه به زمان تمرکز حوضه مورد مطالعه که حدود (۲/۹ ساعت) و کمتر از ٦ ساعت می‌باشد (با توجه به توصیه‌های SCS) از حداکثر بارش‌های ٦ ساعته طرح با توزیع زمانی مناسب برای حالت اول و حداکثر بارش٢٤ ساعته حوضه مطالعاتی برای حالت دوم استفاده گردیده است که نهایتاً پس از بررسی و ارزیابی با سیلاب‌های مشاهداتی حالت اول انتخاب گردید. جهت بررسی حداکثر بارندگی‌های ٢٤ ساعته (یک‌روزه)، از نتایج حاصل در گزارش هواشناسی مطالعات حاضر استفاده شده است. همچنین حداکثر بارش‌های ٦ ساعته طرح نیز محاسبه و در جدول ٤ ارائه شده است.

الگوی زمانی بارش: الگوی توزیع زمانی بارش چگونگی ریزش باران در طی زمان بارندگی را تعیین می‌کند. در واقع باران طرح با تداوم t و مقدار کل p دارای شدت ثابت و یکنواخت نیست و در عمل دارای شدت‌های متفاوت است و نحوه تغییرات شدت بارش در طول مدت بارندگی را الگوی توزیع زمانی بارش می‌نامند. با توجه به تیپ توزیع بی بعد بارش‌های ایستگاه باران‌سنجی دهدشت و انتقال آن به نمودار توزیع‌های بارش بی‌بعد استاندارد ٢٤ ساعته SCS (تیپ ۱، تیپ 1A، تیپ ۲ و تیپ ۳) و توزیع ٦ ساعته استاندارد (SCS) ملاحظه شد که توزیع بارش‌های بی‌بعد این ایستگاه تقریباً با تیپ بارش‌های ٦ ساعته استاندارد SCS و تیپ ۲ توزیع بی‌بعد بارش ٢٤ ساعته استاندارد SCS پیروی می‌نمایند.

– برآورد شماره منحنی(**CN**)

عدد CN با توجه به پارامترهای نظیر پوشش گیاهی منطقه، نفوذپذیری پایه و پارامترهای فیزیوگرافی حوضه که در بازدیدهای صحرایی و همچنین از روی نقشه‌های کاربری اراضی و خاکشناسی موجود، محاسبه شده است. در زیر حوضه‌های مطالعاتی با توجه به موارد ذکر شده مقادیر CN معادل ۷۹ در نظر گرفته شده است.

– برآورد رواناب

روش‌های متعددی برای تبدیل بارش به رواناب در این نرم‌افزار گنجانده شده است. روش‌های محاسبه هیدروگراف واحد شامل روش کلارک، اشنایدر و SCS می‌باشند، که در این مطالعات از روش SCS استفاده شده است. در این روش اگر بارشی با تداوم T به روی حوضه‌ای با زمان تمرکز T_c رخ دهد، دبی پس از T_pساعت به حداکثر می‌رسد.

$$T_P = 0.6T_C + \sqrt{T_C} \qquad (۹)$$

ارتفاع رواناب ناشی از باران حداکثر یک‌روزه از رابطه زیر به‌دست می‌آید که در مورد بارش‌های به صورت برف نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و آب پایه را نیز در برنمی‌گیرد. همچنین تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که ضریب ۰/۲ برای S شاید برای رگبارهای بزرگ در مناطق غیرشهری مناسب باشد ولی برای رگبارهای کوچک و متوسط زیاد می‌باشد و احتمالاً برای مناطق شهری نیز زیاد است. جمع مقدار نفوذ برای یک رخداد بارش به صورت زیر خواهد بود [١٤]:

$$R = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \qquad (۱۰)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (۱۱)$$

S ضریب نگهداشت سطحی، R ارتفاع رواناب (میلی‌متر) وP ارتفاع بارش (میلی‌متر)

بنابراین بر اساس میزان رواناب ناشی از بارش یک‌روزه و زمان تمرکز زیر حوضه مطالعاتی مقادیر دبی پیک برای زیر حوضه مورد مطالعه محاسبه می‌گردد.

$$Q_P = \frac{0.208AR}{T_P} \qquad (۱۲)$$

این مدل برای انجام روندیابی هیدرولوژیکی سیلاب در رودخانه نیز روش‌های متنوعی دارد. این روش‌ها عبارتند از: روش سنتی ماسکینگهام، روش پالس، روش موج سینماتیکی، روش Lag و روش ماسکینگهام-کونج. در مطالعات حاضر با توجه به عدم وجود اطلاعات دقیق از بستر مسیل‌های مطالعاتی از روش Lag استفاده شده است.

در حوضه‌های واجد آمار، بهترین روش کالیبره کردن نرم‌افزار استفاده از هیدروگراف‌های مشاهده‌ای می‌باشد و در حوضه‌های فاقد آمار (عدم وجود هیدروگراف مشاهداتی و رگبار مولد سیلاب) علاوه بر روش فوق از روش‌های تجربی نیز برای کالیبره نمودن استفاده می‌گردد. در حوضه‌های فاقد آمار برای کالیبره نمودن نتایج سیلاب به‌دلیل عدم وجود آمار در داخل حوضه از آمار (هیدروگراف مشاهده‌ای) نزدیک‌ترین ایستگاه آب‌سنجی که با حوضه فوق از نظر هیدرولوژیکی همگن و در صورت امکان بر روی یک رودخانه باشند استفاده می‌گردد. در غیر این‌صورت و عدم امکان استفاده از روش فوق از روش‌های تجربی برای کالیبره نمودن استفاده می‌شود، با توجه به این مطلب که خطاهای موجود در نرم‌افزار برای تخمین سیلاب، عمدتاً به دلیل خطا در محاسبه CN و زمان تمرکز می‌باشد، در روش تجربی نیز این دو پارامتر تصحیح می‌گردد. در روش تجربی با توجه به فرمول‌های تجربیSCS و آمار سیلاب حداکثر لحظه‌ای ایستگاه مبناء و یا نظر کارشناسی مقادیر پارامترهای فوق با روش سعی و خطا

کالیبره می‌شود. در مطالعات فوق به دلیل عدم وجود رگبارهای مولد سیلاب‌های مشاهداتی (سیلاب‌های ساعتی) جهت واسنجی مدل از روش‌های تجربی استفاده گردیده است. با توجه به نتایج برآورد سیلاب در حوضه مطالعاتی با روش بارش-رواناب، می توان به صراحت اذعان نمود مقادیر سیلاب‌های محاسبه شده با استفاده از بارش مولد حداکثر ۲٤ ساعته حوضه با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و وسعت حوضه و نیز با عنایت به ارقام به‌دست آمده از روش‌های تجربی بسیار بزرگتر از واقعیت می‌باشد. لذا از نتایج سیلاب‌های محاسبه شده از بارش مولد ٦ ساعته حداکثر در مطالعه حاضر استفاده شده است.

$$PE = \left|\frac{Q_{ob}-Q_{si}}{Q_{ob}}\right| \times 100 \qquad (۱۳)$$

که در آن Q_{ob} دبی مشاهداتی و Q_{si} دبی محاسباتی و PE درصد خطای نسبی می‌باشد. نتایج دبی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف با روش‌های تجربی،تحلیلی و بارش-رواناب در جدول۲ و شکل۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دبی سیلابی از روش بارش-رواناب با مدل HEC-HMS نتایج نزدیک‌تری با داده‌های مشاهداتی دارد و روش تحلیل منطقه‌ای و روش تجربی فولر به ترتیب بعد از روش بارش-رواناب نتایج بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه دادند. درصد خطای نسبی روش‌های برآورد سیلاب در جدول ۳ نیز حاکی از این موضوع می‌باشد. در نهایت هیدروگراف سیلاب ایستگاه نازمکان نتیجه مدل بارش-رواناب از نرم افزار HEC-HMS در شکل ۲ نشان داده شده است.

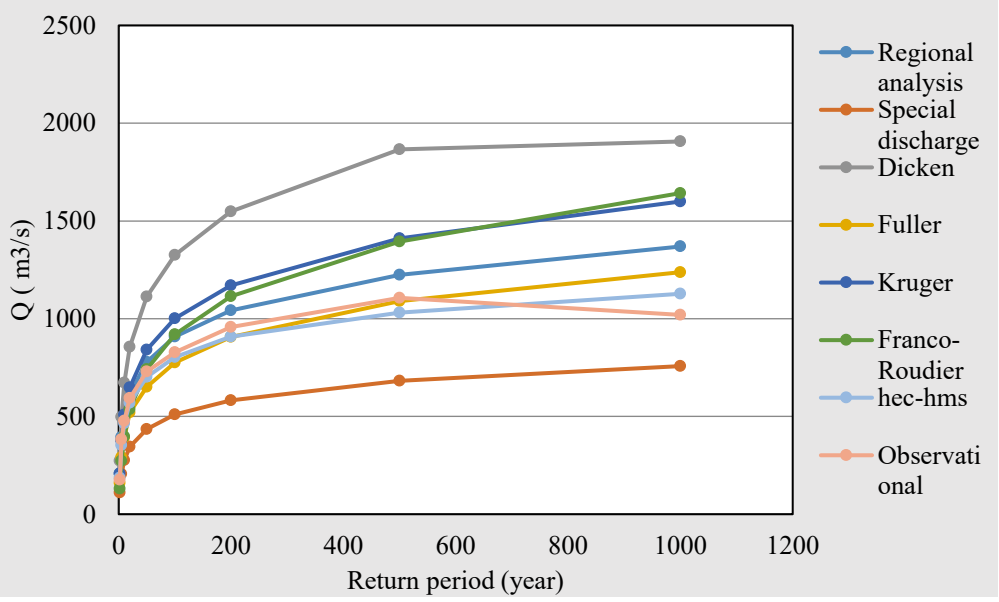
نتایج

برای مقایسه نتایج برآورد دبی حداکثر سیلاب حوزه آبخیز

جدول۲ - مقایسه نتایج سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف با روش‌های مختلف درنازمکان

Table 2. Comparison of flood results with different return periods with different methods at Nazmakan station

روش برآورد سیلاب		دوره بازگشت Return period								
		2	5	10	20	50	100	200	500	1000
تحلیل منطقه‌ایی Regional analysis	منطقه‌ایی(regional)	208.07	394.1	493.9	615.81	778.7	909.0	1042.4	1224.2	1369.2
	دبی ویژه (special discharge)	111.39	205.9	276.3	345.74	435.21	510.7	583.23	682.02	757.68
روش‌های تجربی Experimental methods	دیکن (Dicken)	273.22	497.0	672.5	856.49	1112.88	1325.	1547.9	1865.3	2116.4
	فولر (Fuller)	159.73	291.0	393.0	520.18	650.49	775.5	905.86	1090.8	1237.9
	کریگر(Kruger)	207.23	376.2	508.6	647.34	840.7	1001.	1169.6	1410.2	1599.4
	فرانکو-رودیر(Franco-roudier)	130.3	273.2	397.2	535.95	740.87	920.5	1114.9	1394.5	1642.5
بارش-رواناب Rainfall-runoff	HEC-HMS	187.05	353.0	464.4	569.57	701.98	803.9	908.03	1030.9	1127.5
داده‌های مشاهداتی Observational data		175.63	382.6	477.8	594.17	729.54	827.2	957.8	1106.7	1020.3



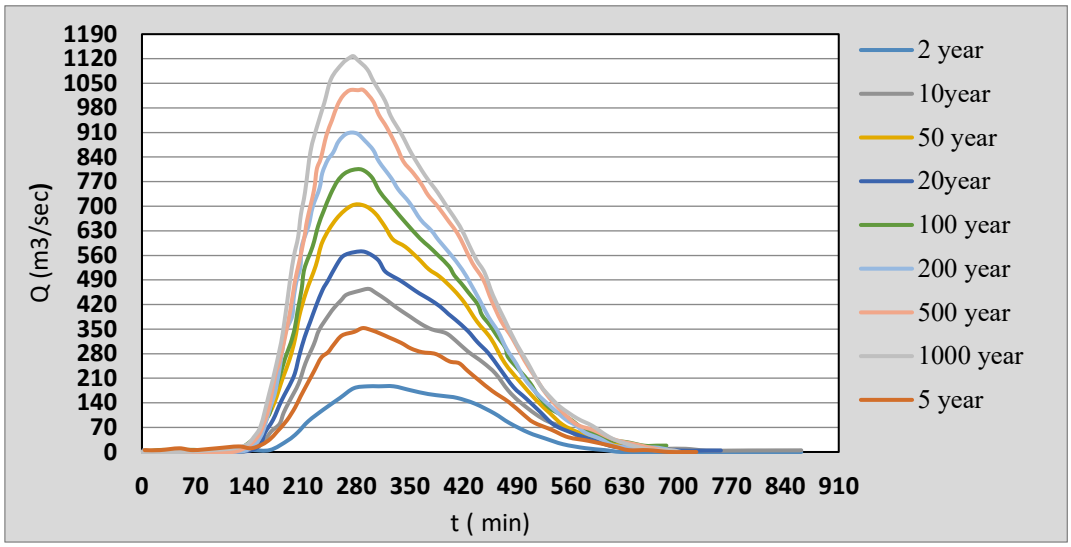
شکل ۱- مقایسه دبی حداکثر سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف با روش‌های منطقه‌ای ، تجربی و HEC-HMS

Fig 1. Comparison of maximum flood discharge with different return periods with regional, experimental and HEC-HMS methods

جدول۳- درصد خطای نسبی روش‌های مختلف برآورد دبی نسبت به داده‌های مشاهداتی

Table 3. Percentage of relative error of different flow estimation methods compared to observational data

دوره بازگشت Return period	درصد خطا percentage error						
	منطقه ایی Regional	دبی ویژه Sapecial discharge	دیکن Dicken	فولر Fuller	کریگر Kruger	فرانکو-رودیر Franco-roduier	HEC-HMS
1000	34.20	25.74	86.85	21.33	56.76	60.98	10.51
500	10.62	38.38	68.54	3.44	27.43	26.00	6.85
200	8.84	39.11	61.61	5.42	22.12	16.41	5.20
100	9.88	38.26	60.19	6.25	21.06	11.28	2.82
50	6.74	40.34	52.55	10.84	15.24	1.55	3.78
20	3.64	41.81	44.15	12.45	8.95	9.80	4.14
10	3.37	42.16	40.76	17.74	6.45	16.86	2.79
5	3.00	46.17	29.91	23.92	۳.68	28.59	7.72
2	18.47	36.58	55.57	9.05	17.99	25.81	6.50



شکل ۲- هیدروگراف سیلاب نازمکان -خروجی مدل بارش رواناب

Fig2. Nazmakan flood hydrograph - outflow of runoff model

نازمکان با استفاده از روش‌های مختلف، از معیار درصد خطای پیک جریان (رابطه ۱۳) استفاده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به اهمیت مطالعات سیلاب، از روش‌های متعددی جهت برآورد سیلاب استفاده شده است که نتایج به‌دست آمده به شرح زیر است: نتایج روش دیکن، دست‌بالا و دور از واقعیت می‌باشد. روش سیلاب ویژه نیز به‌دلیل دخالت تنها پارامتر مساحت از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین در محل ایستگاه نازمکان (رودخانه شاه بهرام) با توجه به عدم وجود آمار سیلاب، از بین روش‌های تجربی و تحلیلی و روش بارش-رواناب، با عنایت به این مطلب که کلیه روش‌های تجربی تابعی از مساحت حوضه می‌باشند و تنها رابطه مستقیم سیلاب با بارش(رگبار) در روش بارش-رواناب وجود دارد و به عبارتی تأثیر برآیند رفتارهای هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی حوضه مطالعاتی در این روش حاصل می‌شود. نهایتاً با بررسی‌های کارشناسی نتایج ، روش بارش –رواناب به عنوان نتایج نهایی پذیرفته شده است.

با توجه به مقایسه خطاها بعد از روش بارش-رواناب که با مدل HEC-HMS که به عنوان بهترین روش معرفی شده است ، روش تحلیل منطقه‌ایی و از بین روش‌های تجربی روش فولر و کریگر به ترتیب بهترین نتایج را ارائه دادند.

اختلاف کم نتایج روش تحلیل منطقه‌ای با نتایج مشاهداتی حاکی

از انتخاب مناسب ایستگاه‌های آب‌سنجی مشابه با حوضه فاقد آمار می‌باشد، بنابراین می‌توان تاکید به دقت بیشتری در انتخاب حوضه های دارای ایستگاه آب‌سنجی مشابه با حوضه فاقد آمار یا مورد مطالعه، در استفاده از روش‌های تحلیل فراوانی داشت.

با توجه به خطاهای تمام روش‌ها بیشترین خطا در دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله اتفاق افتاده است. دو روش فرانکو-رودیر و کریگر نتایج تقریبا نزدیک به هم ارائه دادند.

با توجه به کارایی خوب مدل HEC-HMS می‌توان از این مدل جهت برآورد سیلاب در حوضه‌های بدون آمار با واسنجی مناسب استفاده کرد و نتایج قابل قبولی به دست آورد.

مدل هیدرولوژیکی HMS-HEC دارای قابلیت خوبی در پیش بینی زمان واقعی سیل است و لذا در این تحقیق از آن استفاده شده است. این مسئله با نتایج آل‌شریف [۲]، محمدرشید عالی [۱] و سایر محققان مطابقت دارد.

نتایج حاصل از مدل HEC-HMS، دلالت بر اهمیت واسنجی متغیر تلفات اولیه دارد که منتج از CN بوده، با نتایج غلامی [۱۰] مبنی بر امکان‌سنجی مدل SCS با تغییر در مقادیر CN و تلفات اولیه مطابقت دارد.

پیشنهاد می‌شود تا نتایج برآوردی دبی حداکثر سیلاب با سایر مدل‌های هیدرولوژیکی بارش-رواناب نیز در سایر نقاط کشور آزمون شود. همچنین پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب، چون روش‌های رگرسیونی صورت گرفته، در انتخاب ایستگاه‌های همگن، تشابه همگنی عامل‌هایی چون وضعیت پوشش گیاهی، زمین شناسی، خاکشناسی و تا حدودی مساحت نزدیک به هم نیز لحاظ شود. در استفاده از معادله‌های تجربی که بر مبنای سطح حوزه آبخیز نیز نیستند، آزمون به عمل آمده، با سایر روش‌ها در برآورد دبی حداکثر سیلاب مقایسه شود.

منابع

1. Aliye, M.R. Aga, A.O. Tadesse, T. and Yohannes, P. 2020. Evaluating the Performance of HEC-HMS and SWAT Hydrological Models in Simulating the Rainfall-Runoff Process for Data Scarce Region of Ethiopian Rift Valley Lake Basin. Open Journal of Modern Hydrology. 10 (4):105-122.

2. Al-Shareef, O.H. Ezzeldin, M. and Gutub, S.A. 2013. Comparison of peak discharge estimation methods in northern Jeddah in western Saudi Arabia. Advances and Applications in Fluid Mechanics. 14(2): 219-236.

3. Asadi, A. and Boostani, F. 2013. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Kabkian basin and Delibajak subbasin in Iran. Journal of Engineering. 3(9): 10-16.

4. Azmat, M. Qamar, M.U. Ahmed, S. Hussain, E. and Umair, M. 2017. Application of HEC-HMS for the event and continuous simulation in high altitude scarcely-gauged catchment under changing climate. European water 5(7):77-84.

5. Bhuiyan, H.A. McNairn, H. Powers, J. and Merzouki, A. 2017. Application of HEC-HMS in a cold region watershed and use of RADARSAT-2 soil moisture in initializing the model. Hydrology. 4(1): 9-28.

6. Brirhet, H. and Benaabidate, L. 2016. Comparison of two hydrological models (lumped and distributed) over a pilot area of the issen watershed in the Souss Basin, Morocco. European Scientific Journal. ESJ. 12(347):10-19044.

7. Darji, K. Khokhani, V. Prakash, I. Mehmood, K. Pham, B.T. and Final, M.E. 2019. Rainfall-runoff modelling using HEC-HMS model: an application of regression analysis. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 6(5):225-234.

8. Derdour, A. Bouanani, A. and Babahamed, K. 2018. Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS in a semi-arid region: Case study in Ain Sefra watershed, Ksour Mountains (SW Algeria). Journal of water and land development. 36 (3): 45–55

9. Gebre, S.L. 2015. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of Upper Blue Nile River Basin. Hydrology: Current Research, 6(2):1-8.

10. Gholami, V. and Khaleghi, M.R. 2021. A simulation of the rainfall-runoff process using artificial neural network and HEC-HMS model in forest lands. Journal of Forest Science. 67(4):165-174.

11. Haibo, M. Xin, D. and Wenjuan, C. 2018. Application of Synthetic Unit Hydrograph on HEC-HMS Model for flood forecasting. In MATEC Web of Conferences 246 (01076): 1-8.

12. Halwatura, D. Najim, M.M.M. 2013. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. Environ. Model. Softw. 1(46): 155–162.

13. Majidi, A. and Shahedi, K. 2012. Simulation of rainfall-runoff process using Green-Ampt method and HEC-HMS model (Case study: Abnama Watershed, Iran). International Journal of Hydraulic Engineering, 1(15-9): . (In Persian)

14. Mockus, V. and Hjelmfelt, A.T. 1972. Chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall. US DEPARTAMENT OF AGRICULTURE, SCS SCS National Engineering Handbook, Section. 4., pp. 1-79.

15. Nyaupane, N. Mote, SR. Bhandari, M. Kalra, A. and Ahmad, S.2018. Rainfall-runoff simulation using climate change based precipitation prediction in HEC-HMS model for Irwin Creek. Charlotte. North Carolina. In World Environmental and Water Resources Congress 2018: watershed management, irrigation and

drainage, and water resources planning and management 2018 May 31 .Reston. VA: American Society of Civil Engineers. 10 (14): 325-363

16. Oleyiblo, J.O. and Li, Z.J. 2010. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. Water Science and Engineering. 3(1): 14-22.

17. Rathod, P. Borse, K. and Manekar, V.L. 2015. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS (case study: Tapi river, India). In 20th International Conference on Hydraulics. Water Resources and River Engineering. 9(8): 3440-3449.

18. Sahu, S. Pyasi, S. and Galkate, R. 2020. A review on the hec-hms rainfall-runoff simulation model. International-Journal-of-Agricultural-Science-and-Research-2250-0057. 10(4):183-190.

19. Saleh, A. Ghobad, R. and Noredin, R. 2011. Evaluation of HEC-HMS methods in surface runoff simulation (Case study: Kan watershed, Iran). Advances in Environmental Biology. 5(6): 1316-1321

20. Sampath, D.S. Weerakoon, S.B. and Herath, S. 2015. HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment with intrabasin diversions – case study of the Deduru Oya river basin, Sri Lanka. Engineer - Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka XLVIII(01, ISSN 1800-1122). 11(1): 1-9

21 Singh, W.R. and Jain, M.K. 2015. Continuous hydrological modeling using soil moisture accounting algorithm in Vamsadhara River basin, India. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, 4(4): 398-408.

22. Vaššová, D. 2013. Comparison of rainfall-runoff models for design discharge assessment in a small ungauged catchment. Soil and Water Research, 8(1): 26-33.

23. Visweshwaran, R. 2017. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in the Krishna basin. Master's thesis. National Institute of Technology Karnataka. Surathkal. India, 19 pages.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 16, No. 58, Fall 2022 سال شانزدهم- شماره ۵۸- پاییز ۱۴۰۱

Comparative Study of HEC-HMS Rainfall-Runoff Model with Different Experimental Methods of Flood Estimation

Sh.Vkili[1] and A.R Moghaddamnia[2]

Received: 21-07-2021 Accepted: 08-12-2021

Abstract

The most important problem in estimating floods is the lack of sufficient statistics and consequently the lack of evaluation of the appropriate amount of flow. One of the flood estimation methods in these basins is the use of hydrological modeling. In this study, Shahbahram river flood modeling was performed with Nazmkan hydrometric station located in Kohkiluyeh Boyer-Ahmad province with HEC-HMS and its comparsion with different flood estimation methods (regional flood analysis and Dicken, Fuller, Creager and Francou- Rodier methods). The HEC-HMS hydrological model presented better results with a lower error rate (maximum value of 10.51 with a return period of 1000 years and minimum value of 2.72 with a return period of 5 years) compared to experimental and analytical methods. The highest error is related to Dicken method with return period of 1000 and the value of 86.85 percent and the lowest error among experimental methods is related to Fuller method with 3.44 percent and return period of 500 years and regional analysis method with 3 percent error with return period of 5 years. Therefore, due to the use of HEC-HMS semi-distributed model of precipitation and area parameters with appropriate calibration, more accurate results can be obtained from this model.

Keywords: Flood estimation methods, HEC-HMS, Maximum daily and instantaneous flood, Rainfall-Runoff modeling, Regional flood analysis.

1. Corresponding Author and Master, Civil Engineering, Department of Water, Faculty of Engineering, Tehran University of Science and Research, Iran, Email: vakili_c@yahoo.com
2. Associate Professor of Watershed Engineering (Hydrology), Department of Dryland Rehabilitation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran