بررسی رواناب سطحی رودخانه پلاسجان با استفاده از مدل هیدرولوژیک WetSpa

سعید طغیانی خوراسگانی[1*]، سعید اسلامیان[1] و محمدجواد زارعیان[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹)

چکیده

در دهه‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت جهان و همچنین افزایش مصرف سرانه آب، کمبود آب به معضلی جهانی تبدیل شده است. بنابراین، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با هدف جلوگیری از خطرات احتمالی از قبیل سیلاب و خشکسالی در آینده از جمله اقدامات مهم مدیریت منابع آب است. یکی از اقدامات مهم برای جلوگیری از خطرات احتمالی و پیش‌بینی آینده، مدل‌سازی بارش- رواناب است. این پژوهش با هدف بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک WetSpa در برآورد رواناب سطحی در حوضه آبخیز اسکندری که از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبریز زاینده رود می‌باشد، انجام شد. در این پژوهش از ایستگاه‌های سینوپتیک داران و فریدون‌شهر به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی در حوضه آبخیز اسکندری استفاده شده است. همچنین، به‌منظور مطالعه جریان رودخانه پلاسجان، از داده‌های روزانه ایستگاه هیدرومتری اسکندری، واقع در خروجی حوضه استفاده شده است. داده‌های اقلیمی به همراه نقشه‌های رقومی ارتفاع، بافت خاک و کاربری اراضی به‌عنوان ورودی به مدل WetSpa وارد شد. در نهایت به ارزیابی توانایی مدل WetSpa در تخمین رواناب سطحی رودخانه پرداخته شد. برای ارزیابی و واسنجی مدل از دبی مشاهده‌شده در ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوضه استفاده شد. واسنجی مدل برای دوره آماری(۱۹۹۲-۲۰۰۰) و اعتبارسنجی آن برای دوره آماری (۲۰۰۱-۲۰۰۴) انجام شد. در دوره واسنجی از روش سعی و خطا برای واسنجی پارامترهای مدل استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی تطابق خوبی را بین دبی شبیه‌سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده نشان داد. در مطالعه حاضر، در مرحله واسنجی ضریب نش- ساتکلیف برابر ۰/۷۳ و در مرحله صحت‌سنجی برابر ۰/۷۵ بدست‌آمد که نشان‌دهنده توانایی خوب و قابل قبول مدل، در برآورد رواناب سطحی حوضه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: مدل بارش رواناب، مدل وتسپا، ضریب نش- ساتکلیف، حوضه آبخیز اسکندری، رودخانه پلاسجان

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: saeedtoghyani6666@gmail.com

مقدمه

برای مدیریت صحیح منابع آب لازم است وضعیت کمبود و یا بحران آب در کشور مشخص شود. شاخص‌ها و مدل‌های متعددی برای ارزیابی کمبود آب کشور به کار گرفته می‌شوند. در ادامه به طور خلاصه شرایط کشور ایران از نظر برخی از مهمترین این شاخص‌ها بررسی خواهد شد. براساس شاخص فالکن مارک (Falkenmark Indicator) کشورهایی که سرانه آب تجدیدپذیر آنها کمتر از ۱۷۰۰مترمکعب در سال است، در شرایط تنش آبی قرار دارند. براساس گزارش فائو (FAO) در سال ۲۰۰۵ سرانه آب تجدیدپذیر ایران برابر ۲۰۰۰ مترمکعب در سال بوده است. بر این اساس، کشور ایران در میان کشورهای بدون تنش آبی قرار داشته است طبق گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱٤ مقدار سرانه آب، به مقدار ۱٦۳۹ مترمکعب رسیده است (۹). بنابراین، طبق این شاخص، ایران در شرایط تنش آبی قرار دارد. کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل، میزان برداشت از منابع آب تجدید پذیر هر کشور را به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری بحران آب معرفی کرده است. طبق این شاخص اگر کشوری سالانه بیش از ٤۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر خود را برداشت کند، در وضعیت بحران شدید آب قرار خواهد داشت. کشور ایران از نظر این شاخص نیز در وضعیت تنش آبی شدید قرار دارد (۹ و ۱۳).

قرن بیست و یکم تاکنون با مشکلات زیست‌محیطی زیادی روبه رو بوده است. در دهه‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت جهان و همچنین افزایش مصرف سرانه آب، کمبود آب به معضلی جهانی تبدیل شده است. ازاین رو، با توجه به محدود بودن منابع آب، مدیریت صحیح و بهینه، مهم‌ترین وظیفه سیاست‌گذاران و مهندسین منابع آب می‌باشد. کشور ایران با میانگین سالانه ۲٤۰میلیمتر بارش یکی از کشورهای خشک دنیا محسوب می‌شود و سالانه مقدار زیادی از این بارش از دسترس خارج می‌شود. بنابراین، طرح الگوهایی مناسب برای مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب، گذشته از اینکه پایه و اساس علم هیدرولوژی است گامی مؤثر در مدیریت منابع آب، آبخیزداری، بحران کمبود آب و مواجه‌شدن با وقایع جدی از قبیل خشکسالی و سیلاب به‌عنوان چالش های اساسی، فراروی جامعه می‌باشد (۹ و ۱۳).

WetSpa (Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere) مدلی پیوسته توزیعی بوده که قابلیت شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیک را در گام‌های زمانی روزانه و ساعتی در مقیاس شبکه و زیرحوضه را دارا می‌باشد (۱۷). مطالعات به‌نسبت زیادی در زمینه استفاده از مدل WetSpa برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک در نواحی مختلف جغرافیایی و آب و هوایی و در توپوگرافی‌های متنوع و همچنین در حوضه‌های کوچک تا خیلی‌بزرگ انجام گرفته است. همگی این مطالعات بیانگر توانایی قابل قبول مدل، در شبیه‌سازی جریان اعم از سیل و یا جریان روزانه رودخانه بوده است. علاوه بر این، مدل WetSpa این امکان را دارد که تأثیر عوامل مختلف مانند تغییر اقلیم و یا تغییر کاربری را بر جریان خروجی حوضه و همچنین بر مؤلفه‌های بیلان آب و پدیده‌های هیدرولوژیک مختلف حوضه به‌صورت توزیعی بررسی نماید (۲).

ونگ و همکاران (۱۷) مدل توزیعی WetSpa را برای پیش‌بینی انتقال آب و انرژی بین خاک، گیاه و اتمسفر برای اولین بار در سطح حوضه آبخیز توسعه دادند. آنها به‌منظور اعمال اثر متقابل رواناب سطحی و آب زیرزمینی، مدل را ارائه نمودند. نتایج نشان داد، مدل به خوبی قابلیت پیش‌بینی رواناب حوضه را دارد. علاوه بر این نتایج نشان داد مدل‌سازی توزیعی بسیار سودمند می‌باشد.

نجفی و همکاران (۱۱) مدل مفهومی نیمه‌توزیعی را برای تبدیل بارش مازاد به رواناب ارائه نمودند که بر پایه قوانین پیوستگی استوار بود که در آن از تئوری موج سینماتیک برای محاسبات رواناب سطحی در هر زیرحوضه استفاده شد. سپس از تئوری موج دینامیکی برای روندیابی جریان در طول آبراهه اصلی استفاده شد تا میزان رواناب در خروجی حوضه محاسبه شود. برای تعیین صحت و دقت مدل، آن را در حوضه آبخیزی در هند مورد آزمایش قرار دادند که درآن، حوضه به ١٤ زیر

حوضه دارای کانال اصلی تقسیم شد و محاسبات در مورد چند رگبار تکرار شد. مقایسه نتایج پارامترهای هیدروگراف‌های محاسبه‌شده و مشاهده‌ای رضایت بخش بود.

در پژوهشی که در لوکزامبورگ انجام گرفت، مدل WetSpa را با داده‌های رواناب ساعتی مشاهده شده در ۳۰ ماه، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج حاصل از این روش، برای توزیع مکانی هیدرولوژیک حوضه نشان داد مدل، توانایی بالایی جهت بررسی تأثیر کاربری اراضی یا پوشش خاک بر هیدرولوژی رودخانه دارد (۸). به‌منظور پیش‌بینی دبی رودخانه، مدل WetSpaدر اسلواکی مورد واسنجی قرار گرفت. نتایج نشان داد، استفاده از این روش می‌تواند به‌عنوان یک روش واسنجی مناسب، برای تعیین پارامترهای مدل مورد استفاده قرار گیرد (۱٦). برای بررسی اثرات پستی و بلندی، بافت خاک و کاربری اراضی بر خصوصیات رواناب در بالادست حوضه، از مدل هیدرولوژیک توزیعی WetSpa استفاده شد. نتایج نشان داد، مدل قابلیت خوبی جهت بررسی اثر کاربری اراضی، توپوگرافی و نوع بافت خاک در حوضه دارد (۵).

بهره مند و دی‌اسمیت (۲) با استفاده از مدل هیدرولوژیک توزیعی مکانی WetSpa به شبیه‌سازی جریان آبراهه در رودخانه‌ای در حوضه اسلواکی پرداختند. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای برای دوره‌ای ۱۰ ساله در منطقه نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در پیش‌بینی جریان رودخانه بود. همچنین، نتایج نشان داد که مدل قابلیت پیش بینی هیدروگراف‌های روزانه را در منطقه با دقت ۷۵ تا ۸۰ درصد دارد. ریتابول و همکاران (۱۲) با استفاده از مدل هیدرولوژیک WetSpa به پیش‌بینی رواناب در رودخانه‌ای پرداختند. معیار خطای مدل در محاسبه بیلان آب برابر با ۲/٤ درصد و ضریب نش برابر با ۵۷ درصد به دست آمد. نتایج حاصل، نشان داد که مدل در روندیابی جریان عملکرد خوبی دارد.

بهره مند و دی‌اسمیت (٤) با استفاده از تحلیل حساسیت و عدم قطعیت مدل WetSpa، جریان رودخانه در حوضه آبخیز مارگسانی اسلواکی را مورد بررسی قرار دادند. مدل، دبی‌های روزانه را با دقتی در حدود ۷۰ درصد پیش‌بینی کرد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت پارامترهای مدل نشان داد که عامل اصلاحی تبخیر و تعرق واقعی از بالاترین حساسیت و پارامتر کنترل‌کننده میزان تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی، کمترین حساسیت را دارد. شافی و دی‌اسمیت (۱٦) به‌منظور پیش‌بینی دبی رودخانه، مدل WetSpa را برای رودخانه هورنارد در اسلواکی واسنجی نمودند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از این روش نیز می‌تواند به‌عنوان یک روش واسنجی مناسب، برای تعیین پارامترهای مدل مورد استفاده قرار گیرد.

زینی‌وند و دی‌اسمیت (۱۸) اقدام به شبیه‌سازی تجمع و ذوب برف با استفاده از مدل WetSpa و استفاده از دو روش درجه، روز و بیلان انرژی در حوضه لتیان پرداختند. مقایسه نتایج نشان‌دهنده عملکرد خوب و رضایت‌بخش مدل و دقت بالای آن با ضریب نش حدود ۸۰ درصد بود. همچنین، آنها به پیش‌بینی جریان‌های ناشی از ذوب برف، با استفاده از مدل هیدرولوژیک توزیعی WetSpa پرداختند. آنها در این پژوهش از روش فیزیکی تعادل توده برف و انرژی استفاده نمودند و به نتایج موفقیت‌آمیزی در زمینه شبیه‌سازی فرایندهای ذوب برف دست یافتند.

بهره مند و دی‌اسمیت (۳) در حوضه آبخیزی در اسلواکی با استفاده از روش واسنجی خودکار، پارامترهای مدل WetSpa را تخمین زدند و سپس تحلیل حساسیت و پیش‌بینی انجام دادند. نتایج نشان داد که ضریب اصلاحی تبخیر و تعرق، بیشترین حساسیت را دارد. تحلیل حساسیت مجموعه پارامترها نشان داد که عدم قطعیت پارامترهای مدل، منجر به سطح معنی‌داری از عدم قطعیت در مدل نمی‌شود.

صفری و همکاران (۱٤) کاربرد مدل WetSpa را برای پروژه‌ای، به‌منظور بررسی کارایی چندین مدل هیدرولوژیک در شبیه‌سازی هیدروگراف‌ها در پنج حوضه در کشور

آمریکا و در طول دوره آماری ۸ ساله مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه برای ارزیابی عملکرد مدل از معیار جمعی که نشان‌دهنده میزان اختلاف شکل، اندازه و حجم هیدروگراف شبیه‌سازی شده و محاسبه‌ای می‌باشد، استفاده کرده‌اند. نتایج واسنجی برای پنج رودخانه حوضه، عالی تا خوب، و نتایج برای کل دوره صحت‌سنجی، خوب تا خیلی خوب بود. محمدی و همکاران (۱۰) در پژوهشی به مدل‌سازی و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری زمین بر تولید رواناب با استفاده از مدل‌های CLUE-s و WetSpa پرداختند. نتایج نشان داد، رواناب سطحی و زیرسطحی در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۳۰ نسبت به نقشه کاربری زمین ۱۹۸۶ افزایش یافته است، اما میزان افزایش رواناب زیرسطحی کمتر از رواناب سطحی شده است. کاویان و همکاران (۷) در پژوهشی به ارزیابی اثرات هیدرولوژیک تغییرات کاربری زمین بر میزان رواناب در حوضه آبریز با استفاده از مدل‌های زنجیره‌ای مارکوف و وتسپا پرداختند. نتایج نشان داد، میزان رواناب سطحی در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۳۲ به‌ترتیب ۴۸/۴ و ۸۳/۹ نسبت به سال ۲۰۰۱ افزایش می‌یابد.

از بین مطالعاتی که در زمینه سیلاب و شبیه‌سازی جریان رودخانه انجام شده چنین به نظر می‌رسد که استفاده از مدل‌ها ضروری است. از طرفی برای انجام مدیریتی مقبول در سطحی وسیع لازم است از وضعیت قسمت‌های مختلف آن آگاه شد که این امر با استفاده مدل‌های توزیعی تا حدی ممکن می‌شود. از مطالعات انجام شده چنین استنباط می‌شود که در داخل کشور مطالعات محدودی بر اساس مدل WetSpa صورت گرفته است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند تاکنون از مدل WetSpa بیشتر در مناطق مرطوب استفاده شده و در مناطق خشک و نیمه‌خشک کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، در حوضه زاینده‌رود و زیرحوضه های آن، از مدل‌های مختلفی برای تخمین رواناب سطحی استفاده شده است، اما تاکنون به بررسی مدل WetSpa، در این حوضه و زیرحوضه‌های آن، پرداخته نشده است. این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی مدل WetSpa برای شبیه‌سازی رواناب سطحی در رودخانه پلاسجان در حوضه آبخیز اسکندری، که از زیرحوضه‌های زاینده رود است، انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبخیز اسکندری، واقع در غرب استان اصفهان می‌باشد. حوضه مذکور با داشتن مساحتی بالغ بر ۱۶۴۹ کیلومترمربع، در ارتفاع ۲۶۲۰ متری از سطح دریا قرار دارد. حوضه آبخیز اسکندری با مختصات ′۰۲ °۵۰ تا ′۴۰ °۵۰ طول شرقی و ′۱۱ °۳۲ تا ′۴۵ °۳۳ عرض شمالی در حوضه آبریز سد زاینده رود واقع شده است.

وضعیت آب و هوای منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای میانگین درجه حرارتی سالانه برابر با ۹/۸ درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر و حداقل دما در آن به‌ترتیب برابر با ۱۷/۸و ۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه در این منطقه در حدود ۳۴۰ میلی‌متر است. میانگین رطوبت نسبی سالانه در آن در حدود ۴۷ درصد و تعداد روزهای یخبندان در سال برابر با ۱۴۰ روز و میانگین تبخیر سالانه در آن، حدود ۱۶۰۰ میلی‌متر و فشار بخار اشباع در حدود ۱۱ میلی‌بار و فشار بخار واقعی برابر با ۱۴ میلی بار است.

بیشتر بارندگی‌ها در این منطقه تحت تأثیر جریان‌های مدیترانه‌ای قرار دارد و از اوایل مهرماه تا اواخر اردیبهشت‌ماه منطقه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در این پژوهش از ایستگاه‌های سینوپتیک داران و فریدون شهر به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی (بارش، دما و تبخیر و تعرق) در حوضه اسکندری استفاده شده است. به‌منظور مطالعه رواناب سطحی در رودخانه پلاسجان، از

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری واقع در منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	متوسط ارتفاع از سطح دریا (متر)
اسکندری	هیدرومتری	۵۰° ۲۵′	۳۲° ٤۹′	۲۱۳۰
داران	سینوپتیک	۵۰° ۲٤′	۳۲° ۵٦′	۲۲۹۰
فریدون‌شهر	سینوپتیک	۵۰° ۰٦′	۳۲° ۵۹′	۲٤۹۰

داده‌های روزانه ایستگاه هیدرومتری اسکندری، واقع در خروجی حوضه استفاده شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها در (جدول ۱) و موقعیت جغرافیایی منطقه در شکل ۱ آورده شده است (شکل ۱).

اطلاعات رقومی مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک می‌باشد. از لحاظ توپوگرافی ارتفاع منطقه مطالعاتی بین ۲۱۰۰ تا ۳۹۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه بیشتر از نوع مرتع و زمین زراعی است. با توجه به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و همچنین با توجه به مثلث بافت خاک، بافت خاک منطقه، از نوع شن‌لومی، لومی و رسی است.

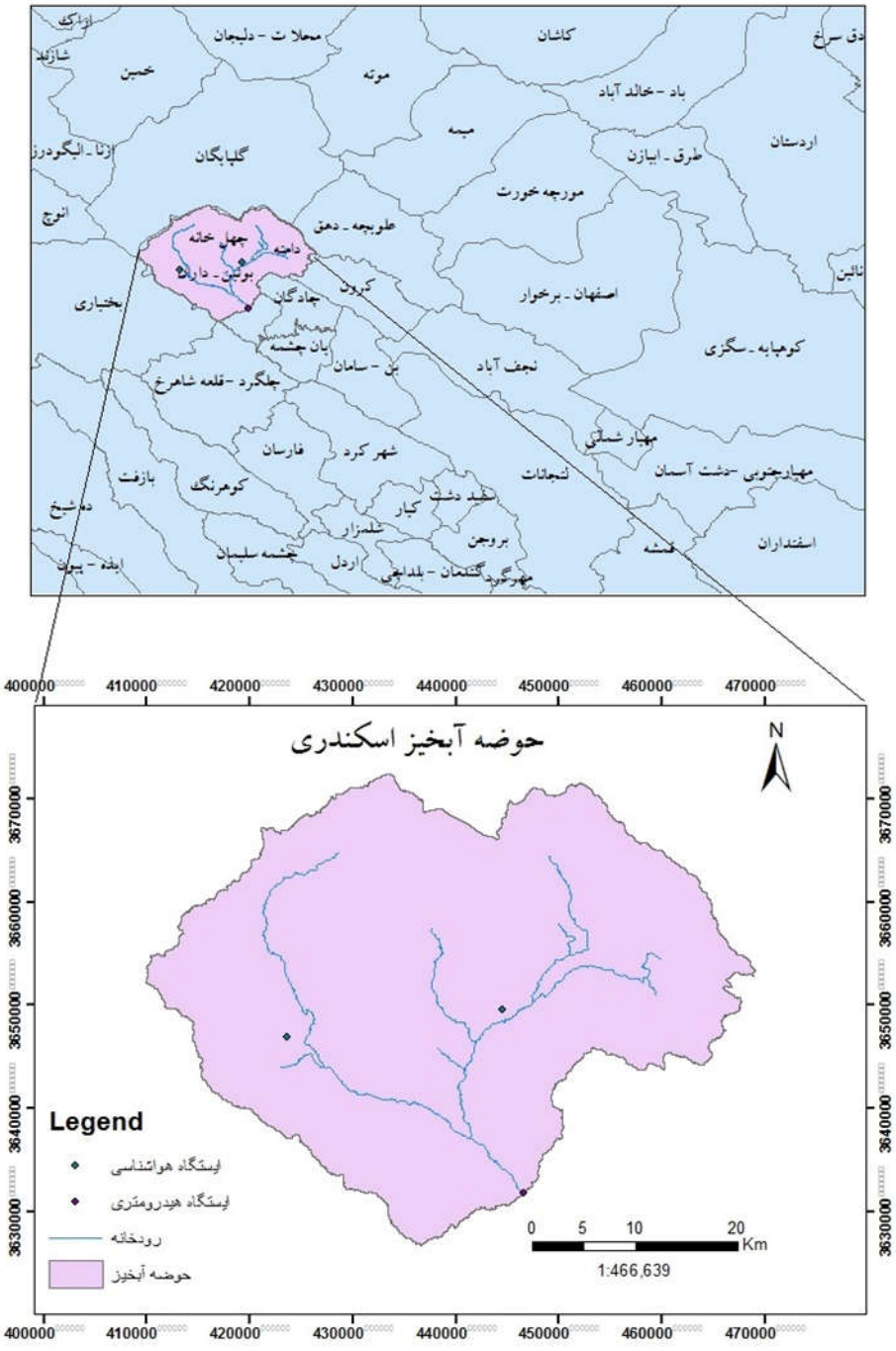
معرفی مدل هیدرولوژیک WetSpa

مدل وتسپا، مدلی فیزیکی، توزیعی و پیوسته است که فرایندهای بارش، رواناب و تبخیر و تعرق را برای عوارض زمینی ساده و پیچیده توصیف و پیش‌بینی می‌کند. این مدل، از نوع مدل های توزیعی بوده که حوضه و شبکه آبراهه را به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته در نظر می‌گیرد. این مدل دارای اجزایی است که تبخیر و تعرق و حرکت آب در خاک را بین هر رگبار توصیف می‌کند (۱). بارش نیروی محرکه اصلی، ورودی حساس مدل WetSpa است که خطا در اندازه‌گیری آن، منجر به ایجاد خطای بیشتری در داده‌های شبیه‌سازی شده خواهد شد. مدل بر اساس شبکه سلولی طراحی شده است که در آن هر سلول شامل چهار لایه تاج پوشش، ناحیه ریشه، ناحیه انتقال وناحیه اشباع در جهت عمودی است. برای هر سلول منفرد رستری خصوصیات خاک، بارش، مقدار رطوبت خاک، پوشش گیاهی و پوشش زمین همگن فرض می‌شود. مدل در هر شبکه سلولی با استفاده از مجموعه‌ای از روابط فیزیکی و تجربی و با توجه به میزان بارندگی، دما و تبخیر و تعرق، کلیه فرایندهای هیدرولوژیک و پیش‌بینی سیل از جمله مقدار بارش، ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ، رواناب سطحی، نفوذعمقی، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و بیلان آب در ناحیه‌های ریشه و اشباع را شبیه‌سازی نماید. همچنین، دبی‌های حداکثر و هیدروگراف جریان در هر مکان از شبکه آبراهه را پیش‌بینی و توزیع مکانی فرایندهای هیدرولوژیک را شبیه‌سازی می‌کند. به‌طور خلاصه در این مدل، ابتدا تعادل آب در ناحیه ریشه محاسبه می‌شود، چون این مهمترین بخش در نگه‌داشت آب است و همچنین این بخش کنترل کننده حجم رواناب سطحی و زیرسطحی، تبخیر و تعرق و دبی آب زیرزمینی است. در توصیف فرایندهای هیدرولوژیک مدل، ترکیبی از روابط فیزیکی و تجربی استفاده شده است (۳، ۱۵ و ۱۸).

ساختار مدل مفهومی WetSpaدرشکل ۲ نشان داده شده است.(شکل ۲).

ورودی های مدل WetSpa

ورودی های مدل دو دسته هستند: دسته اول اطلاعات رقومی شامل: نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه کاربری اراضی و نقشه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

بافت خاک. دسته دوم آمار هیدرومتئورولوژی شامل: آمار بارش، تبخیرو تعرق پتانسیل، آمار دما و همچنین آمار دبی برای بررسی کارایی مدل است که در مرحله واسنجی استفاده می‌شود. در مدل وتسپا، اطلاعات ورودی برای اجرای مدل از

چهار فایل ورودی خوانده می‌شوند. این فایل‌ها در مرحله آماده‌سازی اطلاعات با نام‌های pet.txt، p.txt ، q.txt و t.txtثابت می‌شوند. این چهار فایل شامل سری تبخیر، بارش، دبی و دما است که به صورت روزانه به مدل وارد می‌شود (۳، ۱۵ و۱۸).

خروجی مدل

مدل وتسپا پارامترهای میانگین را برای هر زیر حوضه محاسبه می‌کند و همچنین تابع پاسخ واحد، برای هر شبکه سلولی، زیرحوضه و کانال‌های رودخانه اصلی را به‌طور جداگانه تعیین می‌سازد که این موضوع باعث اجتناب از تکرار محاسبات طی واسنجی مدل می‌شود. خروجی‌های میانی در مراحل بعدی به‌عنوان ورودی مدل‌های توزیعی و نیمه‌توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۸). در این مدل انواع فایل‌های خروجی با توجه به گزینه‌های انتخاب‌شده طی شبیه‌سازی تولید می‌شود. خروجی‌های اصلی مدل شامل پیش‌بینی هیدروگراف در خروجی حوضه یا زیر حوضه‌های انتخابی و محاسبه بیلان آب برای کل حوضه در طی دوره شبیه‌سازی است (۳).

انتخاب دوره آماری و اجرای مدل

پس از بررسی آمار هواشناسی و هیدرومتری، تعیین دوره مشترک آماری و تهیه نقشه‌های توزیعی-مکانی پارامترهای حاصل از سه نقشه اصلی ورودی مدل (طبقات رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و بافت خاک) به اجرای مدل اقدام می‌کنیم در این تحقیق سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰٤ برای اجرای مدل انتخاب شد که سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰ برای واسنجی مدل و سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰٤ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. آمار هواشناسی و هیدرومتری عبارتند از: آمار بارندگی، تبخیر و دمای روزانه دو ایستگاه (داران و فریدونشهر) و دبی خروجی حوضه اسکندری (۱۹۹۲ تا ۲۰۰٤).

واسنجی مدل

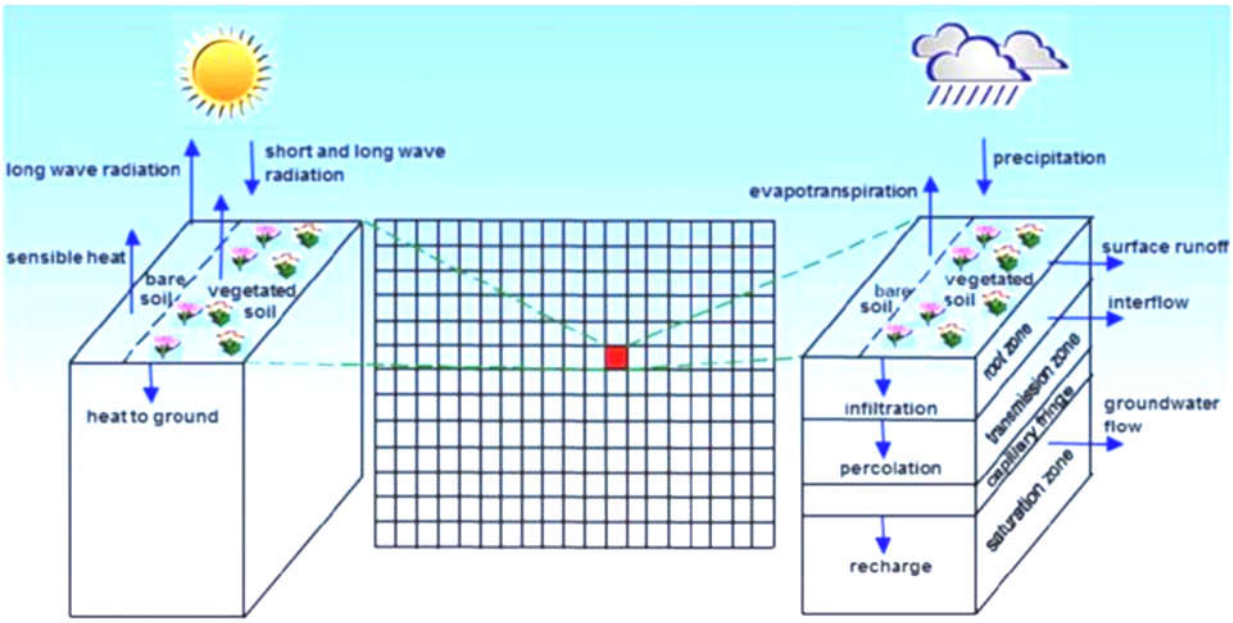
کاربرد موفقیت‌آمیز مدل‌های مفهومی بارش-رواناب به چگونگی واسنجی پارامترهای آنها بستگی دارد. این مدل‌ها اغلب دارای پارامترهای زیادی هستند که نمی‌توان آنها را به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود و لازم است که آنها را طی فرایند واسنجی تعیین نمود. در مرحله اول هدف تعیین مجموعه‌ای از مقادیر پارامترها است که یک نتیجه قابل قبول و به‌نسبت رضایت‌بخشی را ایجاد می‌نمایند. علاوه بر آن منظور از انجام واسنجی، یافتن مقادیر پارامترهایی است که باعث بهینه شدن معیارهای نیکویی برازش می‌شوند. به عبارت دیگر هدف تعیین یک سری مقادیر پارامترهایی است که بهترین میزان تابع هدف را ایجاد نمایند. با وجود عمومیت کاربرد مدل‌های بارش-رواناب درصورتی که نتوان یک مقدار بهینه برای پارامترهای آنها تعیین نمود کاربرد آن مدل ها بسیار مشکل می‌شود (۳).

اعتبار سنجی مدل

کاربر مدل میتواند جهت درک بهتر از مدل و چگونگی اجرا و صحت نتایج واسنجی، مدل را بدون تغییر مقادیر بهینه پارامترهای مورد استفاده در واسنجی، برای شرایط جدید یعنی آمار هیدرومتئورولوژیک جدید آزمایش کند که این فرآیند اعتبارسنجی نامیده می‌شود. نتایج اعتبار سنجی به کاربر در درک خطای احتمالی در پیش‌بینی‌های مدل کمک خواهد کرد و یک احتمالی از قطعیت شرایط پیش‌بینی شده توسط مدل بدون اینکه هیچگونه تداخل مدیریتی داشته باشد نتیجه میدهد. البته آمار مورد استفاده در فرآیند اعتبارسنجی از دوره‌های آماری مرحله واسنجی متفاوت است (۳).

معیارهای کارایی و ارزیابی مدل

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل WetSpa در شبیه‌سازی هیدروگراف مشاهده‌ای از روش‌های آماری استفاده



شکل ۲. ساختار مدل WetSpa (۷)

می‌شود. علاوه بر مقایسه چشمی، جهت ارزیابی بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی، سایر معیارها از قبیل خطای مدل در محاسبه بیلان آبی مدل، قابلیت اطمینان مدل و همچنین معیار نش–ساتکلیف (Nash-Sutcliffe) برای برآورد کارایی در مدل WetSpa وجود دارند که مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. این اندازه‌گیری‌ها، یک ارزیابی کمّی از میزان برازش مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، ارائه می‌دهد و نشان‌دهنده درجه انطباق مشاهدات و پیش‌بینی است. بر مبنای نتایج حاصل از این معیارها، قابلیت پیش‌بینی مدل تعیین می‌شود (۶ و ۱۹).

اریبی مدل(Bias)

خطای مدل در محاسبه بیلان آب را می‌توان به صورت تفاوت میانگین نسبی بین جریان مشاهداتی و پیش‌بینی شده در یک شبیه‌سازی بزرگ بیان کرد که نشان‌دهنده بیلان آب بوده و از مهم‌ترین عوامل برای مقایسه کارایی مدل است. این معیار به صورت معادله زیر نوشته می‌شود:

$$CR1 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Qsi - Qoi)}{\sum_{i=1}^{N} Qoi} \qquad (۱)$$

CR1: خطای مدل در محاسبه بیلان آب. Qsi و Qoi: جریان‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده در گام زمانی i (m^3/s)

N :تعداد گام های زمانی در طول دوره شبیه سازی

مقادیر CR1 پایین، نشان‌دهنده برازش بهتر و میزان صفر نشان‌دهنده شبیه‌سازی کامل میزان جریان مشاهده‌ای است (۶ و ۱۹).

قابلیت اطمینان مدل

قابلیت اطمینان مدل (Model Confidence)، یکی از عوامل مهم در شبیه‌سازی پیوسته مدل است و می‌توان آن را با ضریب قطعیت مدل بیان کرد. قابلیت اطمینان مدل به صورت نسبت مجموع مربعات تفاوت دبی‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی از

دبی متوسط مشاهداتی تعریف می‌شود که در رابطه ۲ آورده شده است:

$$CR2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Qsi - \overline{Qo}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(Qoi - \overline{Qo}\right)^2} \qquad (۲)$$

CR2: ضریب قطعیت مدل، $\overline{QO}$ متوسط دبی جریان مشاهده شده طی دوره شبیه‌سازی

معیار کارایی نش- ساتکلیف

معیار کارایی ضریب نش- ساتکلیف نشان می‌دهد دبی‌های جریان تا چه حد توسط مدل درست شبیه‌سازی شده‌اند. همچنین، این عامل به‌طور معمول برای ارزیابی و تعیین کارایی مدل‌های مختلف استفاده می‌شود. این معیار، واریانس باقیمانده‌ها را استاندارد ساخته و مقدار عددی آن با طول دوره و یا میزان رواناب تغییر نمی‌کند. این ضریب در رابطه ۳ تعریف شده است:

$$CR3 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Qsi - Qoi\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(Qoi - \overline{Qo}\right)^2} \qquad (۳)$$

CR3: ضریب کارایی نش- ساتکلیف به‌منظور ارزیابی سری زمانی جریان آبراهه به کار می‌رود. مقدار CR3 می‌تواند از صفر تا یک باشد .

معیار کارایی نش- ساتکلیف لگاریتمی برای ارزیابی جریان‌های حداقل

CR4: عامل نش- ساتکلیف لگاریتمی با تأکید بر ارزیابی شبیه‌سازی در جریان‌های کم کاربرد دارد. این ضریب در رابطه ٤ تعریف شده است:

$$CR4 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\ln\left(Qsi + \varepsilon\right) - \ln\left(Qoi + \varepsilon\right)\right]^2}{\sum_{i=1}^{N}\left[\ln\left(Qoi + \varepsilon\right) - \overline{\ln\left(Qoi + \varepsilon\right)}\right]^2} \qquad (٤)$$

ε: مقدار بسیار کوچک اختیاری برای اجتناب از مشکلات ناشی از دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده

تذکر: دبی‌های مشاهداتی کمتر از ε قابل صرف نظرکردن هستند. در غیر این صورت عامل CR4 باعث ایجاد خطا می‌شود. در یک شبیه‌سازی کامل، CR4 برابر با یک در نظر گرفته می‌شود. مقدار CR4 می‌تواند از صفر تا یک باشد.

معیار کارایی نش- ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های حداکثر

$$CR5 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Qoi + \overline{Qo}\right)\left(Qsi - Qoi\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(Qoi + \overline{Qo}\right)\left(Qoi - \overline{Qo}\right)^2} \qquad (۵)$$

CR5: معیار کارایی نش- ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های حداکثر به کار می‌رود. مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد. در یک شبیه‌سازی کامل، مقدار CR5 برابر با یک است.

نتایج و بحث

مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۲ آورده شده است. در این تحقیق خطای مدل در محاسبه بیلان آب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۰۱ به‌دست آمد که بیانگر تفاوت میانگین نسبی بین جریان مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده در شبیه‌سازی جریان است. این نتیجه با نتیجه پژوهشی که توسط الماسی و سلطانی (۱) انجام شد تفاوت محسوسی ندارد. همچنین، در این مطالعه ضریب قطعیت مدل که به صورت نسبت مجموع مربعات تفاوت دبی‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی از دبی متوسط مشاهداتی تعریف می‌شود (رابطه ۲)، در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۷٦۱ و ۰/۷٦٥ به‌دست آمد که کارایی بالای مدل در این منطقه را نشان می‌دهد. ضریب نش- ساتکلیف که مهم‌ترین

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

معیار کارایی	نام پارامتر	واسنجی	صحت‌سنجی
خطای مدل در محاسبه بیلان آب	CR1	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰
ضریب قطعیت مدل	CR2	۰/۷۶۱	۰/۷۶۵
معیار کارایی نش- ساتکلیف	CR3	۰/۷۳	۰/۷۵
معیار کارایی نش- ساتکلیف برای جریان‌های حداقل	CR4	۰/۷٤	۰/۷٤
معیار کارایی نش- ساتکلیف برای جریان‌های حداکثر	CR5	۰/۷۳	۰/۷۸

ضریب در بین سایر ضریب‌ها است، در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۷۳ و ۰/۷۵ به‌دست آمد که خود گویای کارایی مطلوب مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه است. این نتایج از نتایج مطالعه‌ای که توسط الماسی و سلطانی (۱)، انجام شد اندکی بهتر است. در آن مطالعه ضریب نش- ساتکلیف در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر با ۰/٦۳ و ۰/٦۵ به‌دست آمد. همچنین، در مطالعه الماسی و سلطانی (۱) ضریب حداقل و حداکثر جریان در دوره واسنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۷۱ و ۰/٦۵ به‌دست آمد. در این پژوهش، نتایج ضریب حداقل و حداکثر جریان در دوره واسنجی به‌ترتیب برابر با ۰/۷٤ و ۰/۷۳ به‌دست آمد. که خود نشان دهنده واسنجی بهتر مدل در این تحقیق است. نتایج این پژوهش با مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۸ در اتیوپی انجام شد مطابقت دارد (٦). از مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج پژوهش‌های سایر پژوهشگران در جهان مشخص می‌شود که مدل توانایی خوب و قابل قبولی در برآورد رواناب سطحی حوضه دارد.

واسنجی و اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت مدل

برای واسنجی بهتر در مدل WetSpa، ۱۱ پارامتر کلی در آن تعبیه شده است. اکثر این پارامترها دارای تعاریف فیزیکی بوده و در کنترل رواناب و هیدروگراف خروجی حوضه نقش مهمی دارند؛ به‌منظور کسب نتایج بهتر در مدل و بهینه‌سازی مدل، واسنجی این پارامترها در مقابل داده‌های رواناب مشاهده‌ای ترجیح داده می‌شود. در این تحقیق برای واسنجی مدل از (آزمون و خطا) استفاده شده است که درآن مدل با مقادیر انتخابی از پارامترهای اولیه اجرا شده و خروجی آن با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه می‌شود و این کار ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که بهترین تطبیق بین خروجی‌ها حاصل شود بهترین نتیجه همان مناسب‌ترین ضریب نش- ساتکلیف است (٦ و ۱۹).

این ۱۱پارامتر و مقادیر واسنجی شده آنها که با استفاده از روش سعی و خطا به‌دست آمده است، در جدول ۳ نشان داده شده است. در تحلیل حساسیت مدل با روش سعی و خطا مشخص شد که دو پارامتر K_{ep} (عامل تصحیح تبخیر و تعرق پتانسیل) و پارامتر Kg (ضریب افت آب‌های زیرزمینی) بیشترین حساسیت را در مدل دارند و با تغییر اندکی در مقادیر هر کدام از آنها نتایج به‌طور چشمگیری تغییر می‌کند. همچنین، در تحلیل حساسیت مدل مشخص شد که پارامتر حداکثر شدت بارش Pmax، کم‌ترین حساسیت را در بین سایر پارامترها دارد.

مقایسه گرافیکی دبی جریان اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در دوره واسنجی

به‌منظور کارایی مدل WetSpa نتایج شبیه‌سازی با هیدروگراف مشاهده‌ای به صورت گرافیکی مقایسه

جدول۳. مقادیر تعیین‌شده طی فرایند واسنجی مدل

ردیف	پارامترهای عمومی مدل	حدود تغییرات	علامت اختصار	میزان واسنجی‌شده
۱	عامل مقیاس جریان سطحی (–)	۰–۱۰	Ki	۰/۱
۲	ضریب افت آب‌های زیرزمینی (d^{-1})	۰–۰/۰۵	Kg	۰/۰۰۰۳۵
۳	مقدار رطوبت نسبی اولیه خاک (–)	۰–۳	K_ss	۰/٦۵۰
٤	عامل تصحیح تبخیر و تعرق پتانسیل (–)	۰–۲	K_ep	۰/٦۳۵
۵	ذخیره آب زیرزمینی اولیه (mm)	۰–۵۰۰	G0	۵۰
٦	حداکثر ذخیره آب زیرزمینی (mm)	۰–۵۰۰۰	G_max	۱۵۰
۷	دمای آستانه ذوب (°C)	۰–۱	T0	۰/۹٤
۸	ضریب روز درجه حرارت (mm/ °C / day)	۰–۲	K_snow	۰/۷۷
۹	ضریب باران درجه–روز (mm/mm/°C day)	۰–۱	K_rain	۰/۰۰۰۱
۱۰	مؤلفه رواناب سطحی (–)	۱–۷	K_run	۵
۱۱	حداکثر شدت بارش (mm)	۰–۵۰۰	P_max	۱۵۰

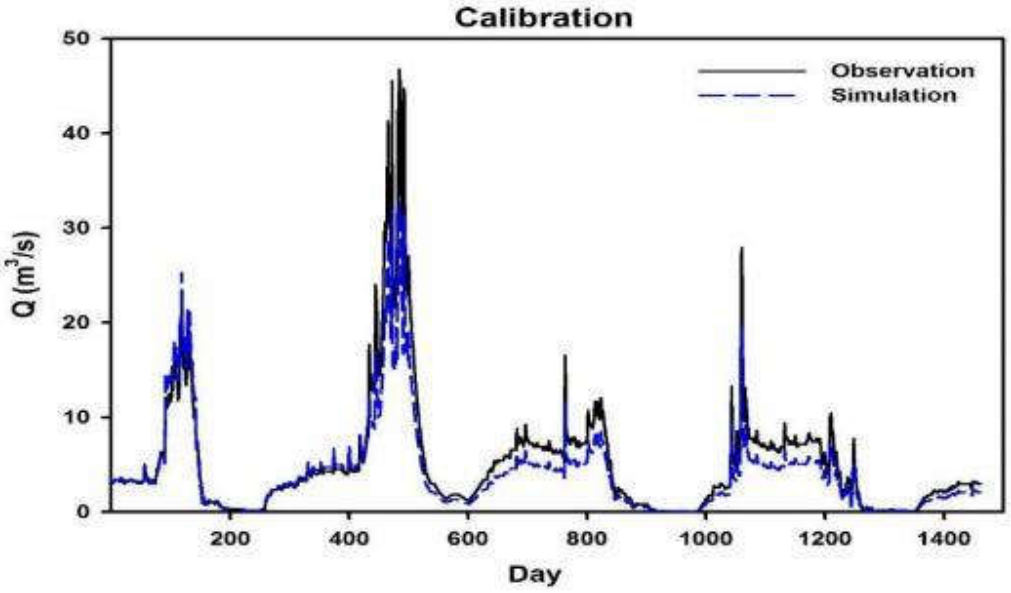
می‌شوند. نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده برای دوره واسنجی سال‌های آماری (۱۹۹۲–۲۰۰۰)، در حوضه آبخیز اسکندری در شکل ۳ نشان داده شده است.

مقایسه گرافیکی دبی جریان اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در دوره اعتبارسنجی

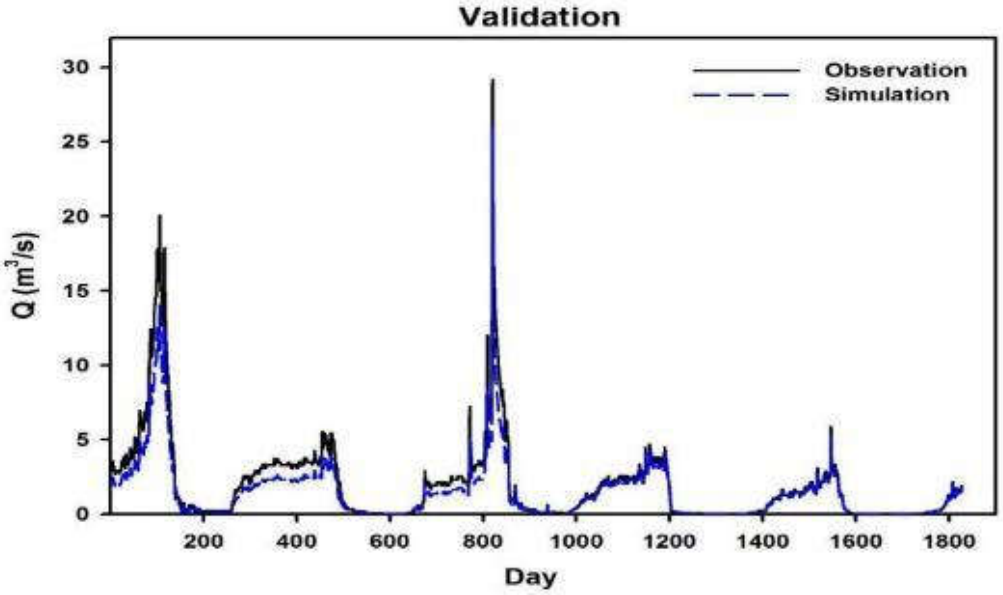
اعتبارسنجی مدل، به‌منظور ارزیابی صحت و دقت واسنجی پارامترهای عمومی مدل انجام می‌شود. در شکل ٤ نتایج مقایسه گرافیکی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی در دوره اعتبارسنجی برای سال‌های آماری (۲۰۰۱–۲۰۰٤)، در حوضه آبخیز اسکندری نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

آگاهی از وضعیت اقلیمی و منابع آب در هر منطقه، گامی مهم در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و جلوگیری از خطرات احتمالی از قبیل سیلاب و خشکسالی در آینده می‌باشد. از این‌رو مدل‌سازی هیدرولوژیک در حوضه‌های آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی و ارزیابی جریان رودخانه پلاسجان با استفاده از مدل هیدرولوژیک WetSpa در حوضه آبخیز اسکندری انجام شد. در این پژوهش از ایستگاه‌های سینوپتیک داران و فریدون‌شهر به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی در حوضه اسکندری استفاده شده است. همچنین، به‌منظور مطالعه جریان رودخانه



شکل ۳. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در دوره واسنجی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ٤. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در دوره اعتبارسنجی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

پلاسجان از داده‌های روزانه ایستگاه هیدرومتری اسکندری واقع در خروجی حوضه استفاده شد.. هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی توانایی مدل وتسپا در شبیه‌سازی جریان رودخانه می‌باشد. پس از طی فرآیندهای واسنجی و صحت‌سنجی مدل، هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با هم مقایسه می‌شود. از مقایسه بین هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای و همچنین با بررسی معیارهای کارایی مدل، مشخص شد که مدل، توانایی مناسبی در شبیه سازی رواناب سطحی رودخانه پلاسجان را دارد. معیارهای ارزیابی مختلفی برای مدل WetSpa وجود دارد که مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در

دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جداول ۲ و ۳ آورده شد. مطابق با مطالعات انجام شده چنانچه ضریب نش- ساتکلیف بین ۰/٦۰ تا ۰/۷۵ به دست آید نشان‌دهنده توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک حوضه است. در این مطالعه در مرحله واسنجی ضریب نش- ساتکلیف برابر ۰/۷۳و در مرحله صحت سنجی برابر ۰/۷۵ بدست آمد که نشان‌دهنده توانایی قابل قبول و خوب مدل در حوضه مورد مطالعه است.

منابع مورد استفاده

1. Almasi, P. and S. Soltani. 2017. Assessment of the climate change impacts on flood frequency (case study: Bazoft Basin, Iran). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 31(5): 1171-1182.
2. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2006. Sensitivity and uncertainty analysis of a GIS-based flood simulation model using PEST WSEAS. *Transactions on Environment and Development* 2: 29-37.
3. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2008. Distributed Hydrological Modeling and Sensitivity Analysis in Torysa Watershed, Slovakia. *Water Resources Management* 22(3): 393-408.
4. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2010. Predictive analysis and simulation uncertainty of a distributed hydrological model. *Water Resources Management* 24: 2869-2880.
5. Chormanski, J. and O. Batelaan. 2011. Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with signiphicant contribution of organic soil, Upper Biebrza case study. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation* 43: 25-35.
6. Gebremeskel, G. and A. Kebede. 2018 . Estimating the effect of climate change on water resources: Integrated use of climate and hydrological models in the Werii watershed of the Tekeze river basin, Northern Ethiopia. *Agriculture and Natural Resources* 52(2): 195-207.
7. Kavian, A., N. Javidan, A. Bahremand, Y. Gyasi-Agyei, Z. Hazbavi and J. Rodrigo-Comino 2020. Assessing the hydrological effects of land-use changes on a catchment using the Markov chain and WetSpa models. *Hydrological Sciences Journal* 65: 2604-2615.
8. Liu, Y. B., S. Gebremeskel, F. De Smedt, L. Hoffmann and L. Pfister. 2006. Predicting storm runoff from different land-use classes using a geographical information system-based distributed model. *Hydrological Processes* 20(3): 533-548.
9. Mirzavand, M. and R. Bagheri, 2020. The water crisis in Iran: Development or destruction. *World Water Policy* 6(1): 89-97.
10. Mohammady, M., H. R. Moradi, H. Zeinivand, A. J. A. M. Temme, M. R. Yazdani and H. Purghasemi. 2018. Modeling and assessing the effects of land use changes on runoff generation with the CLUE-s and WetSpa models. *Theoretical and Applied Climatology* 133(1): 459-471.
11. Najafi, M. R. 2003. Watershed modeling of rainfall excess transformation into runoff. *Journal of Hydrology* 270: 273-281.
12. Rwetabula, J., F. De Smedt and M. Rebhun. 2007. Prediction of runoff and discharge in the Simiyu River (tributary of Lake Victoria, Tanzania) using the WetSpa model. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 4:881-908.
13. Saatsaz, M. 2020. A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability* 22(3): 1749-1785.
14. Safari, A., F. De Smedt and F. Moreda. 2012. WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). *Journal of Hydrology* 418-419:78-89.
15. Safari, A. and F. De Smedt. 2015. Improving the confidence in hydrologic model calibration and prediction by transformation of model residuals. *Journal of Hydrologic Engineering* 20(9): 04015001.
16. Shafii, M. and F. De Smedt. 2009. Multi-objective calibration of a distributed hydrological model (WetSpa) using a genetic algorithm. *Hydrology and Earth System Sciences* 13(11): 2137-2149.
17. Wang, Z. M., O. Batelaan and F. De Smedt, 1996. A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). *Physics and Chemistry of the Earth* 21(3): 189-193.
18. Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2010. Prediction of snowmelt floods with a distributed hydrological model using a physical snow mass and energy balance approach. *Natural Hazards* 54(2): 451-468.

19. Zhang, Y., S. Liu, X. Hou, F. Cheng and Z. Shen. 2019. Landscape and climate change-induced hydrological alterations in the typically urbanized Beiyun River basin, Beijing, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 33(1): 149-168.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Surface Runoff of Plasjan River Using WetSpa Hydrological Model

S. Toghiani Khorasgani[1*], S. Eslamian[1] and M. J. Zareian[2]

(Received: September 13-2020; Accepted: March 9-2021)

Abstract

In recent decades, water scarcity has become a global problem due to the growth of the world's population as well as the increase in per capita water consumption. Therefore, planning and managing water resources to prevent potential risks such as floods and drought in the future is one of the important measures of water resources management. One of the important measures to avoid potential risks and predict the future is rainfall-runoff modeling. The objective of this study was to investigate the efficiency of the WetSpa hydrological model in estimating surface runoff in the Eskandari watershed, which is one of the important sub-basins of the Zayandehrood watershed. In this study, Daran and Fereydunshahr synoptic stations have been used to collect meteorological information in the Eskandari watershed. Also, to study the flow of the Plasjan river, daily data of Eskandari hydrometric station, located at the outlet of the basin, have been used. Climatic data along with digital maps of altitude, soil texture, and land use were entered as input to the WetSpa model. Finally, the ability of the WetSpa model was evaluated in estimating river surface runoff. The observed flow at the basin outlet in the hydrometric station was used to evaluate and calibrate the model. The model was calibrated for the statistical period (1992-2000) and its validation was performed for the statistical period (2001-2004). In the calibration period, the trial and error method were used to calibrate the model parameters. The simulation results showed a good correlation between the simulated flow and the measured flow. In the present study, the Nash Sutcliffe coefficient in the calibration and validation stages was equal to 0.73 and 0.75, respectively which shows the good and acceptable ability of the model in estimating the surface runoff of the study basin.

Keywords: Runoff precipitation model, WetSpa model, Sutcliffe Nash coefficient, Eskandari watershed, Plasjan river

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Department of Water Resources Research, Water Research Institute (WRI), Tehran, Iran.
*: Corresponding author, Email: saeedtoghyani6666@gmail.com