دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی قابلیت مدل هیدرولوژیک پیوسته WetSpa در شبیه‌سازی جریان‌های بیشینه با گام زمانی کوتاه مدت (مطالعه موردی: حوزه زشک-مشهد)

سمیه مشاری عشق آباد[۱]، احمد نوحه گر[۲]، ایمان بابائیان[۳] و سیروس ارشادی[۴]

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، (نویسنده مسوول: mashari1363@gmail.com)
۲- استاد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳- استادیار، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد
۴- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲۲

چکیده

مطالعه فرآیندهای طبیعی مرتبط با آب از نیازهای ضروری کشور ایران است. در این راستا داشتن اطلاعات از رواناب و شرایط هیدرولوژیک ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه در کشور ما بیشتر حوزه‌ها فاقد آمار بلند مدت هستند، استفاده از مدل برای شبیه‌سازی رواناب ضروری می‌باشد. در این مطالعه از مدل هیدرولوژیکی-توزیعی WetSpa برای شبیه‌سازی رواناب حوزه زشک مشهد استفاده شد. ورودی‌های این مدل شامل ۳ نقشه پایه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، کاربری اراضی و بافت خاک و داده‌های هواشناسی شامل بارندگی، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. برای ارزیابی و واسنجی مدل از دبی مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوزه استفاده شد. واسنجی مدل برای دوره آماری ۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱ و اعتبار سنجی آن برای دوره آماری ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱٤/۱۲/۳۱ انجام شد. در دوره واسنجی از نرم افزارPEST جهت واسنجی پارامترهای مدل استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی تطابق خوبی را بین دبی شبیه‌سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده نشان داد. مدل بر اساس معیار کارایی ناش ساتکلیف، هیدروگراف‌های ساعتی را با دقت خوب بیش از ۸۵/۶۳٪ و ۸۳/۲۳٪ به ترتیب در دوره واسنجی و اعتبارسنجی شبیه‌سازی کرد. علاوه بر این نتایج مدل برای جریان‌های سیلابی مطلوب بوده ولی در شبیه‌سازی جریان‌های کمینه نتایج مناسب نبود که این مسئله به خاطر استفاده از آب جهت آبیاری در فصول خشک سال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: واسنجی اتوماتیک، PEST، هیدرولوژی، شبیه‌سازی رواناب، WetSpa

مقدمه

با گذشت زمان و افزایش جمعیت و تغییرات کاربری اراضی، اهمیت برنامه‌ریزی برای مدیریت جامع حوزه بیشتر نمایان می‌گردد. مشکل اساسی برای برنامه‌ریزی در این مورد کمبود ایستگاه هیدرومتری می‌باشد. برای حل این مشکل می‌توان براساس ویژگی‌های طبیعی حوزه میزان رواناب آن را برآورد کرد که در این میان مدل‌های هیدرولوژیکی-توزیعی با استفاده از تکنیک GIS برای برآورد سیل و تصمیم گیری در حوزه کاربردی و مناسب می‌باشد (۱۵). این مدل‌ها را می‌توان برای حوزه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری اجرا و واسنجی کرد تا برای شرایط مشابه بدون ایستگاه به کار روند. در مطالعات انجام شده برای شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی بیشتر از مدل‌های تک واقعه استفاده شده است و اکثر مدل‌های پیوسته برای گام زمانی روزانه و بیشتر به کار رفته و هدف اصلی آن تعیین بیلان آب می‌باشد. تاکنون در داخل کشور جهت شبیه‌سازی جریان‌های بیشینه از مدل پیوسته با گام زمانی کوتاه مدت استفاده نشده است. در این مطالعه از مدل هیدرولوژیکی-توزیعی WetSpa[۱] برای شبیه‌سازی جریان استفاده شد. با اجرای این مدل به صورت ساعتی علاوه بر تعیین بیلان آب، جریان‌های سیلابی چند سال به صورت پیوسته شبیه‌سازی شده و با توجه به اینکه در مدل‌های پیوسته تغییرات فصلی پوشش در نظر گرفته شده و تعیین رطوبت اولیه نیز نقش زیادی در شبیه‌سازی آن ندارد، اجرای آن با داده‌های محدودتر نتایج بهتری نسبت به مدل‌های تک واقعه ارائه می‌دهد.

بهره‌مند و همکاران (۲) جریان رودخانه هورناد در اسلواکی را با استفاده از مدل WetSpa به صورت روزانه شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد انطباق خوبی بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود داشته، علاوه بر این نتایج برای جریان‌های بیشینه دقت بالاتری را نشان داد. کرمانسکی و باتلان (۵) مدل WetSpa را برای شبیه‌سازی جریان رودخانه بیبرزا استفاده کردند، نتایج نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد ولی برای جریان‌های کمینه مطابقت خوبی نداشته و در کل معیار ناش ساتکلیف مدل نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوبی می‌باشد. وبرین و همکاران (۲۰) از مدل WetSpa برای بررسی تاثیر شهرسازی روی میزان رواناب استفاده کرد، نتایج آنها نشان داد که این مدل توزیعی با توجه به مشخصات مکانی کاربری‌های مختلف قابلیت خوبی در شبیه‌سازی و اهداف این مطالعه دارد. پورتا براندک و همکاران (۱۴) جریان رودخانه بیبرزا و سیدرا را با استفاده از مدل WetSpa شبیه‌سازی کردند. آنها دریافتند که این مدل برای شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی نتایج خوبی دارد ولی برای جریان‌های کمینه تطابق کمتری دارد. نینجه و باتلان (۱۳) در یک حوزه در اوگاندا مدل WetSpa را برای شبیه‌سازی جریان استفاده کردند. نتایج نشان داد که این مدل

1- Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]

۶۲/۹ درصد برای دوره واسنجی و ۷۹/۸ درصد برای دوره اعتبارسنجی کارایی داشته است. برزوسکی و همکاران (۴) در حوزه بیالای در لهستان جریان رودخانه را با مدل WetSpa شبیه‌سازی کردند، معیار کارایی ناش ساتکلیف آن ۶۲ درصد برآورد گردید. شفیعی و دی اسمیت (۱۷) در حوزه رودخانه هورناد اسلواکی جریان را با استفاده از مدل WetSpa شبیه‌سازی کردند و معیار کارایی مدل ۶۹ تا ۷۹ درصد به دست آمد. لیو و دی اسمیت (۹) مدل WetSpaرا با گام زمانی یک ساعت در حوزه‌ای در بلژیک اجرا نمود. نتایج نشان داد که مدل به خوبی جریان‌های سیلابی و کمینه را پیش بینی کرده است که هیدروگراف‌های محاسباتی با مشاهداتی تطابق خوبی را نشان دادند. معیار کارایی مدل در هیدروگراف روزانه ۷۱ تا ۷۷ درصد محاسبه گردید. آذین‌مهر و همکاران (۱) شرایط هیدرولوژیک حوزه دینور را با استفاده از مدل WetSpa شبیه‌سازی کردند، نتایج نشان داد این مدل با دقت خوبی جریان روزانه را شبیه‌سازی کرده است و جریان‌های کمینه و بیشینه با دقت نسبتا مشابهی برآورد شده‌اند. یعقوبی و بهره‌مند (۲۱) جریان رودخانه چهل چای گلستان را با استفاده از مدل WetSpa به صورت روزانه شبیه‌سازی نمودند و معیار کارایی ناش ساتکلیف را برای کل جریان در دوره واسنجی۵۷/۰۶ درصد و در دوره اعتبارسنجی ۵۰/۳۳ بدست آوردند. علاوه بر این نتایج برای جریان‌های بیشینه بهتر از جریان‌های کمینه برآورد گردید. زینی وند (۲۲) دبی روزانه رودخانه قره سو کرمانشاه را با استفاده از مدل WetSpa شبیه‌سازی کرد و معیار کارایی ناش ساتکلیف را برای دوره واسنجی ۸۳ درصد و برای دوره اعتبارسنجی ۸۴ درصد بدست آورد. مرادی‌پور و همکاران (۱۱) رواناب حوزه طالقان را با استفاده از مدل WetSpa به صورت روزانه شبیه‌سازی کردند، نتایج آنها نشان داد که این مدل با دقت خوبی جریان‌های بیشینه و کمینه را شبیه‌سازی می‌کند. کریمی و همکاران (۸) شبیه‌سازی رواناب حاصل از برف مدل WetSpa را با مدل SRM مقایسه کردند، نتایج نشان داد که مدل WetSpa رواناب را با دقت بالاتری شبیه‌سازی کرده است. ایمانی و همکاران (۷) دبی روزانه حوزه بالخوچای در استان اردبیل را با استفاده از مدل WetSpa شبیه‌سازی کردند. نتایج دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان روزانه و دقت بالای مدل در شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی نسبت به جریان‌های پایه را نشان داد.

مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که این مدل در کشورهای مختلف با شرایط آب و هوایی متفاوت نتیجه خوبی نشان داده، تا جایی که برخی از محققان از این مدل برای مطالعه اثر تغییرات اقلیم (۱۳)، افزایش شهرسازی (۲۰) و تخریب جنگل و تغییر کاربری(۳) استفاده نموده‌اند. اکثر مطالعات انجام شده نشان دهنده شبیه‌سازی بهتر جریان‌های بیشینه توسط مدل می‌باشد، ولی برخی مطالعات نیز نشان می‌دهد با واسنجی مدل، شبیه‌سازی جریان‌های کمینه تطابق بیشتری با واقعیت داشته و جریان‌های بیشینه کم برآورد شده است (۱۵).

هدف از این مطالعه شبیه‌سازی جریان رودخانه زشک مشهد با گام زمانی کوتاه مدت است تا دقت مدل در شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی بررسی گردد. حوزه زشک مشهد یک حوزه با شیب زیاد و تغییرات زیاد کاربری بوده که بیشتر قسمت‌های کناره‌ای رودخانه را مناطق مسکونی، باغات و مراکز تفریحی اشغال نموده است. با وجود شرایط طبیعی و مداخلات انسانی فوق‌الذکر، این منطقه در معرض خطر شدید سیل قرار گرفته که این امر مطالعه شرایط هیدرولوژیک این حوزه را اجتناب ناپذیر می‌کند، از طرفی در خروجی حوزه یک ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که هیدروگراف سیل را به صورت ساعتی ثبت می‌کند. بنابراین می‌توان علاوه بر بررسی شرایط هیدرولوژی، با مقایسه نتایج آن با داده‌های ایستگاه هیدرومتری، پارامترهای مدل را واسنجی کرده و برای شرایط مشابه استفاده کرد.

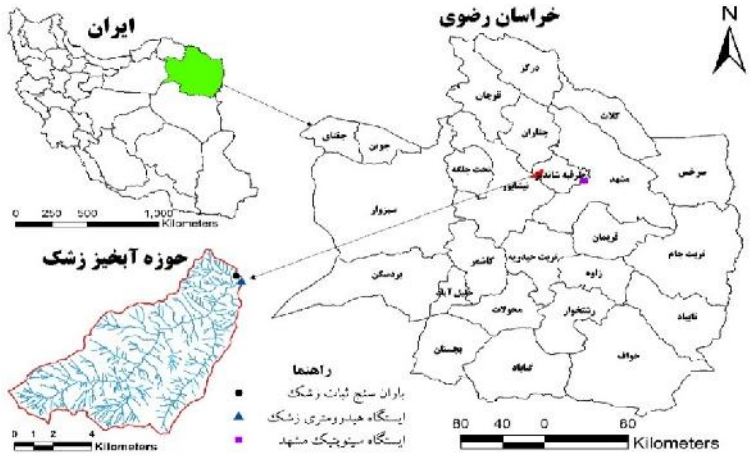
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه زشک با مساحت ۶۵/۵۶ کیلومتر مربع در استان خراسان رضوی و در غرب مشهد قرار گرفته است. از لحاظ مختصات جغرافیایی حوزه مذکور در محدوده بین ''۳۸ '۵۹°۰۳ تا ''۵۳ '۵۹°۱۱ طول شرقی و ''۱۸ '۳۶°۱۵ تا ''۷ '۳۶°۲۱ عرض شمالی قرار دارد. ۸۵/۰۷ درصد از مساحت حوزه مرتع، ۸/۶۷ درصد باغ، ۶/۱۷ اراضی بایر و ۰/۰۹ درصد مناطق مسکونی می‌باشد. شیب متوسط آن ۴۶/۱۷ درصد و حداقل ارتفاع آن ۳۲/ ۱۶۹۵متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۲۶۳/۱۵ متر و ارتفاع متوسط آن ۲۴۲۸/۲۰ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت حوزه زشک را در استان خراسان رضوی و ایران نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]



شکل ۱- موقعیت حوزه زشک و ایستگاه‌های هیدرومتری، سینوپتیک و باران سنجی در استان خراسان رضوی و ایران
Figure 1. Location of Zashk basin and hydrometric, synoptic and rain gauge stations in Khorasan Razavi province and Iran

معرفی مدل WetSpa

فرآیندهای هیدرولوژیکی مدل شامل بارش باران، برف، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق نفوذ عمقی، جریان زیر سطحی، جریان آب زیر زمینی و بیلان آب است. در مدل برای تشریح فرآیندهای پایه از روابط تجربی و فیزیکی استفاده شده است. مقدار رطوبت خاک در منطقه ریشه مهمترین بخش کنترل کننده حجم رواناب سطحی، رواناب زیر سطحی، تبخیر و تعرق و دبی آب زیرزمینی می‌باشد، زیرا این بخش کنترل کننده حجم رواناب سطحی، رواناب زیر قشری، تبخیر و تعرق و دبی آب زیرزمینی می‌باشد. تعادل آب در منطقه ریشه برای هر شبکه سلولی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود(۲):

$$D\frac{\Delta^{-}}{\Delta t} = P - I - V - E - R - F \qquad (۱)$$

که در آن D عمق ریشه (متر)، $\Delta\theta$ تغییرات رطوبتی خاک (مترمکعب بر مترمکعب)، Δt گام زمانی (ساعت/ روز)، P بارش (متر بر ساعت/ روز)، I=Ia+Da تلفات اولیه شامل ذخیره برگابی (Ia) و ذخیره چالابی (Da) در گام زمانی (متر بر ساعت/روز)، V رواناب سطحی یا بارش مازاد (متر بر ساعت/روز)، E تبخیر و تعرق (متر بر ساعت/ روز)، R میزان نفوذ عمقی از منطقه ریشه (متر بر ساعت/ روز) و F میزان جریان زیر قشری در زمان (متر بر ساعت/روز) می باشد. در این مدل بارش مازاد با استفاده از روش استدلالی اصلاح شده (روش ضریب رواناب مبتنی بر رطوبت خاک) و بر مبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک محاسبه می‌گردد. ضریب پتانسیل رواناب براساس نقشه‌های شیب، کاربری و تیپ خاک تهیه می شوند. میزان جریان زیر قشری نیز براساس قانون دارسی و معادلات موج سینماتیک محاسبه می‌گردد. روندیابی جریان سطحی و جریان آبراهه با استفاده از روش معادلات تقریب موج پخشی سنت و نانت انجام می‌گیرد (رابطه ۲).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c\frac{\partial Q}{\partial t} - d\frac{\partial^2 Q}{\partial^2} = 0 \qquad (۲)$$

در رابطه بالا Q دبی (مترمکعب بر ثانیه)، t زمان (روز)، x مسافت در جهت جریان (متر)، c سرعت موج سینماتیک در پیکسل می‌باشد. و از معادله ۳ به دست می‌آید.

$$C = \frac{5}{3}v \qquad (۳)$$

در اینجا v سرعت و d ضریب پخش در پیکسل می‌باشد و از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$d = \frac{vH}{2S_0} \qquad (۴)$$

که در آن v سرعت جریان (متر بر ثانیه) با معادله مانینگ محاسبه شده و H شعاع هیدرولیکی (متر) یا متوسط عمق جریان است. و S_0 شیب کف آبراهه می‌باشد که فرض می شود در پیکسل ثابت است. این دو پارامتر بستگی به عمق و سرعت جریان و خصوصیات زمین دارند (۶). لیو و همکاران (۱۰) برای محاسبه میزان دبی در انتهای مسیر جریان از معادله (۵) به‌عنوان تابع پاسخ خطی سنت ونانت استفاده نمودند.

$$U(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi t^3/t_0^3}} exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2 t/t_0}\right] \qquad (۵)$$

که در آن U(t) تابع پاسخ مسیر جریان می‌باشد که برای تعیین هیدروگراف واحد لحظه‌ای جریان به کار می‌رود و روندیابی مسیر جریان تا خروجی حوزه را ممکن می‌سازد. t_0 زمان پیمایش (ساعت) و σ انحراف معیار استاندارد زمان جریان می‌باشد که هر یک بر اساس معادلات ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند. با انتگرال‌گیری از رابطه هم‌گرایی جریان بر روی تمام سلول‌های شبکه، دبی خروجی حوزه به دست می‌آید.

$$t_0 = \int \frac{1}{c} dx \qquad (۶)$$

$$\sigma = \sqrt{\int \frac{2d}{C^3} dx} \qquad (۷)$$

از آنجا که معمولا اطلاعات دقیقی از سنگ بستر وجود ندارد،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]

جریان آب زیرزمینی به‌صورت خروجی از یک مخزن خطی یکپارچه در مقیاس زیرحوزه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اثر نوسانات رودخانه برای همه مولفه‌های جریان، جریان سطحی و زیرقشری از اولین پیکسل تا کانال اصلی روندیابی می‌شود و در خروجی زیرحوزه به جریان آب زیرزمینی ملحق می‌شود. سپس هیدروگراف نهایی از مجموع جریان سطح، زیرقشری و زیرزمینی با توجه به روابط پیچیده جریان از همه پیکسل‌ها به دست می‌آید.

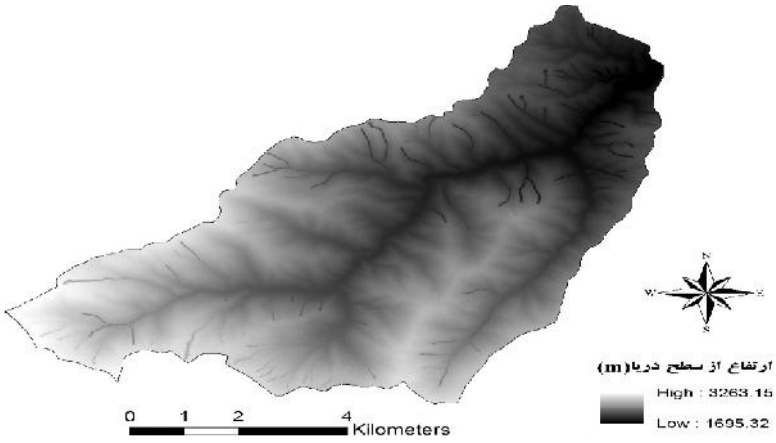
داده‌های مورد استفاده

مدل WetSpa یک مدل توزیعی با پایه فیزیکی می‌باشد. داده‌های مکانی مورد نیاز از ۳ نقشه پایه شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)[1] (شکل ۲)، کاربری اراضی (شکل ۳) و بافت خاک (شکل ۴) به دست می‌آید. مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش تهیه گردید، نقشه کاربری با استفاده از تصاویر بارگذاری شده در Google Earth تهیه شده و با بازدید میدانی تصحیح و تدقیق گردید، جهت تهیه نقشه بافت خاک، ابتدا نقشه واحدهای کاری با توجه به شکل زمین (نقشه ژئومرفولوژی کاربردی) و با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر Google Earth تهیه گردید و با بازدید میدانی تصحیح گردید، سپس در هر یک از واحدهای کاری یک پروفیل خاک زده شد و بافت آن در آزمایشگاه مشخص گردید. داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل بارندگی (P)، دما (T) و تبخیر تعرق پتانسیل (PET) می‌باشد. برای ارزیابی و واسنجی مدل نیاز به داده‌های دبی (Q) می‌باشد. داده‌های بارندگی از ایستگاه باران‌سنج ثبات زشک (اداره هواشناسی) و دما از ایستگاه سینوپتیک مشهد استفاده شد، بدین ترتیب که گرادیان حرارتی حوزه با استفاده از ایستگاه‌های اطراف منطقه تهیه شد، سپس با استفاده از ایستگاه معرف سینوپتیک مشهد، دمای حوزه محاسبه گردید. رابطه زیر گرادیان دمای متوسط سالانه را نشان می‌دهد:

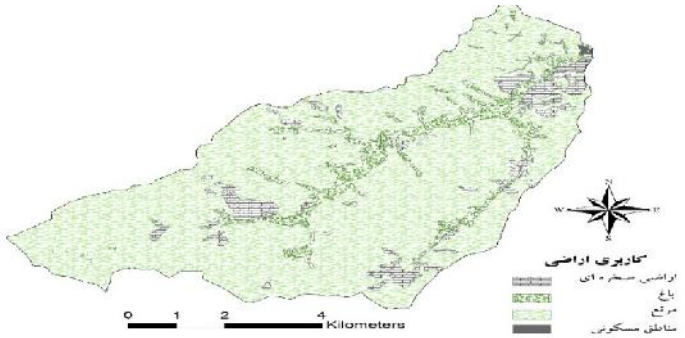
$$R = 0.92 \qquad (۸)$$
$$T = -0.0051H + 19.97$$

در اینجا T دمای متوسط سالیانه، H ارتفاع از سطح دریا، R ضریب همبستگی.

تبخیر تعرق پتانسیل نیز با استفاده از نرم‌افزار Ref ET به‌روش پنمن مانتیث با استفاده از داده‌های سینوپتیک به صورت ساعتی محاسبه گردید. داده‌های هواشناسی و هیدرومتری با گام زمانی ساعتی استفاده گردید. واسنجی مدل با استفاده از داده‌های دوره ۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱ و اعتبارسنجی آن با داده‌های دوره ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱/۳۱ انجام شد. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، سینوپتیک و باران سنج مورد استفاده در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاع حوزه زشک
Figure 2. Digital Elevation Model of Zoshk basin

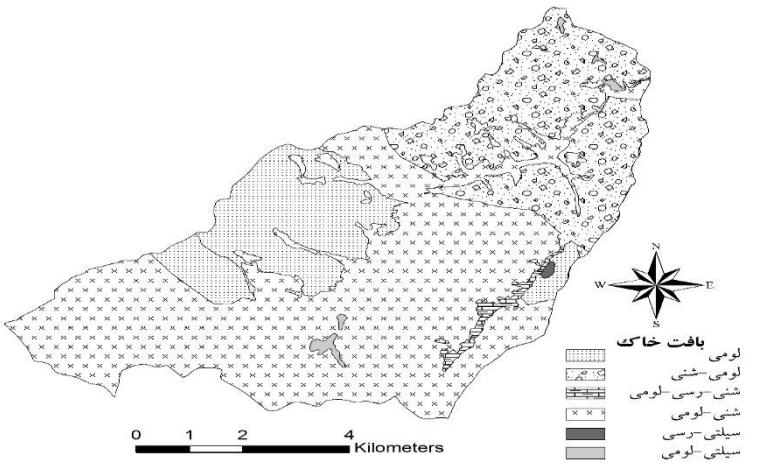


شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه زشک
Figure 3. Landuse map of Zoshk basin

1- Digital Elevation Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]



شکل ۴- نقشه بافت خاک حوزه زشک
Figure 4. Soil texture map of Zoshk basin

فرآیند شبیه‌سازی مدل

نقشه‌های پایه مورد نیاز با فرمت رستر و با اندازه پیکسل ۲۰×۲۰ متر تهیه شده و سایر لایه‌های وابسته به آن در محیط GIS استخراج شد. به این ترتیب که ابتدا مشخصات پستی و بلندی در هر پیکسل شامل ارتفاع، جهت جریان، تراکم جریان، شبکه زهکشی، اتصال جریان، انشعابات رودخانه، شیب و شعاع هیدرولیکی کانال از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج گردید. آستانه برای تعیین شبکه جریان ۱۰ در نظر گرفته شد، یعنی هنگامی یک پیکسل به‌عنوان خروجی یک زیرحوزه در نظر گرفته می‌شود که حوزه بالادست آن بزرگتر از ۰/۴ هکتار باشد. مقدار آستانه برای مشخص کردن زیرحوزه ها نیز ۳۰۰۰ پیکسل در نظر گرفته شد، که در نتیجه آن ۲۷ زیرحوزه برای این حوزه مشخص گردید. برای ساختن نقشه شیب نیز حداقل شیب ۰/۰۱ درصد در نظر گرفته شد، زیرا در این صورت سرعت آب خیلی کم محاسبه شده و آب بدون حرکت خواهد بود. لایه شعاع هیدرولیکی نیز با فراوانی ۰/۵ یعنی با دوره بازگشت ۲ سال محاسبه گردید. که معمولا برای سیل‌های نرمال از این دوره بازگشت استفاده می‌شود. سپس لایه هدایت هیدرولیکی خاک، تخلخل، ظرفیت مزرعه، رطوبت باقیمانده، شاخص پراکنش اندازه خلل و فرج و نقطه پژمردگی از بافت خاک به‌دست آمد. به‌طور مشابه، لایه‌های عمق ریشه، ظرفیت ذخیره برگابی، شاخص سطح برگ و ضریب زبری نقشه کاربری اراضی استخراج گردید و ضریب زبری کانال نیز به صورت خطی براساس انشعاب آبراهه میان‌یابی شد (رابطه ۹).

$$n_r = n_{r,\max} - \left(\frac{O - O_{\min}}{O_{\max} - O_{\min}}\right)\left(n_{r,\max} - n_{r,\min}\right) \qquad (۹)$$

در اینجا n_r ضریب مانینگ ($m^{-1/3}s$) برای رتبه O، O_{max} و O_{min} حداکثر و حداقل رتبه می‌باشد که در نرم‌افزار ArcView تهیه می‌گردد، $n_{r,max}$ و $n_{r,min}$ حداکثر و حداقل ضریب زبری مانینگ مربوط به O_{max} و O_{min} می‌باشد.

لایه‌های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی نیز از ترکیب سه نقشه DEM، بافت خاک و کاربری اراضی تهیه شد که در این منطقه درصد سطوح نفوذ ناپذیر در مناطق مسکونی با توجه به بازدید میدانی ۳۰ درصد در نظر گرفته شد.

لایه سرعت جریان با استفاده از رابطه مانینگ از سه لایه ضریب مانینگ، شعاع هیدرولیکی و شیب و زمان پیمایش تا خروجی حوزه نیز از دو لایه سرعت و جهت جریان و انحراف معیار زمان جریان در مقیاس حوزه نیز با استفاده از سرعت، جهت جریان، شعاع هیدرولیکی و شیب توسط نرم‌افزار محاسبه گردید که امکان محاسبه هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) از هر پیکسل تا خروجی حوزه را فراهم می‌کند.

ارزیابی مدل

در این مطالعه ارزیابی برای دوره واسنجی مدل از تاریخ ۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱ و سپس برای دوره اعتبارسنجی آن از تاریخ ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱ انجام شد. نتایج شبیه‌سازی با هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده به‌صورت گرافیکی و آماری مقایسه گردیدند. جهت ارزیابی کمی مدل (جریان خروجی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی) در هر دو مرحله از شاخص‌های زیر استفاده شد:

الف- اریبی مدل (CR1)

اریبی مدل به‌عنوان اختلاف میانگین نسبی بین جریان‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری شده برای یک دوره اندازه‌گیری بیان می‌شود، که کارایی بیلان آبی را نشان می‌دهد که مهم‌ترین معیار برای مقایسه نحوه کار مدل بوده و از رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

$$CR1 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Qs_i - Qo_i)}{\sum_{i=1}^{N} Qo_i} \qquad (۱۰)$$

که در آن CR1 اریبی مدل، Qs_i و Qo_i به ترتیب دبی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گام زمانی i می‌باشد (متر مکعب بر ثانیه)، و N تعداد گام زمانی در دوره شبیه‌سازی است. مقدار صفر آن نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب حجم جریان مشاهداتی می‌باشد و مقادیر منفی نشان‌دهنده برآورد

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]

کمتر از واقعیت و مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده برآورد بیشتر از واقعیت می‌باشد.

ب- اطمینان مدل (CR2)

اطمینان مدل یکی از مهم‌ترین معیارها در ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی پیوسته می‌باشد که می‌تواند با استفاده از ضریب تعیین نشان داده شود. معیار اطمینان مدل از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$CR2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Qs_i-\overline{Qo})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Qo_i-\overline{Qo})^2} \qquad (۱۱)$$

در اینجا CR2 ضریب تعیین مدل، $\overline{Qo}$ میانگین دبی‌های مشاهداتی در طول دوره شبیه‌سازی، این معیار سهم واریانس را در دبی‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که با دبی‌های شبیه‌سازی شده تشریح می‌گردد. مقدار آن بین ۰-۱ تغییر می‌کند که مقادیر نزدیک به ۱ نشان دهنده اطمینان بالاتر است.

ج- معیار کارایی ناش ساتکلیف (CR3)

ضریب ناش ساتکلیف (۱۲) نشان می‌دهد که دبی جریان تا چقدر درست شبیه‌سازی شده است. این معیار شامل استانداردسازی واریانس مازاد است و مقادیر پیش بینی شده آن در طول دوره و مقیاس رواناب تغییر نمی‌کند (معادله ۱۲).

$$CR3 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Qs_i-Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Qo_i-\overline{Qo})^2} \qquad (۱۲)$$

CR3 معیار کارایی ناش ساتکلیف است که برای ارزیابی قابلیت شبیه‌سازی مدل به‌کار می‌رود. مقدار آن از مقادیر منفی بینهایت تا ۱ تغییر می‌کند که در بهترین حالت مقدار آن ۱ می‌باشد.

د- روش لگاریتمی معیار کارایی ناش ساتکلیف برای ارزیابی جریان کمینه (CR4)

معیار لگاریتمی ناش ساتکلیف که در رابطه ۱۳ نشان داده شده بر ارزیابی کیفیت شبیه‌سازی جریان‌های کمینه تاکید دارد (۱۷).

$$CR4 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}[\ln(Qs_i+\varepsilon)-\ln(Qo_i+\varepsilon)]^2}{\sum_{i=1}^{N}[\ln(Qo_i+\varepsilon)-\overline{\ln(Qo_i+\varepsilon)}]^2} \qquad (۱۳)$$

در اینجا CR4 معیار لگاریتمی ناش ساتکلیف برای ارزیابی قابلیت شبیه‌سازی جریان‌های کمینه توسط مدل، ε یک مقدار کوچک دلخواه برای جلوگیری از مشکلات دبی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی با مقدار صفر می‌باشد. مقدار ε باید به اندازه کافی کوچک باشد تا از دبی‌های مشاهداتی کوچکتر از ε صرف نظر شود. در غیر این صورت معیار CR3 یک اریبی را نشان خواهد داد. مانند CR3، مقدار مناسب برای CR4 نیز ۱ می باشد.

ه- نسخه اصلاح شده ناش ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های بیشینه (سیلابی) (CR5)

نسخه اصلاح شده ناش ساتکلیف در معادله ۱۴ نشان داده شده است. این معیار در حقیقت تلفیقی از معیارهای واسنجی است که برای مطالعه هیدرولوژیکی حوزه رودخانه آلزتی و تابع هدف HEC-1 استفاده شده است (۱۹).

$$CR5 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Qo_i+\overline{Qo})(Qs_i-Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(Qo_i+\overline{Qo})(Qo_i-\overline{Qo})^2} \qquad (۱۴)$$

CR5 نسخه اصلاح شده معیار ناش ساتکلیف برای ارزیابی شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی می‌باشد. بهترین مقدار برای این معیار ۱ می‌باشد.

واسنجی مدل

پس از ارزیابی اولیه مدل در صورت مطلوب نبودن نتایج در مقایسه با دبی مشاهداتی با تغییر در پارامترهای مدل می‌توان مقادیر دبی محاسبه شده را به دبی اندازه گیری شده نزدیک کرده و معیارهای آماری را بهینه نمود. برای مناطق مختلف می‌توان مقادیر بهینه این پارامترها را مشخص کرد. در این مطالعه ابتدا مدل برای داده‌های مربوط به تاریخ ۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱ اجرا، ارزیابی و به‌صورت دستی واسنجی شده و سپس مدل به صورت اتوماتیک با استفاده از نرم افزار PEST بهینه گردید.

اعتبار سنجی

پس از بهینه‌سازی نتایج برای دوره واسنجی، جهت اطمینان از مقادیر برآورد شده پارامترها در مرحله واسنجی، مدل برای یک دوره زمانی جدا با استفاده از مقادیر بهینه پارامترهای بدست آمده در مرحله واسنجی اجرا و نتایج آن بررسی گردید. در این مطالعه جهت اعتبار سنجی مدل از داده‌های مربوط به تاریخ ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱ استفاده گردید.

نتایج و بحث

همان‌گونه که در بخش روش‌ها ذکر شد پس از اماده‌سازی لایه‌ها و داده‌های ورودی، ابتدا به صورت دستی اقدام به واسنجی مدل گردید. نتایج حاصل از واسنجی دستی نشان داد که کارایی مدل در حد مطلوب نبوده بنابراین بعد از واسنجی دستی با استفاده از نرم‌افزار PEST[1] به‌صورت اتوماتیک مجددا مدل واسنجی گردید. مقادیر پارامترهای بهینه شده حاصل از واسنجی دستی و اتوماتیک در جدول ۱ نمایش داده شده است. با توجه به مقادیر جدول مشخص گردید که برخی پارامترها مانند Ki، Kg، k_ss و K_rain در حالت دستی و اتوماتیک تغییراتی نداشته اما برخی پارامترها مانند P_max تا ۵ برابر مقدار اولیه خود در حالت دستی تغییرات داشته‌اند. در جدول ۲ نتایج ارزیابی مدل با استفاده از پنج معیار ذکر شده، برای واسنجی‌های دستی و اتوماتیک در دوره واسنجی و همچنین دوره اعتبار سنجی نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که واسنجی اتوماتیک با استفاده از الگوریتم PEST نسبت به واسنجی دستی عملکرد مدل را به‌میزان قابل قبولی افزایش داده و در کل مدل WetSpa قادر بوده جریان رودخانه را در مرحله واسنجی با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند.

پس از اطمینان از کارایی قابل قبول مدل در مرحله واسنجی، اقدام به اعتبار سنجی مدل برای دوره آماری ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ گردید. نتایج حاصل از ارزیابی مدل در مرحله اعتبارسنجی نیز حاکی از کارایی قابل قبول مدل در این مرحله بوده است (جدول ۲). با توجه به جدول ۲ مدل

1- Model-Independent Parameter Estimation and Uncertainty Analysis

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]

WetSpa دبی حوزه مورد مطالعه را با کارایی خوبی (۸۵/۶۳ درصد برای دوره واسنجی و ۸۳/۲۳ درصد برای دوره اعتبارسنجی) شبیه‌سازی کرده است. میزان کارایی شبیه‌سازی دبی‌های بیشینه برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۸۵/۶۵ و ۹۲/۴۷ درصد و برای دبی‌های کمینه ۱۶/۱۴- و ۱۶/۰۱- درصد محاسبه شده است. با توجه به این نتایج مشخص شد که این مدل در این حوزه برای دبی‌های سیلابی نتیجه بهتری را ارائه داده است ولی نتایج در مورد دبی‌های کمینه مطلوب نیست، این یافته در تحقیق صفری و دی‌اسمت (۱۶) نیز گزارش شده است. این محققین علت عملکرد نامطلوب مدل WetSpa در مورد جریان‌های کمینه را به‌خاطر ساده‌سازی در تشریح جریان آب زیرزمینی دانسته‌اند. به‌نظر می‌رسد در این تحقیق نیز این ساده‌سازی در ساختار مدل یکی از دلایل عمده باشد. البته این امر دلایل دیگری نیز دارد که در ادامه بحث در مورد هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای عمومی با روش واسنجی دستی و اتوماتیک

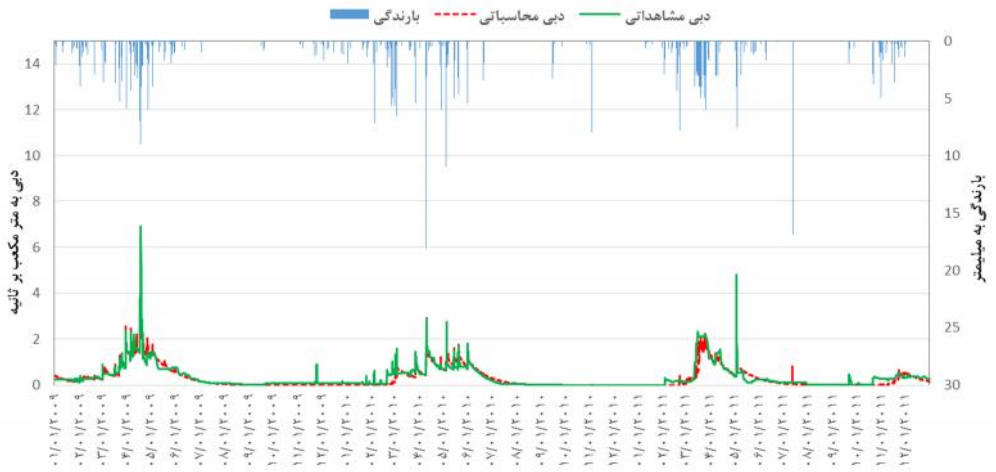
Table 1. The values of the general parameters by manual and automatic calibration

پارامتر های عمومی	علامت اختصاری	واحد	مقادیر واسنجی دستی	مقادیر واسنجی اتوماتیک
فاکتور مقیاس جریان زیرسطحی	Ki	-	۰/۰۹	۰/۰۹
ضریب افت آب‌های زیرزمینی	Kg	d^{-1}	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
مقدار رطوبت نسبی اولیه	K_ss	mm	۰/۸۰	۰/۸۰
فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق پتانسیل	K_ep	-	۰/۲۰	۰/۱۶
ذخیره فعال آب‌های زیرزمینی	g0	mm	۲۰/۰۰	۱۳/۶۰
حداکثر ذخیره آب‌های زیرزمینی	g_max	mm	۱۰۰/۰۰	۴۹/۷۰
دمای آستانه ذوب	T0	°C	۰/۷۰	۰/۵۲
ضریب دما درجه–روز	k_snow	$mm°C^{-1}$	۴/۰۰	۴/۴۹
ضریب باران درجه–روز	k_rain	$°C^{-1}d^{-1}$	۰/۰۵	۰/۰۵
مولفه رواناب سطحی برای شدت بارندگی نزدیک صفر	k_run	-	۴/۰۰	۴/۷۷
شدت بارندگی متناظر با توان رواناب سطحی	P_max	mmd^{-1}	۱۰۰/۰۰	۵۰۰/۰۰

جدول ۲- مقادیر معیارهای کارایی مدل در دوره واسنجی (دستی و اتوماتیک)(۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱) و اعتبارسنجی (۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱) (به درصد)

Table 2. Model performance criteria during calibration (manual and automatic) (2009/1/1 to 2011/12/31) and validation period (2012/1/1 to 2014/12/31) (%)

شاخص کارایی	واسنجی دستی	واسنجی اتوماتیک	اعتبار سنجی
اریبی مدل	۳/۰۸	-۹/۹۰	-۱۸/۰۲
اطمینان مدل	۷۰/۰۰	۹۲/۸۹	۹۱/۸۲
معیار ناش ساتکلیف	۴۶/۱۵	۸۵/۶۳	۸۳/۲۳
معیار لگاریتمی ناش ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های کمینه	-۱/۶۳	-۱۶/۱۴	-۱۶/۰۱
نسخه اصلاح شده ناش ساتکلیف برای ارزیابی جریان‌های بیشینه	۵۳/۰۹	۸۵/۶۵	۹۲/۴۷



شکل ۵- هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در دوره واسنجی (ساعتی)

Figure 5. Computational and observational hydrograph in Calibration Period (hourly)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]



شکل ۶- هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی ساعتی در دوره اعتبارسنجی (ساعتی)
Figure 6. Computational and observational hydrograph in Validation Period (hourly)

مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی ساعتی در خروجی حوزه برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی در شکل‌های (۵،۶) ارائه گردیده است.

با توجه به هیدروگراف‌های دوره واسنجی و اعتبارسنجی، دبی‌های مشاهداتی نوسانات نامنظمی در میزان دبی‌های کمینه (بدون بارندگی معادل) نشان می‌دهند. دلیل این نوسانات، به‌خاطر بهره‌برداری از آب رودخانه طی فصول کم آبی می‌باشد. با توجه به این‌که ۸/۶۷ درصد از مساحت حوزه را باغات و اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهند و با توجه به نوسانات دبی در فصول کم‌آبی که مصادف با فصل آبیاری است، مشخص می‌شود که برداشت آب تاثیر زیادی روی جریان رودخانه و در نتیجه میزان دبی خروجی حوزه گذاشته و موجب می‌گردد تا در بازه‌های زمانی متوالی بدون بارش، دبی‌های متفاوتی ثبت گردد.

در این زمینه یکی از محاسن این مدل، محاسبه معیار کارایی به صورت جداگانه برای جریان‌های بیشینه و کمینه می‌باشد، علیرغم دقت پایین مدل در شبیه‌سازی جریان‌های کمینه، شبیه‌سازی جریان‌های بیشینه با دقت قابل‌قبولی انجام شده است. این مسئله به‌خاطر شرایط نسبتا طبیعی در هنگام وقوع سیل و تاثیر کمتر آب زیرزمینی نسبت به آب سطحی می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج کرمانسکی و باتلان (۵)، بهرمند و همکاران (۲)، پورتا براندک و همکاران (۱۴)، ایمانی و همکاران (۷) و یعقوبی و بهرمند (۲۱) مطابقت دارد. اما این نتایج با یافته‌های صفری و همکاران (۱۵)، لیو و دی اسمیت (۹)، و مرادی پور و همکاران (۱۱) مطابقت ندارد. لازم به ذکر است که در اکثر سوابق پژوهشی مرتبط با مدل WetSpa شبیه‌سازی دبی‌های کمینه دقت کمتری داشته، ولی تفاوت زیادی بین دبی‌های کمینه و بیشینه وجود ندارد (۱،۲،۱۹)، که در این حوزه به خاطر استفاده از آب در دوران کم آبی، این اختلاف بیشتر می‌باشد. علاوه بر این، استفاده از مدل PEST جهت بهینه‌سازی پارامترهای مدل، معیارهای آماری را به میزان زیادی بهبود بخشیده، که بیشترین اثر آن روی جریان‌های بیشینه بوده است که این یکی از محاسن این روش می‌باشد، زیرا اگر جریان‌های کمینه معیار بهینه سازی قرار گیرند، به دلیل نوسانات نامنظم، به دلایلی که در بالا ذکر شد، عدم قطعیت پارامترهای مدل بیشتر خواهد شد.

در این مطالعه از مدل هیدرولوژیکی-توزیعی WetSpa برای شبیه‌سازی رواناب حوزه زشک مشهد استفاده شد. ورودی‌های این مدل شامل سه نقشه پایه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، کاربری اراضی و بافت خاک و داده‌های هواشناسی شامل بارندگی، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. برای ارزیابی و واسنجی مدل از دبی مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوزه استفاده گردید. واسنجی مدل برای دوره آماری ۲۰۰۹/۱/۱ تا ۲۰۱۱/۱۲/۳۱ و اعتبار سنجی آن برای دوره آماری ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱ انجام شد. در دوره واسنجی از نرم‌افزار PEST جهت واسنجی پارامترهای مدل استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی تطابق خوبی را بین دبی شبیه‌سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده نشان داد. مدل بر اساس معیار کارایی ناش ساتکلیف، هیدروگراف‌های ساعتی را با دقت خوب بیش از ۸۵/۶۳ درصد و ۸۳/۲۳ درصد به‌ترتیب در دوره واسنجی و اعتبارسنجی شبیه‌سازی کرد. علاوه بر این نتایج مدل برای جریان‌های سیلابی مطلوب بوده ولی در شبیه‌سازی جریان‌های کمینه نتایج مناسب نبود که این مسئله به خاطر استفاده از آب جهت آبیاری در فصول خشک سال و همچنین برخی ساده‌سازی‌ها در ساختار مدل WetSpa برای تشریح جریان آب زیرزمینی می‌باشد.

نتایج این مطالعه و اکثر مطالعات انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان‌دهنده این موضوع است که این مدل جریان‌های بیشینه را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده است. تاکنون برای شبیه‌سازی سیلاب بیشتر از مدل‌های تک واقعه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]

استفاده شده، نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر مدل‌های هیدرولوژیک تک واقعه، اجرای مدل‌های پیوسته با گام زمانی کوتاه‌مدت نیز دبی‌های سیلابی را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کنند. با این روش می‌توان علاوه بر استفاده از محاسن شبیه‌سازی پیوسته جریان و محاسبه بیلان آب، دبی‌های بیشینه سیلابی را نیز شبیه‌سازی کرد. ولی برای حوزه‌هایی که اراضی زراعی با کشت آبی دارند باید دبی‌های کمینه آن اصلاح گردد. در انتها پیشنهاد می‌شود برای رفع مشکل در زمینه شبیه‌سازی جریان‌های کمینه، مدل هیدرولوژیک با یک مدل آب زیرزمینی جفت شده و همچنین با استفاده از روش‌های تعیین نیاز آبی گیاهان، میزان تاثیر برداشت آب در فصول گرم سال را نیز محاسبه کرد.

تشکر و قدردانی

از مساعدت و همکاری علمی و فنی جناب آقای دکتر علی صفری، آقای دکتر حسین‌زینی‌وند و خانم مهندس شهین مرادی پور تشکر می‌گردد.

منابع

1. Azinmehr, M., A. Bahremand and A. Kabir. 2016. Parameter Sensitivity and Uncertainty Analysis of the Model WetSpa in the Flow Hydrograph Simulation Using PEST, in Dinvar Basin, Karkheh. Journal of Watershed Management Research, 7(13): 72-82.
2. Bahremand, A., J. Corluy, Y.B., Liu and F. De Smedt. 2005. Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia, floods, from Defence to management edited by van Alphen, van Beek and Taal. Taylor- Francis Group, London, pp: 67-74.
3. Bahremand, A., F. De Smedt, J. Corluy, Y.B. Liu, J. Poorova, L. Velcinicka and E. Kunikova. 2007. WetSpa Model Application for Assessing Reforestation Impacts on Floods in Margecany–Hornad Watershed, Slovakia, Water Resource Management, 21: 1373-1391.
4. Berezowski, T., J. Chormanski, O. Batelaan, F. Canters and T. Van de Voorde. 2012. Impact of remotely sensed land-cover proportions on urban runoff prediction. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 16: 54-65.
5. Chormanski, J. and O. Batelaan. 2011. Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with significant contribution of organic soil. Upper Biebrza case study. Land Reclamation, 43(1): 25-35.
6. Henderson, F.M. 1966. Open Channel Flow. New York: McMillan, 522 pp.
7. Imani, R., H. Ghasemieh and A. E. Ouri. 2016. Application and Calibration of WetSpa Hydrological Model for Daily Runoff Simulation for 2007-2008 to 2011-2012 Water years: A Case Study: Balokhluchay Watershed, Ardabil, and Northwestern Iran. International Bulletein of Water Resource & Development, 3(4): 140-152.
8. Karimi, H., H. Zeinivand, N. Tahmasebipour, A. Haghizadeh and M. Miryaghoubzadeh. 2016. Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. Environmental Earth Sciences, 75(664):1-16.
9. Liu, Y.B. and F. De Smedt. 2005. Flood Modeling for Complex Terrain Using GIS and Remote Sensed Information, Water Resources Management, 19: 605–624.
10. Liu, Y.B., S. Gebremeskel, F. De Smedt, L. Hoffmann and L. Pfister. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. Journal of Hydrology, 283: 91-106.
11. Moradipour, S., A. Bahremand, H. Zeinivand and Najafinejad, A. 2015. Distributed Simulation of Runoff in Space and Time using Wetspa Model in Taleghan Watershed. Journal of Watershed Management Research, 6(12): 55-64 (In Persian).
12. Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.
13. Nyenje, P.M. and O. Batelaan. 2009. Estimating the effects of climate change on groundwater recharge and baseflow in the upper Ssezibwa catchment, Uganda. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 54(4): 713-726.
14. Porretta-Brandyk, L., J. Chormanski, A. Andrzej Brandyk and T. Okruszko. 2011. Automatic Calibration of the WetSpa Distributed Hydrological Model for Small Lowland Catchments. Geoplanet: Earth and Planetary Sciences, 43-62.
15. Safari, A., F. De Smedt and Moreda, F. 2012. WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). Journal of Hydrology, 418-419: 78-89.
16. Safari, A and F. De Smedt, 2014. Improving WetSpa model to predict stream flows for gaged and ungaged catchments. Journal of Hydroinformatics, 16: 758-771.
17. 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: 2137-2149.
18. Smakhtin, V.Y., K. Sami and D.A. Hughes. 1998. Evaluating the performance of a deterministic daily rainfall-runoff model in a low flow context. Hydrological Processes, 12: 797-811.
19. U.S. Army Corps of Engineers. 1998. HEC-1 Flood Hydrograph Package: User's Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, and United State. 434pp.
20. Verbeiren, B., T. Van De Voorde, F. Canters, M. Binard, Y. Cornet and O. Batelaan. 2013. Assessing urbanisation effects on rainfall-runoff using a remote sensing supported modelling strategy. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 92-102.
21. Yaghoubi, F and A.R. Bahremand. 2011. Streamflow Simulation using Spatially Distributed Hydrologic Model, WetSpa in Chehel-Chai Watershed in Golestan Province. Journal of Water and Soil Conservation, 18(3): 185-205 (In Persian).
22. Zeinivand, H. 2014. Evaluation the effect of daily precipitation on runoff in Gharehsou basin in Kermanshah province. Ecohydrology, 2(1): 143-152 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]

Evaluating a Continuous Hydrological Model's Ability to Simulate Peak Flows with Short Time Step (Case Study: Zoshk Basin-Mashhad)

Somayeh Mashari Eshghabad[1], Ahmad Nohegar[2], Iman Babaeian[3] and Cyrus Ershadi[4]

1- Ph.D. Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, (Corresponding author: mashari1363@gmail.com)
2- Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tehran University
3- Assistant Professor, I.R.OF IRAN Meteorological Organization, Climatological Research Institute-Mashhad
4- Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University
Received: 3 July 2016 Accepted: 12 Jun 2017

Abstract

Study on natural processes related to water as well as knowledge about runoff and hydrological conditions is necessary for improvement of water management in Iran. Since most of watersheds in Iran are ungauged, so using hydrologic models to simulate the runoff is inevitable. In this study, continuous distributed hydrologic model WetSpa was used to simulate Zoshk watershed runoff. Three basic maps including digital elevation model (DEM), landuse and soil texture are the model inputs. Required meteorological data are potential evapotranspiration, precipitation and temperature. The basin outlet discharge in Zoahk gauging station is used to calibrate and evaluate the model. Calibration period is from 2009/01/01 to 2011/31/12 and validation period is from 2012/01/01 to 2014/31/12. PEST software was used to calibrate the model parameter. Results show good agreement between calculated and measured hydrographs. The model predicts the hourly hydrographs with a good accuracy, so that according to the Nash-Sutcliff criterion the accuracy is more than 85% and 83% for calibration and validation periods, respectively. The result shows that this model only simulates the high flows well and the simulation result is not appropriate for low flows. This is due to the use of river flow for dry season irrigation.

Keywords: Automatic calibration, PEST, Hydrology, Runoff simulation, WetSpa

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.16.1]