

استفاده از مدل بیلان آب برای تعیین و پیش‌بینی زمان تاخیر بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

فهیمة رضی^۱ و علیرضا شکوهی^{۲*}

^۱ دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران و ^۲ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

طولانی شدن مدت زمان خشکسالی هواشناسی می‌تواند منجر به شروع خشکسالی هیدرولوژیکی شود. در این پژوهش، به تعیین فاصله زمانی میان رخداد این دو نوع خشکسالی پرداخته شده است تا بدین‌وسیله بتوان با شروع خشکسالی هواشناسی، زمان رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی را پیش‌بینی کرد. این امر، کمک خواهد کرد که تمهیدات لازم برای مدیریت حوضه را در صورت بروز کمبود آب از پیش فراهم کرد. برای تعیین و پیش‌بینی فاصله زمانی میان دو نوع خشکسالی از مدل بیلان آب SWAT و برای مطالعه موردی از حوزه آبخیز فومنت (تالاب انزلی) در استان گیلان استفاده شد. تحلیل حساسیت مدل بیلان، با توجه به توانایی آن در شبیه‌سازی جریان دراز مدت رودخانه‌های معرف در حوضه، به روش OAT انجام شد و نشان داد که از میان پارامترهای مورد استفاده در مدل SWAT، سه پارامتر شماره منحنی، آب قابل دسترس خاک و عامل جبران تبخیر در خاک به‌ترتیب بیشترین تاثیر را در خروجی مدل برای موضوع مورد پژوهش دارا می‌باشند. واسنجی و اعتبارسنجی SWAT با استفاده از مدل SCH انجام شد و دقت شبیه‌سازی با استفاده از شاخص‌های نش-ساتکلیف و ضریب همبستگی در دوره واسنجی به‌ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۸ و در دوره اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۷۹ و قابل قبول برآورد شد. با داشتن مدل واسنجی شده بیلان، برای هر سناریوی احتمالی در خشکسالی هواشناسی وضعیت بیلان آبی حوضه و همچنین، فرصت زمانی موجود برای رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی قابل پیش‌بینی است. بر اساس نتایج به‌دست آمده با احتمال بیش از ۷۰ درصد تاخیر زمانی یک‌ماهه و به‌همین ترتیب با احتمال بیش از ۲۳ درصد تاخیر زمانی دو ماهه بین دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تاخیر زمانی، تالاب انزلی، تحلیل حساسیت، مدل SWAT، واسنجی بیلان

مقدمه

هیدرولوژیکی، به علل مختلفی از سهولت در دسترس بودن اطلاعات گرفته تا میزان پیچیدگی فرایندهای درگیر در ایجاد دو پدیده، ساده‌تر، معمول‌تر و مرسوم‌تر می‌باشد. یکی از راه‌ها برای استفاده از این مزیت، بررسی ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و

از میان انواع خشکسالی، خشکسالی هیدرولوژیکی برای بررسی خشکسالی از دیدگاه مهندسی و مدیریت منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد، این در حالی است که مطالعه خشکسالی هواشناسی نسبت به خشکسالی

* مسئول مکاتبات: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

داد، رابطه زمانی بین دو خشکسالی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده، تاخیر یک تا دو ماهه بین آن‌ها وجود دارد. Soleimani و Mesbahzade (۲۰۱۷) با همین تکنیک برای حوضه کرخه به نتایج مشابهی دست یافتند.

روشی که پژوهش حاضر از آن بهره می‌گیرد، روش مبتنی بر بیلان آب به منظور یافتن رابطه میان بارندگی و رواناب و تعیین زمان ظهور بارش باریده بر حوضه در رودخانه است. مدل‌های بیلان آب که بتوانند حجم وسیعی از داده‌ها از جمله بارش، توپوگرافی، مرزبندی حوضه، خصوصیات خاک و لایه زیرسطحی، کاربری اراضی و غیره را در شبیه‌سازی به کار ببرند و در عین حال روابط زمانی میان مولفه‌های مختلف بیلان حوضه را به خوبی نشان دهند، چندان زیاد نیستند. در این میان مدل بیلان آب SWAT از جمله کاربردی‌ترین مدل‌های نیمه‌توزیعی است که قادر به شبیه‌سازی مورد نظر است. Shawul و همکاران (۲۰۱۳) از مدل SWAT برای تخمین بیلان آب کوه‌های شایا در اتیوپی استفاده کردند. ایشان برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از روش نش-ساتکلیف از داده‌های جریان ماهانه بهره بردند. نتایج نشان داد، با گام زمانی ماهانه مدل شبیه‌سازی قابل قبولی داشته است. علاوه بر آن تاکید کردند که این مدل برای شبیه‌سازی هیدرولوژی در مناطق کوهستانی که آمار دقیقی در آن وجود ندارد، بسیار کاربردی است. Gholami و Nasiri (۲۰۱۵) با استفاده از مدل بیلان آب SWAT به شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه اترک بر اساس داده‌های حوزه آبخیز مراوه‌تپه استان گلستان پرداختند. در این مطالعه، برای تحلیل حساسیت مدل از روش هر بار یک عامل یا OAT استفاده شد. نتایج نشان داد، عوامل شماره منحنی، هدایت هیدرولیکی کانال، ضریب تاخیر رواناب سطحی، ثابت تخلیه آب زیرزمینی و عامل جبران تبخیر در خاک بیشترین حساسیت را داشته‌اند. این دو محقق برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از برنامه SUF2 بهره برده، دقت شبیه‌سازی را با شاخص نش-ساتکلیف تعیین و کارایی مدل را در برآورد رواناب مناسب برآورد کردند. Adeniyi و همکاران (۲۰۱۴) مدل SWAT را

خشکسالی هیدرولوژیکی و استفاده از نتایج شاخص‌های خشکسالی هواشناسی برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی است. در این میان، به یک سوال نیز باید پاسخ داد و آن این است که با مشخص شدن رخداد یک خشکسالی هواشناسی با شدت معین و سپس رسیدن به خشکسالی هیدرولوژیکی با شدت معین، مدت زمان انتظار میان دو خشکسالی مزبور چه اندازه خواهد بود. روش معمول آن است که با استفاده از داده‌های تاریخی منطقه مورد مطالعه می‌توان زمان انتظار و یا به عبارت دیگر، زمان تأخیر میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی را محاسبه کرد. برای این منظور، می‌توان از روش‌های آماری از نوع تحلیل فراوانی وقوع و روش‌های مبتنی بر داده‌کاوی^۱ EDA استفاده کرد. در این ارتباط آنچه که تا کنون انجام شده است، استفاده از شاخص‌های استاندارد شده به‌عنوان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و سپس برقراری رابطه رگرسیونی میان این دو شاخص با زمان‌های تأخیر مختلف بوده است. بر اساس گزارش‌ها و تحقیقات منتشر شده که در زیر به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌شود، با همین مطالعات محدود انجام شده نیز نتوانسته‌اند روشی فراگیر و در عین حال رابطه‌ای مناسب را در خصوص ارزیابی وضع موجود ارائه کنند. مشکل دیگر روش‌های یادشده، آن است که نمی‌توان از آن‌ها برای امر پیش‌بینی همگام با شرایط متغیر اقلیمی، تغییر کاربری اراضی، شیوه‌های مدیریت حوضه و غیره استفاده کرد.

Babaei و همکاران (۲۰۱۱) برای تعیین شدت‌های دو خشکسالی برای حوضه زاینده‌رود از شاخص‌های SPI و SWSI استفاده کردند. به دلیل نبود همبستگی مناسب بین این دو شاخص، داده‌های استاندارد شده SWSI مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد، به‌طور متوسط تاخیر زمانی هفت ماهه بین دو خشکسالی وجود دارد. Vakilifard و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش همبستگی پیرسون، رابطه بین دو شاخص SPI (شاخص خشکسالی هواشناسی) و SDI (شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی) را برای حوضه بیلوردی-دوزدوزان به‌دست آوردند. نتایج نشان

^۱ Explanatory data analysis

هواشناسی به پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی پرداخت. بر اساس فرضیات پژوهش، تاخیر زمانی همان مدت زمان میان بروز خشکسالی هواشناسی یعنی کاهش بارش و خشکسالی هیدرولوژیکی یعنی کاهش جریان در رودخانه است. برای رسیدن به این هدف، مطالعه حاضر در صدد برآورد اختلاف زمان میان دو مرحله از چرخه هیدروکلیماتولوژیکی حوزه‌های آبخیز یعنی بارش و رواناب و به عبارت دیگر، برآورد فاصله زمانی میان باریدن باران تا ظاهر شدن آن در رودخانه چه به صورت رواناب مستقیم و چه به صورت جریان زیرپوسته‌ای و زیرزمینی است. پژوهش حاضر، با اتکا بر توانایی‌های مدل SWAT در صدد است، زمان تأخیر میان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی را از طریق تعیین فاصله زمانی میان عناصر بیلان تعیین کند تا بدین ترتیب فرصت زمانی لازم را برای مدیریت منابع آب‌های سطحی در دوره بروز خشکسالی به دست دهد. در این راستا، با توجه به پارامترهای متعددی که مدل ریاضی مزبور برای اجرا از آن‌ها استفاده می‌کند، لازم است، حساس‌ترین پارامترهای مدل صرفاً برای تعیین بیلان هیدروکلیماتولوژیکی حوضه تعیین و سپس نسبت به واسنجی مدل اقدام شود.

مواد و روش‌ها

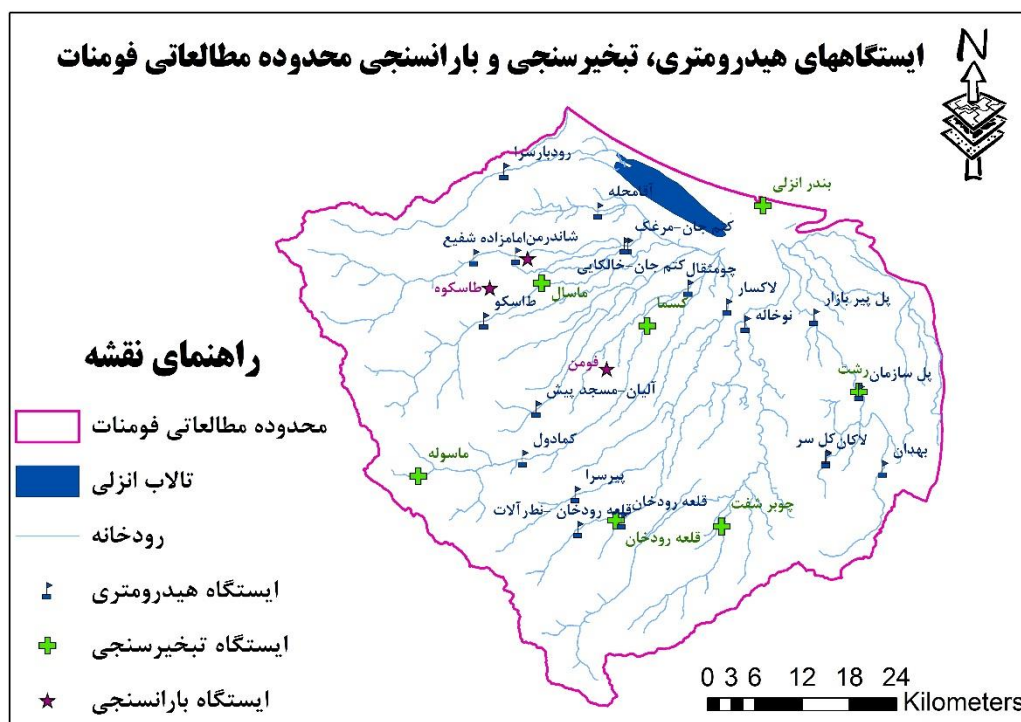
منطقه مورد پژوهش: برای انتخاب منطقه مطالعاتی با توجه به معیارهای طول دوره آماری مناسب، تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری، برف‌گیر و کوهستانی نبودن منطقه به منظور کاهش عدم قطعیت مدل و کاستن از پیچیدگی ارتباط میان بارش و رواناب و همچنین، وجود رودخانه‌های دائمی به منظور بارزنمایی مستقیم اثرات کاهش بارش بر جریان، مناطق شمالی کشور و حاشیه دریای خزر مناسب تشخیص داده شد و در این راستا منطقه انزلی و به‌طور خاص تالاب انزلی به دلیل اهمیت اکولوژیکی آن برای انجام پژوهش انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز تالاب انزلی (فومنات) با مساحتی برابر با ۳۷۴۰ کیلومتر مربع است. بیشترین و کمترین ارتفاع از سطح دریا در حوضه به ترتیب برابر با ۱۶- تا ۱۸۱۵ متر، میانگین بارندگی در حوضه برابر با ۱۲۶۰

برای پیش‌بینی بیلان آب در حوزه آبخیز سد جبا با مساحتی برابر با ۱۲۹۹۲ کیلومتر مربع در نیجریه به کار بردند. ایشان برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از روش نش-ساتکلیف و ضریب R^2 استفاده کردند. نتایج همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر شبیه‌سازی شده نشان داده شد.

Vaghefi و همکاران (۲۰۱۵) برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم و تغییر الگوی کشت بر تولیدات کشاورزی، از ترکیب دو مدل SWAT و MODSIM استفاده کردند. نتایج نشان داد که تغییر الگوی کشت می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر به منظور مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد. Vilaysane و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از SWAT، به مدل‌سازی جریان خروجی از حوضه‌ای در کشور لائوس پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل، ابزاری مناسب و قابل اعتماد برای بررسی اثر تغییر در کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر کیفیت آب و رسوب حوضه است. Hoseini و Mokarian (۲۰۱۵) مدل SWAT را به منظور شبیه‌سازی بیلان آب و برآورد میزان جریان زیرزمینی در حوضه گل‌گل در استان ایلام مورد استفاده قرار دادند. Abbaspour و همکاران (۲۰۱۵) به منظور کمی کردن تغییرات مکانی و زمانی موجودیت آب در محدوده وسیعی از اقلیم اروپا، مدل SWAT را با استفاده از دبی رواناب و عملکرد محصول واسنجی کردند. Narsimlu و همکاران (۲۰۱۵) با واسنجی و تحلیل حساسیت مدل SWAT به پیش‌بینی جریان برای رودخانه کنواری هندوستان پرداختند. ایشان برای واسنجی مدل از برنامه SWAT-CUP و روش SUFI2 استفاده کردند. مقادیر p-factor و r-factor برای واسنجی به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۷۶ و برای اعتبارسنجی برابر با ۰/۷۱ و ۰/۷۲ بود. Havrylenko و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SWAT به مدل‌سازی توزیع رطوبت خاک در حوضه‌ای در آرژانتین پرداختند. آماره‌های ارزیابی نشان دادند که SWAT، ابزاری مناسب برای تخمین مقدار آب موجود در خاک در مناطقی با اطلاعات و داده‌های ناکافی است. از اهداف ویژه این مطالعه، بررسی ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی است تا بتوان با استفاده از نتایج شاخص‌های خشکسالی

هواشناسی و هیدرومتری منطقه در شکل ۱ آورده شده است.

میلی‌متر، بیشینه و کمینه دما برابر با ۳۵ و ۱- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نقشه موقعیت ایستگاه‌های



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری، تبخیرسنجی و بارانسنجی در محدوده مطالعاتی فومنات

سامانه آبخیز می‌پردازد. مدل SWAT به‌وسیله Arnold (۲۰۱۲) برای اداره خدمات تحقیقات کشاورزی آمریکا ارائه شد. مدل به لحاظ مقیاس فضایی نیمه توزیعی و از نظر زمانی مدلی پیوسته است و با داشتن قابلیت اجرا در محیط GIS یک ابزار مناسب در مطالعات آب و خاک می‌باشد. توانایی مدل در شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی پیچیده حوزه آبخیز در محیط GIS این مدل را نسبت به مدل‌های یکپارچه که در آن‌ها واحدهای کاری بزرگ‌تر مبنای عمل هستند، متمایز ساخته است. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل، واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU) است که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، خاک و کاربری اراضی حاصل می‌شود. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیایی ابتدا، برای هر واحد و سپس، برای هر زیرحوضه و در نهایت برای کل حوضه محاسبه می‌شود. شبیه‌سازی بخش زمینی چرخه هیدرولوژیک در این مدل بر پایه رابطه بیلان آبی (معادله ۱) صورت می‌پذیرد.

ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری: از میان ۱۰ ایستگاه آب و هواشناسی موجود در حوضه، ایستگاه اولی سخوار به‌دلیل کافی نبودن دوره آماری مورد استفاده قرار نگرفت. از میان ۲۶ ایستگاه هیدرومتری نیز شش ایستگاه به همین دلیل حذف شد و ۲۰ ایستگاه دیگر که همگی دارای آمار بیش از ۲۰ سال بودند، مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین، دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۶۴) برای مطالعه منطقه‌ای خشکسالی انتخاب شد. برای آزمون همگنی ایستگاه‌ها نیز از روش گشتاور خطی استفاده شد که منطقه از نظر هواشناسی همگن تشخیص داده شد. جداول ۱- الف و ۱- ب به ترتیب نوع ایستگاه و تعداد سال‌های آماری را برای ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری موجود در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

مدل بیلان آب SWAT: این مدل، نمونه‌ای از مدل‌های با پایه فیزیکی است که با حل معادلات بنیادی بقای جرم و انرژی به شبیه‌سازی فرایندهای

جدول ۱- الف) ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی موجود در حوضه مورد مطالعه (وزارت نیرو)

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | نوع ایستگاه | بازه آماری |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|------------|
| اولی سخوار | ۳۷° ۲۴' ۱۷" | ۴۹° ۰۷' ۶۰" | باران‌سنجی | ۱۳۷۹-۱۳۷۲ |
| بندر انزلی | ۳۷° ۲۸' ۱۲" | ۴۹° ۲۸' ۱۲" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۳۷ |
| فومن | ۳۷° ۱۶' ۴۸" | ۴۹° ۱۵' ۰۰" | باران‌سنجی | ۱۳۹۴-۱۳۷۰ |
| طاسکوه | ۳۷° ۲۲' ۱۲" | ۴۹° ۰۴' ۴۸" | باران‌سنجی | ۱۳۹۴-۱۳۷۲ |
| رشت | ۳۷° ۱۵' ۳۰" | ۴۹° ۳۶' ۴۲" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۳۷ |
| ماسال | ۳۷° ۲۲' ۳۶" | ۴۹° ۰۹' ۱۵" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۵۸ |
| کسما | ۳۷° ۱۹' ۴۸" | ۴۹° ۱۸' ۲۵" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۳۷ |
| قلعه رودخان | ۳۷° ۰۶' ۲۴" | ۴۹° ۱۶' ۰۱" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۳۷ |
| چوبرشفت | ۳۷° ۰۶' ۰۶" | ۴۹° ۲۵' ۰۶" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۷۰ |
| ماسوله | ۳۷° ۰۹' ۱۰" | ۴۹° ۵۸' ۶۰" | تبخیرسنجی | ۱۳۹۴-۱۳۷۰ |

جدول ۱- ب) ایستگاه‌های هیدرومتری دارای طول دوره آماری مناسب موجود در حوضه مورد مطالعه (وزارت نیرو)

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | نوع ایستگاه | بازه آماری |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------|------------|
| آقامحله | ۳۷° ۲۷' ۴۱" | ۴۹° ۱۴' ۰۳" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| بهدان | ۳۷° ۱۰' ۱۵" | ۴۹° ۳۸' ۵۳" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| رودبارسرا | ۳۷° ۳۰' ۱۹" | ۴۹° ۰۵' ۵۱" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| چومثقال | ۳۷° ۲۲' ۲۳" | ۴۹° ۲۱' ۵۹" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| امامزاده‌شفیعی | ۳۷° ۲۴' ۱۶" | ۴۹° ۰۳' ۲۷" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| قلعه‌رودخان | ۳۷° ۰۶' ۲۴" | ۴۹° ۱۶' ۳۳" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۴۵ |
| کمدول | ۳۷° ۱۱' ۷' ۴۴" | ۴۹° ۰۷' ۵۶' ۴۳" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| کتمجان | ۳۷° ۲۵' ۱۲" | ۴۹° ۱۶' ۴۱" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۴۶ |
| طاسکوه | ۳۷° ۱۹' ۵۶" | ۴۹° ۰۴' ۲۵" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۴۵ |
| کلسر | ۳۷° ۱۱' ۴۷' ۶" | ۴۹° ۳۳' ۶۸" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| لاکان | ۳۷° ۱۰' ۴۸" | ۴۹° ۳۴' ۰۴" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| مسجدپیش | ۳۷° ۱۳' ۵۷" | ۴۹° ۰۹' ۰۳" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۴۵ |
| مبارک‌آباد | ۳۷° ۰۴' ۰۴" | ۴۹° ۲۴' ۵۸" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| مرغک | ۳۷° ۲۵' ۱۵" | ۴۹° ۱۶' ۲۴" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| نظرآلات | ۳۷° ۰۴' ۴۸" | ۴۹° ۱۳' ۴۸" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| نوخاله | ۳۷° ۲۰' ۰۹" | ۴۹° ۲۷' ۰۹" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| پیربازار | ۳۷° ۲۰' ۳۶" | ۴۹° ۳۲' ۴۸" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |
| پیرسرا | ۳۷° ۰۸' ۰۶" | ۴۹° ۱۲' ۳۴" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۴۶ |
| سازمان‌آب | ۳۷° ۱۵' ۲۸" | ۴۹° ۳۶' ۴۶" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۴۶ |
| لاکسار | ۳۷° ۲۱' ۱۲" | ۴۹° ۲۵' ۱۷" | هیدرومتری | ۱۳۹۴-۱۳۶۴ |

انتخاب و در واسنجی استفاده شوند. بنابراین، قبل از انجام واسنجی مدل، می‌توان به کمک تحلیل حساسیت، عواملی را که بیشترین تاثیر را در خروجی دارند، تعیین کرده، بر اساس همین عوامل اقدام به واسنجی مدل کرد. از جمله روش‌های تحلیل حساسیت می‌توان به روش OAT و یا بهینه‌سازی پارامترمحور اشاره داشت. بر اساس شاخص حساسیت نسبی ارائه‌شده به‌وسیله Feyereisen و همکاران (۲۰۰۷) که بیانگر نسبت تغییر تابع خروجی در مقابل تغییر پارامترهای ورودی است، پارامترهایی که بیشترین اثر را بر رواناب خروجی داشتند، تعیین شدند. Adeniyi و همکاران (۲۰۱۴) برای تحلیل حساسیت مدل SWAT از روش بهینه‌سازی پارامتر محور استفاده کردند و در واسنجی تنها چهار پارامتری که بیشترین حساسیت را در خروجی داشتند، مدنظر قرار دادند. Gholami و Nasiri (۲۰۱۵) برای تحلیل حساسیت مدل SWAT، متعارف‌ترین روش (OAT) را برگزیدند. ایشان حساس‌ترین پارامترها را به ترتیب شماره منحنی، هدایت هیدرولیکی کانال، ضریب تاخیر رواناب سطحی و ثابت تخلیه آب زیرزمینی معرفی کردند. Feyereisen و همکاران (۲۰۰۷) حساس‌ترین عوامل در مجموع رواناب تولیدی در مدل را به ترتیب شماره منحنی، آب قابل دسترس خاک و عامل جبران تبخیر از لایه‌های خاک معرفی کردند.

همان‌گونه که در مقدمه اشاره شد، در بسیاری از تحقیقات گذشته، برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، از روش‌های اتوماتیک (نظیر SUFI) در مدل SWAT-CUP استفاده شده است. این در حالی است که در صورت داشتن شناخت کافی از منطقه مورد مطالعه، می‌توان با به‌کارگیری امکان واسنجی دستی در مدل SWAT (که از قابلیت‌های این مدل به شمار می‌آید) به نتایج منطقی‌تر و با مطابقت بیشتر با منطقه دست یافت. از طرفی، تهیه داده‌های مورد نیاز مدل SWAT-CUP بسیار وقت‌گیر بوده، از آنجا که این مدل به جزئیات ورودی حساس است، امکان بروز خطا افزایش می‌یابد. به همین سبب در این مطالعه برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از امکان واسنجی دستی تعبیه شده در مدل و با به‌کارگیری نرم‌افزار SCH که به‌وسیله Shrestha در سال ۲۰۱۶ ارائه شده

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

که در آن، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی متر)، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارندگی در روز نام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز نام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز نام (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آبی که در روز نام از پروفیل خاک به ناحیه غیراشباع وارد می‌شود و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی (میلی‌متر) در روز نام است. شبیه‌سازی رواناب سطحی به روش اصلاح‌شده SCS (در صورت داشتن داده‌های بارش روزانه) یا روش گرین‌امپت (در صورت داشتن داده‌های بارش ساعتی) انجام می‌شود. در نهایت خروجی‌های مدل شامل مولفه‌های رواناب، جریان زیرسطحی، آب زیرزمینی و غیره به‌صورت فایل متنی حاوی اطلاعات به‌دست می‌آیند.

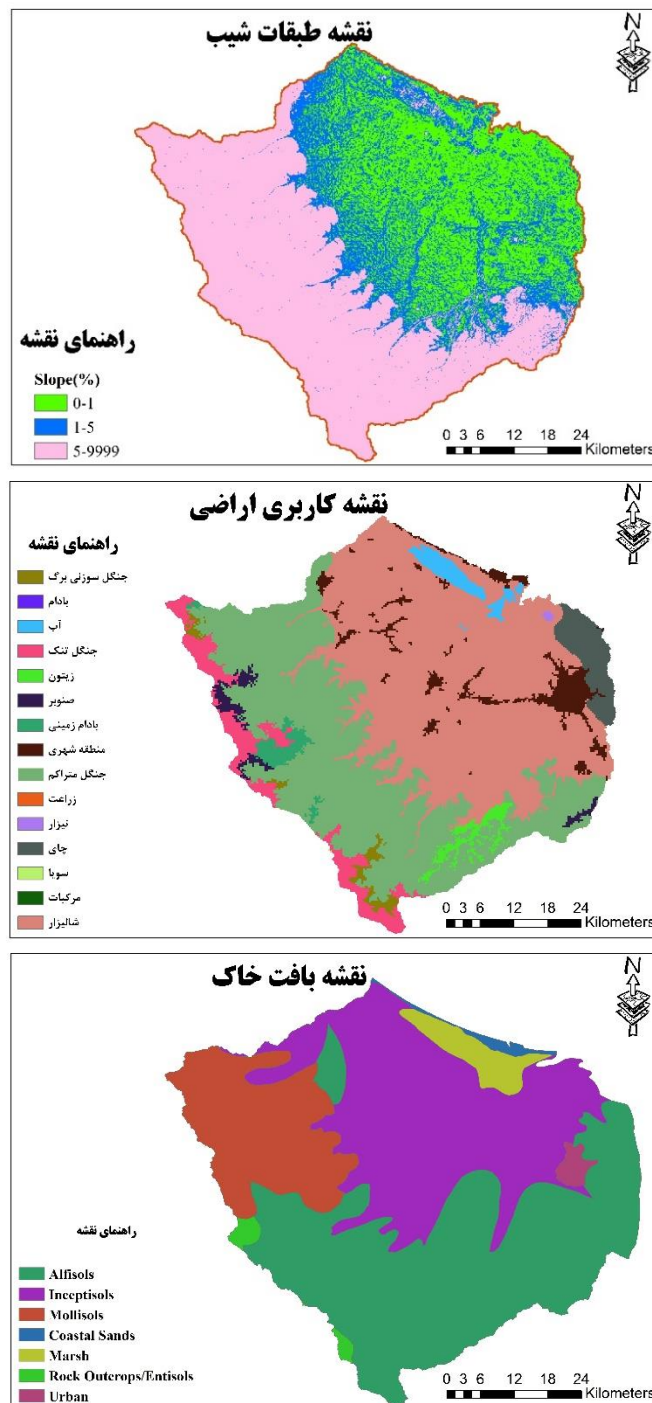
داده‌های پایه حوضه برای اجرای مدل: حوضه مطالعاتی با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع (DEM) به مدل معرفی می‌شود. در این مرحله، محدوده حوضه و زیرحوضه‌ها و نیز خصوصیات فیزیکی آن محاسبه می‌شود. سپس نقشه کاربری اراضی، خاک و طبقات شیب به مدل معرفی می‌شوند. با این اطلاعات واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی HRUها تشکیل می‌شوند. در نهایت داده‌های هواشناسی وارد مدل شده، سپس، نتایج قابل استخراج خواهد بود. شکل ۲، نقشه طبقات خاک و کاربری اراضی حوضه را که از سایت

http://www.waterbase.org/download_data.html گرفته شده‌اند و نقشه شیب حوضه را که از روی نقشه DEM حوضه تهیه شده است را نشان می‌دهد. در خصوص سائیتی که نقشه طبقات خاک و کاربری اراضی از آن به‌دست آمده است، توضیح این نکته ضروری است که این سایت با عنوان Transboundary Water Management Database متعلق به خانه آب کشور سوئد (SIWI: Swedish Water House) بوده و از سال ۲۰۱۱ در دسترس همگان قرار دارد (آخرین دسترسی به سایت مزبور در این پژوهش ژوئن ۲۰۱۹ بوده است).

تحلیل حساسیت و واسنجی: هدف از تحلیل حساسیت، آن است که مهمترین و حساس‌ترین عوامل

با مقادیر مشاهداتی، برای سال‌های مربوط به واسنجی و اعتبارسنجی که به ترتیب سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۷۸ و ۱۳۷۹-۱۳۹۴ است، هیدروگراف جریان را ترسیم کرده، مقادیر پنج ضریب مربوط به واسنجی از جمله NS و R^2 را محاسبه می‌کند. این نرم‌افزار با ترسیم منحنی تداوم جریان و نیز منحنی خطای فصلی، محقق را در تشخیص نحوه واسنجی یاری می‌کند.

استفاده شد. برای تعیین میزان کارایی مدل از ضریب NS (نش-ساتکلیف) و ضریب R^2 (ضریب تعیین) استفاده شد. اگر شاخص نش-ساتکلیف بیش از ۰/۷۵ باشد، مدل عالی، اگر بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد، قابل قبول و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد، غیرقابل قبول خواهد بود (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰). نرم‌افزار SCH به منظور مقایسه نتایج رواناب حاصل از مدل SWAT



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی، نوع خاک و طبقات شیب معرفی شده به مدل SWAT

نتایج و بحث

تعیین پارامترهای حساس برای واسنجی مدل: پس از اجرای مدل، خروجی‌ها شامل مقدار رواناب، جریان زیرسطحی، جریان زیرزمینی و غیره به صورت فایل متنی به دست آمد. پس از انجام تحلیل حساسیت، پارامترهایی که بیشترین حساسیت را در

خروجی مدل داشتند، تعیین شدند که در جدول ۲ به ترتیب اولویت آورده شده‌اند. تحلیل حساسیت به روش نسبت حساسیت انجام شد. مقادیر نسبت حساسیت برای هر یک از پارامترها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- عوامل حساس مدل برای مطالعه حاضر

| ترتیب حساسیت | نام عامل | واحد | مشخصه | نسبت حساسیت (Sf) |
|--------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| ۱ | شماره منحنی SCS | - | CN ² | ۳/۵۲ |
| ۲ | آب قابل دسترس خاک | میلی‌متر در میلی‌متر | SOL-AWC | ۱/۲ |
| ۳ | عامل جبران تبخیر در خاک | - | ESCO | ۱/۱ |
| ۴ | زمان تاخیر آب زیرزمینی | روز | GW-delay | ۰/۰۶ |
| ۵ | ثابت تخلیه آب زیرزمینی | روز | Alpha-bf | ۰/۰۶ |
| ۶ | ضریب تاخیر رواناب سطحی | ساعت | Surlag | ۰/۰۵ |
| ۷ | ضخامت لایه‌های خاک | میلی‌متر | Sol-Z | ۰/۰۴ |
| ۸ | هدایت هیدرولیکی کانال | میلی‌متر در ساعت | Ch-K2 | ۰/۰۳ |
| ۹ | عمق آب زیرزمینی کم‌عمق | میلی‌متر | GWQMN | ۰/۰۲ |
| ۱۰ | هدایت هیدرولیکی اشباع | میلی‌متر در ساعت | SOL-K | ۰/۰۲ |
| ۱۱ | ضریب تبخیر آب زیرزمینی | - | GW-revap | ۰/۰۱ |
| ۱۲ | چگالی توده خاک | گرم در سانتی متر مکعب | SOL-bd | ۰/۰۱ |
| ۱۳ | ضریب جذب گیاهی | - | EPCO | ۰/۰۱ |

واسنجی و اعتبار سنجی: با توجه به پارامترهای تعیین شده در مرحله قبل به عنوان مؤثرترین پارامترهای مدل در تعیین بیلان، برای دو دوره مختلف ۱۳۷۸-۱۳۶۴ و ۱۳۹۴-۱۳۷۹ مدل اجرا شد. قابل ذکر است که برای حذف اثر شرایط اولیه حوضه روی مدل (Cibin و همکاران، ۲۰۱۰؛ Viola و همکاران، ۲۰۰۹؛ Pereira و همکاران، ۲۰۱۴؛ Devi و همکاران، ۲۰۱۵) استفاده از چند سال اول از داده‌ها را برای شروع کار مدل (warm up period) توصیه کرده‌اند. این محققین تعداد سال‌های مورد نیاز برای این منظور را وابسته به تعداد سال‌های آماری دانسته اند. با توجه به موارد یادشده و چند بار آزمون، دوره به اصطلاح گرم کردن مدل پنج سال انتخاب شد. از میان ۱۳ پارامتر مندرج در جدول ۳، سه پارامتر اول برای واسنجی مدل انتخاب شدند. پارامتر CN² در مطالعات

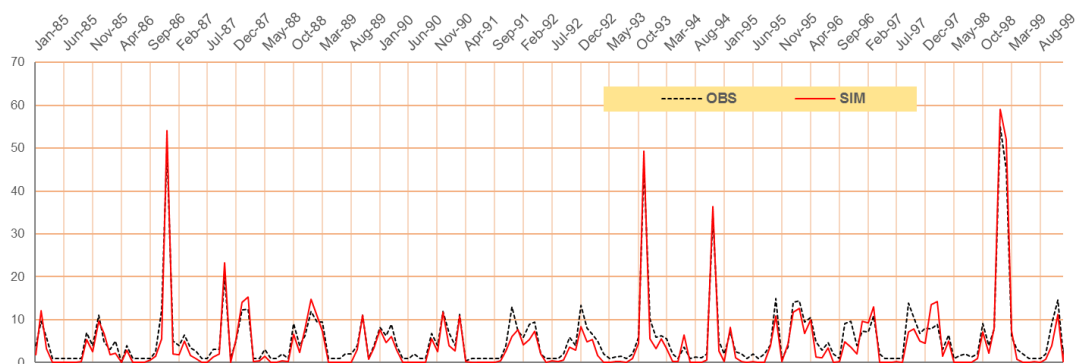
گذشته نیز از جمله حساس‌ترین عوامل در برآورد رواناب سطحی بوده است. دو پارامتر دیگر نیز در بسیاری از مطالعات (Nasiri و Gholami، ۲۰۱۵؛ Adeniyi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Arnold و همکاران، ۲۰۱۲؛ Narsimlu و همکاران، ۲۰۱۵؛ Shawul و همکاران، ۲۰۱۳) جزء پارامترهای حساس بوده‌اند. در جدول ۳، محدوده تغییرات داده شده در مدل برای واسنجی دستی و نیز مقادیر بهینه پارامترهایی که برای واسنجی استفاده شده‌اند، نمایش داده شده است. شکل‌های ۳- الف و ب هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را در کنار هم به ترتیب برای سال‌های واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، مدل در سال‌های اولیه شبیه‌سازی هم در مورد مقادیر کمینه و هم در مورد مقادیر بیشینه جریان در رودخانه دارای خطاست، ولی

سال‌های واسنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۸ و برای سال‌های اعتبارسنجی برابر با ۰/۶۵ و ۰/۷۹ به‌دست آمده است که صحت کار مدل را تایید می‌کند. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان از مدل SWAT با دقتی قابل قبول برای پیش‌بینی وضعیت هیدروکلیماتولوژیکی حوضه فومنت در سناریوهای مدیریتی و تعیین زمان تأخیر بین وقایع هم‌ارز در دو فاز هواشناسی و هیدرولوژی استفاده کرد.

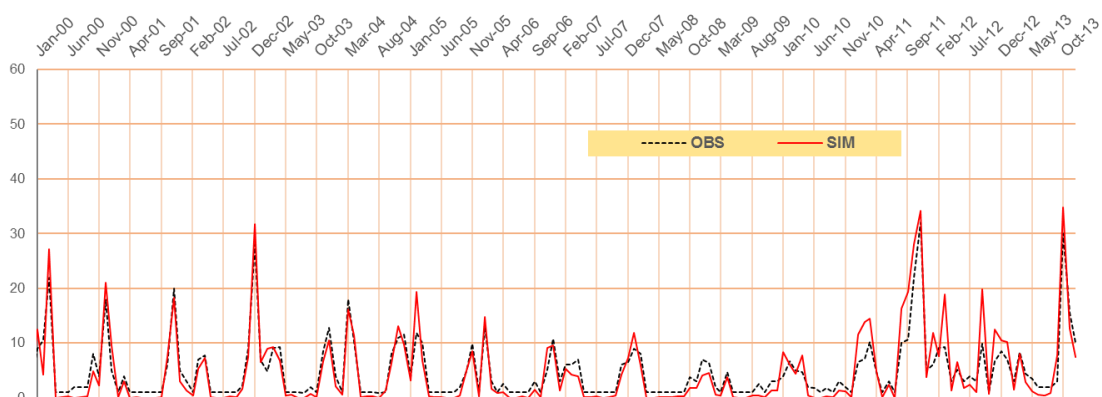
با دور شدن از این دوره ابتدایی، خطاهای مزبور به‌خصوص در شبیه‌سازی مقادیر کمینه جریان که برای هدف این پژوهش از اهمیت شایانی برخوردار است، به کمترین مقدار خود می‌رسد. در جدول ۴، مقادیر آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی درستی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، همه آماره‌ها در محدوده قابل قبول قرار دارند. در این میان مقدار ضرایب NS و R^2 برای

جدول ۳- مقادیر بهینه عوامل حساس در مدل SWAT برای ارزیابی بیلان حوضه

| رتبه | مشخصه عامل | نام عامل | محدوده تغییرات | مقدار بهینه |
|------|----------------|-------------------------|----------------|-------------|
| ۱ | CN2.mgt | شماره منحنی روش SCS | ۰/۸۵ | ۱/۰۲ |
| ۲ | SOL_AWC(1).sol | آب قابل دسترس خاک | ۰/۸ | ۱/۰۵ |
| ۳ | ESCO.hru | عامل جبران تبخیر در خاک | ۰/۶ | ۰/۸۲ |



شکل ۳- الف) هیدروگراف ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای سال‌های واسنجی



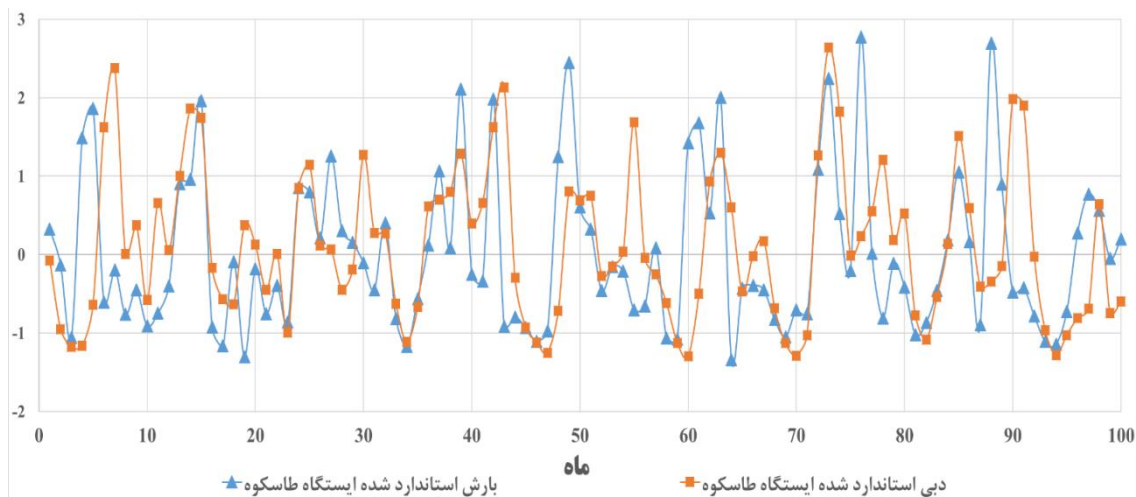
شکل ۳- ب) هیدروگراف ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای سال‌های اعتبارسنجی

جدول ۴- آماره‌های ارزیابی میزان صحت مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

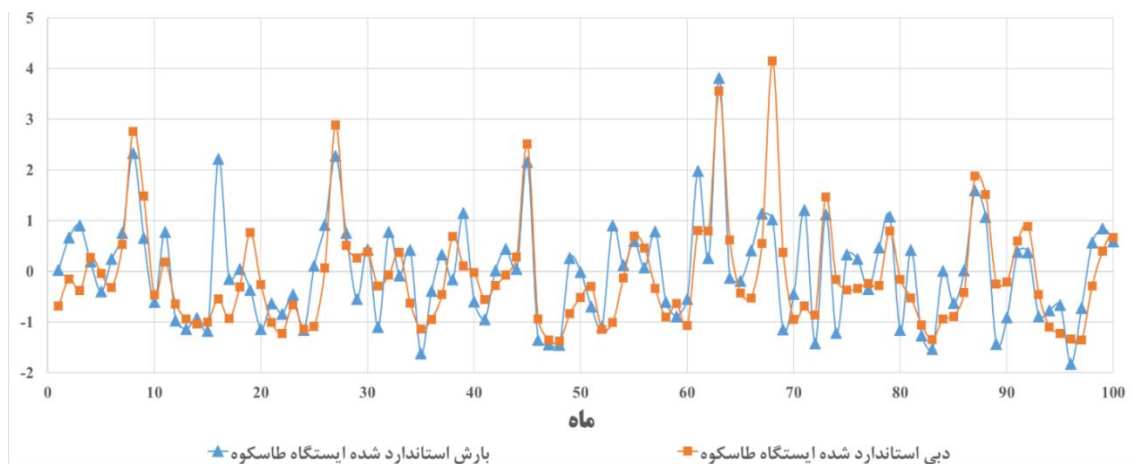
| آماره | واسنجی | اعتبارسنجی |
|----------------|--------|------------|
| NS | ۰/۶۸ | ۰/۶۵ |
| R ² | ۰/۸۰ | ۰/۷۹ |
| Max error% | ۱۰ | ۷ |

تعیین زمان تأخیر میان فازهای هواشناسی و هیدرولوژی (بارش و رواناب): برای تعیین تأخیر زمانی بین دو نوع خشکسالی، نمودار مقادیر بارندگی و دبی برای ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در مقابل هم ترسیم شده، سپس تأخیر زمانی بین پایین افتادگی‌های دو نمودار که نشان‌دهنده زمان‌های خشکی می‌باشد، شمارش شد. شکل‌های ۴- الف و ب بخشی از نمودارهای بارش-رواناب استاندارد شده را به‌صورت نمونه برای ایستگاه طاسکوه در طول سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۶ برای حالت مشاهداتی و

داده‌های مدل نشان می‌دهند. نتایج حاصل از مدل تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. برای هر ایستگاه و برای هر دو حالت مشاهداتی و مدل، تأخیرهای زمانی بین بارش و دبی استاندارد شده به روش شمارش فرکانس تعیین شد. نتایج شمارش تأخیر زمانی رخ داده برای حالت مشاهداتی از کمتر از یک‌ماه تا سه‌ماهه به‌دست آمد. شمارش فرکانس وقوع تأخیر زمانی برای خروجی مدل نیز همین تأخیرهای زمانی را تایید کرد.



شکل ۴- الف) منحنی تأخیر زمانی بارش-دبی استاندارد شده ایستگاه طاسکوه (مشاهداتی)



شکل ۴- ب) منحنی تأخیر زمانی بارش-دبی استاندارد شده ایستگاه طاسکوه (مدل)

پیش‌بینی خشکسالی‌های آینده نیز می‌توان به این نتایج تکیه کرد. نتایج تاخیر زمانی در مورد ایستگاه طاسکوه نشان داد که سهم تاخیر یک ماهه و کمتر ۷۰ درصد، دو ماهه ۲۵ درصد و سه ماهه پنج درصد است. این امر بدان مفهوم است که با هر بار کاهش بارش، با احتمال ۷۰ درصد تا یک ماه آینده و ۹۵ درصد در دو ماه آینده جریان رودخانه از خود کاهش نشان خواهد داد.

جدول ۵، آمار تاخیر زمانی برای پنج ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری مشترک روی رودخانه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، متوسط خطای مدل در پیش‌بینی ۲۰ درصد است که کارایی مدل در شبیه‌سازی تاخیر زمانی را تایید می‌کند. با توجه به این‌که نتایج حاصل از مدل تطابق خوبی با مقادیر مشاهداتی نشان داد، می‌توان نتیجه گرفت که در مورد تاخیر زمانی نیز این تایید وجود داشته و بنابراین، برای

جدول ۵- احتمال تاخیر زمانی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای هر ایستگاه

| فرآوانی (احتمال) تاخیر زمانی مدل | | | فرآوانی (احتمال) تاخیر زمانی مشاهداتی | | | ایستگاه هیدرومتری | ایستگاه هواشناسی |
|----------------------------------|--------|---------|---------------------------------------|--------|---------|-------------------|------------------|
| (درصد) | | | (درصد) | | | | |
| سه‌ماهه | دوماهه | یک‌ماهه | سه‌ماهه | دوماهه | یک‌ماهه | | |
| ۲ | ۲۳ | ۷۵ | ۵ | ۲۵ | ۷۰ | طاسکوه | طاسکوه |
| ۲ | ۲۲ | ۷۶ | ۳ | ۲۳ | ۷۴ | قلعه رودخان | قلعه رودخان |
| ۳ | ۱۵ | ۸۲ | ۴/۵ | ۱۶ | ۷۹/۵ | طاسکوه | ماسال |
| ۱ | ۲۱ | ۷۸ | ۰ | ۲۵ | ۷۵ | چومثقال | کسما |
| ۰ | ۱۷ | ۸۳ | ۰ | ۱۹/۵ | ۸۰/۵ | کمدول | ماسوله |

نتیجه‌گیری

یک‌ماه تا هفت‌ماه به‌دست آورده‌اند، پژوهش حاضر با احتمال ۷۰ درصد، این زمان تأخیر را یک ماهه و با احتمال ۹۰ درصد، دو ماهه به‌دست آورده است. با توجه به اختلافی که در بزرگی حوضه و تنوع کاربری اراضی مورد استفاده در مطالعات محققین با هم و همچنین، با پژوهش حاضر دیده می‌شود، در این مرحله نمی‌توان عامل مشخصی را برای ایجاد زمان تأخیر تعیین کرد و این امر نیازمند تحقیقات بیشتر است. حساسیت‌سنجی و انتخاب سه پارامتر شماره منحنی روش SCS، آب قابل دسترس خاک و عامل جبران تبخیر در خاک، در پژوهش حاضر، منطبق بر نتایج مطالعات (Adeniyi و Gholami، ۲۰۱۵؛ Adeniyi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Narsimlu و همکاران، ۲۰۱۵؛ Shawul و همکاران، ۲۰۱۳) است. با توجه به نتایج واسنجی و اعتبارسنجی بر اساس معیارهای نش-ساتکلیف و ضریب تبیین، کارایی مدل برای برآورد رواناب سطحی و نیز تاخیر زمانی قابل قبول ارزیابی شد. با تایید کارایی مدل و همبستگی ۸۰ درصدی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی، می‌توان نتیجه گرفت که تاخیر زمانی مشاهده شده در منطقه به‌وسیله مدل نیز تکرار شده است. با وجود آن‌که

در حالی‌که مدیریت منابع آب در حوزه‌های آبخیز به‌علت افزایش جمعیت با مشکل روزافزون روبه‌روست، بروز خشکسالی‌های شدید، مداوم و پی‌درپی به‌علل گوناگون من جمله تغییرات آب و هوایی این مهم را با چالش‌هایی روزافزون مواجه کرده است. از میان خشکسالی‌های گوناگون، خشکسالی هواشناسی اولین نوع خشکسالی است که با کمبود بارش ظاهر می‌شود و عوارض ناشی از کمبود بارش بعد از مدتی خود را در اشکال دیگر خشکسالی از جمله خشکسالی هیدرولوژیکی ظاهر می‌کند. ایده انجام این پژوهش آن است که بتوان با بروز خشکسالی هواشناسی پیش‌آگاهی لازم را از بروز خشکسالی هیدرولوژیکی با احتمالی قابل قبول ارائه کرد. Babaei و همکاران (۲۰۱۱)، Vakilifard و همکاران (۲۰۱۶) و Soleimani و Mesbahzade (۲۰۱۷) نیز از همین ایده برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی به کمک خشکسالی هواشناسی در حوضه‌های به‌ترتیب زاینده‌رود، تهران، بیلوردی-دوزدوزان و کرخه استفاده کرده‌اند. در حالی‌که این محققین زمان تأخیر میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی را از

هواشناسی تا تحت تاثیر قرار گرفتن منابع آب وجود دارد که لزوم مدیریت بهینه منابع آب را گوشزد می‌کند. به عبارت دیگر، مدت زمان کوتاهی برای اعمال برنامه‌های مدیریتی در اختیار مدیران آبی وجود دارد.

طولانی‌ترین تاخیر زمانی بین دو خشکسالی تاخیر سه ماهه بوده است، اما پر تکرارترین تاخیر زمانی اتفاق افتاده در منطقه، تاخیر یک ماهه بوده است که این مدت زمان از نظر مدیریت منابع آب، اهمیت بسیاری دارد. فاصله کوتاهی از زمان وقوع خشکسالی

منابع مورد استفاده

1. Adeniyi, G., F.S. Bolaji, W.S. Adebayo and M.O. Daramola. 2014. Validation of SWAT model for prediction of water yield and water balance: case study of upstream catchment of Jebba Dam in Nigeria. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 8(2): 264-270.
2. Amini, M.A., G. Torkan, S. Eslamian, M.J. Zareian and A.A. Besalatpour. 2018. Assessment of SWAT hydrological model in catchments' water balance simulation located in semi-arid regions, case study: Zayandehrud River Basin. *Journal of Water and Soil*, 32(5): 849-863 (in Persian).
3. Arnold, J.G., D.N. Moriasi, P.W. Gassman, K.C. Abbaspour, M.J. White, R. Srinivasan, C. Santhi, R.D. Harmel, A. van Griensven, M.W. Van Liew, N. Kannan and M.K. Jha. 2012. SWAT: model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4): 1491-1508.
4. Artimani, M.M., H. Zeinivand, N. Tahmasebipour and A. Haghizadah. 2017. Performance evaluation of SWAT model to determine water balance components in the Gamasiab Basin. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 15: 51-64 (in Persian).
5. Babaei, H., S. Araghinejhad and A. Hoorfar. 2011. Determination of lag time of meteorological and hydrological droughts in Zayandehrud Watershed. *Khoshk Boom*, 1(3): 1-13 (in Persian).
6. Cibin, R., K.P. Sudheer and I. Chaubey. 2010. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. *Hydrological Process*, 24: 1133-1148.
7. Devi, G.K., B.P. Ganasri and G.S. Dwarakish. 2015. A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, 4: 1001-1007.
8. Eskandari Damaneh, H., G. Zehtabian, H. Khosravi and A. Azareh. 2016. Investigation and analysis of spatio-temporal relation between meteorological and hydrologic drought in Tehran Province. *Geographical Data*, 96: 113-120 (in Persian).
9. Feyereisen, G.W., T.C. Strickland, D.D. Bosch and S. Sullivan. 2007. Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50: 843-855.
10. Ficklin, D., Y. Luo, E. Luedeling and M. Zhang. 2009. Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 374(1): 16-29.
11. Gholami, S. and M. Nasiri. 2015. Simulation of Atrak River flow using SWAT model, case study: Maraghe Tappeh Watershed, Golestan Province. *Journal of Engineering and Watershed Management*, 7(2): 126-135 (in Persian).
12. Havrylenko, S., J. Bodoque, R. Srinivasan, G. Zucarelli and P. Mercuri. 2016. Assessment of the soil water content in the Pampas region using SWAT. *Catena*, 137: 298-309.
13. Javadi, S., L. Akbari Nasab and A. Neshat. 2017. Determining groundwater balance parameters using SWAT and CRD infiltration method in Astaneh-Kouchesfahan Plain. *Water Resources System Management*, 1(2): 13-24 (in Persian).
14. Koushki, R., M. Rahimi, M. Amiri, M. Mohammadi and J. Dastoorani. 2017. Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in Karkheh Watershed. *Journal of Ecohydrology*, 4(3): 687-698 (in Persian).
15. Mesbahzade, T. and F. Soleimani Sardo. 2017. Investigation of hydrological drought and meteorological changes in Karkheh Watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Sciences and Engineering*, 12(40): 105-115 (in Persian).
16. Mofidipoor, N., V. Bardisheikh, M. Oonagh and A. Sadedin. 2012. Studying meteorological and hydrological drought in the Atrak Basin. *Journal of Watershed Management*, 3(5): 16-26 (in Persian).
17. Narsimlu, B., A. Gosain, B. Chahar, S. Singh and P.K. Srivastava. 2015. SWAT model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction in the Kunwari River Basin, India, using sequential uncertainty fitting. *Springer International Publishing Switzerland*, 2: 79-95.
18. Nash, S. and J. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual model. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
19. Pereira, D., M. Martinez, A. Almeida, A. Pruskt, F. Silva and J. Zonta. 2014. Hydrological simulation

- using SWAT model in headwater basin in southeast Brazil. *Engineering Agricultural*, 34(4): 789-799.
20. Shawul, A., T. Alamirew and M. Dinka. 2013. Calibration and validation of SWAT model and estimation of water balance components of Shaya mountainous watershed, southeastern Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 13955-13978.
 21. Vaghefi, S., S. Mousavi, K. Abbaspour, R. Srinivasan and J. Arnold. 2015. Integration of hydrologic and water allocation models in basin scale water resources management considering crop pattern and climate change: Karkheh River Basin in Iran. *Regional Environmental Change*, 15(3): 475-484.
 22. Vakilifard, A., A. Asadi, K. Ebrahimi, A. Fakherifard and S. Darbandi. 2016. Investigation of the relationship between the occurrence of meteorological and hydrological drought in surface waters, case study: Bilardi-Dodzoun Basin. *Journal of Water and Soil Science*, 27(2): 1-15 (in Persian).
 23. Vilaysane, B., K. Takara, P. Luo, I. Akkharath and W. Duan. 2015. Hydrological stream flow modeling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone River Basin, Lao PDR. *Procedia Environmental Sciences*, 28: 380-390.
 24. Viola, M., C. Mello, F. Acerbi and A. Silva. 2009. Hydrologic modeling in the Aiuruoca River Basin, Minas Gerais State. *Engineering Agriculture*, 13(5): 581-590.
 25. Zare Garizi, A. and A. Talebi. 2017. Water balance simulation for the Gharesou Watershed in Golestan Province using SWAT model. *Journal of Water Engineering*, 30: 37-50 (in Persian).