دوره‌ی۳۴، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۳۰، بهار ۱۴۰۰، صفحه‌های ۲۹-۱۶
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.342744.1334

پژوهش‌های آبخیزداری

شبیه‌سازی بارش-روان‌آب با نرم‌افزار eWater Source در آبخیز چهل‌چای، استان گلستان

مهدی تیموری
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار مجتمع آموزش عالی شیروان
احسان الوندی
دانش‌آموخته‌ی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: m_teimouri@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۳۰ شهریور ۱۳۹۹

چکیده
به‌دلیل ناهمگنی آبخیزها و ناخطی بودن رفتارهای آب‌شناسی و فرسایشی، شناخت کامل رابطه‌های آن‌ها بسیار پیچیده و مشکل است. بنابراین در ارزیابی و بررسی کردن این سامانه‌ها، نیاز به فرآیند شبیه‌سازی است. در این پژوهش برای شبیه‌سازی کردن روان‌آب آبخیز چهل‌چای (۲۵۶ کیلومترمربع) در استان گلستان، دو نرم‌افزار بارش روان‌آب GR4J و IHACRES در eWater Source با هم مقایسه شد. برای شبیه‌سازی بارش-روان‌آب آبخیز چهل‌چای موقعیت آبخیز با نرم‌افزار رقومی ارتفاع (DEM)، موقعیت زیرحوزه‌ها، ایستگاه‌ها، و خروجی آبخیز، واحدهای عملیاتی (بر اساس نقشه‌ی کاربری زمین) و شبکه‌ی آب‌راه آبخیز در محیط Source شبیه‌سازی کرده شد. نرم‌افزارهای GR4J و IHACRES در محیط Source به‌کار گرفته شد. داده‌های مجموعه ی زمانی پیوسته در گام زمانی روزانه در نظر گرفته شد. برای اجرای نرم‌افزارها مجموعه‌ی زمانی بارش روزانه‌ی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ و تبخیر و تعرق سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ از ایستگاه لزوره به‌کار گرفته شد. این نرم‌افزارها در محیط eWater Source اجرا کرده شد. داده‌های مشاهده‌یی آب‌دهی جریان (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹)، ایستگاه آب‌سنجی لزوره برای واسنجی نرم‌افزارها به‌کار گرفته شد. نتیجه‌ی ارزیابی نرم‌افزارهای GR4J و IHACRES دقت شبیه‌سازی جریان را بر اساس معیار نش- ساتکلیف به‌ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۷۳ در دوره‌ی واسنجی (۱۳۸۰-۱۳۸۹) و ۰/۷۶ و ۰/۶۸ در دوره‌ی اعتبارسنجی (۱۳۸۹-۱۳۹۴) نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کارآیی این نرم‌افزارها در شبیه‌سازی جریان خوب است. نتیجه‌ی ارزیابی نشان‌دهنده‌ی کارآیی بهتر نرم‌افزار GR4J از IHACRES در شبیه‌سازی جریان روزانه است. بر پایه‌ی توانمندی‌های زیاد نرم‌افزار eWater Source، این محیط ابزار شبیه‌سازی مدیریتی مناسبی برای آبخیز دانسته می‌شود.

واژگان کلیدی: بارش-روان‌آب، حوزه‌ی رودخانه‌ی گرگان‌رود، نرم‌افزار eWater Source، IHACRES، GR4J

مقدمه

آبخیز برای واحد آب‌شناسی تنظیم‌کننده‌ی کمیت و کیفیت چرخه‌ی آب است و انسان به دلیل ناآگاهی از این چرخه‌ی پیچیده و نداشتن برنامه‌ریزی در طرح‌ها برای ارتباط‌دادن مدیریت آب و دگرگونی‌های جامعه، متحمل هزینه‌های فراوانی شده است (نوحه گر و همکاران ۲۰۱۶). شبیه‌سازی سامانه‌ی رودخانه یکی از کارهای مهم در مدیریت منابع آب است؛ این موضوع از نظر برنامه ریزی، مدیریت و سیاست‌گزاری منابع آب اهمیت بسیاری دارد (هیو و همکاران ۲۰۱۲). نرم‌افزارهای آماری و آب‌شناسی سابقه‌ی طولانی دارد، اما تجربه نشان‌دهنده‌ی آن است که این نرم‌افزارها اگرچه نقطه‌های قوتی دارد، ضعف‌های بسیار زیادی هم دارد، مانند نیازداشتن به داده‌های زیاد، یکپارچه نبودن، بودن سنجه‌های گوناگون، و واسنجی وقت‌گیر؛ به این سبب به آن‌ها کم‌تر توجه شده است (هارون و همکاران ۲۰۰۲؛ نویان و همکاران ۲۰۱۹).

بنابراین، در سال‌های اخیر نرم‌افزار شبیه‌سازی سامانه‌ی رودخانه با نام eWater Source برای کمک به مدیران در برنامه‌ریزی و مدیریت‌کردن بهتر سامانه‌ی رودخانه طراحی کرده شد. سامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچه Source ابزاری برای پیش‌بینی و تعیین کردن کیفیت آب و اجزای اصلی (مانند شوری، بار معلق و مواد مغذی) در آبخیز و سامانه‌ی رودخانه فراهم می‌کند (راسام و همکاران ۲۰۱۲). سامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچه Sourceبر اثر تکامل تدریجی چارچوب شبیه‌سازی آبخیز E2 طراحی و بر مبنای چارچوب TIME [1] ساخته شد. ابزار TIME کتابخانه‌ی نرم‌افزار زیست‌محیطی است و برای پشتیبانی از برنامه‌های شبیه‌سازی محیط زیستی طراحی شد (ولش و همکاران ۲۰۱۲). بسیاری از محققان برای شبیه‌سازی آبخیز در زمینه‌های مختلف به نرم‌افزار Source توجه کرده اند (راسام و همکاران ۲۰۱۳؛ هوگس و همکاران ۲۰۱۴ و بلاک و همکاران ۲۰۱۴). نتیجه‌ی دوتا و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که ابزار شبیه‌سازی سامانه‌ی رودخانه Sourceبرای مدیریت‌کردن عملیاتی پایدار منابع آب در حوزه‌ی رودخانه‌ی گولبورن استرالیا پذیرفتنی است، و به ورودی‌های کم‌تری از دیگر نرم‌افزارها نیاز دارد. این نرم‌افزار شرایطی را فراهم آورده است که می‌توان با آن نرم‌افزارهای پیش‌بینی مختلف را به‌کار گرفت. نتیجه‌ی ولش و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که نرم افزار Source محیط شبیه‌سازی یکپارچه‌یی شامل الگوریتم‌ها و روی‌کردهایی است که امکان پیش‌بینی‌کردن اجزای مختلف جریان آب از منبع آبخیز تا خروجی رودخانه را فراهم می‌آورد و ابزاری یکپارچه است که برای شبیه‌سازی آبخیز پیشنهاد کرده می‌شود.

شبیه‌سازی فرآیند بارش-روان‌آب و پیش‌بینی آب‌دهی رودخانه گامی مهم در مدیریت و مهار سیلاب‌ها، طراحی سازه‌های آبی در آبخیزها و مدیریت خشک‌سالی است (باگل و همکاران ۲۰۱۹). یکی از ویژگی‌های سامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچه‌ی Source، شبیه‌سازی فرآیند بارش-روان‌آب آبخیز است. در این بسته‌ی نرم‌افزاری ۶ نرم‌افزار بارش-روان‌آب روزانه AWBM، IHACRES، SIMHYD، SMARG، GR4J و Sacramento برای انتخاب کاربران گذاشته شده است (دوتا و همکاران ۲۰۱۲).

بسیاری از متخصصان نرم‌افزارهای آب‌شناسی را برای شبیه‌سازی‌کردن بارش-روان‌آب به‌کار برده اند. هارلان و همکاران (۲۰۱۰) نرم‌افزارهای GR4J و NRECA را برای شبیه‌سازی کردن فرآیند بارش-روان‌آب حوزه‌ی رودخانه‌ی سیتاروم هالو به‌کار بردند. نتیجه کارآیی بهتر نرم‌افزار GR4J (معیار نش-ساتکلیف ۰/۷۸) از NRECA (معیار نش-ساتکلیف ۰/۷۳) در شبیه‌سازی کردن جریان روزانه بود. نتیجه‌ی رواسوکا و همکاران (۲۰۱۳) در ارزیابی‌کردن نرم‌افزار GR2M دقت شبیه‌سازی جریان را بر اساس معیار نش-ساتکلیف ۰/۸۵ نشان داد، و نشان داد که اگرچه این نرم‌افزار تنها دو سنجه دارد، اما در شبیه‌سازی‌کردن جریان‌های ماهانه کاملاً رضایت‌بخش عمل می‌کند، و می‌تواند ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی و مدیریت کردن منابع آب به‌ویژه در منطقه‌هایی با داده‌های ناکافی باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) سه نرم‌افزار Simhyd، Sacramento و GR4J را برای برآوردکردن آب‌دهی روزانه‌ی آبخیز ریف به‌کار بردند. نتیجه نشان داد که عمل‌کرد سه نرم‌افزار بر پایه‌ی ضریب تعیین و معیار نش-ساتکلیف مناسب است، اما بر پایه‌ی معیار نش-ساتکلیف، نرم‌افزار GR4J بیش‌ترین کارآیی را نشان داد. هوگز و همکاران (۲۰۱۳) با مقایسه‌کردن نرم‌افزارهای GR4J و نرم‌افزار اصلاح‌شده‌ی آن در آبخیز دارلینگ در غرب استرالیا به این نتیجه رسیدند که در حالت اصلاح‌شده‌ی نرم‌افزار GR4J بین ذخیره‌ی آبخیز و عمق مشاهده‌ی آب‌های سطحی رابطه‌ی بهتری هست. نتیجه‌ی توره و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی دو نرم‌افزار GR2M و GR4J در رودخانه‌ی کولونتو نشان داد که کارآیی هر دو بر پایه‌ی معیار نش-ساتکلیف مناسب بود، اما GR4J عمل‌کرد بهتری داشت. یعقوبی و همکاران (۲۰۱۳) عمل‌کرد سه نرم‌افزار مفهومی و پیوسته‌ی GR4J، HBV-light و IHACRES را در شبیه‌سازی بارش-روان‌آب آبخیز نیمه‌خشک اعظم هرات ارزیابی کردند. ارزیابی کارآیی با معیار نش-ساتکلیف نشان داد

1 -The Invisible Modeling Environment

که عمل‌کرد هر سه در شبیه‌سازی جریان مناسب، اما کارآیی نرم‌افزار GR4J بیش‌تر است. زندی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که دو نرم‌افزار بارش-روان‌آب GR4J و GR2M جریان را با دقت متوسط تا خوب شبیه-سازی می‌کنند، ولی کارآیی نرم‌افزار GR2M بر پایه‌ی معیار نش- ساتکلیف بیش‌تر است. ابراهیمی و حمزه (۲۰۱۵) روان‌آب را با نرم‌افزار IHACRES با آمار روزانه‌ی دوره‌ی ۱۹۸۶-۲۰۰۷ شبیه‌سازی کردند. نتیجه‌های تحقیق کارآیی ۶۵ درصدی نرم‌افزار را در پیش‌بینی کردن وقوع سیلاب در منطقه نشان داد. موالهی و همکاران (۲۰۱۳) برای شبیه‌سازی‌کردن روان‌آب نرم‌افزارهای GRS (GR1A، GR2M و GR4J) را به‌کار بردند. نتیجه‌ها نشان داد که از نرم‌افزارهای GRS، کارآیی GR1A در شبیه‌سازی‌کردن روان‌آب سالانه بیش‌تر از GR2M و GR4J است. نتیجه‌های زندی‌درەغریبی و همکاران (۲۰۱۷) نشان‌دهنده‌ی عمل‌کرد رضایت-بخش دو نرم‌افزار آب‌شناسی IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی جریان ماهانه‌ی آبخیز دره‌تخت بود. آن‌ها نشان دادند که عمل‌کرد نرم‌افزار IHACRES (معیار نش-ساتکلیف ۰/۷ و معیار خطای ۰/۵۶) بهتر از نرم‌افزار GR2M است.

آبخیز چهل‌چای استان گلستان از حوزه‌های مهم ولی بحرانی از نظر تغییر کاربری، فرسایش و سیل‌خیزی در استان گلستان است. عامل‌های طبیعی (مانند شیب زیاد و سیل‌خیزی) و فعالیت انسانی (مانند تغییر کاربری زمین جنگل و تبدیل آن به زمین‌های زراعی، کاربرد نادرست از زمین، و کشاورزی روی زمین‌های با شیب زیاد، چرای بی‌رویه‌ی دام در جنگل، و جاده‌سازی نادرست) موجب بروز یافتن فرسایش‌ها و حرکت‌های توده‌یی مختلف در آبخیز چهل‌چای شده است. این آبخیز در سال‌های اخیر تغییرات شدیدی کرده، و کاربرد نادرست از آبخیز باعث کاهش یافتن پوشش گیاهی و افزایش‌یافتن سرعت جریان و ضریب روان‌آب شده است. در این تحقیق برای پیش‌بینی فرآیند جریان، بارش-روان‌آب آبخیز چهل‌چای استان گلستان در محیط نرم‌افزار Source با نرم‌افزارهای IHACRES و GR4J شبیه‌سازی شد. شناساندن نرم‌افزار شبیه‌سازی مدیریتی آبخیز eWater Source برای شبیه سازی کردن بارش-روان‌آب آبخیز چهل‌چای استان گلستان یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

معرفی نرم‌افزار eWater Source: نرم‌افزار Source چارچوبی برای شبیه‌سازی‌کردن کمیت آب و آلاینده‌های جریان در سطح آبخیز، رودخانه‌ی اصلی، تالاب‌ها و دریاچه‌ها است (شکل ۱).Source چارچوبی از واسط کاربر برای ورودی، شبیه‌سازی و خروجی جریان و اطلاعات مرتبط با منابع آب است. این نرم‌افزار به همراه مجموعه‌یی از نرم‌افزارها و اطلاعات برای شبیه‌سازی متغیرهای آبخیز (بارش، تبخیر، کاربری زمین و پوشش گیاهی)، اثر روان‌آب، رسوب و آلاینده‌ها به‌کار گرفته می‌شود (راسام ۲۰۱۱؛ دوتا و همکاران ۲۰۱۳).

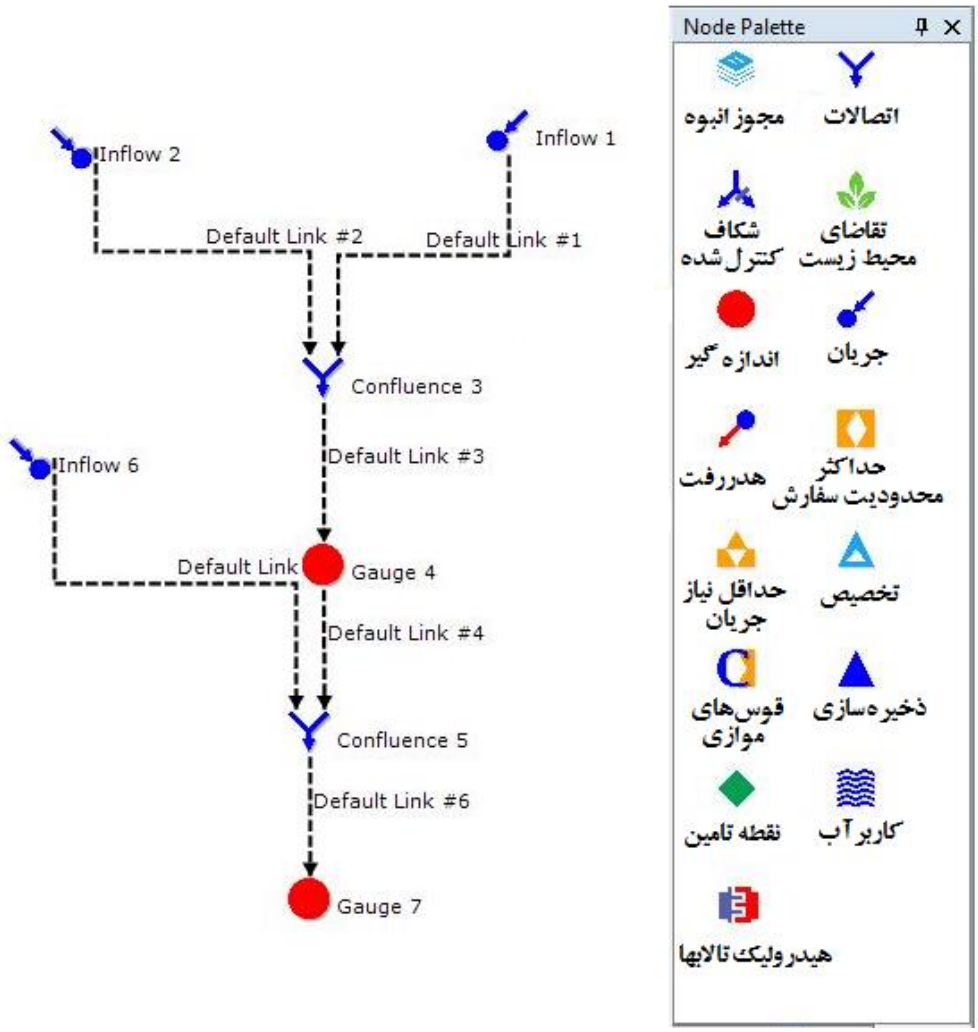
نرم‌افزار Source براساس واحدهای ساختمانی زیرحوزه، گره

شکل ۱- اجزای شبیه‌سازی آبخیز در نرم‌افزار Source (گروه پژوهشی مدیریت آب، ۲۰۱۹).

و پیوندها طراحی شد. زیرحوزه واحد مکانی پایه است، که از واحدهای پاسخ آب‌شناسی (یا واحدهای عملیاتی) بر اساس پاسخ یا رفتار مشترک تشکیل می‌شود. گره برای نشان‌دادن یک یا چند مکان فیزیکی در امتداد رودخانه به‌کار گرفته می‌شود و نماینده‌ی خروجی زیرحوزه، تلاقی جریان یا مکان‌هایی مانند سد است. در محیط Source مجموعه‌یی از گره‌ها برای نشان‌دادن فرآیندهای مختلف جریان طراحی شده است. گره‌ها به دو نوع فیزیکی و مقررات/مدیریت طبقه‌بندی می‌شود. گره‌های فیزیکی برای بررسی هم‌گرایی (تلاقی دو انشعاب)، واگرایی (انشعاب) و هدررفت، و گره مقررات/مدیریت برای به‌کارگیری قانون‌های

مدیریتی در تنظیم‌کردن رودخانه به‌کار گرفته می‌شود. پیوندها نماینده‌ی بازه‌هایی از رودخانه اســت. پیوند نشان‌دهنده‌ی طول جریان است و برای انتقال جریان بین گره به‌کار گرفته می‌شود.

در شــکل ۲ یک شبکه‌ی سامانه‌ی رودخانه با ساختار گره-پیوند در ســامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچه‌ی Source آورده شده است (ولش و همکاران ۲۰۱۳).



شکل۲- نرم‌افزار نمایی گره-پیوند در محیط Source.

در داخــل موتــور شبیه‌ســازی نرم‌افــزار Source، فرآیندهای فیزیکی، نظارتی و قانون‌های مدیریتی، تنظیم ســامانه‌ی رودخانه در شــش زیر جزء اصلی روان‌آب آبخیز، اثر متقابل رودخانه و آب سطحی دشت سیلابی با آب‌های زیرزمینی، کیفیت آب، مقررات رودخانه و ذخیره‌سازی، تقاضای شهری، آبیاری و محیط‌زیستی، و قانون‌های مدیریت رودخانه آورده شده است (راسام و همکاران ۲۰۱۲).

روان‌آب آبخیز: ســامانه‌ی شبیه‌ســازی یکپارچــه Source شــامل چارچوب شبیه‌ســازی بارش-روان‌آب برای برآورد کردن آب ســالانه‌ی آبخیــز و ویژگی‌های روان‌آب اســت. این نرم‌افزار امــکان انتخاب‌کردن یکی از ۶ نرم‌افزار بــارش-روان‌آب روزانه‌ی AWBM، IHACRES، SIMHYD، SMARG، GR4J، Sacramento را برای کاربران فراهم می‌آورد.

اثر متقابل رودخانه و آب سطحی دشت سیلابی با آب‌های زیرزمینی: یگان [۲] آب‌هــای زیرزمینی در Source، تبادل آب بین رودخانه و ســفره‌ی آب زیرزمینــی را در طول هر پیوند، در

2- module

شـــبکه‌ی گره-پیونـــدSource پیش‌بینی می‌کنـــد. در یگان شبیه‌ســـازی Source، تغییـــر جریـــان آب‌هـــای زیرزمینی (هدررفت یـــا افزایش) با روش‌های وارد کردن نرم‌افزارهای آب زیرزمینی و محاسبه‌های تغییر جریان با قانون دارسی، یا وارد کردن تبادل جریان از نرم‌افزارهای آب زیرزمینی موجود، مانند: MODFLOW است.

کیفیت آب: امـــکان اندازه‌گیری کیفیـــت روان‌آب در نرم‌افزار Source هســـت. نرم‌افزارهای تولید اجزا (برای مثال رسوب، مواد مغذی، نمک) در سامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچهSource در مقیاس زیرحوزه یا واحد عملیاتی گذاشـــته شده‌اســـت. این نرم‌افزارها شامل نرم‌افزارهای مبتنی بر بار معلق و نرم‌افزارهای نسبت تحویل مواد مغذی است.

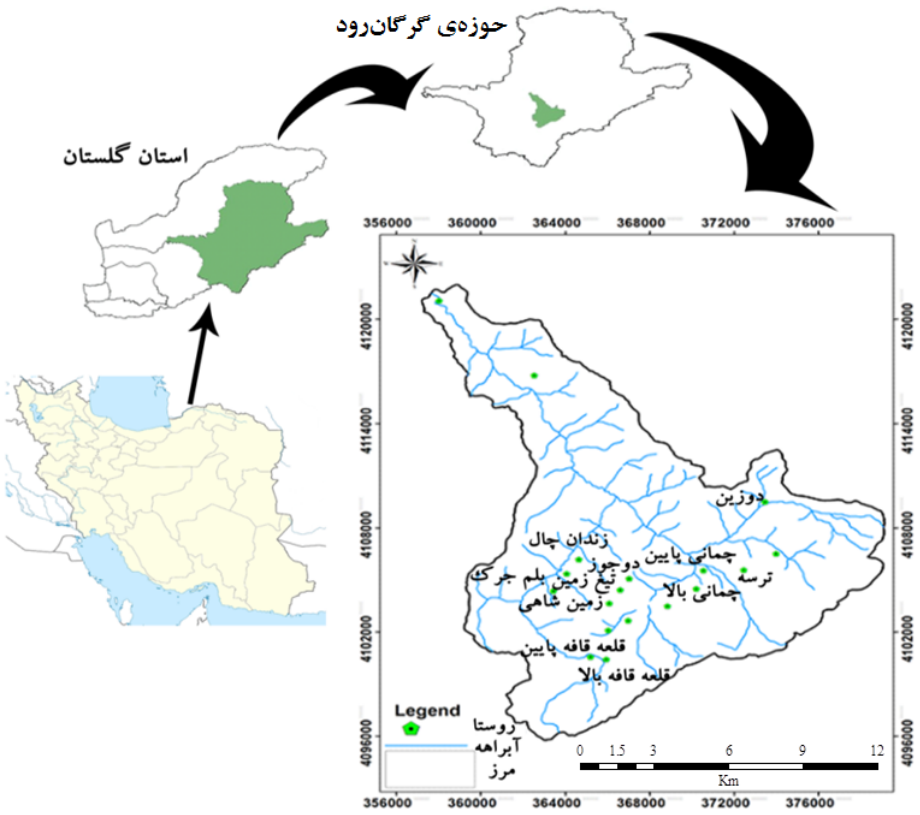
مقررات رودخانه و ذخیره‌ســـازی: در ســـامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچـــه‌یSource برای برآورد کـــردن این که چگونه آب نیازداشته از مقدار ذخیره‌شده کاهش یابد، دو روش رتبه‌بندی قانون‌ها و برنامه‌نویسی خطی شـــبکه(NetLP) به‌کار گرفته شده‌اســـت. در روش مبتنی بر قانون‌ها زمان‌های اجرا سریع، و فرآیندهای نرم‌افزار پیچیده اســـت، اما نمی‌تواند راه‌حل موثری دهد. روش NetLP می تواند راه‌حل‌های مدیریتی کارآمدتری برای چندین مشـــکل بدهد، اما زمان اجـــرای آن طولانی‌تر و تعداد گره‌های آن بیش‌تر است.

تقاضای شـــهری، آبیاری و محیط زیســـتی: تقاضای آب در ســـامانه‌ی رودخانـــه تفاوت‌های زیادی بر پایـــه‌ی نوع کاربرد، ملاحظه‌ی آب‌وهوایی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد کاربر به‌وجود می‌آورد. شبیه‌ســـازی تقاضا به سیاســـت‌گزاران و مدیران برای به‌دســـت آوردن احتمال تغییر ســـامانه، تغییر نظارتی، تغییر زیربنایی، تغییر فیزیکی و آب‌وهوایی کمک می‌کند. ســـامانه‌ی شبیه‌ســـازی یکپارچهSource چندین نرم‌افزار پیچیده برای برآوردکردن تقاضای شهری، آبیاری و زیست‌محیطی دارد.

قانون‌های مدیریت رودخانه: تنظیم‌کردن رودخانه قانون‌های پیچیده‌یی برای مدیریت‌کردن آب دارد، که ســـامانه‌ی ارزیابی منابع(RAS)[3] نامیده می‌شـــود و برای تقسیم‌کردن منابع آبِ در دســـت‌رس در میان مصرف‌کنندگان آب است. در سامانه‌یِ شبیه ســـازی یکپارچهSource امکان ایجادکردن سامانه‌های ارزیابـــی منابـــع متعدد بـــرای کاربران با رابط مشـــترک برای شبیه‌سازی مدیریت منابع آب فراهم شده است.

منطقه‌ی بررسی‌شـــده: آبخیز چهل‌چای در شـــرق اســـتان گلســـتان بر دامنه‌های شـــمالی البرز شـــرقی، بین ´۵۹ °۳۶ تا ´۱۳ °۳۷ عرض شـــمالی و ´۲۳ °۵۵ تا ´۳۸ °۵۵ طول شـــرقی است. مساحت این آبخیز حدود ۲۵۶ کیلومترمربع و کاربری عمده‌ی آن جنگل (۵۹٪) و زراعت (۳۹٪) اســـت (شـــکل ۳). ساختار اقتصادی آبخیز کشـــاورزی زراعی و دام‌پروری است. در آبخیز چهل‌چای مشـــکلات زیادی هســـت، از جمله تغییر گسترده‌ی کاربـــری زمین از جنگل به زمین‌های زراعـــی در دامنه‌های با شیب زیاد، حســـاس‌بودن بعضی از سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش آبی، فشار چرای دام، رسوب‌دهی زیاد، کاهش کیفیت آب، ســـیل‌خیزی زیاد، تخریب زیســـت‌بوم و کاهش اشتغال و درآمد (شرکت مهندسین مشاور روان‌آب ۲۰۱۰).

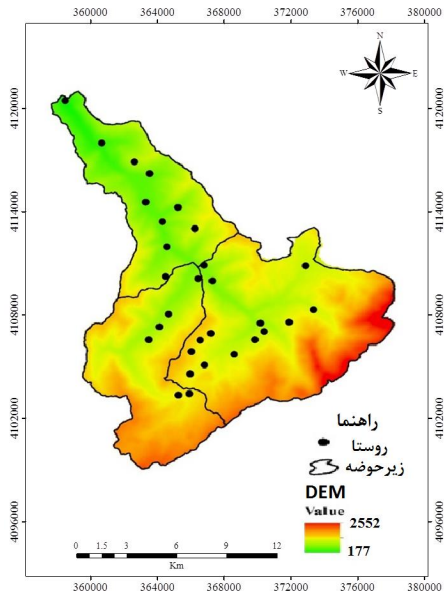
3-Resource Assessment Systems



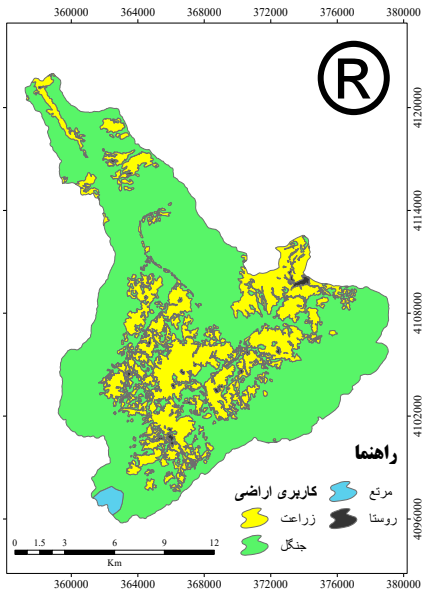
شکل۳- موقعیت جغرافیایی آبخیز چهل‌چای استان گلستان.

روش تحقیق

برای شبیه‌سازی بارش-روان‌آب در آبخیز چهل‌چای استان گلستان نرم‌افزار Source به‌کار گرفته شد. برای شبیه‌سازی بارش-روان‌آب، موقعیت جغرافیایی آبخیز با مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر (شکل ۴)، موقعیت زیرحوزه‌ها، موقعیت ایستگاه‌ها (لزوره)، موقعیت خروجی آبخیز، واحدهای عملیاتی (بر اساس نقشه‌ی کاربری زمین (شکل ۵) و شبکه‌ی آبراه آبخیز و محل‌های تلاقی جریان در محیط Source شبیه‌سازی شد (شکل ۶). برای تهیه‌کردن نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاعی نقشه‌ی ۱/۵۰۰۰۰ پستی و بلندی به‌کار گرفته شد.



شکل۴- مدل رقومی ارتفاعی آبخیز چهل‌چای (متر).



شکل۵- نقشه‌ی کاربری زمین آبخیز چهل‌چای.

شبیه‌سازی بارش- روان‌آب آبخیز چهل چای در Source

برای شبیه‌سازی بارش-روان‌آب نرم‌افزارهای GR4J و IHACRES در محیط Source به‌کار گرفته شد. در این نرم‌افزارها داده‌های مجموعه‌ی زمانی پیوسته در گام زمانی روزانه داده شد. مجموعه‌ی زمانی بارش روزانه‌ی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹، تبخیر و تعرق ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ و دمای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ از ایستگاه لزوره به‌کار گرفته شد. نرم‌افزارها در محیط Source اجرا کرده شد.

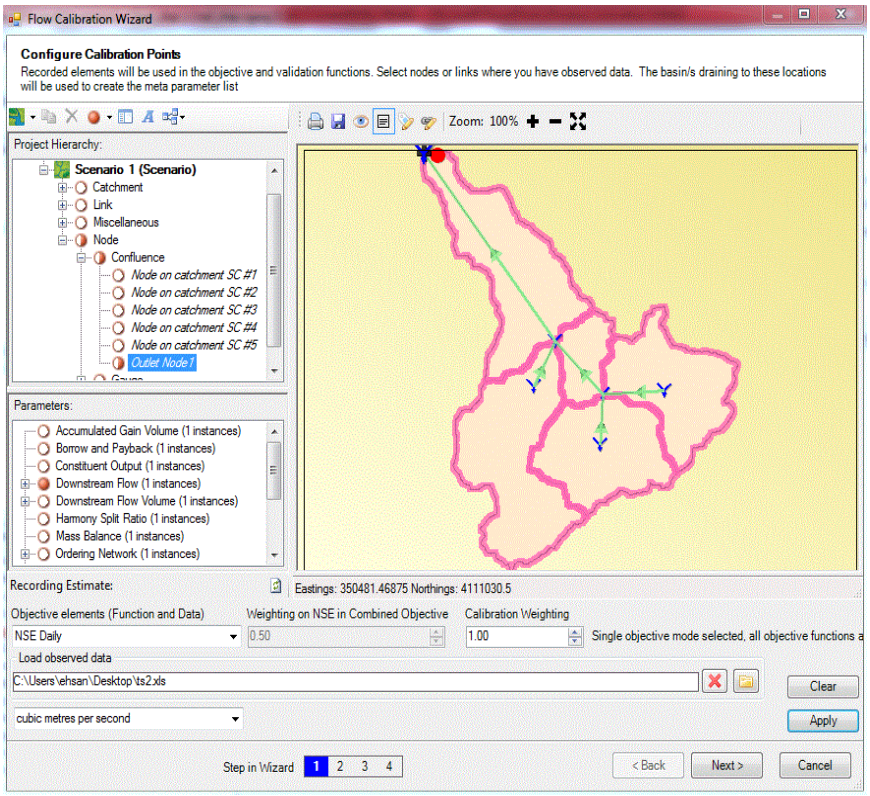
نرم‌افزار GR4J: پایه‌ی کارکرد نرم‌افزار بارش-روان‌آب روزانه است. چهار سنجه در آن است: X1، بیشینه‌ی ظرفیت ذخیره‌سازی (میلی‌متر)، X2، ضریب تبادل آب‌های زیرزمینی (میلی‌متر)، X3، بیشینه‌ی ظرفیت ذخیره‌سازی روندیابی یک روز قبل (میلی-متر)، و X4، زمان پایه‌ی آبنگار واحد UH1 (روز) است. این چهار سنجه عددهای حقیقی است. اندازه‌های X1 و X3 مثبت است، X4 بیش‌تر از ۰/۵ و X2 می‌تواند به روش مثبت، صفر یا منفی باشد (هارلان و همکاران ۲۰۱۰).

نرم‌افزار IHACRES: شبیه‌ساز آب‌شناسی ساده‌یی با داده‌های ورودی کم است که در آن مجموعه‌ی زمانی بارندگی و دما برای ورودی‌های نرم‌افزار و برای شبیه‌سازی جریان به‌کار گرفته شده است. آب‌دهی جریان مشاهده‌یی برای تنظیم‌کردن نرم‌افزار و بررسی کردن دقت نتیجه‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی به‌کار گرفته می‌شود (کلوز و همکاران ۲۰۰۴).

واسنجی و اعتبار سنجی نرم‌افزارها در Source

پس از شبیه‌سازی کردن بارش-روان‌آب در محیط Source نرم‌افزارها واسنجی کرده شد. واسنجی در Source در چند مرحله انجام شد. مکان تنظیم (ایستگاه/ بازه) ایستگاه آب‌سنجی لزور گرفته شد. در محیط Source چهار تابع هدف NSE، NSE with bias penalty،NSE and Flow Duration ، وMinimise Absolute Bias درنظر گرفته شد. معیار نش-ساتکلیف روزانه برای تابع هدف بود. داده‌های مشاهده‌یی (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹) بارگذاری، و یک دوره‌ی شش ماهه قبل از سال ۱۳۸۰ برای تمرین در نظر گرفته شد. برای بهینه‌سازی سنجه‌های برگزیده تابع بهینه‌سازی انتخاب می‌شود. در شکل ۷ مراحل واسنجی نرم‌افزارها در محیط Source آورده شده است.

پس از واسنجی‌کردن نرم‌افزارها، دوره‌ی داده‌برداری پنج ساله‌ی ۱۳۹۴-۱۳۸۹ برای اعتبارسنجی نرم‌افزارها درنظر گرفته شد تا مشخص شود بر پایه‌ی سنجه‌های بهینه‌ی به‌دست آمده در واسنجی، نتیجه‌های نرم‌افزار در دوره‌ی اعتبارسنجی هم پذیرفتنی است یا خیر. عبارت اعتبارسنجی نرم‌افزار برای منطقه‌یی خاص کاربرد دارد و نباید این تصور غلط به وجود آید که نرم‌افزار برای همه‌ی نقطه‌ها اعتبارسنجی شده است.



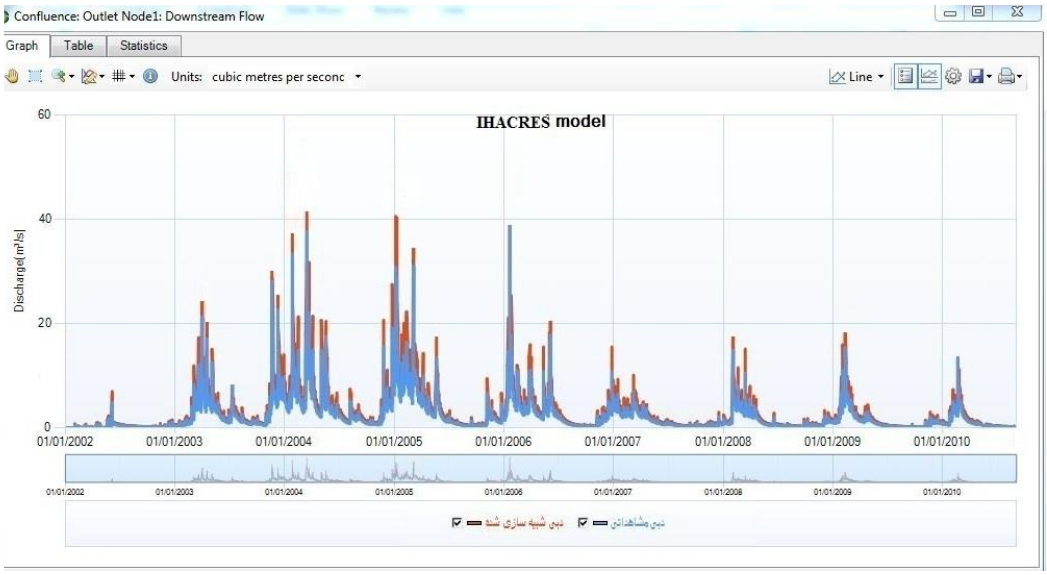
شکل۷- مرحله‌های واسنجی در محیط نرم‌افزار Source.

نتایج و بحث

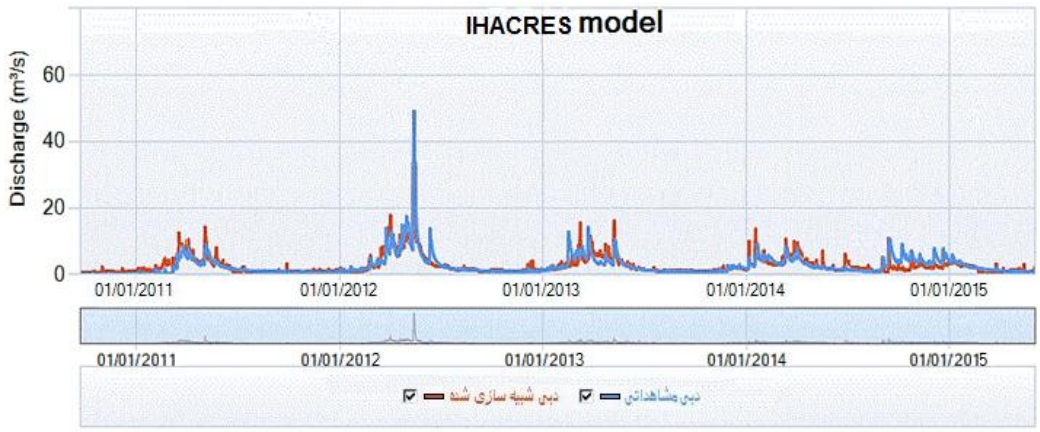
مقایسه‌ی نموداری آب‌دهی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌یی

نقشه‌های لازم برای نرم‌افزار Source از نقشه‌های ورودی استخراج، و نرم‌افزار با این نقشه‌ها و داده‌های بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و آب‌دهی اندازه‌گیری‌شده اجرا کرده شد. در شبیه‌سازی بارش-روان‌آب، دوره‌ی داده‌برداری نه ساله‌ی ۱۳۸۰-۱۳۸۹ برای واسنجی و دوره‌ی پنج ساله‌ی ۱۳۸۹-۱۳۹۴ برای اعتبارسنجی نرم‌افزارها انتخاب کرده شد.

در شبیه‌سازی برای نرم‌افزار IHACRES داده‌های دما، بارش و آب‌دهی مشاهده‌یی ایستگاه لزوره ورودی نرم‌افزار گرفته شد. نرم-افزار در سال‌های داده‌برداری ۱۳۸۰-۱۳۸۹ واسنجی و در سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۴ اعتبارسنجی کرده شد. مقایسه‌ی ظاهری آب نگارهای مشاهده‌یی و شبیه‌سازی‌شده امکان ارزیابی‌کردن کلی و سریع دقت نرم‌افزارها را فراهم می‌کند. نتیجه‌های نموداری مقایسه‌ی آب‌دهی از اجرای نرم‌افزار IHACRES با سنجه‌های واسنجی‌شده و آب‌دهی اندازه‌گیری‌شده برای دوره‌ی داده‌برداری ۱۳۸۰-۱۳۸۹ در شکل ۸ و مقایسه‌ی نموداری آب‌دهی مشاهده‌یی و شبیه‌سازی‌شده‌ی روزانه‌ی دوره‌ی اعتبارسنجی با نرم‌افزار IHACRES در شکل ۹ آورده شده است. نرم‌افزار IHACRES توانایی کم‌تری از GR4M در برآوردکردن اندازه‌های آب‌دهی-های بیشینه‌ی جریان روزانه‌ی آبخیز چهل‌چای داشت، و اندازه‌ی بیش‌تر آب‌دهی‌های شبیه‌سازی‌شده، بیش‌تر از آب‌دهی‌های مشاهده‌یی است (شکل ۸). جدول ۱ اندازه‌های شاخص ارزیابی نرم‌افزار IHACRES را برای دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. نرم‌افزار IHACRES با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۳ در دوره‌ی واسنجی و ۰/۶۸ در دوره‌ی اعتبارسنجی، توانایی لازم را برای شبیه‌سازی کردن اندازه‌های روزانه‌ی آب‌دهی آبخیز چهل‌چای دارد.

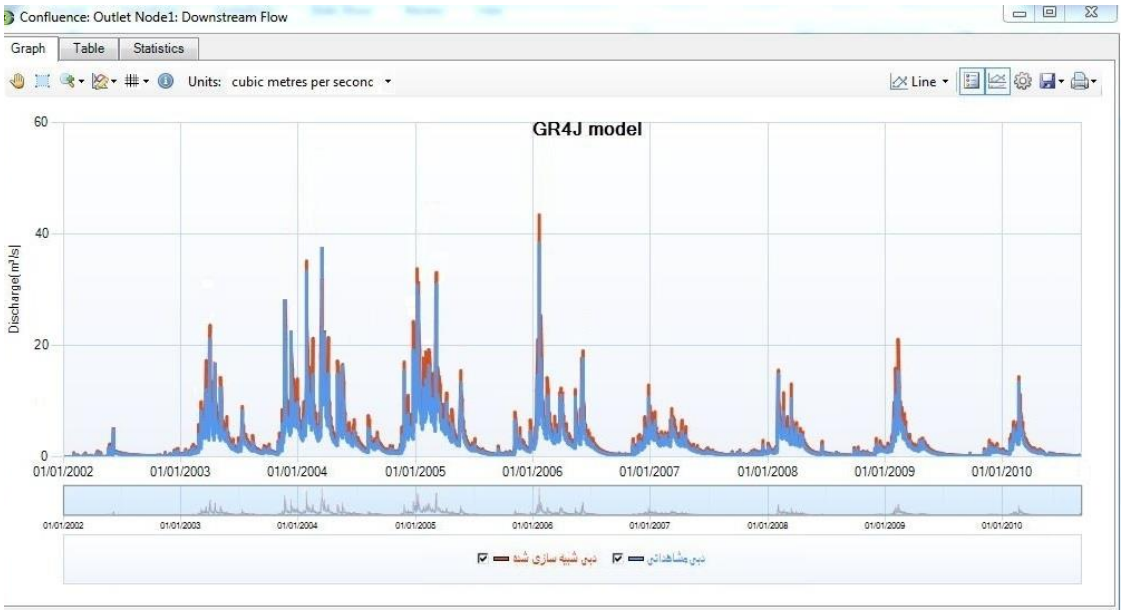


شکل۸- مقایسه نموداری آب‌دهی مشاهده‌یی و شبیه سازی شده‌ی روزانه در دوره‌ی واسنجی با نرم‌افزار IHACRES

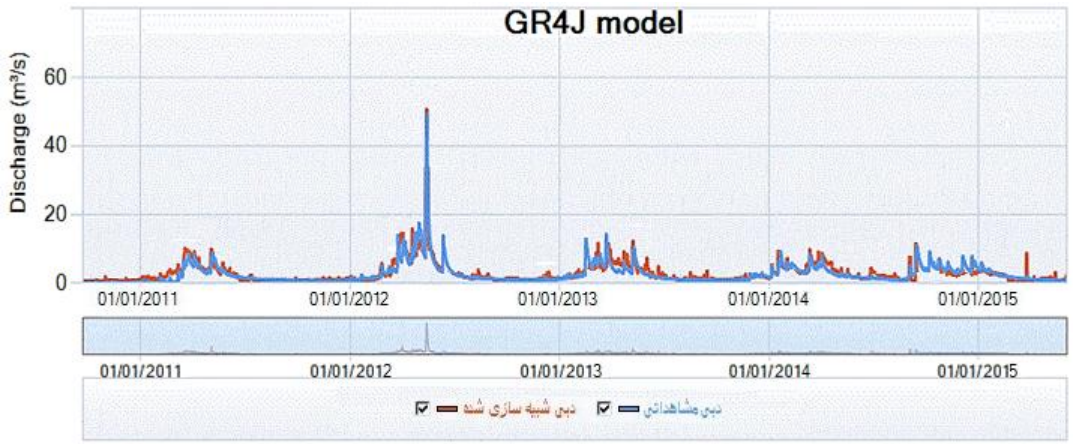


شکل۹- مقایسه‌ی نموداری آب‌دهی مشاهده‌یی و شبیه‌سازی شده‌ی روزانه در دوره‌ی اعتبار سنجی با نرم‌افزار IHACRES.

داده‌های لازم برای نرم‌افزار GR4M بارش، تبخیروتعرق و آب‌دهی است. نرم‌افزار GR4M با داده‌های مشاهده‌یی آب‌دهی واسنجی (۱۳۸۰-۱۳۸۹) و اعتبارسنجی (۱۳۸۹-۱۳۹۴) شد. اندازه‌های سنجه‌های واسنجی‌شده‌ی نرم‌افزار GR4M به‌ترتیب در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی برای ضریب X۱، ۲/۷۱ و ۶/۳۴، ضریب X۲، ۰/۸۱ و ۲/۷۹، ضریب X3، ۲/۸۳ و ۶/۵۵ و ضریب X4، ۳/۶۲ و ۱/۴۳ بود. نتیجه‌های نموداری مقایسه‌ی آب‌دهی از اجرای نرم‌افزار GR4J با سنجه‌های واسنجی‌شده و آب‌دهی اندازه گیری‌شده برای دوره‌ی داده‌برداری ۱۳۸۰-۱۳۸۹ در شکل ۱۰، و مقایسه‌ی نموداری آب‌دهی مشاهده‌یی و شبیه‌سازی‌شده‌ی روزانه در دوره‌ی اعتبارسنجی برای دوره‌ی داده‌برداری ۱۳۸۹-۱۳۹۴ با نرم‌افزار GR4J در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نرم‌افزار GR4M توانایی بیش‌تری از IHACRES در برآورد کردن اندازه‌های آب‌دهی‌های بیشینه‌ی جریان روزانه‌ی آبخیز چهل‌چای داشت (شکل ۱۰ و ۱۱). عمل‌کرد نرم‌افزار GR4M الگوی تغییرات جریان حوزه را با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۹ و ۰/۷۶ به‌ترتیب برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی شبیه‌سازی کرده است (جدول ۱).



شکل۱۰- مقایسه‌ی نموداری آب‌دهی مشاهده‌یی و شبیه‌سازی شده‌ی روزانه در دوره‌ی واسنجی با نرم‌افزار GR4J.



شکل۱۱- مقایسه‌ی نموداری آب‌دهی مشاهده‌یی و شبیه‌سازی شده‌ی روزانه در دوره‌ی اعتبار سنجی با نرم‌افزار GR4J.

نتیجه‌های آماری ارزیابی نرم‌افزارهای GR4J و IHACRES در Source در شبیه‌سازی آب‌دهی جریان در جدول ۱ آورده شده است. برای ارزیابی کردن نرم‌افزارها دو معیار نش-ساتکلیف و خطای کلی تعادل آب به‌کار گرفته شد. نتیجه‌های ارزیابی نرم‌افزار GR4J در Source دقت شبیه‌سازی جریان را با معیار نش–ساتکلیف ۰/۷۹ در دوره‌ی واسنجی (۱۳۸۰-۱۳۸۹) و ۰/۷۶ در دوره‌ی اعتبارسنجی (۱۳۸۹-۱۳۹۴) نشان می‌دهد. نتیجه‌ی ارزیابی نرم‌افزار IHACRES در Source دقت شبیه‌سازی جریان را با معیار نش–ساتکلیف ۰/۷۳ در دوره‌ی واسنجی و ۰/۶۸ در دوره‌ی اعتبارسنجی نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این نرم افزارها کارآیی خوبی در شبیه‌سازی جریان دارند، که با نتیجه‌های ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)، هوگز و همکاران (۲۰۱۳)، توره و همکاران (۲۰۱۴)، موالهی و همکاران (۲۰۰۶) و زندی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی دارد. نتیجه‌های ارزیابی نشان‌دهنده‌ی کارآیی بهتر نرم‌افزار GR4J از IHACRES برای شبیه‌سازی کردن جریان روزانه نیز است، که با نتیجه‌ی هارلان و همکاران (۲۰۱۰)، کونات و الدو (۲۰۱۹) و یعقوبی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

جدول۱- اندازه‌های معیارهای کارآیی نرم‌افزارهای GR4J و IHACRES در Source در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی.

فرآیند	معیار	مدل‌های بارش-روان‌آب	
		GR4J	IHACRES
واسنجی (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹)	NSE	0.79	0.73
	WBE (%)	-1.91	-2.37
اعتبارسنجی (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴)	NSE	0.76	0.68
	WBE (%)	-5.37	-6.89

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف معرفی‌کردن نرم‌افزار Source برای محیط شبیه‌سازی مدیریتی آبخیز و شبیه‌سازی کردن بارش-روان‌آب در آبخیز چهل‌چای استان گلستان با نرم‌افزارهای IHACRES و GR4J در محیط نرم‌افزار Source انجام شد. واسنجی و اعتبارسنجی (جدول۱) دو نرم‌افزار IHACRES و GR4J نشان داد که نتیجه‌ی اعتبارسنجی نرم‌افزارها ضعیف‌تر از واسنجی است، که با کروک و همکاران (۲۰۰۵) و رواسوکا و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در مجموع، در بخش‌هایی از طول دوره نتیجه‌ی نرم افزارها رضایت‌بخش، و در دوره‌هایی نیز روند شبیه‌سازی ضعیف بود. این موضوع می‌تواند به‌دلیل حساسیت نرم‌افزارها به طول دوره‌ی واسنجی (زارعی و همکاران ۲۰۱۲؛ کروک و همکاران ۲۰۰۵) و خطای ساختمان ریاضی نرم‌افزارها (مولهی و همکاران ۲۰۰۶) باشد. اندازه‌های مثبت و منفی اریبی به‌ترتیب بیانگر کم‌تر و بیش‌تر بودن متوسط جریان شبیه‌سازی‌شده با نرم‌افزارها از جریان مشاهده‌یی است (کروک و همکاران ۲۰۰۵). هر دو نرم‌افزار در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی جریان را بیش‌تر از جریان مشاهده‌یی شبیه‌سازی کردند (شکل ۸ تا ۱۱).

بر پایه‌ی این نتیجه‌ها می‌توان به این جمع‌بندی رسید که نرم‌افزارهای IHACRES و GR4J به‌دلیل داشتن انحراف‌های کم‌تر و توانایی بسیار خوب در شبیه‌سازی‌کردن جریان روزانه، عمل‌کرد رضایت‌بخشی در آبخیز بررسی‌شده دارند، و برای شبیه‌سازی کردن بارش-روان‌آبِ پیوسته در این منطقه عمل‌کرد مناسبی دارند. این نرم‌افزارها به‌دلیل لازم داشتن داده‌های اندک، بی صرف زمان و هزینه‌ی زیاد برای تهیه‌کردن داده‌ها، به‌آسانی ممکن است در بسیاری از آبخیزها به‌کار برده شود. از آن‌جا که نرم‌افزارهای آب‌شناسی برای شبیه‌سازی‌کردن روان‌آب به داده‌های محدود نیاز دارند، می‌توان آن‌ها را در آبخیزهایی که داده‌های کمی از آن‌ها در دست است به‌کار گرفت.

محیط شبیه‌سازی مدیریتی آبخیزهای Source دانش محلی، داده‌ها و نرم‌افزارها را به بهترین شیوه برای ایجادکردن حالت‌های ممکن و گزینه‌های شفاف، برای بهتر مدیریت‌کردن آبخیز ترکیب می‌کند. این نرم‌افزار بسیار انعطاف‌پذیر است و می‌توان آن را برای ایجاد کردن نرم‌افزاری یکپارچه و متناسب با مشکل طراحی کرد. از مزیت‌های Source در مدیریت‌کردن آبخیز بررسی کردن حجم و کیفیت روان‌آب سطحی و آب‌های زیرزمینی، به‌راه انداختن نرم‌افزارهایی که اکنون هست، مانند نرم‌افزارهای روان‌آب سطحی یا نرم‌افزارهای کیفیت آب، پیش‌بینی‌کردن تاثیر تغییر اقلیم، تغییر کاربری زمین، یا تغییر مدیریتی بر حجم و کیفیت روان‌آب واردشده به رودها، فهمیدن اثرهای آتش‌سوزی، سیل یا خشک‌سالی بر وضعیت منابع آب، در نظرگرفتن اثر تغییر کاربری زمین بر کمیت و کیفیت آب، و گسترش‌دادن نرم‌افزار متناسب با نیازهای جدید است.

محیط شبیه‌سازی مدیریتی آبخیز Source بر پایه‌ی توانمندی‌های پیش‌گفته منجر به ساختارمند شدن تصمیم‌ها در فرآیند ارزیابی و مدیریت کردن آبخیز خواهد شد. از مزیت‌های چارچوب شبیه‌سازی بارش-روان‌آب (Source) توانمندی اجرای نرم-افزارهای بارش- روان‌آب مختلف در سامانه‌ی شبیه‌سازی یکپارچه Source، برای شبیه‌سازی کردن جریان، انتخاب نرم‌افزار بارش-روان‌آب مناسب برای شبیه‌سازی کردن جریان، انتخاب روش‌های بهینه‌سازی و تابع‌های هدف مختلف،

انتخاب روش منطقه‌یی مناسبی برای پیش‌بینی‌کردن روان‌آب در منطقه‌های اندازه‌گیری نشده، و ارزیابی اثر تغییر اقلیم است. در نهایت می‌توان گفت که نرم‌افزار Source ابزاری مدیریتی برای هدف‌های عملیاتی و برنامه‌ریزی آبخیز است. این نرم‌افزار هم اکنون شبیه‌سازی فرآیندهای اقتصادی و اجتماعی را در خود ندارد، که مولفه‌یی مهم برای برنامه‌ریزان است. نرم‌افزار Source ابزاری برای مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب است، زیرا شرایطی را مهیا می‌کند که کل فرآیندهای سامانه‌ی آبخیز در کنار هم شبیه‌سازی شود و در نرم‌افزاری واحد آورده شود.

در این تحقیق عمل‌کرد نرم‌افزار Source با بررسی موردی در آبخیز چهل‌چای استان گلستان نشان داده شد. هدف این پژوهش معرفی کردن توانایی‌های Source و شبیه‌سازی‌کردن فرآیند بارش-روان‌آب با آن است. نتیجه‌ها نشان داد که این نرم‌افزار می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از نرم‌افزارهای موجود کند، در حالی که به داده‌های ورودی کم‌تری نیاز دارد. بنابراین بر پایه‌ی توانمندی های زیاد نرم‌افزار eWater Source، این محیط برای شبیه‌سازی کردن مدیریتی آبخیزها در بهبود دادن کمیت و کیفیت آب و مدیریت کردن عرضه و تقاضای آب پیشنهاد کرده می‌شود.

فهرست منابع

Baghel D, Gaur A, Karthik M, Dohare D. 2019. Global trends in environmental flow assessment: An overview. Journal of the Institution of Engineers, 100 (2): 191–197.

Black DC, Wallbrink PJ, Jordan PW. 2014. Towards best practice implementation and application of models for analysis of water resources management scenarios. Environmental Modelling & Software, 52 (3): 136–148

Close AF, Mamalai O, Sharma P. 2004. The River Murray flow and salinity models: MSM-BIGMOD. In: Dogramaci, S., Waterhouse, A (Eds.), Engineering Salinity Solutions: 1st National Salinity Engineering Conference 2004. Engineers Australia, pp. 37–342.

Croke BM, Andrews W, Spate F, Cuddy J. 2005. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second ed. ICAM, School of Resources. Environment and Society. The Australian National University. Canberra. pp. 35–38.

Dutta D, Welsh W, Vaze J, Kim Sh, Nicholls D. 2012. A comparative evaluation of short-term stream flow forecasting using time series analysis and rainfall-runoff models in eWater Source. Water Resources Management, 26 (2): 4397–4415.

Dutta D, Wilson K, Welsh W, Nicholls D, Kim Sh, Lydia C. 2013. A new river system modelling tool for sustainable operational management of water resources. Journal of Environmental Management, 121 (4): 13–28.

Ewater group. 2019. [Online]. Available at https://ewater.org.au/products/ewater-source.

Harlan D, Wangsadipura M, Munajat CM. 2010. Rainfall-runoff modeling of Citarum Hulu River Basin by using GR4J. in proc. World Congress on Engineering, pp. 1607–1611.

Harun S, Ahmat N, Kassim A. 2002. Artificial neural network model for rainfall-runoff relationship. Journal Technology, 37(2): 1–12.

Hughes JD, Dutta D, Vaze J, Kim S, Podger G. 2014. An automated multi-step calibration procedure for a river system model. Environmental Modelling & Software, 51 (2): 173–183.

Hughes JD, Silberstein RP, Grigg A. 2013. Extending rainfall–runoff models for use in environments with long–term catchment storage and forest cover changes. In MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation, pp. 231–243.

Huo Z, Feng S, Kang S, Huang G, Wang F, Guo P. 2012. Integrated neural networks for monthly river flow estimation in arid inland basin of northwest China. Journal of Hydrology, 420 (2): 159–170.

Kunnath-Poovakka A, Eldho TI. 2019. A comparative study of conceptual rainfall-runoff models GR4J, AWBM and Sacramento at catchments in the upper Godavari river basin, India. Journal of Earth System Science, 128 (2): 21–33.

Mouelhi S, Madani K, Lebdi F. 2013. A structural overview through GR (s) models characteristics for better yearly runoff simulation. Open Journal of Modern Hydrology, 3 (2): 14–27.

Mouelhi S, Michel C, Perrin C, Andréassian V. 2006. Linking stream flow to rainfall at the annual time step: The Manabe bucket model revisited. Journal of Hydrology, 328 (1): 283–296.

Nguyen H, Recknagel F, Meyer W, Frizenschaf J, Ying H, Gibbsd M. 2019. Comparison of the alternative models SOURCE and SWAT for predicting catchment streamflow, sediment and nutrient loads under the effect of land use changes. Science of the Total Environment, 662 (3): 254–265.

Nohegar A, Motamednia M, Malekian A. 2016. Daily river flood modeling using genetic programming and artificial neural network (Case study: Amameh representative watershed). Physical Geography Research, 48 (3): 367–383. (In Persian).

Rassam D, Peeters L, Pickett T, Jolly J, Linda H. 2013. Accounting for surface groundwater interactions and their uncertainty in river and groundwater models: A case study in the Namoi River, Australia. Environmental Modelling & Software, 50 (3): 108–119.

Rassam DW, Jolly I, Pickett T. 2012. Guidelines for modeling groundwater surface water interactions in eWater source, Toward Best Practice Model Application, ISBN 978-1-921543-59-3.

Rassam DW. 2011. A conceptual framework for incorporating surface groundwater interactions into a river operation-planning model. Environmental Modelling & Software, 26 (2):1554–1567.

Rwasoka DT, Madamombe CE, Gumindoga W, Kabobah A. 2013. Calibration, validation, parameter indentifiability and uncertainty analysis of a 2–parameter parsimonious monthly rainfall-runoff model in two catchments in Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, 67 (3): 36–46.

Traore Vb, Sambou S, Tamba S, Fall S, Diaw At, Cisse M. 2014. Calibrating the rainfall-runoff model GR4J and GR2M on the Koulountou river basin, a tributary of the Gambia River, American Journal of Environmental Protection, 3 (4): 36–4.

Welsh WD, Dutta D, Wilson K, Nicholls D, Kim S, Cetin L. 2012. Improvements in river operations forecasting using Source IMS. In: Proceedings of Water and Climate: Policy Implementation Challenges. Engineers Australia, Canberra, Australia, pp. 280–296.

Welsh WD, Vaze J, Dutta D, Rassam D, Rahman JM, Jolly ID, Wallbrink P, Podger GM, Bethune M, Hardy MJ, Teng J, Lerat J. 2013. An integrated modelling framework for regulated river systems. Environmental Modelling & Software, 39 (3): 81–102.

Zandi Dareh Gharibi F, Khorsandi Z, Mozayan M, Arman N. 2017. Technical Note: Evaluating the proficiency of GR2M and GR4J rainfall-runoff models in Darehtakht Basin runoff simulation. Watershed Engineering and Management, 9 (3):360–370. (In Persian).

Zhang X, Waters D, Ellis R. 2013. Evaluation of sighed, Sacramento and GR4J rainfall runoff models in two contrasting Great Barrier Reef catchments. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, pp. 3260–3266.

Watershed Management Research

VOL. 34, No. 1, Ser. No: 130, Spring 2021, pp. 16 -29

DOI: 10.22092/wmej.2020.342744.1334

Rainfall-Runoff Modeling Using the eWater Source in the Chel-Chay Watershed, the Province of Golestan

Mehdi Teimouri

(Corresponding Author)* Assistant professor Higher Education Complex of Shirvan, Khorsasn Shomali, Shirvan, Iran

Ehsan Alvandi

Ph.D. Graduate in Watershed Management Sciences and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Gorgan, Iran

Corresponding Author Email: m_teimouri@um.ac.ir

Received: 03 May 2020 Accepted: 20 September 2020

Abstract

It is very complex and difficult to fully understand the relationships in watersheds due to the heterogeneity and non-linear nature of hydrological and erosive behaviors. Therefore, the evaluation of watersheds requires a modeling process. After introducing the features of the eWater Source software as a management modeling environment for watersheds, two rainfall-runoff models of the GR4J and the IHACRES were compared to simulate the runoff of the Chel-Chay Watershed in the eWater Source environment. Chel-Chay Watershed, with an area of 256 square kilometers is located in Province of Golestan. In order to simulate the rainfall -runoff, the position of the watershed, sub-watersheds, stations, watershed outlet, operational units (based on land use map) and the watershed waterway network was simulated using the digital height model (DEM) in the Source environment. The GR4J and the IHACRES models were used. In this rainfall -runoff models, the continuous time series data were considered in the daily time steps. The time series of the daily precipitation of the years (2001 to 2010), and the daily evaporation and transpiration (during the same period) were used to implement the models. The models were implemented in the eWater Source environment. The discharge data for the period (2001-2010) were used to calibrate the models. The accuracy of the flow simulation based on the Nash-Sutcliffe criterion for the GR4J and the IHACRES models in the calibration period (2001-2010) were 0.79 and 0.73, and in the validation period (2011-2015) were 0.76 and 0.68, respectively. Therefore, it may be concluded that these models performed well in the simulation. The evaluation of results indicates that the GR4J model performs better than the IHACRES model for simulating the daily flow. Due to the high capabilities of the eWater Source software, this environment is recommended as a management model for the discharge of watersheds.

Keywords:GR4J model, IHACRES model, rain-runoff, the eWater Source software, the Gorganroud River