Archive of SID

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هشتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۸

ISSN 2251-7480

بررسی عملکرد مدل‌های بازتحلیل شده پایگاه Earth2Observe و مدل سطح زمین VIC-3L در برآورد رواناب خروجی از حوضه‌های آبریز

سکینه کوهی [۱]، اصغر عزیزیان* [۲] و لوکا بروکا [۳]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، قزوین، ایران.

۲) استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، قزوین، ایران.

*. نویسنده مسئول: Azizian@eng.ikiu.ac.ir

۳) پژوهشگر موسسه تحقیقات ژئو هیدرولوژی IRPI، پروجا، ایتالیا.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸

چکیده

امروزه مدل‌های بارش-رواناب مختلفی از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس (GHM) و مدل‌های سطح زمین (LSMs) به‌منظور شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی توسعه داده شده‌اند. یکی از مشکلات مربوط به این‌گونه مدل‌ها که محققین را همواره با چالش‌های اساسی روبرو می‌نماید، نیاز به پارامترهای ورودی نسبتاً زیاد می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارآیی عملکرد مدل‌های بازتحلیل شده GHM و LSMs مربوط به پایگاه اطلاعاتی Earth2Observe در تخمین رواناب خروجی از حوضه سفیدرود انجام شده است. همچنین برای بررسی عملکرد مدل‌های مذکور، از نتایج مدل واسنجی شده مدل VIC-3L بر اساس داده‌های دبی مشاهداتی، نیز استفاده شد. بر اساس شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (CC) و شاخص کارائی نش-ساتکلیف (NS) نتایج نشان داد که مدل سطح زمین SURFEX-TRIP در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی رواناب می‌باشد. مقادیر شاخص‌های CC و NS به‌ترتیب در گام زمانی روزانه معادل ۰/۷۵ و ۰/۵۵ و در گام زمانی ماهانه ۰/۸۶ و ۰/۷۳ می‌باشند. نتایج حاصل از اجرای مدل سطح زمین VIC-3L نیز تقریباً خروجی مشابه به مدل واسنجی نشده SURFEX-TRIP را بدست داد. بطور کلی نتایج بدست آمده حاکی از عملکرد نسبتاً مناسب مدل‌های سطح زمین نسبت به مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس می‌باشد که علت اصلی آن نیز این است که مدل‌های سطح زمین به علت مدلسازی کامل بیلان آب و انرژی و همچنین امکان تبادل جرم با اتمسفر از عملکرد بسیار مناسبی در برآورد بیلان آب برخوردار می‌باشند. لذا توصیه می‌گردد در حوضه‌هایی که امکان دسترسی به اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل‌های بارش-رواناب وجود ندارد، از نتایج مدلهای بازتحلیل شده به عنوان یک راهنمای مناسب در برآورد آبدهی حوضه‌های آبریز استفاده شود.

کلید واژه‌ها: پایگاه اطلاعاتی Earth2observe؛ رواناب؛ مدل‌های سطح زمین؛ هیدرولوژیکی؛ مدل VIC-3L

مقدمه

افزایش جمعیت، استفاده نادرست از منابع آب موجود و تغییرات اقلیمی، همگی از دلایل کاهش منابع آب در دسترس بشر در سال‌های اخیر می‌باشد. بنابراین نیاز به یک مدیریت یکپارچه برای منابع آب موجود کاملاً محسوس است. از پارامترهای مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب، می‌توان به برآورد جریان رودخانه اشاره نمود (Zhang *et al.*, 2016). متاسفانه بسیاری از حوضه‌های آبخیز در ایران و سراسر جهان با توجه به کمبود و یا عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری، در برآورد دقیق این پارامتر با اهمیت با مشکل مواجه هستند. علاوه بر این محدودیت‌های زیادی در روش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری هیدرولوژیکی جریان رودخانه نیز وجود دارد (Beven, 2012). تاکنون روش‌های مختلفی برای برآورد میزان جریان خروجی از حوضه‌ها ارائه شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس[1] و مدل‌های سطح زمین[2] اشاره نمود. از جمله مدل‌های پرکاربرد در این زمینه می‌توان به مدل‌هایی همچون LISFLOOD، HBV-SIMREG، WaterGAP3، VIC-3L و HTESSEL اشاره نمود، که از توانایی بالائی در شبیه‌سازی متغیرهایی همچون مقدار جریان رودخانه، جریان زیرسطحی/سطحی، رطوبت خاک در لایه‌های مختلف، نفوذ، دبی پایه و ... برخوردار می‌باشند. استفاده از این مدل‌ها برای مدلسازی چرخه هیدرولوژیکی، نقش مهمی در کاهش عدم قطعیت ناشی از ساده‌سازی‌ها و در نظر گرفتن فرضیات مختلف در مدل‌های مورد استفاده برای برآورد این پارامتر دارد (Sood and Smakhtin, 2015). مدل‌های جهانی هیدرولوژیکی و مدل‌های سطح زمین تلاش بر شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی مشابه مدل‌های گردش عمومی جو[3] دارند، با این تفاوت که از توانایی بالاتری برای ارائه جزییات بیشتری نسبت به آن‌ها برخوردار می‌باشند (Corzo Perez *et al.*, 2011; Haddeland *et al.*, 2011). این مدل‌ها با آنالیز مجدد داده‌های هواشناسی، چرخه هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی می‌کنند (Sheffield and Wood, 2008). تفکر موجود در مدل‌های جهانی هیدرولوژیکی عموماً بر حل بیلان آب در مقیاس زمانی روزانه استوار است. همچنین این مدل‌ها تعداد لایه‌های کمی را برای خاک لحاظ نموده (کمتر از ۳ لایه) و یک لایه نیز برای برف در نظر می‌گیرند. در صورتی‌که مدل‌های سطح زمین با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی بیشتر حوضه، از توانایی حل بیلان آب و انرژی در مقیاس زمانی ساعتی برخوردار می‌باشند، علاوه بر این، مدل‌های سطح زمین تعداد لایه‌های بیشتری را برای خاک (۴ تا ۱۱ لایه) و برف (۱ تا ۱۲) در نظر می‌گیرند (Beck *et al.*, 2017).

در پژوهشی (عزیزیان و شکوهی، ۱۳۹۶) به ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل سه لایه VIC در حوضه آبریز چالوس پرداختند و در نهایت بررسی شاخص نش-ساتکلیف به دست آمده در مراحل واسنجی (۰/۸۴) و صحت‌سنجی (۰/۷۴) مدل، حاکی از توانایی مناسب مدل برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان خروجی از این حوضه می‌باشد. همچنین (Beck *et al.*, 2017) به ارزیابی عملکرد مدل‌های موجود در پایگاه بازتحلیل شده Earth2Observe در شبیه‌سازی جریان در ۹۶۶ حوضه با اندازه متوسط در سراسر جهان پرداختند. نتایج نشان داد که در حالت واسنجی نشده مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده عملکرد به مراتب بهتری نسبت به مدل‌های سطح زمین بویژه در مناطق برف‌خیز داشته‌اند. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که میانگین مشاهدات پس از واسنجی تنها با اندکی بهبود همراه بوده‌اند. (شایقی و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از پایگاه‌های بارشی بازتحلیل شده ECMWF و PERSIAN به ارزیابی عملکرد مدل VIC-3L جهت شبیه‌سازی رواناب پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های بارشی منبع PERSIAN برخلاف عملکرد پایین در تخمین مقدار بارش، با دارا بودن ضریب کارآیی نش-ساتکلیف معادل ۰/۸ و ۰/۸۸ به ترتیب در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه از عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی VIC-3L برخودار می‌باشد.علی‌رغم توسعه روزافزون استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس و مدل‌های سطح زمین در مدلسازی بیلان انرژی و بیلان آبی در بسیاری از حوضه‌های سراسر جهان، متاسفانه تاکنون مطالعات قابل توجهی در زمینه استفاده از این گونه مدل‌ها در سطح کشور انجام نشده است. در حال حاضر در بسیاری از مطالعات انجام گرفته در سطح کشور عمدتاً از مدل‌هایی که توانائی ارائه جزییات مکانی اجزای بیلان آب یا انرژی

1-Large Scale Hydrologic Models
2-Land Surface Models (LSMs)
3-General Circulation Models

www.SID.ir

Archive of SID

را در سطح حوضه دارا نمی‌باشند و به عبارت بهتر از دیدگاه یکپارچه (Lumped) برای مدلسازی برخوردار هستند، همچون HEC-HMS، SWAT، IHACRES، برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه‌ها استفاده می‌شود. یکی از مشکلات استفاده از چنین مدل‌هایی نیاز به حجم زیادی از داده‌های مختلف مانند: اطلاعات هواشناسی، نقشه پوشش گیاهی، نقشه خاک، وضعیت توپوگرافی سطح زمین و سایر پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی می‌باشد. از طرفی عدم وجود (عدم کفایت) ایستگاه‌های زمینی جهت واسنجی اینگونه مدل‌ها، کاربرد آنها را محدودیت اساسی روبرو نموده است و شاید همین نیاز به اطلاعات و پارامترهای ورودی بسیار زیاد یکی از دلایل عدم استقبال محققین از آن‌ها باشد. در سال‌های اخیر و با توسعه روزافزون قدرت پردازش سیستم‌های رایانه‌ای و نیز توانائی سامانه‌های ماهواره‌ای در تخمین مولفه‌های هیدرولوژیکی (مانند: بارش، رطوبت سطحی خاک، دما، تبخیر و تعرق و...) پایگاه‌های بازتحلیل شده *(Reanalysis)* متعددی توسعه داده شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به GLDAS و Earth2Observe اشاره نمود. بر خلاف پایگاه GLDAS[1] که از چند مدل هیدرولوژیکی و سطح زمین خاص پیشتیبانی می‌کند، پایگاه Earth2Observe که اخیراً توسط بخش تحقیقات منابع آب/ سنجش از دور اتحادیه اروپا (۲۰۱۷) توسعه داده شده است، از مدل‌های با توان تفکیک‌های مکانی و زمانی مختلف برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده می‌نماید. در این پایگاه و برای شبیه‌سازی هرچه بهتر مولفه‌های مذبور از فرآیند داده‌گواری *(Assimilation Data)* و نیز داده‌های ایستگاه‌های زمینی (مانند: بارش، دما، سرعت باد، رطوبت هوا و . . .) برای کاهش خطای ناشی از شبیه‌سازی‌ها استفاده بعمل می‌آید. به عبارت بهتر خروجی مدل‌های هیدرولوژیکی و سطح زمین موجود در این پایگاه بدون انجام واسنجی با داده‌های دبی مشاهداتی و تنها با استفاده از مولفه‌های اقلیمی صورت می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی مربوط به هر کدام از مدل‌های موجود در پایگاه Earth2Observe و در گام‌های زمانی و مکانی مختلف برای تمامی بخش‌های مختلف دنیا در دسترس عموم قرار دارد. لذا با توجه به توضیحات فوق، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارائی مدل‌های هیدرولوژیکی و سطح زمین موجود در پایگاه Earth2Observe (مانند: HTESSEL، LISFLOOD، PCR-GLOBWB، WaterGAP3، W3RA، SURFEX-TRIP، ORCHIDEE، Earth2observe) در حوضه آبریز سفیدرود به انجام رسیده است. همچین برای به چالش کشیدن فرآیند واسنجی مدل‌های مذکور و اثر آن بر مقدار رواناب شبیه‌سازی شده توسط آنها، مدل سطح زمین VIC-3L که نیازمند داده‌های متعددی ورودی می‌باشد در حوضه سفیدرود اجرا و با داده‌های دبی مشاهداتی موجود در ایستگاه هیدرومتری گیلوان (واقع در خروجی حوضه) واسنجی گردید.

مواد و روش‌ها

حوضه مورد مطالعه

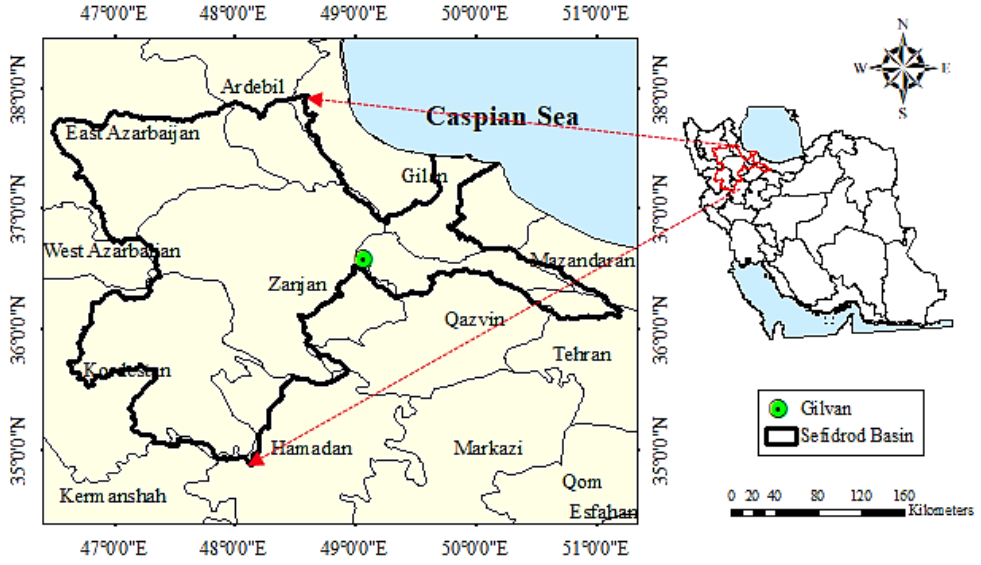
حوضه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه آبریز سفیدرود در شمال‌غرب کشور می‌باشد، که در محدوده جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این حوضه با مساحت حدود ۵۹۵۰۰ کیلومترمربع از حوضه‌های فرعی کشور و زیرمجموعه حوضه آبریز دریای خزر می‌باشد، که شامل استان‌های زنجان، کردستان، آذربایجان شرقی، اردبیل، قزوین، همدان، البرز، آذربایجان غربی و مازندران می‌باشد و در نهایت در پایاب به استان گیلان منتهی می‌گردد. رودخانه اصلی این حوضه سفیدرود می‌باشد که دومین رود بلند ایران و بزرگترین رود شمال ایران بوده و از بهم پیوستن

1-Global Land Data Assimilation System

www.SID.ir

Archive of SID

دو شاخه اصلی قزل‌اوزن و شاهرود در موقعیت سد سفیدرود تشکیل می‌شود. شایان ذکر است این دو رودخانه به ترتیب از استان کردستان و دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز سرچشمه گرفته‌اند. در این پژوهش از مقادیر جریان ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری گیلوان که مربوط به قسمت قزل‌اوزن می‌باشد، در مقیاس روزانه و ماهانه استفاده شده است. در شکل ۱ نمایی از حوضه آبریز مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز مورد مطالعه

ساختار مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های سطح زمین مورد استفاده در پژوهش

HTESSEL[1]: از مدل‌های سطح زمین توزیعی می‌باشد که پاسخ سطح زمین را نسبت به شرایط جوی و اجزای مربوط به بیلان آب و انرژی محاسبه می‌نماید. همچنین این مدل توانائی شبیه‌سازی تغییرات دمای خاک، رطوبت خاک، رواناب سطحی/زیرسطحی را دارا بوده و با در نظر گرفتن شرایط مختلف پوشش گیاهی و پوشش برف عملکرد مدل را بهبود می‌بخشد (Dutra *et al.*, 2017). در این مدل برای لایه سطحی در ارتباط با اتمسفر در هر شبکه سلولی، ۶ بخش مختلف از جمله: زمین عاری از پوشش، پوشش گیاهی کم، پوشش گیاهی زیاد، نفوذناپذیر، پوشش برفی و ۲ بخش با پوشش آب جاری و آب منجمد لحاظ می‌گردد. در هر بخش معادلات مربوط به بیلان آب و انرژی بصورت جداگانه حل شده و پس از اعمال یک وزن با توجه به درصد پوشش بخش موردنظر، بیلان آب و انرژی مربوط به تمام شبکه سلولی محاسبه می‌شود (Balsamo *et al.*, 2009). در این مدل طبق پیشنهاد Deardorff (۱۹۷۸)، از لحاظ عمودی برای خاک چهار لایه (لایه سطحی به عمق ۷ سانتی‌متر و سه لایه دیگر به ترتیب به اعماق ۲۱، ۷۲ و ۱۸۹ سانتی‌متر) که توسط یک لایه برف (هرچند وجود لایه برفی بستگی به منطقه مطالعاتی دارد که می‌تواند صفر هم باشد) پوشیده شده است، در نظر گرفته می‌شود. در مدل HTESSEL یک لایه نفوذناپذیر، بارش را از زمان آغاز تا زمان اشباع شدن خاک جمع نموده و مقدار بارش مازاد به دو بخش رواناب سطحی و نفوذ تقسیم می‌گردد. نفوذ و تبخیر سطحی از شرایط مرزی لایه سطحی بوده و در لایه تحتانی زهکشی آزاد فرض می‌گردد (Balsamo *et*

1 -Hydrology Tiled ECMWF Scheme for Surface Exchanges over Land

www.SID.ir

Archive of SID

al., 2009). در این مدل برای مدلسازی حرکت و انتقال رطوبت در خاک از معادله Richards (۱۹۳۱) استفاده می‌گردد. در مدل HTESSEL رواناب سطحی حاصل مجموع مقدار بارش رسیده به سطح زمین پس از عبور از میان درختان و برگ‌ها و آب ناشی از ذوب برف می‌باشد.

LISFLOOD: از مدل‌های توزیعی بزرگ مقیاس بارش-رواناب است که اساس آن، تقسیم‌بندی حوضه آبریز به تعدادی سلول می‌باشد. این مدل عموماً از ورودی‌های با مقیاس زمانی روزانه برای شبیه‌سازی بیلان آب در سطح حوضه استفاده می‌نماید. مدل LISFLOOD برای شبیه‌سازی در حوضه رودخانه‌های بزرگ توسعه داده شده است و طبق نظر توسعه‌دهندگان این مدل، مناسب‌ترین ابعاد سلولی برای استفاده از آن ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد. این مدل با در نظر گرفتن دو لایه خاک، فرآیند شبیه‌سازی جریان زیرزمینی و زیرسطحی را انجام می‌دهد. همچنین با استفاده از یک مدل دیگر رواناب سطحی ایجاد شده در سطح سلول‌ها را به نزدیکترین شبکه آبراهه موجود روندیابی نموده و در نهایت با یک مدل روندیابی، جریان را به سمت خروجی حوضه هدایت می‌کند. مدل LISFLOOD از توانایی شبیه‌سازی ذوب‌برف، نفوذ، بارانگیرش، تبخیر، رواناب سطحی، تبادل رطوبت بین لایه‌های خاک، نفوذ آب به جریان زیرزمینی، جریان آبراهه و ... برخوردار می‌باشد. عدم شبیه‌سازی صعود مویینگی و آب‌های زیرزمینی موجود در عمق زیاد از محدودیت‌های استفاده از این مدل در مناطق خشک و یا مناطقی که هیدرولوژی آن‌ها تحت تاثیر جریان‌های عمیق زیرزمینی است، می‌باشد (van der Knijff *et al.*, 2010).

PCR-GLOBWB[1]: این مدل نیز دسته مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس توزیعی قرار داشته و با تقسیم حوضه به تعدادی سلول و شبیه‌سازی سلول به سلول، به برآورد مولفه‌های هیدرولوژیکی می‌پردازد. مدل PCR-GLOBWB از قابلیت محاسبه ذخیره آب در دولایه از خاک (با عمق حداکثر ۳۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر)، آب زیرزمینی، تبادل آب بین لایه‌ها، بارش، تبخیر، ذوب برف، ذخیره برف و بارانگیرش برای ابعاد سلولی ۰/۵ درجه و در گام زمانی روزانه برخوردار می‌باشد. در مدل PCR-GLOBWB مجموع رواناب هر سلول شامل رواناب سطحی، رواناب زیرپوسته‌ای (ناشی از مخزن دوم) و جریان پایه می‌باشد. در این مدل، بارش می‌تواند بصورت باران و یا برف صورت پذیرد که در صورت بارش برف، تجمیع شده و بر اساس مدل ذوب برف موجود در مدل HBV (Bergström, 1995) که وابسته به تعیین دما است، با لحاظ نمودن دمای صفر، ذوب می‌گردد (Van Beek and Bierkens, 2009).

WaterGAP3[2]: این مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس نیز توسط محققین دانشگاه کسل آلمان توسعه داده شده است که در حال حاضر از آن برای برآورد بیلان آب و تعیین مناطق مستعد تولید رواناب در مطالعات منابع آب استفاده می‌گردد (Corzo Perez *et al.*, 2011).

WaterGAPیکی از مهم‌ترین مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس است که برای شناسائی مناطق مستعد دسترسی به آب در مقیاس حوضه به شمار می‌آید (Alcamo *et al.*, 2000). لازم بذکر است که شبیه‌سازی این مدل، در ابعاد سلولی ۰/۵ درجه و گام زمانی روزانه صورت می‌پذیرد و رواناب براساس تئوری موج کینماتیک روندیابی می‌شود (Dutra *et al.*, 2017; Smith, 2016).

W3RA[3]: W3RA از مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس توزیعی می‌باشد، که توسط اداره هواشناسی استرالیا برای ارزیابی و محاسبه روزانه بیلان آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی ذوب برف در این مدل بر اساس تفکر موجود در مدل HBV صورت می‌پذیرد و

1 - PCRaster Global Water Balance

2 - Water – Global Assessment and Prognosis

3- World-Wide Water

www.SID.ir

Archive of SID

مدل در ابعاد سلولی ۰/۰۵ درجه اجرا می‌شود (Dutra *et al.*, 2017). در این مدل برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک، ۳ لایه خاک با عمق‌های مختلف لحاظ می‌گردد و محاسبه تبخیر و تعرق نیز با استفاده از رابطه پنمن–مانتیث محاسبه می‌شود.

SURFEX-TRIP: مدل SURFEX-TRIP یک مدل سطح زمین توزیعی می‌باشد که توسط سازمان هواشناسی فرانسه برای برآورد بیلان آب و انرژی توسعه داده شده است. در این مدل سطح زمین برای جمع‌آوری رواناب از سطح سلول‌ها و انتقال آب به خروجی حوضه از مدل روندیابی TRIP استفاده می‌گردد. در این مدل، شبیه‌سازی مولفه جریان و دیگر مولفه‌های هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی روزانه و در ابعاد سلولی ۰/۲۵ درجه صورت می‌گیرد (Decharme *et al.*, 2010).

ORCHIDEE: این مدل یکی از جدیدترین مدل‌های سطح زمین توسعه یافته می‌باشد که حاصل ادغام دو مدل سطح زمین SVAT SECHIBA و SECHIBA می‌باشد. از مدل SECHIBA برای توصیف تبادل آب و انرژی بین اتمسفر و بایوسفر و بیلان آب در خاک استفاده می‌گردد. مدل ORCHIDEE دارای اساس فیزیکی بوده و شرایط توپوگرافیکی حوضه را در مدلسازی لحاظ می‌نماید. همچنین در این مدل برای شبیه‌سازی هرچه بهتر حرکت آب در خاک، نفوذ، جریان زیرسطحی، جریان زیرزمینی یک ستون ۲ متری از خاک با ۱۱ لایه مختلف مد نظر قرار گرفته است (Guimberteau and Ciais, 2014).

Earth2observe: علاوه بر مدل‌های فوق، نتایج حاصل از تمامی مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های سطح زمین متوسط‌گیری شده و به‌عنوان یک محصول جدید به نام Earth2Observe ارائه شده است. در این پژوهش مقادیر جریان روزانه و ماهانه مربوط به این منبع اطلاعاتی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات مربوط به هر کدام از مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، ارائه شده است.

جدول ۱. جزئیات مربوط به مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس و مدل‌های سطح زمین مورد استفاده در این پژوهش

Model name	Data provider (s)	Model type	Soil layers	Routing	Reference(s)
HTESSEL	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)	LSM	4	CaMa-Flood	(Balsamo *et al.*, 2009)
LISFLOOD	Joint Research Centre (JRC)	GHM	2	Double kinematic wave	(van der Knijff *et al.*, 2010)
PCR-GLOBWB	University of Utrecht	GHM	2	Travel time	(Van Beek and Bierkens, 2009)
WaterGAP3	University of Kassel	GHM	1	Manning–Stickler	(Verzano, 2009)
W3RA	Australian National University (ANU) and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	GHM	3	Cascading linear reservoirs	(van Dijk, 2010)
SURFEX-TRIP	Météo France	LSM	14	TRIP with stream	(Decharme *et al.*, 2010)
ORCHIDEE	Centre National de la Recherché Scientifique (CNRS)	LSM	11	Linear cascade of reservoirs	(Krinner *et al.*, 2005)

مدل VIC-3L

این مدل از مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس است که در رده مدل‌های سطح زمین قرار می‌گیرد و محدوده موردنظر را به تعدادی سلول تقسیم می‌نماید. هر کدام از این سلول‌ها به‌صورت مستقل از یکدیگر شبیه‌سازی می‌شوند و در نهایت توسط یک ماژول روندیابی، جریان خروجی از هر سلول جمع‌آوری و به خروجی حوضه هدایت می‌شود. در نظر گرفتن تغییرات پوشش گیاهی در یک سلول، چند لایه خاک با مقادیر نفوذ متغیر و محاسبه دبی پایه به صورت تابع غیرخطی از ویژگی‌های این مدل می‌باشد. طبق نظر توسعه‌دهندگان

www.SID.ir

Archive of SID

این مدل مناسب‌ترین ابعاد سلول محاسباتی جهت مدلسازی در حوضه‌هایی با تراکم داده‌های بارشی کم بین ۰/۲۵ تا ۱ درجه می‌باشد (Maurer, 2011). در مدل VIC-3L از روش منحنی نفوذ متغیر برای شبیه‌سازی بارش مازاد و رواناب استفاده شده است (Zhao *et al.*, 1980). در این روش فرض بر این است که رواناب سطحی تنها زمانی ایجاد می‌گردد که میزان بارش ورودی از حجم قابل نگهداشت خاک تجاوز نماید. در این مدل برای مدلسازی فرآیند انتقال رطوبت بین لایه‌های خاک از معادله یک بعدی ریچادرز استفاده می‌گردد. همچنین در این مدل تبخیر و تعرق با استفاده از معادله پنمن–مانتیث محاسبه می‌شود.

یکی از داده‌های ورودی مهم مدل VIC-3L، لایه مرتبط با پوشش گیاهی حوضه مورد مطالعه می‌باشد که در این پژوهش از داده‌های ماهواره AVHRR که در ابعاد سلولی ۱ و ۸ کیلومتر موجود می‌باشد، در سطح حوضه سفیدرود استفاده گردیده است. همچنین برای استخراج پارامترهای مرتبط با خصوصیات خاک که با توجه به بافت خاک منطقه قابل تعیین می‌باشند، از نقشه‌های خاک موسسه تحقیقات خاک و آب ایران استفاده به‌عمل آمده است. در نهایت برای اجرای مدل احتیاج به داده‌های هواشناسی می‌باشد که مهمترین آن عبارتنداز: بارش، حداقل و حداکثر دمای روزانه، سرعت باد و رطوبت هوا. برای ساخت لایه هواشناسی در پژوهش حاضر از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های داخل و خارج از حوضه که شامل ۱۳ ایستگاه سینوپتیک و ۵۰ ایستگاه باران‌سنجی می‌باشند، استفاده گردیده است. مدل VIC-3L برای شبیه‌سازی رواناب احتیاج به یکسری پارامتر دارد که برخی از آنها از روی نقشه بافت خاک قابل محاسبه است ولی برخی از آنها بایستی در طول فرآیند واسنجی بدست آیند. از مهمترین پارامترهای واسنجی این مدل می‌توان به پارامترهای زیر اشاره نمود:

پارامتر D_m: مربوط به حداکثر دبی پایه قابل تولید توسط لایه تحتانی خاک، D_s: کسری از پارامتر D_m که در آن دبی پایه غیرخطی شروع می‌شود، Ws: کسری از حداکثر رطوبت موجود در لایه تحتانی خاک که در آن دبی پایه غیر خطی رخ می‌دهد، b_{inf}: پارامتر مربوط به شکل منحنی ظرفیت نفوذ متغیر و اعماق خاک در لایه‌های دوم و سوم ستون خاک واقع در هر سلول (d_2، d_3). برای واسنجی مدل VIC-3L با استفاده از داده‌های دبی مشاهداتی روش‌های مختلف وجود دارد، ولی در پژوهش حاضر از روش احتمالاتی GLUE[1] استفاده بعمل آمد. علت استفاده از این روش واسنجی، ساختار قوی آن در شناسائی پارامترهای بهینه و امکان اجرائی نمودن آن با کمترین فرآیند برنامه‌نویسی موردنیاز می‌باشد.

شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش برای بررسی عملکرد مدل‌های بازتحلیل شده پایگاه Earth2Observe و مدل سطح زمین VIC-3L در شبیه‌سازی رواناب خروجی از حوضه سفیدرود از سه شاخص نش–ساتکلیف (Nash-Sutcliffe)، جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) و ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) استفاده بعمل آمده است. شاخص NS یک شاخص آماری است که میزان نسبی واریانس باقیمانده را تعیین و با واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه می کند و هر چه مقدار این شاخص به یک نزدیک باشد، نشان دهنده عملکرد بهتر می‌باشد. همچنین نزدیکی ضریب همبستگی به یک نیز حاکی از برازش بیشتر مقادیر مربوط به مدل‌های مذکور با مقادیر مشاهداتی خواهد بود (Demaria *et al.*, 2007; Hong and Lettenmaier, 2007). RMSE نیز مبین ریشه میانگین مربعات خطای بین داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی است و هر

1-Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

www.SID.ir

Archive of SID

چه مقدار آن به صفر نزدیک باشد بیانگر دقت و صحت مدل در شبیه‌سازی رواناب می‌باشد.

جدول ۲. شاخص‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش

Statistical Index	Formula	Reference(s)
Correlation of Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})^2}$	(Pearson, 1896)
Nash-Sutcliffe	$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}$	(Nash and Sutcliffe, 1970)
Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}$	Hyndman *et al*. (2006)

در جدول فوق O_i: مقادیر مشاهداتی، S_i: مقادیر شبیه‌سازی، n: تعداد داده‌ها، $\bar{O}$: متوسط مقادیر مشاهداتی، $\bar{S}$: متوسط مقادیر شبیه‌سازی می‌باشد.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی و سطح زمین نسبت به مدل VIC-3L در شبیه‌سازی رواناب

مقیاس زمانی روزانه

در این تحقیق مقدار جریان برآورد شده توسط مدل‌های مختلف موجود در پایگاه Earth2Observe در خروجی حوضه آبریز سفیدرود تهیه گردید. همچنین برای به چالش کشیدن عملکرد مدل‌های مذکور که همگی بدون واسنجی (منظور عدم واسنجی با استفاده از داده‌های دبی مشاهداتی می‌باشد) می‌باشند، اقدام به واسنجی و شبیه‌سازی جریان خروجی از حوضه توسط مدل سطح زمین VIC-3L گردید. به‌منظور بررسی میزان کارآیی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، نمودار پراکنش اطلاعات و شاخص‌های آماری مربوط به هرکدام از آن‌ها نسبت به مقادیر جریان ثبت شده در ایستگاه گیلوان محاسبه گردید که نتایج آن‌ها در شکل ۲ و برای مقیاس روزانه نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌گردد، مدل سطح زمین SURFEX-TRIP پس از مدل VIC-3L با ضریب کارآیی نش-ساتکلیف و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۷۵ از کارآیی بالایی در شبیه‌سازی جریان روزانه خروجی از حوضه سفیدرود برخوردار است. یکی از علت‌های اصلی این عملکرد مناسب را می‌توان به نحوه مدلسازی حرکت آب در خاک توسط این مدل با استفاده از لایه‌های مختلف مرتبط نمود. همچنین عملکرد ماژول روندیابی به کار رفته در این مدل که موجب تجمیع هرچه بهتر جریان‌های سطحی و زیرسطحی شبیه‌سازی شده از هر سلول و هدایت آنها در راستای شبکه آبراهه‌ها گشته است، موجب برتری این مدل نسبت به دیگر مدل‌ها شده است. هرچند لازم به ذکر است که چنین عملکرد مناسبی در حالتی است که مدل بدون واسنجی مورد ارزیابی قرار گرفته و بدون شک انجام فرآیند واسنجی روی این مدل می‌تواند عملکرد آن را تا حدود زیادی نیز ارتقا ببخشد. علاوه بر این، دو مدل LISFLOOD و Earth2observe نیز به ترتیب با دارا بودن ضریب همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۶۴ از قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی رواناب برخوردار می‌باشند. بر خلاف مدل‌های مذکور، عملکرد مدل‌های WaterGAP3، ORCHIDEE و HTESSEL در حوضه آبریز سفیدرود بر اساس شاخص‌های آماری RMSE و NS ضعیف می‌باشد. نتیجه قابل توجه دیگری که از شکل ۲ می‌توان برداشت نمود این است که هر چهار مدل با عملکرد مناسب (VIC-3L، SURFEX-TRIP، LISFLOOD، Earth2observe)، در شبیه‌سازی دبی‌های بزرگتر از ۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه، دارای اختلاف معنی‌داری با مقادیر مشاهده‌ای می‌باشند.

بمنظور بررسی دقیق‌تر عملکرد مدل‌های مذکور، میزان خطای آنها در برآورد جریان‌های با دبی بالا و حجم رواناب، محاسبه گردید که نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد هیچ کدام از مدل‌های مذکور از توانایی مناسبی در برآورد جریان‌های با

www.SID.ir

Archive of SID

دبی بالا برخوردار نمی‌باشند. طبق محاسبات صورت گرفته، پس از مدل واسنجی شده VIC-3L، که دارای کمترین خطا (۲/۷۳ درصد) در برآورد حجم رواناب می‌باشد، مدل‌های سطح زمین Earth2observe، ORCHIDEE و SURFEX-TRIP به ترتیب با متوسط درصد خطای نسبی حدود ۴/۱، ۷/۸ و ۱۲/۴ درصد از عملکرد مناسبی در تخمین حجم رواناب خروجی از حوضه آبریز سفیدرود برخوردار می‌باشند. همچنین برخلاف جریان‌های با دبی بالا، عملکرد مدل ORCHIDEE در برآورد حجم رواناب روزانه بسیار مناسب ارزیابی می‌شود. نتایج به‌دست آمده به خوبی گویای این مطلب است که مدل‌های سطح زمین به علت مدلسازی کامل بیلان آب و انرژی و همچنین امکان تبادل جرم با اتمسفر (با واسطه اتصال با مدل‌های گردش عمومی جو) از عملکرد بسیار مناسبی در برآورد بیلان آب برخوردار می‌باشند و این در حالی است که مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاسی همچون LISFLOOD، PCR_GLOBWB و WaterGAP3 تنها به شبیه‌سازی حرکت جریان در سطح زمین می‌پردازند و امکان تبادل جرم و انرژی با اتمسفر برای آنها میسر نمی‌باشد.

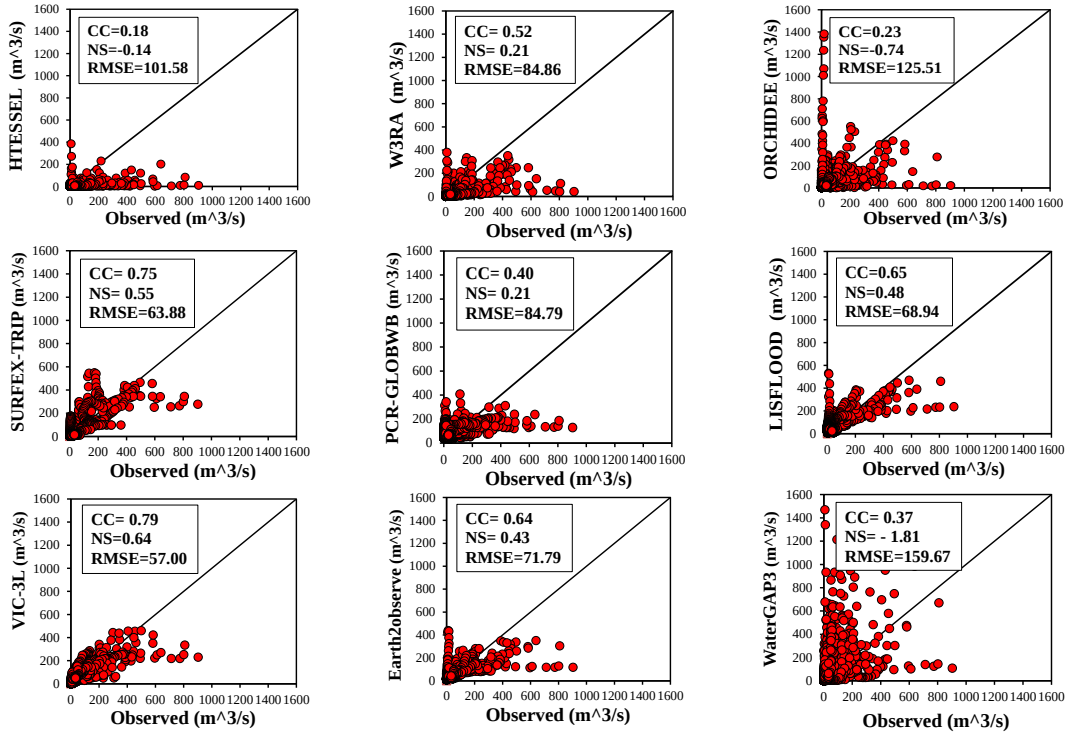
در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چین عنوان نمود که در مطالعاتی که هدف تخمین حجم رواناب روزانه (دبی متوسط روزانه) خروجی از حوضه می‌باشد و از طرفی اطلاعات موردنیاز برای اجرای مدل‌هایی همچون VIC-3L و SWAT در دسترس نیست (و یا اطلاعات موجود از کفایت لازم برخودار نمی‌باشد)، می‌توان از نتایج مدل‌های مذکور استفاده نمود. نتایج مدل‌های مذکور برای یک بازه زمانی طولانی مدت و برای تمامی بخش‌های جهان اجرا شده و به راحتی می‌توان آنها را از پایگاه اطلاعاتی Earth2Observe به‌صورت رایگان تهیه نمود. البته ذکر این نکته نیز مجدداً ضروری است که نتایج مدل‌های موجود در این پایگاه به صورت خام بوده و عملیات واسنجی بر روی آنها صورت نگرفته است. لذا توصیه می‌شود قبل از استفاده از آنها برای حوضه موردنظر، فرآیند ارزیابی مدل‌ها با استفاده از داده‌های مشاهداتی صورت گیرد تا بتوان علاوه‌بر انتخاب مدل مناسب، نتایج آنها را اصلاح و خطاهای موجود در آنها را نیز به حداقل مقدار رساند. با توجه به توضیحات مذکور توصیه می‌شود بجای اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی پیچیده پرهزینه (به علت نیاز به نقشه‌های ورودی مختلف و پارامترهای واسنجی متعدد) به ویژه در حوضه‌های فاقد آمار که عموم محققین و مهندسین در اجرای آن‌ها با مشکلات و دشواری‌های بسیار زیادی روبرو هستند، از نتایج مدل‌های موجود در پایگاه Earth2Observe استفاده گردد.

جدول ۳. متوسط خطای نسبی هریک از مدل‌های بازتحلیل شده در برآورد دبی‌های بالا و حجم رواناب (در مقیاس روزانه)

نام مدل	ORCHIDEE	W3RA	HTESSEL	LISFLOOD	PCR-GLOBWB	SURFEX-TRIP	WaterGAP3	Earth2observe	VIC-3L
دبی‌های بالا	88.37	88.61	90.07	55.34	66.96	54.02	71.02	60.19	34.60
حجم رواناب	7.83	54.32	82.49	35.74	43.98	12.42	81.15	4.08	2.73

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمودار پراکنش رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدلهای بازتحلیل شده، مدل سطح زمین VIC-3L و مقادیر مشاهداتی

مقیاس زمانی ماهانه

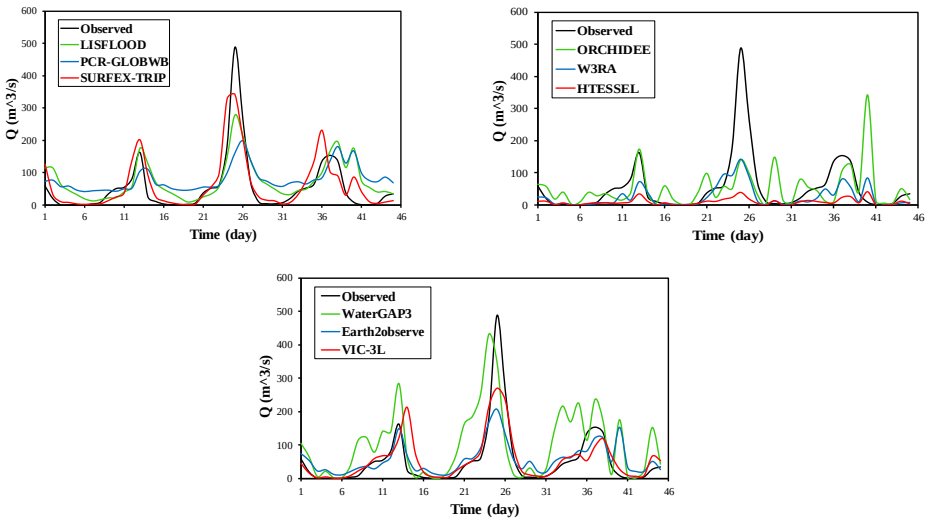
در این بخش نیز به بررسی عملکرد مدل واسنجی شده VIC-3L و مدل‌های مورد مطالعه در این تحقیق در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه پرداخته شده است. رواناب ماهانه بدست آمده از مدل‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴ نیز مقادیر شاخص‌های آماری CC، NS و RMSE برای هر کدام از مدل‌های مذبور ارائه شده است. بر خلاف گام زمانی روزانه، نتایج بدست آمده در گام زمانی ماهانه حاکی از عملکرد مناسب بیشتر مدل‌ها می‌باشد، به‌طوریکه بجز مدل ORCHIDEE ضریب همبستگی بین مقادیر دبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی همواره بالاتر از ۰/۶ است. همچنین مدل‌های SURFEX-TRIP، VIC-3L و Earth2Observe به ترتیب با دارا بودن ضریب CC معادل ۰/۸۶، ۰/۸۳ و ۰/۸۳ از بهترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی برخوردار می‌باشند. همچنین بر اساس شاخص آماری NS که مبین عملکرد کلی مدل در شبیه‌سازی جریان‌های بالا و پائین می‌باشد، عملکرد مدل SURFEX-TRIP نسبت به تمامی مدل‌ها حتی مدل واسنجی شده VIC-3L بسیار مناسب ارزیابی می‌شود. مدل Earth2Observe نیز با دارا بودن شاخص NS معادل ۰/۶۰، از عملکرد تقریباً مشابهی با مدل VIC-3L برخوردار می‌باشد. بر خلاف مدل‌های سطح زمین مذکور، مدلهای هیدرولوژیکی PCR-GLOBWB و W3RA به ترتیب به دارا بودن ضریب NS معادل ۰/۲۷ و ۰/۳۷ دارای عملکرد نسبتاً ضیعفی به ویژه در شبیه‌سازی جریان‌های بالا و دبی‌های کم (جریانات پایه) برخوردار می‌باشند. بطورکلی همانطور که ملاحظه می‌گردد، در گام زمانی ماهانه نیز مدل‌های سطح زمین از برتری به مراتب بهتری نسبت به مدل‌های هیدرولوژیکی برخوردار می‌باشند که علت اصلی آن نیز شبیه‌سازی کامل بیلان آب و انرژی و امکان تبادل جرم با اتمسفر می‌باشد و این در حالیست که مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاسی همچون LISFLOOD، PCR_GLOBWB و WaterGAP3 تنها به شبیه‌سازی حرکت جریان در سطح

www.SID.ir

Archive of SID

زمین می‌پردازند و امکان تبادل جرم و انرژی با اتمسفر برای آنها میسر نمی‌باشد.

همچنین به‌منظور ارزیابی بهتر عملکرد مدل‌های فوق، میزان خطای نسبی ناشی از کاربرد آنها در برآورد دبی‌های بالا و حجم رواناب در مقیاس ماهانه محاسبه گردید که نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، به غیر از مدل LISFLOOD (که دارای متوسط خطای نسبی در حدود ۱۹/۳ درصد در برآورد دبی‌های بالا می‌باشد) تقریباً تمامی مدل‌های هیدرولوژیکی و سطح زمین در تخمین دبی‌های بالا (جریانات حدی حداکثری) از عملکرد قابل قبولی برخوردار نمی‌باشد. علت اصلی این مساله نیز این است که مدل‌های مذکور ذاتاً بر حل معادله بیلان آب و انرژی استوار هستند و لذا از توانائی لازم برای لحاظ نمودن تغییرات لحظه‌ای (در مقیاس ساعتی) مولفه‌های مهمی همچون بارش و نفوذ بر هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده برخوردار نمی‌باشد. بر خلاف عملکرد مدل‌ها در برآورد دبی‌های بالا، مقدار متوسط خطای نسبی در تخمین حجم رواناب برای مدل‌های ORCHIDEE، Earth2observe و مدل VIC-3L به ترتیب معادل ۵/۳، ۷/۲ و ۶/۰ درصد می‌باشد و لذا می‌توان چنین عنوان نمود که مدل‌های مذبور در مطالعات مربوط به شبیه‌سازی بیلان ماهانه از کارائی به مراتب بهتری برخوردار می‌باشند.



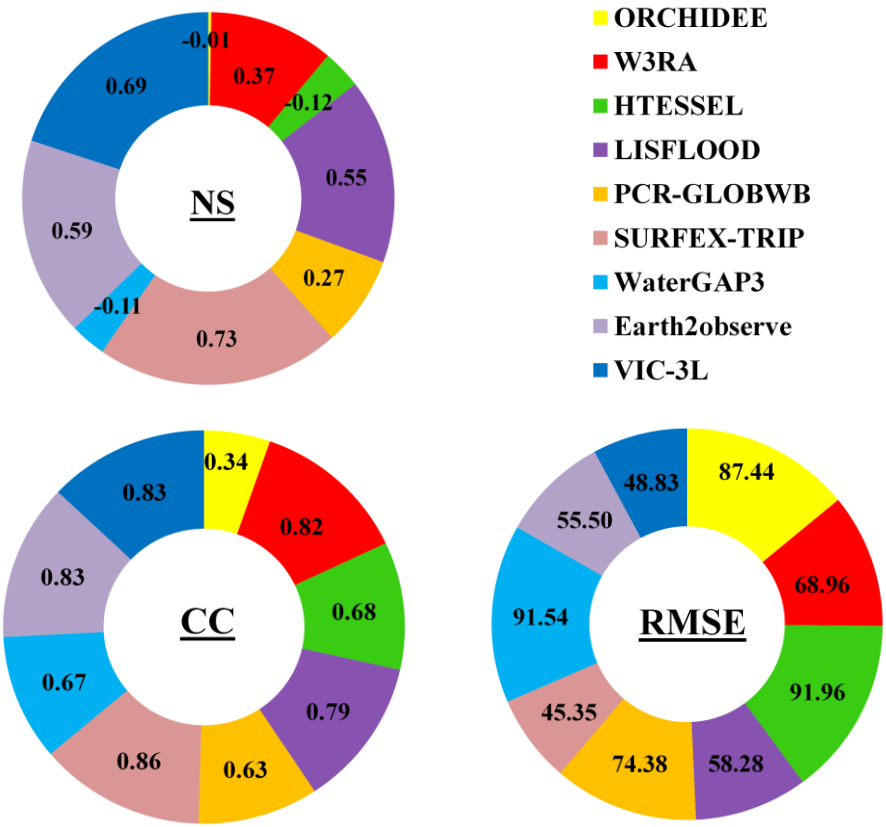
شکل ۳. هیدروگراف‌های جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی (در مقیاس ماهانه)

جدول ۴. متوسط درصد خطای نسبی هریک از مدل‌های هیدرولوژیکی و سطح زمین در برآورد دبی‌های بالا و حجم رواناب (در مقیاس ماهانه)

نام مدل	ORCHIDEE	W3RA	HTESSEL	LISFLOOD	PCR-GLOBWB	SURFEX-TRIP	WaterGAP3	Earth2observe	VIC-3L
دبی‌های بالا	36.25	57.83	85.09	19.60	38.12	28.73	52.59	28.71	35.40
حجم رواناب	5.28	52.43	81.94	39.24	47.88	15.25	87.96	7.24	5.99

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. شاخص‌های آماری NS، CC و RMSE مدلهای هیدرولوژیکی و سطح زمین مورد مطالعه (در مقیاس ماهانه)

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

یکی از پارامترهای مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و پایدار منابع آب در حوضه‌های آبریز، برآورد جریان رودخانه و شبیه‌سازی رواناب آن می‌باشد. در حال حاضر اکثر حوضه‌های آبریز کشورهای در حال توسعه (مانند کشور ایران) با توجه به کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری، در برآورد دقیق این پارامتر با اهمیت با مشکل مواجه هستند. تاکنون مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های سطح زمین بسیاری برای شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی توسعه داده شده‌اند که بسیاری از آن‌ها همانند مدل سطح زمین VIC-3L به اطلاعات بسیاری از حوضه برای اجرا نیازمند می‌باشند و لذا طبیعی است که برآورد دقیق این اطلاعات علاوه بر مشکلات بسیار زیاد با عدم قطعیت‌هایی نیز همراه باشد. در همین راستا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های سطح زمین واسنجی نشده پایگاه Earth2Observe (HTESSEL، LISFLOOD، PCR-GLOBWB، WaterGAP3، W3RA، SURFEX-TRIP، ORCHIDEE، Earth2observe) در برآورد جریان خروجی از حوضه آبریز سفیدرورود در دو گام زمانی روزانه و ماهانه به انجام رسیده است. همچنین برای به چالش کشیدن عملکرد مدل‌های مذکور، از مدل توزیعی VIC-3L نیز استفاده و با فراهم نمودن تمامی اطلاعات توپوگرافیکی، خاک، هواشناسی و پوشش گیاهی اقدام به شبیه‌سازی جریان در گام‌های زمانی مختلف گردید. همچنین لازم به ذکر است که خروجی مدل VIC-3L با داده‌های دبی ثبت شده در ایستگاه گیلوان (واقع در خروجی حوضه) واسنجی گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل سطح زمین SURFEX-TRIP نسبت به دیگر مدل‌های پایگاه Earth2Observe از کارآیی مناسبی در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان خروجی از حوضه سفیدرود برخوردار می‌باشد. به‌عنوان مثال، مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص کارآیی نش-ساتکلیف و ضریب همبستگی مربوط به مدل SURFEX-TRIP در مقیاس روزانه به ترتیب برابر با ۰/۵۵ و ۰/۷۵ است. همچنین مقدار شاخص‌های مذکور در مقیاس ماهانه به ترتیب برابر با ۰/۷۳ و ۰/۸۶ می‌باشد. محاسبات صورت گرفته گویای این مطلب است که مدل واسنجی نشده SURFEX-TRIP حتی نسبت به مدل واسنجی شده VIC-3L نیز از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد و لذا می‌توان چنین عنوان نمود که در حوضه‌های فاقد آمار و یا آمار کم که امکان اجرای مدل‌های بارش-رواناب میسر نمی‌باشد، می‌توان از مدل SURFEX-TRIP استفاده کرد. یکی از علت‌های اصلی این عملکرد مناسب را می‌توان به نحوه مدلسازی حرکت آب در خاک توسط این مدل با استفاده از لایه‌های مختلف مرتبط نمود. همچنین عملکرد ماژول روندیابی به کار رفته در این مدل موجب تجمیع هرچه بهتر جریان-های سطحی و زیرسطحی شبیه‌سازی شده از هر سلول و هدایت آنها در راستای شبکه آبراهه‌ها یکی دیگر از عواملی است که موجب برتری این مدل نسبت به دیگر مدل‌ها شده است. همچنین بر خلاف مدل‌های سطح زمین، عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی مانند: WaterGAP3، ORCHIDEE و HTESSEL در حوضه آبریز سفیدرود چندان مطلوب ارزیابی نمی‌باشد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین بیان نمود که در حوضه‌هایی که به علت عدم وجود داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل‌هایی همچون SWAT و یا VIC-3L میسر نمی‌باشد، استفاده از مدل‌های سطح زمین SURFEX-TRIP و Earth2Observe می‌تواند راهگشای بسیاری از مطالعات به ویژه مطالعات منابع آب باشد. هرچند ذکر این نکته نیز ضرویست که قبل از استفاده از مدل‌های واسنجی نشده مذکور بایستی اصلاحات موردنیاز بر روی آنها صورت گیرد تا خطای ناشی از عدم واسنجی آنها با استفاده از داده‌های دبی مشاهداتی، کاسته شود.

منابع مورد استفاده

عزیزیان، ا.، شکوهی، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس VIC-3L برای شبیه‌سازی دبی رودخانه و تحلیل حساسیت آن در مقیاس‌های زمانی مختلف (مطالعه موردی: حوضه آبریز چالوس). نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۷ (۲): ۳۹-۵۲.

شایقی، ا.، عزیزیان، ا.، بروکا، ل. ۱۳۹۷. ارزیابی کارائی منابع بارشی بازتحلیل شده و مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور جهت مدلسازی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل بزرگ مقیاسVIC-3L . مجله تحقیقات منابع آب ایران.

Alcamo, J., Henrichs, T. and Rösch, T. 2000. World Water in 2025 -Global Modeling Scenario Analysis for the World Commission of Water for the 21st Century. Kassel, Ger. Cent. Environ. Syst. Res. Univ. Kassel.

Balsamo, G., Beljaars, A., Scipal, K., Viterbo, P., van den Hurk, B., Hirschi, M. and Betts, A.K. 2009. A Revised Hydrology for the ECMWF Model: Verification from Field Site to Terrestrial Water Storage and Impact in the Integrated Forecast System. Journal of Hydrometeorology, 10: 623–643.

Beck, H.E., Van Dijk, A.I.J.M., De Roo, A., Dutra, E., Fink, G., Orth, R. and Schellekens, J. 2017. Global evaluation of runoff from 10 state-of-the-art hydrological models. Hydrology and Earth System Sciences, 21: 2881–2903. https://doi.org/10.5194/hess-21-2881-2017

Bergström, S. 1995. The HBV model in: Computer models of watershed hydrology, edited by: Singh, V. P. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, U.S.A.

Beven, K.J. 2012. Rainfall-runoff modelling, Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781119951001

Corzo Perez, G.A., Van Huijgevoort, M.H.J., Voß, F., Van Lanen, H.A.J., 2011. On the spatio-temporal analysis

www.SID.ir

Archive of SID

of hydrological droughts from global hydrological models. Hydrology and Earth System Sciences, 15: 2963–2978. https://doi.org/10.5194/hess-15-2963-2011

Deardorff, J.W. 1978. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. Journal of Geophysical Research, 83: 1889. https://doi.org/10.1029/JC083iC04p01889

Decharme, B., Alkama, R., Douville, H., Becker, M. and Cazenave, A. 2010. Global Evaluation of the ISBA-TRIP Continental Hydrological System. Part II: Uncertainties in River Routing Simulation Related to Flow Velocity and Groundwater Storage. Journal of Hydrometeorology, 11: 601–617. https://doi.org/10.1175/2010JHM1212.1

Demaria, E., Nijssen, B. and Wagener, T. 2007. Monte Carlo Sensitivity Analysis of Land Surface Parameters Using the Variable Infiltration Capacity Model. Journal of Geophysical Research, 112: 1–15.

Dutra, E., Balsamo, G. and Calvet, J.-C. 2017. Report on the improved Water Resources Reanalysis Global Earth Observation for integrated water resource assessment Report on the improved Water Resources Reanalysis. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14523.67369

Guimberteau, M. and Ciais, P. 2014. The hydrological modeling with ORCHIDEE in the Amazon basin.

Haddeland, I., Clark, D.B., Franssen, W., Ludwig, F., Voß, F., Arnell, N.W., Bertrand, N., Best, M., Folwell, S., Gerten, D., Gomes, S., Gosling, S.N., Hagemann, S., Hanasaki, N., Harding, R., Heinke, J., Kabat, P., Koirala, S., Oki, T., Polcher, J., Stacke, T., Viterbo, P., Weedon, G.P. and Yeh, P. 2011. Multimodel Estimate of the Global Terrestrial Water Balance: Setup and First Results. Journal of Hydrometeorology, 12: 869–884. https://doi.org/10.1175/2011JHM1324.1

Hong, S.F. and Lettenmaier, Y.D. 2007. Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin. Journal of Hydrometeorology, 9: 622–640.

Hyndman, Rob J, Koehler, Anne B. 2006. Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting. 22 (4): 679–688.

Krinner, G., Viovy, N., Noblet-ducoudre, N. De, Polcher, J., Friedlingstein, P., Ciais, P., Sitch, S. and Prentice, I.C. 2005. A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system 19. https://doi.org/10.1029/2003GB002199

Nash, J.E. and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282–290.

Pearson, K. 1896. Mathematical Contributions to the Theory of Evolution.–On a Form of Spurious Correlation Which May Arise When Indices Are Used in the Measurement of Organs. Proceedings of the royal society of london, 60: 489–498.

Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physics (College. Park. Md). 1.

Sheffield, J. and Wood, E. 2008. Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. Journal Climate, 21: 432–458.

Smith, K.A. 2016. Investigating Uncertainty in Global Hydrology Modelling, Ph.D.thesis 318. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22810.95685

Sood, A. and Smakhtin, V. 2015. Global hydrological models: a review. Hydrological Sciences Journal, 60: 549–565. https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950580

Van Beek, L.P.H. and Bierkens, M.F.P. 2009. The Global Hydrological Model PCR-GLOBWB: Conceptualization, Parameterization and Verification. Department of Physical Geography Faculty of Earth Sciences Utrecht University.

www.SID.ir

Archive of SID

van der Knijff, J.M., Younis, J. and de Roo, A.P.J. 2008. LISFLOOD: a GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation. International Journal of Geographical Information Science, 24: 189–212.

van Dijk and A.I.J.M. 2010. The Australian Water Resources Assessment System: Technical Report 3. Landscape Model (version 0.5) Technical Description. WIRADA/CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, Canberra, 86.

Verzano, K. 2009. Climate change impacts on flood related hydrological processes: Further development and application of a global scale hydrological model. Tech. rep., Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany.

Zhang, Y., Zheng, H., Chiew, F.H.S., Arancibia, J.P. and Zhou, X. 2016. Evaluating Regional and Global Hydrological Models against Streamflow and Evapotranspiration Measurements. Journal of Hydrometeorology, 17: 995–1010. https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0107.1

www.SID.ir

Archive of SID

ISSN 2251-7480

Evaluating the efficiency of earth2Observe reanalysis models and VIC-3L for estimation of runoff

Sakine Koohi [1], Asghar Azizian [*2], and Luca Brocca [3]

1) MSc, Water Resources Engineering, Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2) Assistant Professor, Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
[*] Corresponding author: Azizian@Eng.ikiu.ac.ir
3) Researcher, Research Institute for Geo-Hydrological Protection IRPI, Perugia, Italy.

Received: 11-02-2018 Accepted: 18-05-2019

Abstract

Over the past decades, several rainfall-runoff models including global hydrological model (GHMs) and land surface models (LSMs) have been developed for simulation of hydrological variables. One of the most important problems that limits the using of such models is that these models require a huge amounts of inputs and providing them is almost impossible, especially in data-limited regions. The main objective of this study is to assess the performance of Earth2Observe's GHMs and LSMs reanalysis models in estimating runoff at the outlet of Sefidrood river basin (SRB). In addition, for better evaluating the efficiency of Earth2Observe uncalibrated models, the VIC-3L land surface model is implemented over the SRB and calibrated using observed discharges. Results showed that, based on CC and NS statistics, the performance of SURFEX-TRIP model in both daily and monthly time scales is the best one and it led to the same results as well as VIC-3L calibrated model. The values of CC and NS statistics, at daily time scale, in the case of SURFEX-TRIP model are 0.75 and 0.55, respectively, while at the monthly time scale these values are 0.86 and 0.73, respectively. As an overall, findings indicate that LSMs performs better than GHMs in simulating runoff and this may be due to the ability of LSMs in considering both water and energy budgets and they can exchange energy and mass between land surface and atmosphere. Therefore it is highly recommended to use the results of reanalysis models as an appropriate guidance, particularly in the cases of ungauged catchments or data restricted areas.

Keywords: Earth2Observe; Hydrological models, land surface models, Runoff, VIC-3L

www.SID.ir