



تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS در تخمین رواناب مناطق فاقد آمار

*عبدالله طاهری تیزرو^۱، حدیث پاکدل خسمنی^۲، صفر معروفی^۳ و مجید وظیفه دوست^۴

^۱دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه منابع آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان،
^۲استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۳استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان
تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: توسعه منابع آب، مستلزم شناخت میزان، توزیع زمانی و مکانی آب و همچنین ارزیابی دقیق عملکرد آن می‌باشد. برنامه‌ریزی در مناطق فاقد آمار مستلزم تهیه داده‌های با کیفیت مناسب می‌باشد، بنابراین یکی از روش‌های رفع این معضل، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. بدین منظور، مدل‌های سطح زمین بزرگ مقیاس مانند GLDAS که بر اساس مشاهدات ماهواره‌ای بروز شده‌اند، به دلیل ارائه پارامترهای هیدرولوژیکی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند و به دلیل پوشش جهانی این داده‌ها، کاربرد داده‌های به دست آمده از این مدل در مطالعات بارش- رواناب مورد توجه واقع شده است. مدل GLDAS با هدف بررسی روند تغییرات اجزای بیلان آب و انرژی در سطح زمین، اقدام به تولید پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی با کیفیت کنترل شده در یک دوره آماری ۱۹۴۸ الی ۲۰۱۴ نموده است. هدف از این پژوهش، ارائه یک مدل تلفیقی در تخمین آبدهی مناطق فاقد آمار می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش مدل GLDAS، با مدل هیدرولوژیکی WMS/HEC-HMS تلفیق شده و از آن به منظور انجام مطالعات بارش- رواناب منطقه پرود استان گیلان استفاده گردید. در این خصوص از داده‌های مشاهداتی ایستگاه طول‌لات، دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۰۳ (برای واسنجی) و سال ۲۰۰۶ (برای صحت‌سنجی) از طریق دو روش تلفات SMA و SCS به کار برده شد. در این رابطه، برای روش SCS پارامترهای مورد نیاز مانند شماره منحنی، زمان تاخیر و میزان تلفات توسط نرم‌افزار مورد واسنجی قرار گرفت. برای روش SMA نیز، پارامترهای ذخیره خاک، نرخ نفوذ خاک، ضریب ذخیره لایه‌های زیرزمینی اول و دوم و سایر پارامترهای مربوطه واسنجی شدند. پس از ارزیابی نتایج مدل GLDAS، به بررسی داده‌های بارش، رواناب‌های سطحی و زیرسطحی و همچنین دما در پیکسل مربوط به ایستگاه هیدرومتری طول‌لات، در ۱۰ سال ۲۰۱۳-۲۰۰۴ پرداخته شد. سپس با استفاده از مدل WMS/HEC-HMS رواناب منطقه در مقیاس کل حوضه، با به‌کارگیری دو روش SCS و SMA، سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۴ برای واسنجی ضرایب و سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۰ برای صحت‌سنجی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که هر دو روش SMA و SCS، در مرحله تلفیق دو مدل HEC-HMS و GLDAS، نتایج به نسبت معادل و مناسبی را ارائه می‌دهند. ارزیابی نتایج بر اساس معیارهای ضریب تعیین (R^2)، ضریب نش- ساتکلیف (E)، خطای Bias، RMSE و درصد خطا، نشان داد که تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS ابزار مفیدی جهت تخمین رواناب در نقاط فاقد آمار حوضه‌های آبریز خواهد بود.

* مسئول مکاتبه: ttizro@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان داد تلفیق دو مدل HEC-HMS و GLDAS در روش تلفات SMA، در سال ۲۰۱۳ (دوره صحت‌سنجی)، با ضریب تعیین ۰/۸، ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۷، معیارهای خطای ۱/۵ و ۶/۱ بهترین عملکرد را دارد. همچنین مدل تلفیقی با در نظر گرفتن روش SCS در سال ۲۰۰۵ (دوره واسنجی) با ضریب تعیین ۰/۹، ضریب نش-ساتکلیف ۰/۸۶، معیارهای خطای ۰/۷۸ و ۲/۵ بهترین نتایج را ارائه داده است. به‌طورکلی نتایج این پژوهش بیانگر آن است که عملکرد مدل تلفیقی از طریق هر دو روش تلفات SMA و SCS قابل قبول می‌باشد. همچنین مدل در تخمین سیلاب‌های لحظه‌ای و مقادیر اوج آن‌ها، بهتر از جریان‌های غیرسیلابی عمل می‌کند. اگرچه در هر دو مورد، مدل نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی مدل تلفیقی HEC-HMS و GLDAS ارائه شده در این پژوهش، ابزار قابل قبولی جهت پیش‌بینی رواناب در مناطق فاقد آمار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارش - رواناب، HEC-HMS/WMS، GLDAS، حوضه پلرود

مقدمه

زیرحوضه‌های استان گلستان مورد توجه قرار دادند. در این راستا استفاده از دو مدل تلفات شامل روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و روش گرین-امپت^۴ در کالیبراسیون مدل‌های رخداد پایه برای شبیه‌سازی بارش و رواناب بررسی و مقایسه شده است (۱۳). یوسوپ و همکاران (۲۰۰۷) برای مدل‌سازی بارش-رواناب در یک حوضه کوچک در مالزی از مدل HEC-HMS استفاده کردند و نتایج آن را در هر دو مرحله صحت‌سنجی و اعتبارسنجی رضایت‌بخش اعلام نمودند (۲۰). رحیمی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی برای پیش‌بینی جریان حوضه دوآب مرک از زیرحوضه‌های کرخه، از مدل پیوسته HEC-HMS استفاده کردند. در این پژوهش از نتایج مدل‌های عددی پیش‌بینی آب و هوا در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و الگوریتم PERSIAN استفاده شد. از آن‌جا که بسیاری از پارامترهای موجود در الگوریتم SMA^۵ ارتباط خوبی با روش شماره منحنی (CN) دارند، مدل ابتدا به‌صورت تک‌واقعه‌ای با روش تلفات شماره منحنی، واسنجی شد و نتایج آن در روش SMA مورد استفاده قرار گرفت (۱۴). روی و همکاران

با وجود نیاز مبرم بشر به آب، طغیان جریان آب‌های کنترل‌نشده هر ساله باعث ویرانی خانه‌ها، مرگ و میر انسان‌ها و فرسایش اراضی حاصل‌خیز می‌گردد. به همین دلیل لزوم پژوهش در امور مربوط به پیش‌بینی سیلاب‌ها بیش از پیش احساس شده و در همین رابطه پژوهش‌های فراوانی در سال‌های اخیر صورت گرفته است (۶). با توجه به این‌که در اغلب حوضه‌های آبریز کشور، وقوع سیل و خسارت‌های ناشی از آن روند افزایشی دارد، تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر کنترل سیل و مدیریت جامع آبریزها ضرورت دارد (۱۰). این فرآیند تاکنون دچار تحولات زیادی شده است، که مهم‌ترین آن‌ها پیدایش سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌های رقومی ارتفاعی (DEM)^۲ و مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در سال‌های اخیر می‌باشند که نقش چشم‌گیری در مدل‌سازی بارش رواناب ایفا کرده‌اند (۳). پاره‌کار و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای کالیبراسیون خودکار مدل مفهومی HEC-HMS با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک^۳ بر روی حوضه تمر از

4- Green-Ampt

5- Soil Moisture Accounting

1- Geographical Information System

2- Digital Elevation Model

3- Genetic Algorithm

جدیدترین و جامع‌ترین نرم‌افزارها می‌باشد (۱۱). این نرم‌افزار در هر نقطه‌ای از حوضه که مد نظر کاربر باشد قادر به محاسبه همه خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه و سپس محاسبه رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف خواهد بود. شناخت ارقام سیلابی جریانات رودخانه‌ای، برای حوضه‌هایی که اندازه‌گیری دبی در آن‌ها صورت نگرفته است یکی از مشکلات اساسی در طراحی تأسیسات آبی در این نواحی می‌باشد. در این مورد کارهای وسیعی در سطح جهانی صورت گرفته و مدل‌های متعددی در منابع مختلف معرفی شده‌اند. در همه این مدل‌ها تلاش شده است که یک ارتباط منطقی و معقول بین حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب یک منطقه، با برخی خصوصیات فیزیوگرافیکی حوضه صورت گیرد. بنابراین، برای تخمین دبی سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار، استخراج دقیق مشخصه‌های فیزیوگرافیکی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، که در این راستا نرم‌افزار WMS می‌تواند مفید واقع شود. امروزه با وجود فناوری‌های جدید سعی شده است که کارایی نرم‌افزار WMS ارتقا یابد. سنسجش از دور^۴ و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ترکیب با مدل‌های بارش رواناب از قبیل WMS/HEC-HMS^۵، ابزاری ایده‌آل جهت برآورد حجم رواناب، دبی اوج و هیدروگراف مربوطه می‌باشند (۱).

رواناب یکی از مهم‌ترین متغیرهای هیدرولوژیک است که در مطالعات منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌منظور پیش‌بینی رواناب در مناطق فاقد آمار، مدل‌های تعریف شده نیازمند داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی هستند. یکی از روش‌های مورد استفاده در تخمین رواناب، روش SCS^۶ می‌باشد.

(۲۰۱۳) در پژوهشی با استفاده از مدل HEC-HMS در حوضه‌ای در هند الگوریتم SMA را به‌کار بردند. تحلیل‌هایی که توسط ایشان صورت گرفت، نشان داد که پارامترهای خاک مانند ذخیره خاک^۱ و ضریب ذخیره لایه زیرزمینی اول^۲، پارامترهای حساس برای شبیه‌سازی جریان در این حوضه هستند (۱۶). یکی از مدل‌هایی که در این زمینه استفاده می‌شود، مدل جهانی سطح زمین (GLDAS) می‌باشد که امکان محاسبه تغییرات ناشی از اقلیم را فراهم می‌نماید. اطلاعات به‌دست آمده از این مطالعات سهم ارزشمندی در ارزیابی هرچه بهتر و دقیق‌تر اثرات نوسانات اقلیمی در حوضه‌های بزرگ، بر میزان ذخایر آبی آن‌ها خواهد داشت. استفاده از داده‌های ماهواره و مدل‌های سطح زمین (بروز شده با مشاهدات ماهواره‌ای)، به‌دلیل ارائه پارامترهای هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی ابزاری مهمی در هیدرولوژی و منابع آب می‌باشد. مدل جهانی سطح زمین محدوده عرض جغرافیایی ۶۰- تا ۹۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۸۰- تا ۱۸۰ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. بنابراین در صورتی که دقت داده‌های این سیستم اثبات شود، بسیاری از مشکلاتی که در برداشت داده‌های زمینی وجود دارد، از میان برداشته خواهد شد.

با توجه به این‌که بعضی حوضه‌های آبریز کوچک معمولاً فاقد ایستگاه‌های آب‌سنجی و یا دارای نواقص آماری هستند، نیاز به انتخاب روش‌های مناسب با توجه به شرایط و خصوصیات حوضه می‌باشد. انتخاب و صحت روش‌های انجام شده بستگی به نوع و شکل اطلاعات موجود و مکانیزم رواناب دارد (۷). در خصوص بررسی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز نرم‌افزار WMS^۳ که تحت GIS می‌باشد، یکی از

4- Remote sensing

5- Watershed Modeling System/ Hydrologic Engineering Center's-Hydraulic Modeling System

6- Soil Conservation Service

1- Soil Storage

2- Groundwater 1 storage coefficient

3- Watershed Modeling System

بارش و هیدروگراف‌های متناظر آن‌ها را مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از زیرمدل HEC-HMS و روش‌های SCS و اشنایدر، هیدروگراف سیل حوضه شبیه‌سازی شده، سپس واسنجی و صحت‌سنجی گردیدند. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف، با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری دارد (۱۲).

حوضه پلرود یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های آبریز موجود در استان گیلان است. به دلیل این‌که این حوضه، از سال ۲۰۰۶ به بعد فاقد آمار هیدرومتری و هواشناسی می‌باشد، خروجی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی به‌دست آمده از GLDAS بستر مناسبی را جهت برآورد تغییرات رواناب سطحی ایجاد می‌نماید. بنابراین در این پژوهش با توجه به‌روزرسانی و سهولت دسترسی به داده‌های GLDAS، جایگزینی برای داده‌های زمینی معرفی شد. هدف از تلفیق دو مدل HEC-HMS و GLDAS، دستیابی به نتایج دقیق‌تر (که مبتنی بر الگوهای جهانی می‌باشند)، برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی بارش- رواناب در مناطق فاقد آمار بوده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: محدوده مطالعاتی حوضه پلرود، در عرض شمالی ۳۶°۳۲' تا ۳۷°۰۱' و طول شرقی ۴۹°۴۵' تا ۵۰°۳۳' واقع شده است و بزرگ‌ترین حوضه آبریز موجود در منطقه شرق استان گیلان می‌باشد. این حوضه آبریز به‌طور عمده کوهستانی بوده و مقادیر حداکثر و متوسط ارتفاع آن نسبت به سطح دریا، به‌ترتیب ۳۸۰۰ و ۱۹۲۸ متر می‌باشد. مساحت حوضه پلرود برابر ۱۵۳۵ کیلومتر مربع است. مقادیر متوسط بلندمدت بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه معادل ۹۲۹ میلی‌متر می‌باشد. پارامترهای

در روش SCS، تعیین شماره منحنی^۱ رواناب که تابعی از ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه که شامل وضعیت خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌باشد، امری ضروری است.

این روش بیش‌تر برای حوضه‌های آبریزی که در آن‌ها داده‌های اندازه‌گیری رواناب وجود ندارد، به‌کار می‌رود (۵). ونگ و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی مدل GLDAS/NOAA^۲ در حوضه سانگوا^۳ واقع در کشور چین طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ پرداختند. بر اساس مقایسه‌ای که بین داده‌های مدل GLDAS و مشاهدات زمینی انجام شد، ضریب همبستگی ۰/۷۶ برای پارامتر بارش و ۰/۹۹ برای پارامتر دمای هوای نزدیک سطح زمین به‌دست آمد که نشان‌دهنده اعتبار داده‌های مدل GLDAS برای استفاده در مناطق فاقد آمار است (۱۸). سبزواری و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای، شبیه‌سازی بارش- رواناب را با به‌کارگیری قابلیت‌های GIS، روش SCS و مدل HEC-HMS برای حوضه آبخیز کسلیان، واقع در استان مازندران ارائه دادند. آن‌ها با به‌کارگیری چندین واقعه بارش و آب‌نگار سیلاب واقعی، واسنجی زمان تاخیر و هدررفت اولیه زیرحوضه‌ها صورت پذیرفت. نتایج پژوهش در مورد پیش‌بینی آب‌نگار سیلاب در دو رویداد بسیار مناسب بوده و خطای تخمین اوج سیلاب به‌طور میانگین بین ۱۰ تا ۱۵ درصد بوده که مقادیر قابل‌قبولی می‌باشند (۱۷).

نوری و همکاران (۲۰۱۳) مدل WMS را ابزاری مناسبی برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز پیشنهاد نمودند. در این رابطه پارامترهای مختلف و مؤثر در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز قروه مورد مطالعه قرارداد و پنج هایتوگراف

- 1- Curve Number :CN
- 2- Global Land Data Assimilation System (GLDAS)/National Oceanic And Atmospheric
- 3- Sangva

ایستگاه طول‌لات در منطقه استفاده شد (شکل ۲). سپس پارامترهای فیزیکی حوضه که قبلاً محاسبه شده بودند، به محیط نرم‌افزار HEC-HMS انتقال داده شدند. مدل HEC-HMS، برای شبیه‌سازی بارش-رواناب از اولین سری نرم‌افزارهای تهیه شده مرکز هیدرولوژی مهندسی آمریکا در سال ۱۹۶۸ است. مدل HEC-HMS، مدلی مفهومی و نیمه‌توزیعی است. که به‌صورت تک‌واقعه‌ای و پیوسته کاربرد دارد. در این پژوهش، روش دبی ثابت ماهانه برای شبیه‌سازی دبی پایه و همچنین روش SCS برای تبدیل بارش مازاد به رواناب به‌کار برده شد. در ضمن شبیه‌سازی پیوسته (با به‌کارگیری روش تلفات SMA و SCS) و شبیه‌سازی تک‌واقعه (با به‌کارگیری روش تلفات SCS) مدنظر بوده است. روش SMA، شامل الگوریتم محاسبه رطوبت خاک است و برای شبیه‌سازی ارتباط طولانی‌مدت بین بارش، رواناب، ذخیره، تبخیر و تعرق و تلفات خاک در حوضه است، استفاده می‌شود (شکل ۳).

فیزیوگرافی حوضه مانند مساحت، شیب و ارتفاع آن و همچنین طول و شیب رودخانه اصلی منطقه که در روابط بارندگی-رواناب مؤثرند، در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

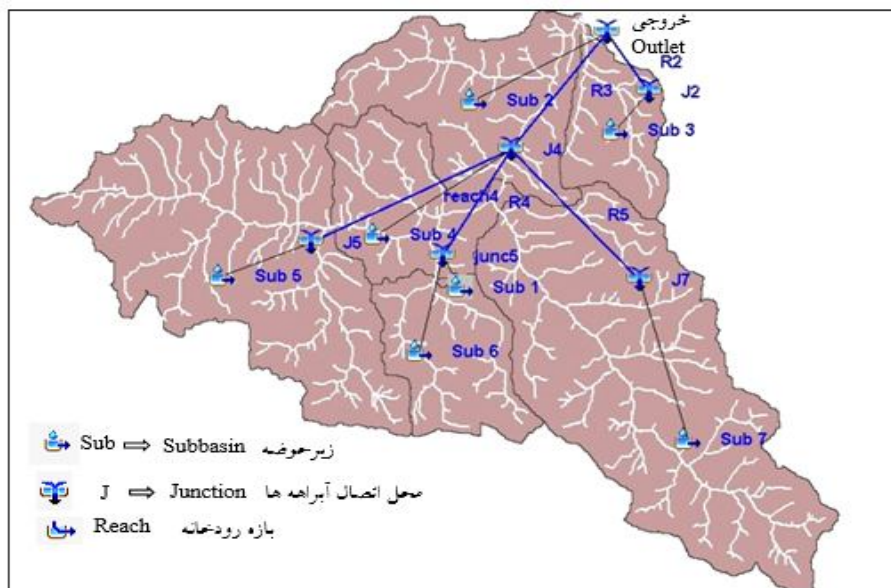
روش کار: به‌منظور برآورد پارامترهایی از قبیل محیط، طول آبراهه اصلی، بالاترین و پایین‌ترین نقاط ارتفاعی، از نقشه‌های رقومی ارتفاعی منطقه در محیط WMS استفاده شد که نتایج مربوطه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین با استفاده از زیربرنامه TOPAZ از مدل WMS، آبراهه‌ها و شبکه جریان منطقه مورد بررسی و ترسیم قرار گرفت. ارتفاع متوسط هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از روش میانگین وزنی و محاسبه شیب رودخانه با استفاده از نیمرخ طولی صورت گرفته است. با توجه به مشخصات فیزیوگرافی منطقه هفت زیرحوضه شناسایی شد که در شکل ۱ موقعیت آن‌ها آورده شده است.

جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب سیستم هیدرولوژیک، به‌دلیل وجود همبستگی بالا بین داده‌های آب‌سنجی و بارندگی مانند آن و پرهیز از خطاهای مربوطه، در این پژوهش فقط از آمار باران‌سنجی و هیدرومتری

جدول ۱- مجموعه نتایج مشخصات فیزیکی و توپوگرافی حوضه آبریز پلرود و زیرحوضه‌های آن.

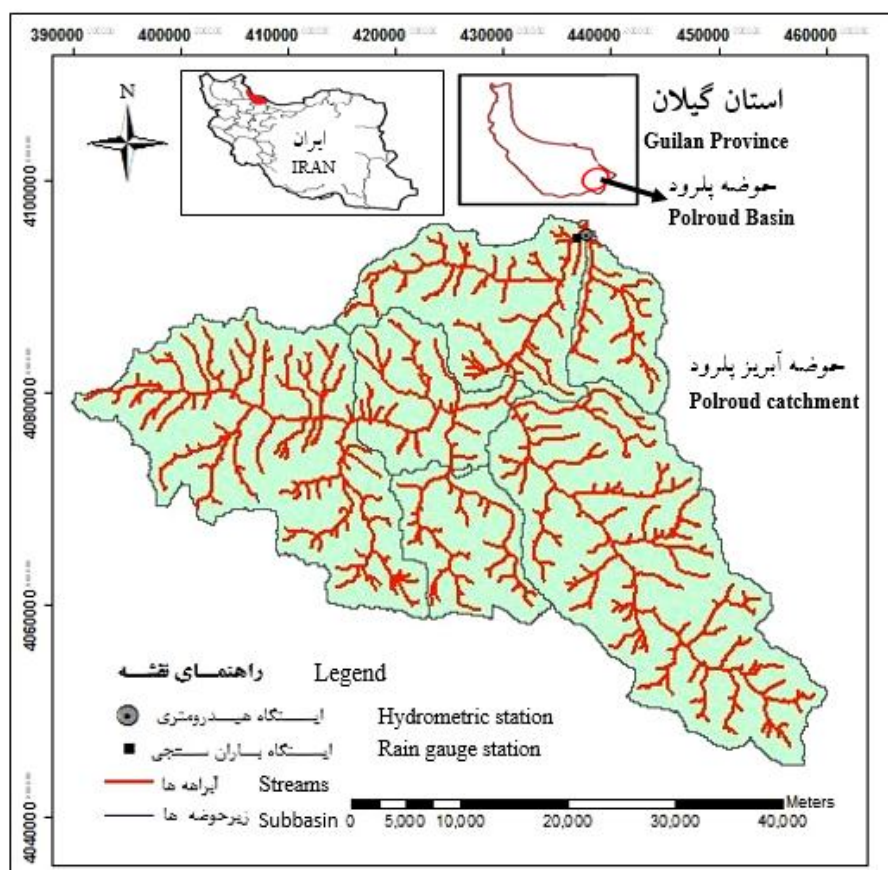
Table 1. Results of physical characteristics and topography of the basin and sub-basins of Polroud.

مستطیل معادل		ضریب گراویلیوس Gravelius factor	محیط Perimeter (کیلومتر)	آبراهه اصلی Main Stream (کیلومتر)	شیب		ارتفاع Altitude (متر)	مساحت Area (کیلومتر مربع)
عرض Width	طول Length				آبراهه Stream	حوضه Basin		
16.33	88.17	1.54	209	4.2	5.4	16.1	1897.7	1535



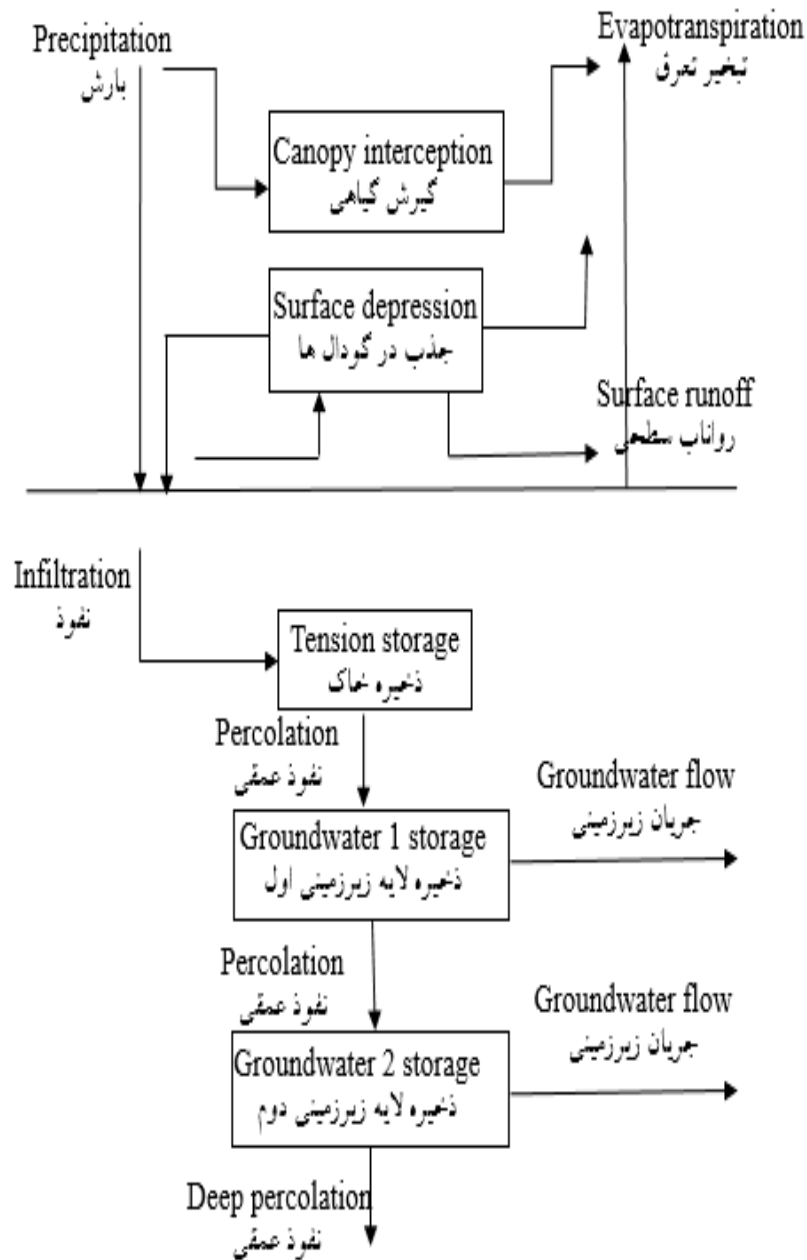
شکل ۱- حوضه آبریز پلرود، زیرحوضه‌های آن و شبکه هیدروگرافی.

Figure 1. Polroud watershed, sub-basins and the hydrographic network.



شکل ۲- موقعیت حوضه پلرود همراه با زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه.

Figure 2. The Polroud watershed location with sub-basins and the stations in the study area.



شکل ۳- ساختار الگوریتم SMA (سازمان مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۰).

Figure 3. The structure of the algorithm SMA (the Army Corps of Engineers America, 2000).

مدل GLDAS، به‌طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی (NASA)^۱، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)^۲ سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) و مراکز ملی پیش‌بینی محیط زیست

در برخی زمینه‌ها توسعه داده شده است (NCEP)^۳ هدف از GLDAS بهینه تولید کردن مجموعه‌ای از متغیرهای سطحی زمین است. بخش دانش هیدرولوژی در مرکز هوایی گودارد ناسا، در جهت بهتر درک

3- The National Center For Environmental Prediction

1- National Aeronautics and Space
2- Gravity Recovery and Climate Experiment

انجام قابلیت محاسباتی در محیط GLDAS کار محدود مطالعه‌ای در ۳ پیکسل با ابعاد ۲۵×۲۵ کیلومتر قرار داده شد. از بین ۳ پیکسل در نظر گرفته شده، ایستگاه طول‌لات در مرکز یک پیکسل با مساحت ۶۲۵ کیلومتر مربع قرار گرفت.

پس از انجام محاسبات مربوط به GLDAS و حصول نتایج آن، داده‌های مربوطه به محیط HEC-HMS منتقل گردید. بدین منظور، برای پارامترهای مورد نظر، علاوه بر انجام تبدیل واحد، همچنین بازه‌های زمانی ۳ ساعته به ۲۴ ساعته تبدیل گردید، تا بتواند قابلیت محاسباتی در محیط HEC-HMS داشته باشند. هنگام انجام محاسبات در محیط HEC-HMS، علاوه بر زیرمدل‌های از قبیل اقلیمی و حوضه، شاخص‌های کنترلی نیز در این رابطه وجود دارد که مورد توجه قرار گرفت. در زیرمدل حوضه برای تعیین تلفات اولیه، محاسبه رواناب سطحی، محاسبه آب پایه و روندیابی سیل در رودخانه به کار می‌رود. زیرمدل اقلیمی نیز، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه را با استفاده از داده‌های بارندگی، تبخیر تعرق و ذوب برف انجام می‌دهد. داده‌های بارندگی باید دارای توزیع مکانی و زمانی مناسبی در سطح حوضه آبخیز باشند. در بخش شاخص کنترلی نیز، باید تاریخ شروع و پایان شبیه‌سازی و فواصل زمانی، مورد توجه قرار گیرد.

کردن چرخه هیدرولوژی در سطح زمین، مسئول جمع‌آوری مجموعه‌ای از داده‌های هیدرولوژیکی با قدرت تفکیک زمانی ۳ ساعته و ماهانه که از میانگین‌گیری از همین داده‌های ۳ ساعته تولید می‌شوند و داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی ۱ درجه از سال ۱۹۷۹ تاکنون و با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه از سال ۲۰۰۰ تا حال حاضر، که از طریق اندازه‌گیری‌های صحرائی، ماهواره‌ای و یکسری متغیرهای شبیه‌سازی شده به دست آمده از چهار مدل سطحی به نام‌های Mosaic، NOAA، CLM^۲ و VIC^۳ می‌باشد. داده‌هایی که به عنوان ورودی در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل دو دسته کلی می‌باشند.

داده‌ها شامل داده‌های هواشناسی و اطلاعات مربوط به فاکتورهای سطح زمین است. خطاهای سیستماتیک موجود در متغیرهای ورودی مدل‌های ذخیره آب و انرژی، منجر به خروجی‌های غیرصحیح از این مدل‌ها خواهد شد که GLDAS کوشش می‌کند تا این خطا را به کم‌ترین حد ممکن برساند.

داده‌های خروجی این مدل جهانی هیدرولوژیکی در فرمت GRIB، منتشر می‌شود که توسط سازمان جهانی هواشناسی WMO در جهت افزایش قابلیت ذخیره اطلاعات هواشناسی تولید شده است و از طریق مراکزی چون HDISC^۴ قابل دریافت هستند که به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است (۲).

در طی دوره آماری ۴ ساله ۲۰۰۳-۲۰۰۶ که ایستگاه طول‌لات دارای آمار ثبت شده (بارش، رواناب و دمای هوا) می‌باشد، از آن‌ها برای واسنجی ضرایب، استفاده گردید. داده‌های ماهواره‌ای GLDAS نیز از سایت Giovanni استخراج گردید و تجزیه تحلیل برای ده سال ۲۰۰۴-۲۰۱۳ انجام گرفت. به منظور

- 1- Mobility Strategy Applications in the Community
- 2- Community Land Model
- 3- Variable Infiltration Capacity
- 4- Hydrology Data and Information Services Center

جدول ۲- خروجی های ۴ مدل زیرمجموعه GLDAS (۲).

Table 2. Outputs of 4 subsets model (2).

واحد (Unit)	پارامتر (Parameter)
Pa	فشار سطحی Surface pressure
K	دماهای هوا نزدیک سطح، متوسط سطح و خاک در لایه متوسط Near surface air temperature, average surface temperature, Average layer soil temperature
ms ⁻¹	سرعت باد در سطح زمین Near surface wind magnitude
kgkg ⁻¹	رطوبت مخصوص نزدیک سطح Near surface specific humidity
kgm ⁻²	تبخیر و تعرق کل Total evapotranspiration
kgm ⁻²	آب معادل برف و ذوب برف Snow water equivalent, Snowmelt
kgm ⁻²	ذخیره آب در پوشش گیاهی Total canopy water storage
wm ⁻²	تابش های خالص با طول موج های کوتاه و بلند Net longwave radiation, Net shortwave radiation
wm ⁻²	شار گرمای محسوس Sensible heat flux
kgsm ⁻²	مقادیر بارش باران و بارش برف Rainfall rate, Snowfall rate
wm ⁻²	شار گرمایی زمین و شار گرمای نهان Ground heat flux, Latent heat flux
wm ⁻²	تابش های طول موج های کوتاه و بلند در سطح Surface incident longwave radiation, Surface incident shortwave radiation
kgm ⁻²	رواناب های سطحی و زیرسطحی Surface runoff, Subsurface runoff

اولیه هر یک از زیرحوضه های مطالعاتی، ۲۰ درصد نگهداشت حوضه (که با استفاده از شماره منحنی به دست آمده) بود، به عنوان مقدار اولیه تلفات به مدل معرفی گردید (رابطه ۳). تلفات از طریق روش SMA، سطح حوضه را به ۵ قسمت تقسیم می کند که دو قسمت آن بالای سطح خاک و ۳ لایه که زیرزمین در نظر گرفته می شود. ۱۲ پارامتر برای مدل سازی فرآیندهای برگاب، ذخیره سطحی، نفوذ عمقی و

واسنجی مدل: جهت شبیه سازی جریان و بهینه سازی پارامترهای مربوطه، برای تعیین تلفات از طریق روش SCS، ابتدا مقدار CN برای هر زیرحوضه، از طریق روش وزنی در GIS، تعیین گردید که مقدار آن در شرایط بهینه برای کل حوضه بین ۴۸-۳۸ محاسبه شد. مقدار نگهداشت سطحی^۱ از طریق مقدار CN برای هر زیرحوضه از رابطه ۱ محاسبه گردید. مقدار تلفات

1- Surface Storage

خطا (RMSE)، معیار انتخاب خطا (Bias) و تابع نش- ساتکلیف (E) مورد بررسی قرار گرفت. روابط مربوطه به شرح ذیل می‌باشد. مقادیر Qsim و Qobs، به ترتیب دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشند، n تعداد مشاهدات و \overline{Qobs} متوسط دبی مشاهداتی است.

$$R^2 = \left(\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Qobs - \overline{Qobs})(Qsim - Qsim)}{Qobs \times Qsim} \right)^2 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Qsim - Qobs)^2}{n}} \quad (5)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (Qsim - Qobs)}{n} \quad (6)$$

$$E = 1 - \left(\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Qobs - Qsim)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Qobs - \overline{Qobs})^2} \right) \quad (7)$$

نتایج و بحث

بهینه‌سازی پارامترهای مدل تلفیقی: در این مطالعه، تلفیقی از دو مدل GLDAS و HEC-HMS جهت دستیابی به یک روش آسان و دقیق در تخمین رواناب به کار برده شد. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید، ابتدا داده‌های بارش، رواناب‌های سطحی و زیرسطحی و دمای مجاور سطح از مدل GLDAS برای بازه زمانی ۲۰۰۴-۲۰۱۳ استخراج گردید و سپس به مدل HEC-HMS به‌عنوان داده‌های ورودی معرفی شدند.

ذخیره زیرزمینی مورد نیاز است. با توجه به این الگوریتم، تبخیر تعرق در دوره‌های خشک، از گیرش گیاهی و سپس ذخیره سطحی و بعد، از نیم‌رخ خاک تعیین می‌شود. از سوی دیگر نفوذ عمقی زمانی صورت می‌گیرد که ظرفیت نگهداشت سطحی به‌طور کامل پر شده است (۱۹). واسنجی به‌صورت دستی صورت گرفت و پارامترها به‌صورت صحیح و خطا وارد مدل شدند. پارامترهای حساس برای شبیه‌سازی جریان در این حوضه، نرخ نفوذ خاک، ضریب ذخیره لایه زیرزمینی اول، نفوذناپذیری^۱ و ذخیره خاک هستند. از روش SCS، برای تبدیل بارش به رواناب استفاده شد، مقدار زمان تاخیر^۲ از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (1)$$

$$TL = \frac{L^{0.8} \times (S+1)^{0.7}}{1900 \times y^{0.5}} \quad (2)$$

$$Ia = 0.2S \quad (3)$$

که در آن‌ها، S ضریب نگهداشت سطحی، TL زمان تاخیر حوضه (فاصله زمانی بین مرکز بارندگی تا نقطه اوج هیدروگراف) حوضه بر حسب ساعت، L طول رودخانه اصلی (فوت)، y متوسط شیب حوضه بر حسب درصد می‌باشد.

در این پژوهش، واسنجی به روش کلی^۳ صورت گرفت. به عبارت دیگر همه پارامترهای مورد نظر به‌صورت توأم و با یکدیگر تغییر یافتند (۱۹). در این پژوهش عملکرد مدل‌ها با استفاده از معیارهای ارزیابی که شامل ضریب تعیین (R^2)، میانگین مجذور مربعات

- 1- Impervious
- 2- Lag Time
- 3- Global

در جدول ۴ آورده شده است. برای واسنجی و صحت‌سنجی این مدل، شبیه‌سازی از ابتدای اول ماه ژانویه سال ۲۰۰۳ تا ۳۰ دسامبر سال ۲۰۰۶ (۴۸ ماه) انجام گرفت. به عبارت دیگر، دوره ۳ ساله (۲۰۰۳-۲۰۰۵) برای واسنجی مدل و یک دوره ۱ ساله برای صحت‌سنجی استفاده گردید که نتایج آن بر اساس روش تلفات SCS در جدول ۴ و روش تلفات SMA در جدول ۵ ارائه گردیده است.

پس از انجام شبیه‌سازی رواناب توسط مدل HEC-HMS، نتایج مربوطه مورد ارزیابی و واسنجی قرار گرفتند.

در جدول ۳ نتایج مقدار بهینه شده پارامترهای مورد بررسی، در مقیاس زیرحوضه‌های منطقه آورده شده‌اند. قابل ذکر است که این مقادیر مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۶ داده‌های ایستگاه طول‌لات و ۲۰۰۴-۲۰۱۳ داده‌های مدل GLDAS می‌باشند.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل تلفیقی: نتایج واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های خروجی مدل HEC-HMS

جدول ۳- مقادیر بهینه پارامترهای مورد نظر در مدل تلفیقی HEC-HMS و GLDAS.

Table 3. The optimal quantities of the parameters in the integrated model.

تلفات اولیه (میلی متر)	زمان تاخیر (دقیقه)	شماره منحنی	مساحت (کیلومتر مربع)	زیرحوضه
Initial abstraction	Lag Time (min)	Curve Number	Area (km ²)	Sub-basin
76.2	438	40	1.25	Sub1
76.2	3888	40	223.9	Sub2
82	2526	38	101.02	Sub3
76.2	2958	40	136.75	Sub4
50.8	3744	48	421.20	Sub5
50.8	2196	48	134.3	Sub6
50.8	4230	48	516.2	Sub7

جدول ۴- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS بر اساس روش تلفات SCS.

Table 4. The calibration and verification of simulation HEC-HMS model based on the SCS losses.

RMSE	Bias	Nash	R ²	دوره (Period)
9.3	5.4	0.82	0.88	2003
8.9	5.8	0.62	0.68	2004
5.6	2.3	0.89	0.92	2005
8.2	5.1	0.78	0.84	2006

جدول ۵- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS با روش تلفات SMA.

Table 5. The calibration and verification of simulation HEC-HMS based on the SMA losses.

RMSE	Bias	Nash	R ²	دوره (Period)
12.3	-1.4	0.63	0.64	2003
13.4	-4.3	0.44	0.45	2004
9.2	-2.1	0.60	0.66	2005
12.9	-3.8	0.58	0.60	2006

برای دو شاخص دیگر بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به جدول‌های ۶ و ۷ می‌توان دریافت که در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل تلفیقی، این اختلاف‌ها برای دو شاخص Nash و R² مربوط به دو روش SMA و SCS به ترتیب ۱۹ و ۵ درصد می‌باشند، اگرچه در خصوص دو شاخص دیگر اختلاف‌ها همچنان قابل توجه هستند.

در هر صورت قابل ذکر است که دو روش SMA و SCS با شرایطی کاملاً متفاوت می‌باشند. روش SCS مبتنی بر شرایط هیدرولوژیکی حوضه بوده، در حالی که روش SMA مبتنی بر شرایط هیدرودینامیکی خاک می‌باشد. بنابراین وجود اختلاف‌های مشاهده شده، قابل قبول می‌باشد. اصولاً در چنین مقیاس‌هایی، با توجه به اطلاعات پایه GLDAS/NOAA که مدلی بزرگ مقیاس می‌باشد، نمی‌توان به نتایج بسیار نزدیک در بین روش‌های به کار برده شده، دست یافت.

برای دوره ۱۰ ساله (۱ ژانویه ۲۰۰۴ تا ۳۰ دسامبر ۲۰۱۳) تلفیق دو مدل GLDAS و HEC-HMS برای شبیه‌سازی به کار برده شد. ابتدا یک دوره ۶ ساله (۲۰۰۴-۲۰۰۹) از خروجی‌های مدل GLDAS، برای واسنجی مدل و یک دوره ۴ ساله (۲۰۱۰-۲۰۱۳) برای صحت‌سنجی انتخاب شد. معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و صحت‌سنجی در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول‌ها دیده می‌شود، شاخص‌های آماری به کار برده شده به خوبی کارایی مدل تلفیقی را در برآورد جریان با هر دو روش تلفات SCS و SMA را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول‌های ۴ و ۵ می‌توان دریافت که در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS، اگرچه اختلاف‌هایی به ترتیب در حدود ۲۹ و ۲۷ درصد در بین شاخص‌های Nash و R² مربوط به دو روش SMA و SCS وجود دارد و این اختلاف‌ها

جدول ۶- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل تلفیقی با روش تلفات SCS.

Table 6. The calibration and verification of simulation integrated model with SCS losses.

RMSE	Bias	Nash	R ²	دوره (Period)
9	3.44	0.26	0.51	2004
2.5	0.78	0.86	0.9	2005
7.1	3	0.87	0.9	2006
5.9	2	0.89	0.9	2007
9.2	4.2	0.67	0.79	2008
7.2	5.1	0.84	0.92	2009
7.4	3.9	0.64	0.73	2010
14.3	9.6	0.79	0.89	2011
7.8	5.6	0.11	0.87	2012
7.5	5.1	0.74	0.89	2013

جدول ۷- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل تلفیقی با روش تلفات SMA.

Table 7. The calibration and verification of simulation integrated model with SMA losses.

RMSE	Bias	Nash	R ²	دوره (Period)
12.8	6.4	0.08	0.3	2004
5.2	-0.37	0.52	0.56	2005
9.2	-1.1	0.75	0.77	2006
10.8	-2.4	0.70	0.72	2007
8.9	0.67	0.74	0.75	2008
6.5	-0.60	0.79	0.8	2009
7.8	0.72	0.6	0.62	2010
14.8	-0.95	0.71	0.72	2011
8.5	1.4	0.64	0.68	2012
5.9	1.5	0.77	0.8	2013

بدین‌منظور، معیار درصد خطا، بین مقادیر داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که بر اساس میزان خطای محاسبه شده داده‌های ۱۰ سال شبیه‌سازی شده برای هر یک از سه تقسیم‌بندی ذکر شده داده‌ها، در سه گروه نتایج مطلوب، متوسط و نامطلوب تفکیک گردید.

ارزیابی نتایج مدل تلفیقی: جهت ارزیابی عملکرد مدل تلفیقی، سه روش کلی در نظر گرفته شد: الف، مقایسه نتایج کل داده‌ها (اعم از طغیان‌ها و مواقع جریان تاريسمان)، به‌صورت توأم (جدول ۸). ب، مقایسه نتایج داده‌های مواقع طغیانی (جدول ۹) و ج، مقایسه نتایج طغیان‌های حدی سالانه (جدول ۱۰).

جدول ۸- میزان خطای مدل تلفیقی به‌صورت توأم برای کل داده‌ها در طی دوره ۱۰ ساله.

Table 8. Error rate of integrated model for all data during 10 years.

سال Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
خطا (درصد) Error (%)	129.9	36.41	75.51	81.2	95.51	107.1	179.1	163	121.3	150.5

مجزا ارزیابی شود. در جدول ۹ خطای برآورد مدل تلفیقی در تخمین تعداد ۱۴۹ طغیان در سطح حوضه ارائه شده است.

مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین خطاها به‌ترتیب ۴/۲، ۶۴/۶ و ۱۶/۳ درصد می‌باشد. بر اساس روش سوم، که اوج مقادیر رواناب حداکثر سالانه را مورد توجه قرار داده است، مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین خطاها به‌ترتیب ۷/۲، ۲۴ و ۱۲/۸ درصد می‌باشد.

با توجه به روش تحلیل توأم خطاها (روش الف)، مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین خطا به ترتیب ۳۶/۴۱ (سال ۲۰۰۵)، ۱۷۹/۱ (سال ۲۰۱۰) و ۱۰۷ درصد می‌باشد. اگرچه روش توأم، یک شناخت کلی از مقادیر خطاها ارائه می‌دهد ولی در بسیاری از موارد، پیش‌بینی مدل بارش- رواناب برای موارد طغیانی مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین بهتر است تحلیل خطاها برای این‌گونه موارد، تفکیک شده و به‌صورت

با بررسی نتایج سه روش مورد استفاده می‌توان دریافت که دقت مدل تلفیقی، در برآورد جریان، به‌ویژه در هنگام طغیان‌ها مطلوب بوده و در حد قابل قبول می‌باشد. در شکل‌های ۴ و ۵ نمونه‌ای از برآورد سالانه جریان توسط مدل تلفیقی ارائه شده است.

جدول ۹- میزان خطای مدل تلفیقی در برآورد مقادیر طغیان‌ها در طی دوره ۱۰ ساله.

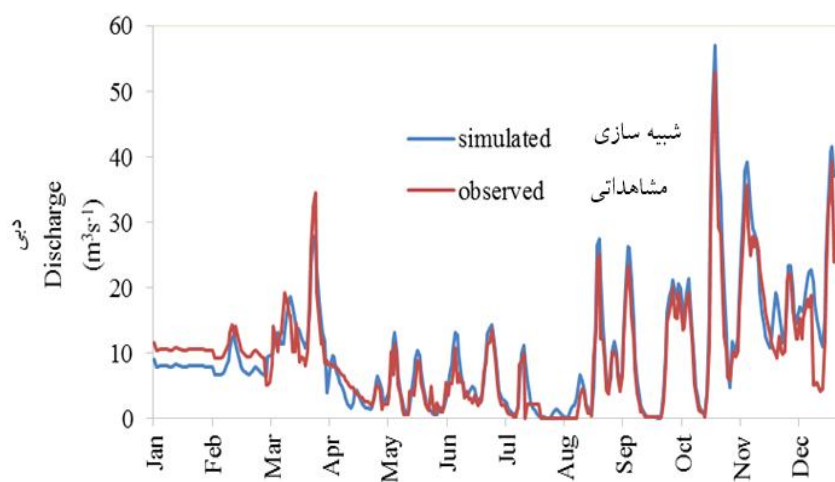
Table 9. Error of integrated model for flooding amounts in the course of 10 years.

2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	سال (Year)
14	12	16	14	13	13	16	16	19	16	تعداد (Number)
7.2	7.4	7.3	9.9	3.4	6.2	4.2	7.1	6	6.6	کمینه Minimum
26.2	20.3	64.6	35	39.2	26	16.78	26.2	23.9	46.8	بیشینه Maximum
15.5	12.4	23.6	19.1	14.4	16.78	11.28	18.3	11.8	20.8	میانگین Average

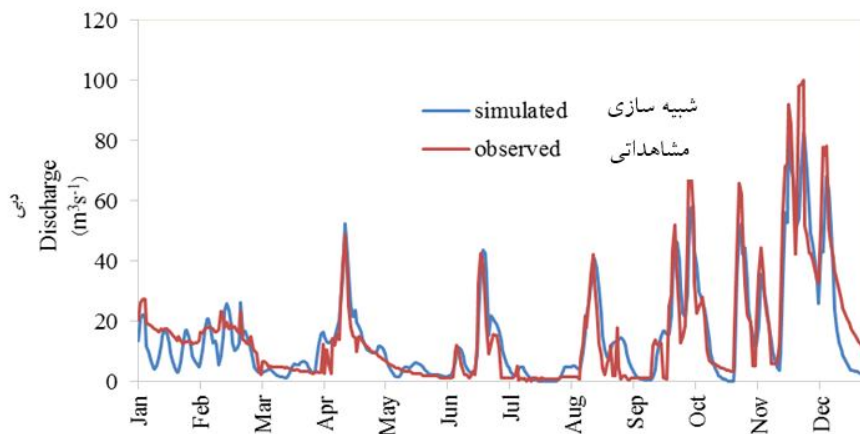
جدول ۱۰- برآورد خطای مقادیر حداکثر طغیان سالانه و حجم رواناب نظیر آن در طی دوره ۱۰ ساله.

Table 10. Error estimation the maximum amounts annual flooding and runoff volume during 10-year period.

2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	سال (Year)
14	8.5	19.7	10.8	13.9	14	8.8	7.2	7.5	24	اوج رواناب (Runoff Peak)
40	38	39.9	37.5	32.5	32	9.3	17.5	8.3	50	حجم رواناب (Runoff Volume)



شکل ۴- سری‌های زمانی رواناب‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل تلفیقی با روش تلفات SCS- سال ۲۰۰۵.
Figure 4. Time series of observed and simulated runoff integrated model with SCS loss, 2005.



شکل ۵- سری‌های زمانی رواناب‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل تلفیقی با روش تلفات SMA- سال ۲۰۰۹.
Figure 5. Time series of observed and simulated runoff integrated model with SMA loss, 2009.

الگوریتم SMA و روش SCS به کار برده شده است. با توجه به این که بیش‌تر پارامترهای الگوریتم مربوط به محاسبه تلفات (مانند بیش‌ترین میزان نفوذ، نرخ نفوذ عمقی و اجزای لایه‌های زیرزمینی) تأثیر زیادی بر جریان شبیه‌سازی شده دارند. همچنین این الگوریتم یک ساختار خطی دارد و ممکن است در تبدیل بارش به رواناب فرآیندهای غیرخطی وجود داشته باشد، که با در نظر گرفتن آن، خطا ایجاد می‌شود که می‌توان با نتایج یعقوبی و همکاران (۲۰۱۳) مشابه است (۱۹). با توجه به این که منطقه مورد مطالعه فاقد آمار بوده، روش تلفات SCS، برای واسنجی سیلاب ساعتی به کار برده شد و همچنین برای مدل‌سازی بارش- رواناب پیوسته، نتایج قابل‌قبولی را ارائه داده است. هر دو روش تلفات SMA و SCS نتایج قابل‌قبولی را برای حوضه ارائه داده‌اند.

بنابراین در مناطق فاقد آمار، مدل تلفیقی گزینه‌ای مناسب برای تهیه داده‌های هواشناسی می‌باشد. از سوی دیگر، با توجه به این که داده‌های مدل GLDAS در بازه‌های زمانی کوتاه، به‌روز رسانی می‌شوند این امر باعث بهبود داده‌های این مدل شده و در کل باعث اطمینان نتایج مدل تلفیقی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش سعی گردید که با استفاده از تلفیق دو مدل GLDAS و HEC-HMS مقادیر رواناب در مقیاس زیرحوضه‌ها و کل حوضه طول‌لات استان گیلان برآورد گردد. هدف از این کار، دستیابی به مدلی با دقت مناسب جهت تخمین رواناب مناطق صعب‌العبور و فاقد آمار و یا مناطق با کیفیت آماری نامناسب بوده است. استفاده از مدل GLDAS این مزیت را خواهد داشت که بسیاری از مشکلاتی که در برداشت داده‌های زمینی وجود دارد، مرتفع گردد.

به‌عبارت دیگر، از آن‌جا که داده‌های دمای هوای به‌دست آمده از مدل GLDAS در گام‌های زمانی روزانه و به‌ویژه ماهانه و داده‌های بارش و رواناب در گام زمانی ماهانه همبستگی خوبی با داده‌های ایستگاه هواشناسی دارند، که توسط برخی از پژوهش‌گران مانند (گتسچالک و همکاران (۲۰۰۵)، ونگ و همکاران (۲۰۱۱)، لیو و همکاران (۲۰۱۱) و مویوو و همکاران (۲۰۱۲) مورد تأکید قرار گرفته است (۴، ۱۸، ۸ و ۹).

از طرف دیگر، مدل هیدرولوژیکی پیوسته HEC-HMS برای حوضه پلرود، بر اساس روش

منابع

1. Demayo, A., and Steel, A. 1996. Data handling and presentation, in Chapman, Water Quality Assessments, A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring: London, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, 2nd edition, Chapter. 10: 511-612.
2. Fangl, H., Beaudoin, H., Rodell, M., Teng, W., and Vollmer, B. 2009. Global land data assimilation (GLDAS) products, services and application from NASA hydrology data and information services center (HDISC). ASPRS 2009 Annual Conference Baltimore. Maryland March 8-13.
3. Garrote, L., and Bras, R.L. 1995. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models. *J. Hydrol.* 167: 15. 279-306.
4. Gottschalck, J., Meng, J., Rodell, M., and Houser, P. 2005. Analysis of multiple precipitation products and preliminary assessment of their impact on Global Land Data Assimilation System (GLDAS) land surface states. *J. Hydrometeorol.* 6: 5. 573-598.
5. Inci Tekel, Y., Akgul, S., Dengiz, O., and Akuzum, T. 2006. Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curve number and geographical information system. *River Basin Flood Manage. J.* 20: 527-538.
6. Khodaparast, R., Dastorani, M.T., Vafakhah, M., and Talebi, A. 2009. Evaluation HEC-HMS model to estimate flood flows (Case Study: Mashhad dam). National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources, Rey, Rey University. (In Persian)
7. Lee, J.H., Yoon, K.L., Jeong, S., and Lee, E.T. 2003. Mapping of floodplain boundaries using high spatial resolution DEM. AUTH, The Salonika, Greece, XXX IAHR. Pp: 833-834.
8. Liu, Y.Y., Parinussa, R.M., Dorigo, W.A., De Jeu, R.A.M., Wagner, W., van Dijk, A.I.J.M., McCabe, M.F., and Evans, J.P. 2011. Developing an improved soil moisture dataset by blending passive and active microwave satellite-based retrievals. *Hydrology and Earth System Sciences.* 15: 2. 425-436.
9. Moiwo, J.P., Lu, W., and Tao, F. 2012. GRACE, GLDAS and measured groundwater data products show water storage loss in Western Jilin, China. *Water Sci. Technol.* 65: 9. 1606-1614.
10. Mohammadi Motlagh, R., Jalal Kamali, N., and Jalal Kamali, A. 2013. The Role of the basins participation in the intensity of flooding in the Dalaki basin. *J. Irrig. Water Engin.* 13: 4. 31-44. (In Persian)
11. Nouri, F., Behmanesh, J., Mohammadnezhad, B.A., and Rezaei, H. 2012. Evaluation and calibration of WMS/HEC-HMS model to estimate flood in the ungauged basin. The fifth conference of watershed management and soil and water resources management. (In Persian)
12. Nouri, F., Behmanesh, J., Mohammadnezhad, B.A., and Rezaei, H. 2013. Evaluation of WMS/HEC-HMS model in flood forecasting of Ghorve watershed. *J. Water Soil Cons.* 19: 4. 201-209. (In Persian)
13. Parehkar, A., Mousavi, J., and Kamali, B. 2011. Comparison Losse models Green-Ampt and SCS on automatic calibration of hydrologic model HEC-HMS. Fourth Conference on Water Resources Management, Tehran, Amir-Kabir University of Technology. (In Persian)
14. Rahimi, M., Saghafian, B., Azadi, M., and Sedghi, H. 2010. Flood forecasting in arid and semi-arid region using continuous hydrological modeling. *World Appl. Sci. J.* 10: 6. 645-654. (In Persian)
15. Rodell, M., Houser, P.R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C.J., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J.K., Walker, J.P., Lohmann, D., and Toll, D. 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 85: 3. 381-394.
16. Roy, D., Begam, S., Ghosh, S., and Jana, S. 2013. Calibration and validation of HEC-HMS model for a river basin in eastern India. *ARPN J. Engin. Appl. Sci.* 8: 1. 40-56.
17. Sabzevari, T., Ardakanian, R., Shamsaee, A., and Talebi, A. 2009. Estimate the flood hydrograph of ungauged basins using HEC-HMS and GIS (Case study: Watershed Kasilian). *J. Water Resour. Engin.* 2: 1-12. (In Persian)

18. Wang, F., Wang, L., Koike, T.H., Zhou, K., Yang, A., and Li, W. 2011. Evaluation and application of a fine-resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydrological model. *J. Geophysic. Res.* 116: 10. 148-227.
19. Yaghoubi, M., and Massah Bavani, A.R. 2013. Sensitivity analysis and comparison of capability of three conceptual models HEC-HMS, HBV and IHACRES in simulating continuous rainfall-runoff in semi-arid basins. *J. Earth Space Physics.* 40: 2. 153-172. (In Persian)
20. Yusop, Z. 2007. Runoff characteristics and application of HEC-HMS for modeling stormflow hydrograph in an oil palm catchment. *Water Science and Technology.* 56: 8. 41-48.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Integrated HEC-HMS and GLDAS models to runoff estimate of ungauged area

***A. Taheri Tizro¹, H. Pakdel Khasmaki², S. Marofi³ and M. Vazifedoust⁴**

¹Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resources, Bu-Ali Sina University of Hamedan,

³Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University of Hamedan,

⁴Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Guilan

Received: 06/28/2015; Accepted: 05/15/2016

Abstract

Background and objectives: Water resources development, requires frequency water recognition, temporal and spatial water distribution, also detailed assessment of its performance. Planning in ungauged areas is required providing appropriate data. Thus using satellite data, is one of the methods solving this problem. For this purpose, large-scale models of the earth's surface such as GLDAS, have been updated based on satellite observations, are important tools for providing hydrological parameters. The global coverage of GLDAS, using data of the model have been considered in rainfall-run off studies. GLDAS model to evaluate the components of the water balance and energy changes in the Earth's surface, attempted to produce meteorological and hydrological parameters of high quality in the period 1948-2015. The purpose of this study, presented integrated model to estimated discharge in ungauged data.

Materials and Methods: In this study, the GLDAS model integrated with hydrological model, WMS/HEC-HMS. Integrated model was used in rainfall-runoff studies in Polroud area in Guilan province. In this case, the Tol-lat station observation data was used during 3 years (2003-2005) for calibration and 1 year 2006 for verification through two SMA and SCS methods. In this regard, for the SCS method, model calibrated parameters such as curve number, lag time and initial abstraction. For the SMA method, model calibrated soil storage, soil percolation rate, groundwater 1 storage coefficient, groundwater 2 storage coefficient and other parameters. After evaluating GLDAS results, analyzed the precipitation, surface runoff, subsurface runoff and temperature data in the pixels corresponding to the Tol-lat gauging station along the 10 years (2004-2013). Then, using WMS/HEC-HMS, runoff in the watershed was simulated using two losses method SCS and SMA, 2004-2009 for coefficient calibration and 2010-2013 for verification. The results indicated that SMA and SCS method offer better results through integrated model. Evaluation based on criteria coefficient of determination (R^2), Nash coefficient (E), the standard error of Bias, a root mean square error (RMSE) and Error showed that integrated HEC-HMS and GLDAS models is a useful tool for estimating run off in ungauged watershed.

Results: The results show that integrated HEC-HMS and GLDAS models in SMA losses in 2013 (verification period), with 0.8 coefficient of determination, 0.77 and Nash coefficient, 1.5 RMSE and 6.1 Bias error. The integrated model with SCS method in 2005 (calibration period), with 0.9 coefficient of determination, 0.86 and Nash coefficient, 0.78 RMSE and 2.5 Bias error have highest efficient. Also the model in estimating the flood peak moment is better than the non-flood values. Although in both cases, the model results were acceptable.

Conclusion: The integrated model HEC-HMS and GLDAS presented in this study is an acceptable tool for predicting runoff in inaccessible and ungauged watershed.

Keywords: Rainfall-runoff, WMS/HEC-HMS, GLDAS, Polroud, Watershed

* Corresponding Author; Email: ttizro@yahoo.com