



پیش بینی جریان در حوضه کارستی ابوالعباس با مدل HEC-HMS و مقایسه آن با سری های زمانی غیر خطی

حسین فتحیان^۱، مهدی مهدی زاده تدوئی^۲

۱- گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- مهندس ناظر شرکت مهندسی مشاور قطر آب سازه

(Mehdizadehm656@gmail.com)

چکیده

پیش بینی رواناب به منظور بهره برداری موثر از مخازن کنترل سیل و سامانه های سیل بندهای خاکی و بتنی ضروری می باشد. از این رو پیش بینی رواناب در حوضه های آبریز از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. در این مقاله دو مدل مفهومی HEC-HMS و مدل سری های زمانی غیر خطی در پیش بینی رواناب در حوضه ابوالعباس مقایسه می شوند تا توانایی و دقت آنها در پیش بینی روزانه رواناب ارزیابی گردد. برای پیش بینی رواناب با مدل HEC-HMS ابتدا شبیه سازی پیوسته بارش-رواناب صورت روزانه قبل از زمان پیش بینی با استفاده از مدل تلفات شمارش رطوبت خاک (SMA) انجام شد. جهت واسنجی مدل HEC-HMS از امار روزانه بارش، دبی جریان و دمای هوا از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ و برای صحت سنجی مدل از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۳۲ استفاده شد. رواناب روزانه در ایستگاه هیدرومتری پل منجنیق از تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۰ تا ۱۳۹۳/۱/۸ پیش بینی شد. نتایج بکارگیری آزمون لجونگ-باکس نشان داد که سری زمانی غیر خطی (BL (2,2,1,1) و SETAR (2,4,5) به ترتیب بهترین مدل دو خطی و ۲ رژیم در مدل سازی پیش بینی جریان هستند. نتایج نشان می دهد که دقت و راندمان مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS بیشتر از سری های زمانی غیر خطی (BL (2,2,1,1) و SETAR (2,4,5) در پیش بینی دبی جریان در ایستگاه آبنجی پل منجنیق است. بطوری که ضریب ناش-ساکالیف بین دبی جریان مشاهداتی و پیش بینی شده با مدل های HEC-HMS، BL (2,2,1,1) و SETAR (2,4,5) به ترتیب برابر با ۰/۸۲، ۰/۵۹ و ۰/۶۱ است.

کلمات کلیدی: بارش-رواناب، مدل HEC-HMS، سری زمانی دوخطی، سری زمانی غیر خطی SETAR، حوضه ابوالعباس

مقدمه

کشور ایران کشوری با برخورداری از موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، سهم اندکی از ریزش های جوی را به عنوان منبع اصلی تامین آب در اختیار دارد. به طوری که با دارا بودن میانگین سالانه حدود ۲۲۱ میلیمتر، یعنی حدود یک سوم قاره آسیا و یک چهارم مقدار ۸۶۱ میلیمتر جهانی، جزء اقلیم های خشک و نیمه خشک به حساب می آید. بنابراین کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین با مشکل کم آبی مواجه می باشد. معمولاً برای بررسی شدت طغیان ها از آمار و اطلاعات سیلاب های پیشین در حوضه مورد مطالعه استفاده میشود. یعنی براساس آنچه در گذشته رخ داده، شرایط احتمالی



آینده برآورد می‌گردد. از این رو در کلیه طراحی های مربوط به سازه‌های آبی به خصوص 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. واشوا (۲۰۱۳) به محاسبه هیدروگراف های سیل از مدل های بارش-رواناب HEC-HMS بر اساس روش های استاندارد هیدرولوژیک سرویس حفاظت منابع طبیعی و KINFIL که ترکیبی از نفوذ مورل سیتوکس 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 به دست آمده از مؤسسه آب و هواشناسی چک (CHMI) بود که مرجع ارائه داده‌های هیدرولوژیک در جمهوری چک است. آل شریف (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. در دور (۲۰۱۸) با استفاده از مدل 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 نیمه خشک آبن‌سفر پرداخت و پس از واسنجی و اعتبارسنجی، نتایج قابل قبولی از مقایسه دبی‌های اوج شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده به دست آورد. نیاپانه (۲۰۱۸) به مطالعه در زمینه استفاده از مدل HEC-HMS برای پیش‌بینی دبی اوج جریان در حوزه آبخیز اروین کریک (۱۵/۴۶ 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. محمد رشید عالی (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) 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 $R^2 > 0.78$ و $NSE > 0.67$ ارائه داد و مدل HEC-HMS عملکرد مدل را با $R^2 > 0.87$ و $NSE > 0.73$ ارائه داد. از اینرو، آنها جریان شبیه‌سازی شده ارائه شده توسط مدل HEC-HMS را آنچه در مدل SWAT ارائه شده بود، رضایت بخش‌تر معرفی کردند. غلامی (۲۰۲۱) از یک سیستم هیدرولوژیکی HEC-HMS و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای شبیه‌سازی بارش-رواناب در اراضی جنگلی حوزه آبخیز کاسیلیان با مساحت ۶۸ کیلومترمربع استفاده کردند. آنها از مدل HEC-HMS با استفاده از داده‌های ثانویه بارندگی و دبی در ایستگاه‌های هواشناسی و آبرسنجی، سرویس حفاظت خاک (SCS) برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان، روش عدد منحنی (CN) برای تخمین رواناب و روش زمان تأخیر برای روندیابی جریان استفاده کردند. سوپ و همکاران (۲۰۱۵) فرایند بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS برای حوضه رودخانه ون با بکارگیری الگوریتم تلفات SMA انجام دادند. آنها دریافتند که مدل HEC-HMS کالیبر شده را می‌توان برای پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه ون استفاده کرد. رزمخواه و همکاران (۲۰۱۶) با روش تلفات نفوذ SMA در مدل HEC-HMS در حوضه آبریز سد کارون ۳ بارش و روانب را مدلسازی کردند. نتایج مدلسازی نشان داد که با توجه به معیار ناس-ساتکلیف روش SMA برآورد مناسبی از نفوذ ارائه می‌کند. نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره کلارک و زمان تمرکز مهمترین پارامترها برای شبیه‌سازی حداکثر سیلاب است. گومیندوگا و همکاران (۲۰۱۶) مدلسازی بارش-رواناب را در زیر ۱۰ زیر حوضه آبریز مختلف دارای آمار و بدون آمار (فاقد ایستگاه) با نرم افزار HEC-HMS در زمبابوه بررسی نمودند. همچنین سهم هر یک از زیر حوضه های فاقد آمار در تولید رواناب خروجی حوضه بررسی و محاسبه شد. نتایج نشان داد که مدل HEC-HMS مقدار رواناب و دبی پیک حوضه را در حوضه های



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۷۷۸۶-۲۹۸۰ ISSN

دارای آمار بطور مناسبی پیش‌بینی می‌کند. کوچ و همکاران (۲۰۱۵) مدل‌سازی هیدرولوژیکی پیوسته با استفاده از مدل HEC-HMS را در منطقه Aggtelek Karst با استفاده از الگوریتم SMA انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل HEC-HMS توانسته نتایج معقول را بدست آورد اما نیاز داده‌ها به تصحیح بیشتر را نشان داد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه رودخانه ابوالعباس از سرشاخه‌های رودخانه رودزرد با مساحت ۲۱۳ کیلومتر مربع واقع در جنوب‌غربی ایران و در ایستگاه آبسنجی پل منجیق با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه، ۴۶ دقیقه و ۳۱ ثانیه شرقی و ۱۲ درجه، ۳۱ دقیقه و ۳۱ ثانیه شمالی می‌باشد. تجهیزات اندازه‌گیری نصب شده در ایستگاه شامل اشل یکپارچه پل چهارمتری، پل تلفریک و لیمنوگراف (دیتالاوگر) می‌باشد. ارتفاع این حوضه آبریز کوهستانی از ۹۶۱ تا ۳۲۱۱ متر از سطح دریا با ارتفاع متوسط ۱۱۱۳ متر از سطح دریا تغییر میکند و ساختاری پیچیده با زیرحوضه‌هایی با اندازه‌های مختلف دارد. سازندهای آهکی ضخیم آلبه با گستر ۹۴ درصدی در سطح حوضه، آب‌وهوای مساعد توسعه کارست و تکتونیک فعال، شرایط مناسبی برای ایجاد و گسترش کارست در محدوده مورد مطالعه فراهم آورده است. اشکال مختلف کارستی از جمله کارن، فروچله و چشمه‌های کارستی در حوضه آبریز مشاهده می‌گردد. ۱۳ چشمه در حوضه آبریز وجود دارد که بزرگترین آن چشمه مال‌آقا با دبی متوسط ۲۴۳۱ لیتر بر ثانیه می‌باشد. تغییرات آبدی چشمه مال‌آقا نسبت به زمان نشان می‌دهد که حداکثر آبدی این چشمه با مقدار تقریبی ۳۲۱۱ لیتر بر ثانیه در اردیبهشت‌ماه اتفاق افتاده است. همچنین در حدود ۴۱ درصد از آبدی چشمه مربوط به جریان سریع است که این امر نشان دهنده توسعه سیستم مجرای در حوضه آبریز چشمه است. همچنین نسبت دبی حداکثر به حداقل برابر با ۴/۹۳ لیتر بر ثانیه نیز مؤید این مطلب است. وجود این اشکال کارستی نشان دهنده پتانسیل بالای توسعه کارست در اعماق می‌باشد. شکل ۱ نقشه موقعیت حوضه ابوالعباس را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه ابوالعباس

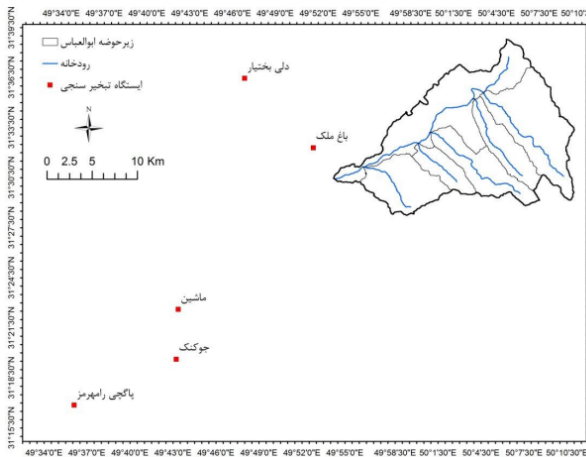


مواد و روش ها

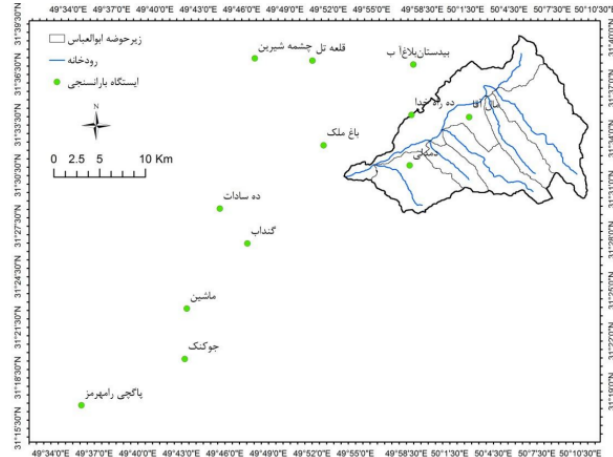
تاسیس ایستگاه‌های هواشناسی و برداشت آمار آنها در کشور، توسط سازمان هواشناسی و وزارت نیرو انجام می‌گیرد. در این تحقیق پس از جمع آوری داده های مورد نیاز اولیه، سری زمانی داده ها تکمیل گردید که از ۱۲ ایستگاه جهت استفاده در این مطالعه انتخاب گردیده شد. در بین آمار این ۱۲ ایستگاه پایه زمانی مشترک داده ها تعیین گردید. پایه زمانی مناسبی که برای مدل سازی با توجه به آمار ایستگاه‌های در نظر گرفته شد به مدت ۱۴ سال از تاریخ ۱۳۸۰/۷/۱ تا ۱۳۹۴/۶/۳۱ است. مقادیر دبی جریان در این ایستگاه هیدرومتری پل منجیق به وزارت نیرو به عنوان خروجی مدل استفاده شده است. علاوه بر این از داده‌های تبخیر از ایستگاه‌های وزارت نیرو استفاده شده است (جدول-۱). بر اساس نقشه‌های پایه توپوگرافی، شبکه رودخانه‌ها و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، مرز حوضه ابوالعباس در محل ایستگاه آسنجی پل منجیق بسته شد. حوضه ابوالعباس با توجه به محل تقاطع رودخانه‌ها و نقاط با اهمیت به شش زیر حوضه تقسیم شد. در شکل ۲ نقشه موقعیت ایستگاه‌های بارانسجی، در شکل ۳ موقعیت ایستگاه‌های تبخیر سنجی در حوضه ابوالعباس نشان داده شده است و در شکل ۴ نقشه موقعیت ایستگاه هیدرومتری منجیق در خروجی حوضه را نشان می‌دهد. در شکل ۵ نقشه شبکه آبراهه‌های اصلی و زیر حوضه‌بندی همراه با شماره‌های مربوط به هر زیر حوضه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه

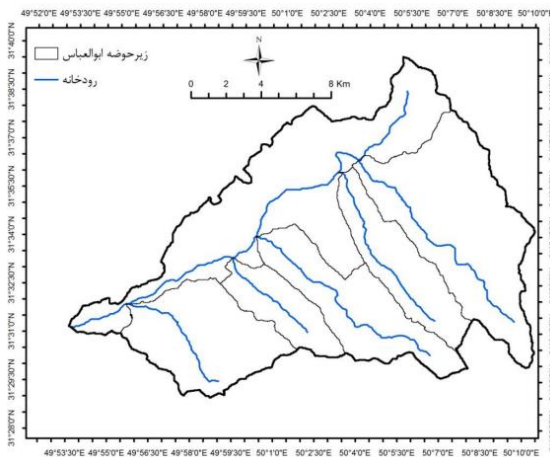
ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	کد	نوع ایستگاه	رودخانه	نام ایستگاه
۷۰۰	۳۱-۳۱	۴۹-۵۴	۲۲-۰۰۱	هیدرومتری	ابوالعباس	پل منجیق
۱۱۰۰	۳۱-۳۵	۵۰-۰۲	۲۲-۰۰۲	باران سنجی	رودزرد	مال آقا
۶۷۵	۳۱-۳۳	۴۹-۵۲	۲۲-۰۰۴	باران سنجی	رودزرد	باغملک
۱۱۰۰	۳۱-۳۵	۴۹-۴۶	۲۲-۹۶۱	باران سنجی	رودزرد	ده راه خدا
۶۶۰	۳۱-۳۲	۴۹-۴۸	۲۲-۰۰۹	باران سنجی	دلی	دمدلی
۸۴۰	۳۱-۳۸	۴۹-۵۱	۲۲-۰۱۰	باران سنجی	رودزرد	قلعه تل
۲۰۲۰	۳۱-۳۸	۴۹-۵۸	۲۲-۷۵۹	باران سنجی	ابوالعباس	بیدستان بلاغ آب
۶۷۵	۳۱-۳۳	۴۹-۵۲	۲۲-۰۰۴	تبخیر سنجی	رودزرد	باغملک
۳۸۰	۳۱-۳۳	۴۹-۴۳	۲۲-۰۱۱	تبخیر سنجی	رودزرد	ماشین
۱۵۵	۳۱-۱۷	۴۹-۳۶	۲۲-۰۱۶	تبخیر سنجی	الله	پا گچی رامهرمز
۸۵۰	۳۱-۴۷	۴۹-۴۷	۲۲-۹۶۸	تبخیر سنجی	رودزرد	دلی بختیار
۳۱۶	۳۱-۲۰	۴۹-۴۳	۲۲-۰۱۳	تبخیر سنجی	الله	جو کنک



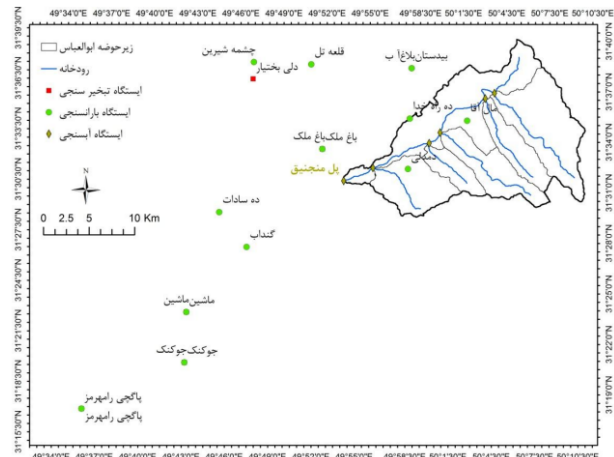
شکل ۳- نقشه موقعیت ایستگاه‌های تخیرسنجی در حوضه ابوالعباس



شکل ۲- نقشه موقعیت ایستگاه‌های بارانسنجی در حوضه ابوالعباس



شکل ۵- نقشه شبکه آبراهه‌های اصلی و زیر حوضه‌بندی حوضه ابوالعباس



شکل ۴- نقشه موقعیت ایستگاه هیدرومتری منجنیق در خروجی حوضه ابوالعباس

روش‌های محاسبه توزیع مکانی بارندگی

روشهای مختلفی برای برآورد توزیع مکانی وجود دارد که از جمله می‌توان به روشهای کلاسیک معمول یعنی روش میانگین حسابی و پلیگونیهای تایسن اشاره کرد. به طور کلی در روش‌های درون یابی، تخمین شامل فرآیندی است که طی آن میتوان، مقدار یک کمیت را در نقطه ای با مختصات معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت که در تعدادی نقاط اندازه‌گیری شده باشد، بدست آورد. در این راستا روش‌های نوین زمین آماری مختلفی وجود دارد که عبارتند از: روش کریجینگ، کوکریجینگ، TPSS و IDW. نتایج مطالعه بارش در جنوب غرب ایران نشان داده است که روش IDW برای تخمین بارش در شرایطی که تراکم ایستگاه‌های بارانسنجی پایین است روش مناسبی برای درون‌یابی بارش می‌باشد (Saghafian et al., 2003). لذا در این تحقیق از بین روش‌های میان‌یابی، روش وزنی عکس مجذور (IDW) فاصله برای برآورد توزیع مکانی بارندگی روزانه حوضه دز جهت معرفی به مدل مفهومی، انتخاب شد. فرمول کلی روش‌های میان‌یابی از جمله IDW، به صورت زیر می‌باشد.

$$Z * X_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad (1)$$



که در آن مقدار تخمینی متغیر، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مشاهده شده، λ_i وزن یا اهمیت نمونه λ_i و n تعداد مشاهدات است. در این روش مقدار λ_i براساس انتخاب یک شعاع تاثیر برای تمامی نقاطی که در داخل ایم شعاع تاثیر قرار می گیرند، عبارتند از:

$$\begin{cases} d_i \leq R & \lambda_i = \frac{d_i^{-u}}{\sum_{d_i \leq R} d_i^{-u}} \\ d_i \geq R & \lambda_i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

d_i فاصله i ام داده مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، u توان و R شعاع تاثیر است. توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر را کاهش می دهند. لازم به ذکر است که در این روش موقعیت و آرایش نقاط در نظر گرفته نمی شود زیرا به نقاط با فاصله یکسان از نقطه مورد تخمین، وزن یکسانی داده می شود. روش پلیگون‌های تاپسن گرچه در برآورد میزان بارش نقطه‌ای به طور ضعیفی عمل می کند اما در برآورد بارش کلی حوضه‌ها کارایی‌های مناسبی از خود نشان داده است. بدین رو در بخش مدل‌سازی مفهومی از میانگین بارش حاصل از پلیگون‌های تاپسن نیز در ورودی به نرم‌افزار استفاده شده است.

ساختار مدل مفهومی HEC-HMS

مدل HEC-HMS یکی از پرکاربردترین مدل‌های بارش-رواناب در ایالت متحد آمریکا می‌باشد. نرم افزار HEC-HMS نسخه توسعه یافته HEC-1، تحت ویندوز برای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب حوضه آبریز طراحی شده است. این برنامه قابلیت تحلیل رودخانه‌های حوضه‌های آبریز بزرگ، ذخایر آبی و هیدرولوژی سیلاب و رواناب حوضه‌های طبیعی و شهری را دارا می باشد. هیدروگراف‌های حاصل از تحلیل نرم افزار HEC-HMS یا مستقیماً در مسائل طراحی بکار برده می شود و یا همراه بانرم‌افزارهای دیگر برای مطالعات تکمیلی آبی، زهکشی شهری، پیش بینی جریان، طراحی سرریز مخازن، کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل یک مدل مفهومی نیمه توزیعی بوده که دارای قابلیت شبیه‌سازی تلفات و نفوذ، ذوب‌برف، روندیابی زیرحوضه‌ها و روندیابی شبکه رودخانه‌ها می‌باشد.

مدل های محاسبه تلفات در HEC-HMS

مدل HEC-HMS حجم رواناب را با محاسبه حجم آب گرفته شده توسط ذخیره برگابی، نفوذ، ذخیره سطحی و تبخیر و تعرق و کاهش آنها از میزان بارش کل بدست می‌آورد. مجموع ذخیره برگابی، ذخیره سطحی، نفوذ و تبخیر و تعرق به صورت کلی در این نرم افزار تحت عنوان تلفات یاد می‌شود.

در این بسته نرم افزاری تمامی اراضی موجود در حوضه آبریز می‌توانند در دو دسته جای بگیرند:

۱. سطوح نفوذ ناپذیر با ارتباط مستقیم^۲

۲. سطوح قابل نفوذ^۳

سطوح نفوذ ناپذیر، بخش‌هایی از حوضه می‌باشند که تمامی بارش به صورت رواناب جاری گشته و هیچ‌گونه مولفه تلفات صورت نمی‌گیرد. مدل‌های مختلف محاسبه تلفات در این نرم افزار عبارتند از:

۱. مدل تلفات اولیه و نرخ ثابت تلفات

۲. مدل کمبود جریان و نرخ ثابت

۳. مدل شماره منحنی SCS ساده و شبکه ای

2 Directly-connected impervious surface

3 Pervious surface



۴. مدل گرین آمپت

۵. مدل نفوذ نمایی

۶. مدل محاسبه کننده رطوبت خاک

در هر یک از این مدل‌ها، تلفات بارندگی برای هر بازه زمانی از محاسبات تعیین می‌گردد و از ارتفاع متوسط بارش سطحی در آن گام زمانی کسر میگردد و میزان باقیمانده به منزله بارش مازاد محسوب می‌گردد. همانطور که پیشتر ذکر گردید از فاکتورهای مهم در انتخاب مدل مفهومی پیوسته و نوین بودن آن بوده است که در میان مدل‌های محاسبه تلفات، مدل SMA تنها مدل موجود در HEC-HMS است که هر دو شرط را دارا می‌باشد و همچنین توانایی مدل‌سازی سیستم‌های هیدرولوژیکی در طی دوره‌های خشک و تر را به صورت پیوسته دارد در بخش بعدی به تشریح این مدل و مفیاهیم اساسی آن پرداخته می‌شود.

مدل سازی رواناب مستقیم به کمک HEC-HMS

مدل HEC-HMS یک مدل مفهومی نیمه توزیعی بوده که دارای قابلیت شبیه‌سازی تلفات و نفوذ، ذوب برف، روندیابی زیرحوضه‌ها و روندیابی شبکه رودخانه‌ها می‌باشد. در نسخه جدید این مدل، قابلیت پیش‌بینی جریان اضافه شده است. پیش‌بینی رواناب معمولاً شامل شبیه‌سازی شرایط گذشته و آینده می‌باشد. پیش‌بینی با انتخاب زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. معمولاً زمان پیش‌بینی آخرین زمان موجود برای مشاهدات هواشناسی بارش، دمای هوا و بقیه متغیرها می‌باشد. اگر مشاهدات رواناب، اشل و رقوم سطح آب در مخزن موجود باشد، آخرین مقدار موجود عموماً نزدیک به زمان پیش‌بینی می‌باشد. شبیه‌سازی به صورت ساعتی یا روزانه قبل از زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. در واقع مدل با فرض ثابت بودن شرایط هیدرولوژی و هواشناسی حوضه در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی شروع به شبیه‌سازی هیدروگراف در مرحله پیش‌بینی می‌نماید هنگامی که مشاهدات شرایط فعلی حوضه موجود باشد، با نتایج محاسبه شده در دوره پیش‌بینی مقایسه می‌شوند تا صحت پیش‌بینی انجام شده و عملکرد مدل را بهبود ببخشد. معمولاً مشاهدات هواشناسی بعد از زمان پیش‌بینی موجود نیستند و پیش‌بینی مقادیر آینده استفاده می‌شود. به عنوان مثال پیش‌بینی کمی بارش (QPF)، پیش‌بینی هواشناسی مقدار بارش آینده را تهیه می‌کند. در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایند بارش-رواناب، از مدل SMA که توانایی مدل‌سازی سیستم‌های هیدرولوژی را برای دوره‌های طولانی مدت به صورت پیوسته دارا می‌باشد بهره گرفته شد. مدل SMA استفاده از یک سری لایه‌های ذخیره‌کننده آب، حوضه آبریز را معرفی می‌نماید. هنگامی که بارش صورت می‌گیرد اولین لایه‌ای که ظرفیت آن پر می‌گردد ذخیره برگابی است. دومین لایه ذخیره‌های، ذخیره چالابی است و سپس نفوذ سطحی رخ میدهد بنابراین سومین لایه ذخیره، ذخیره پروفیل خاک می‌باشد. از بین مدل‌های مختلف تبدیل بارش به رواناب، مدل هیدروگراف واحد کلارک به دلیل استفاده عمومی‌تر در حوضه‌های بزرگ و عملکرد قابل قبول آن استفاده گردید. همچنین، بنا بر توصیه‌های صورت گرفته به همراه مدل SMA از مدل جریان پایه مخزن خطی برای برآورد جریان پایه بهره گرفته شد. برای روندیابی هیدروگراف در بازه‌های رودخانه نیز روش روندیابی ماسکینگام انتخاب شد. علاوه بر این با توجه به برگیر بودن حوضه برای مدل‌سازی ذوب برف از روش شاخص دما بهره گرفته شده است.

معیار گرافیکی برای مقایسه نتایج

ترسیم منحنی پراکندگی مقادیر پیش‌بینی‌شده در برابر مقادیر مشاهداتی

رگرسیون به معنی برگشت است و در خصوص داده‌ها، این برگشت را می‌توان بدین صورت معنی کرد که داده‌ها به وضعیت اصلی خود که ممکن است معادله یک خط یا معادله غیرخطی باشند برگشت داده می‌شوند. رگرسیون خطی به عنوان یک پ‌یشگویی



علمی نیز به شمار می‌رود زیرا می‌توان به ازای بعضی از x ها (داده‌های محاسباتی) مقدار y ها (داده‌های مشاهداتی) آن را برآورد کرد.

$$Y=MX+b \quad (3)$$

در معادله خط رگرسیون که با استفاده از روش حداقل مربعات در مباحث آماری برآورد می‌شود، (M) شیب خط و (b) عرض از مبدأ است. با ترسیم سری زمانی پیش‌بینی شده و مشاهداتی در یک نمودار می‌توان تغییرات آنها را بررسی کرد و دقت سری زمانی مورد نظر از لحاظ گرافیکی ارزیابی نمود.

مراحل مدلسازی سری زمانی

مدل‌های سری زمانی شامل سه مرحله تکرار است که عبارتند از:

شناسایی الگو: در این مرحله با رسم نمودارهای خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی $(PACF)$ ایستادگی در میانگین و واریانس داده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تا بعد خود همبستگی (ACF) یکی از ابزارهای بسیار مهم برای امتحان وابستگی داده‌ها می‌باشد. این تابع، همبستگی میان مشاهدات را در فواصل مختلف اندازه می‌گیرد و جهت بررسی یک سر زمانی یگانه در قلمرو زمان بکار می‌رود. این تابع، اغلب پیش‌بینی از الگو احتمالی که داده‌ها را تولید می‌کند به ما ارائه می‌دهد (Cryer, 1986). که از این امر برای تشخیص و برازش مدل تصادفی مناسب برای داده‌ها، استفاده می‌شود. علاوه بر خود همبستگی میان (x_t, x_{t+k}) ، اگر مد نظر ما این باشد که همبستگی میان (x_t, x_{t+k}) بعد از اینکه وابستگی خطی مشترک میان متغیرهای $(x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+k-1}, x_{t+k})$ حذف شد، مورد بررسی قرار گیرد از تابع خود همبستگی جزئی $(PACF)$ استفاده می‌شود. رفتار این توابع در نمودار همبستگی نگار به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای برای تخمین الگو سر زمانی می‌باشد. در صورت نایستایی، ابتدا سری مورد نظر بی استفاده از سر تفضیلی مناسب و تبدیل داده‌های از روم باکس-کاکس در میانگین و واریانس پایدار شده، سپس سر ایستا می‌گردد. بنابراین، در این مرحله با آنالیز واریانس داده‌های تفاضل شده و نیز با استفاده از نمودارهای $PACF$ و ACF مراتب p, q, P و Q مشخص گردید.

برازش الگو (برآورد پارامترها): در این مرحله با شناسایی الگوهای مناسب در مرحله قبل، برای مقایسه چند الگو و انتخاب بهترین آنها می‌توان از معیار آکائیکه استفاده کرد که مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$AIC = N \left(\ln \left(\frac{2\pi RSS}{n} \right) \right) + 1 + 2m \quad (4)$$

که در آن m مجموع کل پارامترهای مدب انتخابی و RSS مجموع مربعات باقی مانده‌ها هست. مدلی که کمترین مقدار آمار آکائیکه را داشته باشد بعنوان مدل مناسب تشخیص داده می‌شود.

تشخیص درستی الگو: جهت بررسی درستی مدل، نمودار باقیمانده‌ها از نظر نرمال بودن و ایستایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. بنابراین، با رسم کردن نمودار ACF باقی مانده مدل‌های برازش یافته، چنانچه مقادیر ضرایب خودهمبستگی در باند اطمینان 95% واقع شوند، مدل برازش یافته کفایت لازم را دارد.

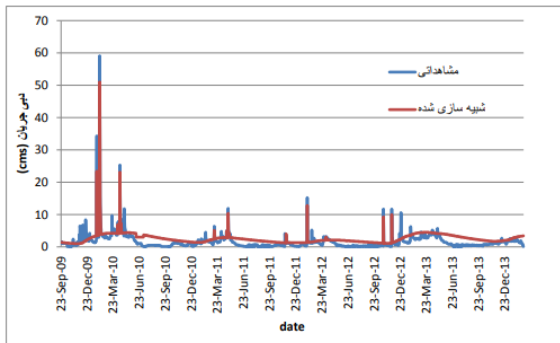
نتایج و بحث

کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل HEC-HMS

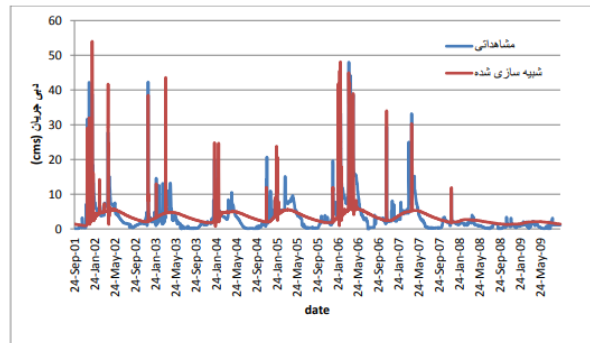
با ساخت فایل ورودی مدل بارش-رواناب در HEC-HMS شامل مدل ذخیره برگابی، مدل ذخیره سطحی (چالابی) مدل ذوب برف، مدل محاسبه حجم رواناب (مدل تلفات SMA)، مدل رواناب مستقیم (روش کلارک)، مدل روندیابی جریان در آبراهه‌ها (روندیابی ماسکینگام)، مدل جریان پایه (روش مخزن خطی) برای توفان کالیبراسیون، شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب ابتدا با



مقادیر اولیه انجام شد. با ترکیب روش دستی سعی و خطا فرایند کالیبراسیون تکمیل شد. چنانچه انطباق بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مناسب تشخیص داده نشده است مقادیر پارامترهای مدل‌ها در محدوده‌های مجاز با استفاده از قضاوت مهندسی و به صورت دستی تا حصول نتایج مناسب و رضایت بخش کالیبره شده است. نکته مهم در ارزیابی و کارایی مدل استفاده توأمان و جامع از توابع هدف و معیارهای آماری و گرافیکی متفاوت سنجش خطا می‌باشد. در این پژوهش برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی (صحت‌سنجی) مدل HEC-HMS، از داده‌های روزانه استفاده گردید. پس از اینکه مدل چندین بار اجرا شد و نتایج حاصله از جانب شاخص‌های نیکویی برازش مورد بررسی قرار گرفت. یعنی که از لحاظ معیارهای گرافیکی و چه از لحاظ توابع هدف، نتایج بدست آمده سنجیده شد و بهترین نتایج در دوره کالیبراسیون انتخاب شد. شکل‌های ۶ و ۷ مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS به ترتیب در مرحله کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS را نشان می‌دهند. جدول ۲ معیارهای آماری نیکویی برازش برای دوره کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ میتوان دریافت که شکل تغییرات هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS تقریباً نزدیک به تغییرات هیدروگراف مشاهده‌ای می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در مرحله صحت سنجی



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در مرحله کالیبراسیون

جدول ۲- معیارهای آماری نیکویی برازش برای دوره کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS

معیار آماری	Calibration	Validation
NS	0.62	0.61
RMSE	3.1	1.6
PTVE	11.7	16.4

با توجه به مقدار ضریب ناش-ساتکالیف برابر با ۰/۶۲ در مرحله کالیبراسیون مدل در جدول ۲ می‌توان دریافت که دقت مدل HEC-HMS از لحاظ شبیه‌سازی هیدروگراف جریان در مرحله کالیبراسیون مدل قابل قبول است. ضریب ناش-ساتکالیف می‌تواند مقادیری از منفی بینهایت تا ۱ را به خود اختصاص دهند که عدد ۱ نشان دهنده برازش کامل و انطباق ۱۰۰٪ بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

پیش بینی رواناب با مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

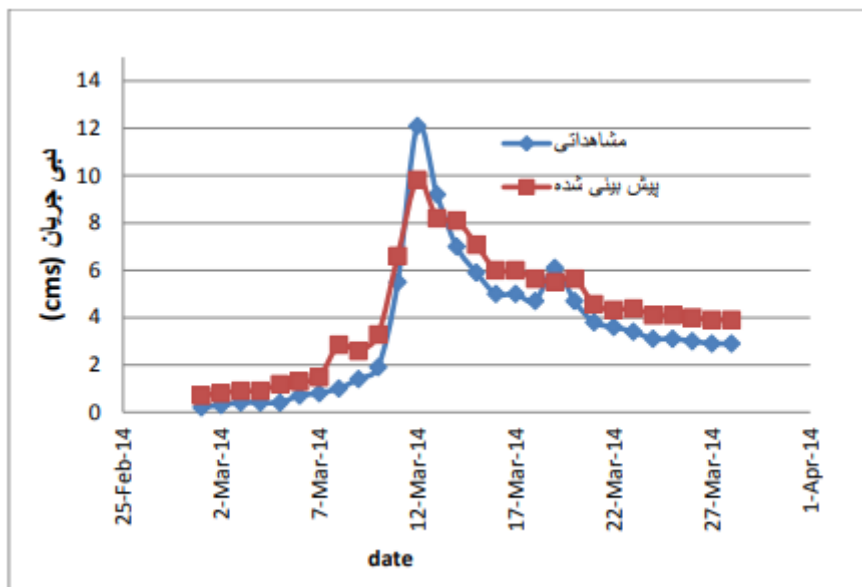
پیش‌بینی رواناب معمولاً شامل شبیه‌سازی شرایط گذشته و آینده می‌باشد. پیش‌بینی با انتخاب زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. معمولاً زمان پیش‌بینی آخرین زمان موجود برای مشاهدات هواشناسی بارش، دمای هوا و بقیه متغیرها می‌باشد. اگر مشاهدات



رواناب، اشیل و رقوم سطح آب در مخزن موجود باشد، آخرین مقدار موجود عموماً نزدیک به زمان پیش‌بینی می‌باشد. شبیه‌سازی بصورت ساعتی یا روزانه قبل از زمان پیش‌بینی شروع می‌شود. نتایج محاسبه شده بین زمان شروع و زمان پیش‌بینی بعنوان دوره look back نامیده می‌شود. هنگامی که مشاهدات شرایط فعلی حوضه موجود باشد، با نتایج محاسبه شده در دوره look back مقایسه می‌شوند تا اصلاحات کالیبراسیون انجام شده و عملکرد مدل را بهبود ببخشد. رواناب آینده بر مبنای شرایط هواشناسی پیش‌بینی شده شبیه‌سازی می‌شود. این دوره از زمان در آینده، دوره پیش‌بینی (time forecast) نامیده می‌شود. زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها در یک آلترناتیو پیش‌بینی با مقادیر پیشفرض با استفاده از مقادیر پارامترهای مدل حوضه مقداردهی می‌شوند. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، پیش‌بینی جریان در ایستگاه پل منجیق از تاریخ ۱۰ اسفند ۱۳۹۲ الی ۸ فروردین ۱۳۹۳ انجام شده است. شکل ۸ مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS به ازای مرحله پیش‌بینی جریان را نشان می‌دهد. در جدول ۳ معیارهای آمار نیکویی برازش برای پیش‌بینی جریان با مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. در این جدول مقدار ناش-ساتاکلایف و ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهداتی و پیش‌بینی شده بترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۱/۲ متر مکعب در ثانیه می‌باشد که بیانگر دقت قابل قبول در پیش‌بینی رواناب در حوضه ابوالعباس می‌باشد.

جدول ۳- معیارهای آماری نیکویی برازش برای دوره پیش‌بینی جریان با مدل HEC-HMS

معیار آماری	پیش‌بینی
NS	۰/۸۲
RMSE	۱/۲
PTVE	۲۳/۶۹



شکل ۸- مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و پیش‌بینی شده با مدل HEC-HMS در مرحله پیش‌بینی

پیش‌بینی رواناب با سری زمانی

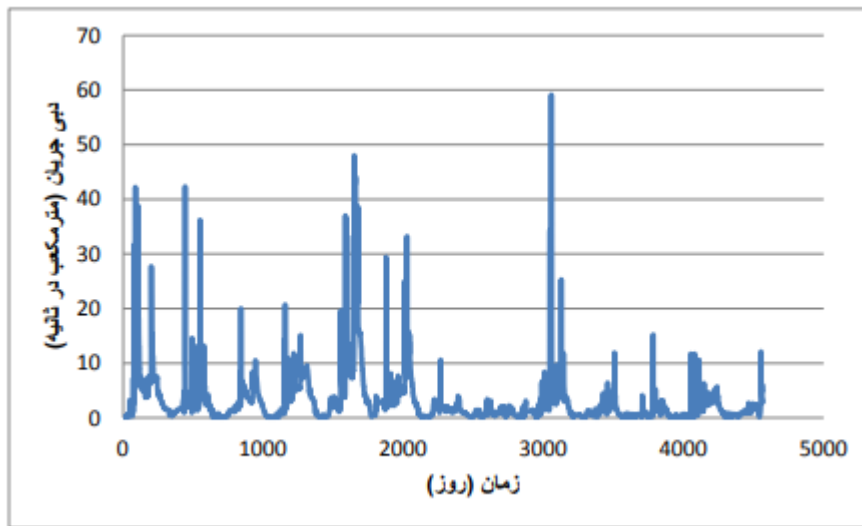


برای مدل‌سازی داده‌های دبی روزانه جریان در ایستگاه هیدرومتری پل منجیق، از مدل‌های سری زمانی غیر خطی بی‌لینیر (BL) و SETAR استفاده شد. بازه زمانی جهت کالیبراسیون (واسنجی)، صحت‌سنجی و پیش‌بینی سری زمانی غیر خطی BL و SETAR دقیقاً مشابه مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در نظر گرفته شد. مشخصات آماری سری زمانی دبی روزانه جریان در ایستگاه هیدرومتری پل منجیق در جدول ۴ نشان داده شده است.

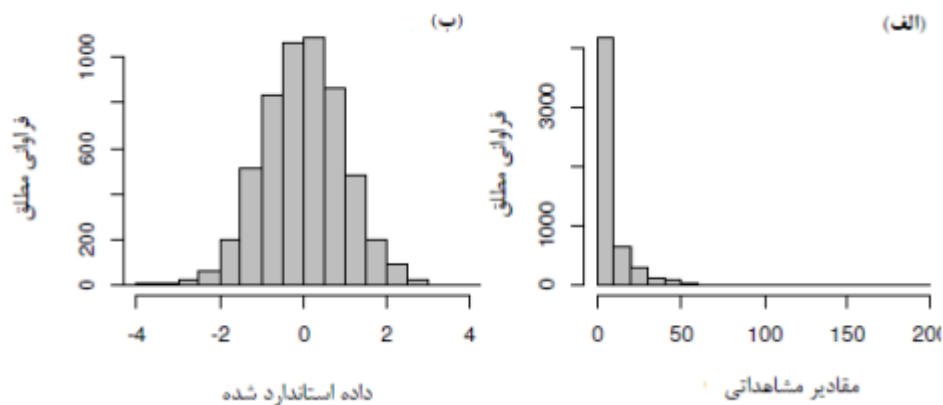
جدول ۴- مشخصات آماری سری زمانی دبی جریان روزانه ایستگاه آبنجی پل منجیق

نام ایستگاه	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	انحراف معیار	ضریب چولگی
پل منجیق	۲/۷۵	۵۹/۱	۰/۱	۴/۳۷	۵/۱۸

در شکل ۹ نمودار هیستوگرام ایستگاه پل منجیق بدلیل داشتن چولگی باتوجه به جدول ۴ از توزیع نرمالی پیروی نمی‌کند. یکی از فرض‌های استفاده از مدل‌های سری زمانی نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. لذا از تبدیل باکس کاکس با ضریب لاندار ۰/۲۲- جهت نرمال‌سازی داده‌های مذکور استفاده شده است. شکل ۱۰ نمودار هیستوگرام داده‌های اصلی و استاندارد شده دبی جریان روزانه ایستگاه پل منجیق را نشان می‌دهد، داده‌ها پس از تبدیل باکس کاکس به فرم زنگوله‌ای تبدیل و نرمال شده‌اند.



شکل ۹- نمودار سری زمانی دبی جریان روانه ایستگاه آبنجی پل منجیق



شکل ۱۰- نمودار هیستوگرام داده‌های (الف) اصلی و (ب) نرمال شده دبی جریان روزانه ایستگاه پل منجیق



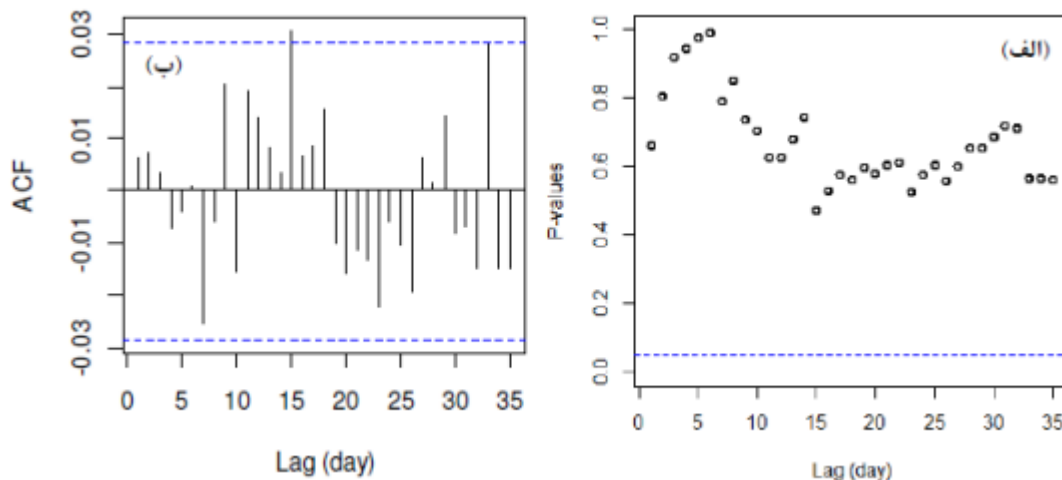
مدل غیر خطی SETAR

در جدول ۵ مشخصات مدل ۲ رژیمی SETAR (2;4,5) بعنوان مدل مناسب برازش داده شده به دبی میانگین روزانه در ایستگاه پل منجیق را نشان می دهد. مقدار آستانه برآورد شده بصورت استاندارد شده می باشد که با تبدیل معکوس کردن از مقدار استاندارد شده به مقدار واقعی، معادل با ۰/۲ مترمکعب در ثانیه بدست آمد.

جدول ۵- مشخصات مدل ۲ رژیمی SETAR(2;4,5) برازش یافته به دبی میانگین روزانه در ایستگاه پل منجیق

رژیم بالایی			رژیم پائینی			
<i>p-value</i>	خطای استاندارد	مقادیر تخمینی	<i>p-value</i>	خطای استاندارد	مقادیر تخمینی	ضرایب
0.775	0.0047	-0.0013	0.000	0.0909	-0.452	α_0
0.000	0.0146	0.9631	0.000	0.0516	0.2223	α_1
0.000	0.018	-0.0934	0.490	0.0773	0.0533	α_2
0.000	0.0175	0.0778	0.000	0.0842	0.5401	α_3
0.081	0.0178	-0.031	0.036	-0.0598	-0.1258	α_4
0.000	0.0134	0.0512	α_5

در شکل ۱۱ الف و ب بترتیب مقادیر *p-value* آزمون لجونگ-باکس و تابع همبستگی باقی مانده ها مدل ۲ رژیمی SETAR (2;4,5) را برای بررسی سری زمانه دبی روزانه در ایستگاه پل منجیق نشان می دهد. با توجه به این شکل مقادیر AIC باقیمانده ها در محدوده باند مجاز (باند اطمینان ۹۵٪) قرار گرفته اند. بنابراین سری باقیمانده ها مستقل از هم هستند. مقادیر *p-value* باقیمانده ها نیز بزرگتر از مقدار بحرانی در سطح معنی داری ۵٪ هستند. بنابراین سری زمانی باقیمانده های مدل مستقل از هم و تصادفی در نظر گرفته شدند.



شکل ۱۱- (الف): مقادیر *P-VALUE* آزمون لجونگ-باکس و (ب): تابع همبستگی باقیمانده های مدل ۲ رژیمی SETAR (2;4,5) سری زمانه دبی روزانه ایستگاه پل منجیق

مدل غیر خطی بی لینی

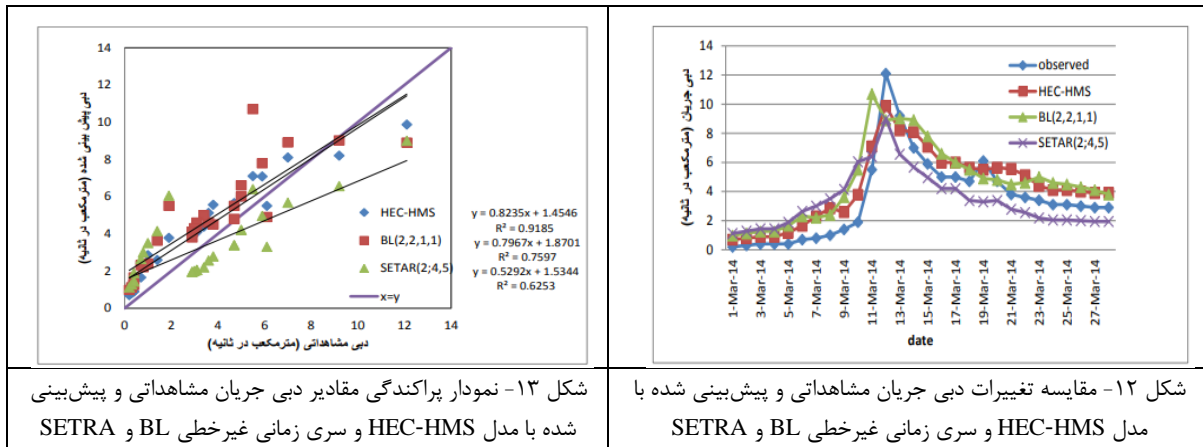
به منظور تعیین بهترین مدل بی‌لینیر (دوخطی) جهت مدلسازی و پیش‌بینی جریان، ترکیب‌های مختلفی از پارامترهای این مدل در نظر گرفته شد. در نهایت از مدل $BL(2,2,1,1)$ بعنوان بهترین مدل دوخطی انتخاب شد. جدول ۶ مقادیر Q آزمون لجونگ-باکس برای آزمون کفایت مدل‌های برآزش یافته $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ را نشان می‌دهد. باتوجه به این جدول مقادیر Q کمتر از مقدار کای اسکور بدست آمده از جدول بوده و بنابراین بیانگر قبول فرض صفر مبنی بر تصادفی بودن سری باقیمانده‌ها هست.

جدول ۶- نتایج آزمون لجونگ-باکس برای آزمون کفایت مدل‌های برآزش یافته سری زمانی

مدل	تعداد داده‌ها	تاخیر	آمار Q	مقدار کای اسکور	نتیجه آزمون
$BL(2,2,1,1)$	۴۵۶۹	۴۰	۴۶	۵۵/۷۵	قابل قبول
$SETRA(2;4,5)$	۴۵۶۹	۴۸	۳۸	۶۷/۱۵	قابل قبول

مقایسه مدل HEC-HMS و سری زمانی غیر خطی SETRA و BL در پیش‌بینی جریان

به منظور ارزیابی و مقایسه مدل HEC-HMS و سری زمانی غیرخطی BL و SETRA در پیش‌بینی جریان، تغییرات مقادیر دبی جریان مشاهداتی و پیش‌بینی شده با مدل غیر خطی $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS بررسی شد. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ بترتیب مقایسه تغییرات و پراکندگی مقادیر دبی جریان مشاهداتی و پیش‌بینی شده با مدل‌های غیر خطی $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS قابل مشاهده می‌باشد.



علاوه بر این، جهت ارزیابی عملکرد مدل‌های مناسب برآزش یافته در پیش‌بینی دبی جریان در ایستگاه آسنجی پل منجنیق از آمارهای مختلف استفاده شد که در جدول ۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۷، ضریب ناش-ساتکلاف بین دبی جریان مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده با مدل‌های HEC-HMS، $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ بترتیب برابر با ۰/۸۲، ۰/۵۹ و ۰/۶۱ می‌باشد که بیانگر دقت و راندمان بیشتر مدل HEC-HMS نسبت به دو مدل $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ می‌باشد، همچنین ریشه میانگین مربعات خطا بین دبی جریان مشاهداتی و پیش‌بینی شده با مدل‌های HEC-HMS، $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ بترتیب برابر با ۱/۲، ۱/۸ و ۱/۷۶ مترمکعب در ثانیه بوده که بیانگر دقت بیشتر مدل HEC-HMS نسبت به دو مدل $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ می‌باشد و در نهایت با توجه به ضریب ناش-ساتکلاف بین دبی جریان مشاهداتی و پیش‌بینی شده با $BL(2,2,1,1)$ و $SETRA(2;4,5)$ بترتیب برابر با ۰/۵۹ و ۰/۶۱ و دقت سری زمانی غیرخطی $BL(2,2,1,1)$ بیشتر از سری زمانی $SETRA(2;4,5)$ می‌باشد.



جدول ۷- معیارهای آماری جهت ارزیابی مقادیر پیش بینی با استفاده از مدل‌های غیرخطی سری زمانی و مدل HEC-HMS

مدل	NS	RMSE (cms)	PTVE (%)	R ²
HEC-HMS	0.82	1.20	23.69	0.91
BL(2,2,1,1)	0.59	1.80	32.83	0.75
SETRA (2;4,5)	0.61	1.76	-3.47	0.62

نتیجه گیری

نتایج شبیه سازی پیوسته بارش و رواناب در حوضه ابوالعباس با روش تلفات احتساب رطوبت خاک (SMA) در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS نشان داد که این مدل به همراه تلفات SMA از قابلیت و توانایی خوبی در شبیه سازی پیوسته آورد روزانه جریان در دوره های خشک و تر متوالی برخوردار است.

نتایج شبیه سازی نشان داد که دقت مدل HEC-HMS از لحاظ شبیه سازی هیدروگراف جریان در مرحله کالیبراسیون مدل قابل قبول می باشد. بطوری که ضریب ناش-ساتکالیف و ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده ای و شبیه سازی شده در مرحله کالیبراسیون مدل به ترتیب برابر با ۰/۶۲ و ۳/۱ مترمکعب در ثانیه می باشد.

با توجه به مقدار ضریب ناش-ساتکالیف، ریشه میانگین مربعات خطا بین هیدروگراف مشاهده ای و شبیه سازی شده در مرحله صحت سنجی مدل به ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۱/۶ مترمکعب در ثانیه بوده که بیانگر کالیبراسیون خوب مدل و قابل قبول بودن دقت مدل در شبیه سازی بارش-رواناب در حوضه ابوالعباس است.

با بکارگیری آزمون لجونگ-باکس مشخص شد که سری های زمانی غیر خطی BL(2,2,1,1) و SETRA (2;4,5) به ترتیب بهترین مدل دو خطی و ۲ رژیم در مدلسازی و پیش بینی جریان در حوضه ابوالعباس هستند.

مقایسه مدل های HEC-HMS، BL(2,2,1,1) و SETRA (2;4,5) در پیش بینی دبی جریان در ایستگاه ابرسنجی منجنیق نشان داد که دقت و راندمان مدل HEC-HMS نسبت به دو مدل BL(2,2,1,1) و SETRA (2;4,5) بیشتر می باشد و بطوری که ضریب ناش-ساتکالیف بین جریان مشاهداتی و پیش بینی شده با مدل های HEC-HMS، BL(2,2,1,1) و SETRA (2;4,5) بترتیب برابر با ۰/۸۲، ۰/۵۹ و ۰/۶۱ شده است.

مراجع

- Gholami, V. and Khaleghi, M.R. 2021. A simulation of the rainfall-runoff process using artificial neural network and HECHMS model in forest lands. *Journal of Forest Science*. 67(4):165- 174.
- 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.
- Gumindoga, W. Rwasoka, D.T. Nhapi, I. Dube, T. 2016. Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. In Press, Corrected Proof.
- Sup. M. S. Taley . S. M. and Kale M. U 2015. Rainfall - Runoff Modeling using HEC HMS for Wan River Basin *International Journal of Research in Engineering Science and Technologies* vol 1(8):20-28.



Fathian, F., FakheriFard, A., Dinpazhoh, Y. and Mousavi, S. (2016). Performance Evaluation of Linear: (ARMA) and Threshold Nonlinear (TAR) Time Series Models in Daily River Flow Modeling(Case Study: upstream Basin of Zarrineh Roud Dam). *Journal of water and soil*, vol.30, 1440-1460.

Razmkhah, H. Saghafian, B. _Mohammad Akhound Ali, A. and Radmanesh, F. 2016. Rainfall_Runoff Modeling Considering Soil Moisture Accounting Algorithm, Case Study: Karoon III River Basin Water Resources, 43(4), 699–710.

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.

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.

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.

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.