کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم محیطی، شماره ۱۰،دوره۴ ، فصل بهار سال ۱۴۰۳، صص ۱۴۷-۱۲۳
Application of remote sensing and GIS in environmental sciences, Vol.4,No.10, Spring 2024, pp. 123-147

عنوان مقاله (حداکثر ۱ ارزیابی دقت داده‌های بارندگی ایستگاهی و بازتحلیل برای شبیه سازی رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاپور)

ملیحه بایرام*، میلاد رضائی

۱- ملیحه بایرام: فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه بین المللی امام خمینی

ایمیل: malihe.bayram@gmail.com

۲- میلاد رضائی: دانشجوی دکترای دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

ایمیل :rezaei.milad.uma@gmail.com

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی کارایی داده‌های بازتحلیل پایگاه‌های Era-interim، Agera5 و داده‌های ایستگاهی جهت شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل Sacramento در حوضه آبخیز شاپور انجام شده است. با تمرکز بر رویکردی نوآورانه، این مطالعه راهکارهایی برای ادغام داده‌های بازتحلیل در مدل‌سازی رواناب ارائه می‌دهد که می‌تواند انعطاف‌پذیری و دقت مدل‌های هیدرولوژیکی را ارتقا بخشد. داده‌های پژوهش از طریق ارزیابی آماری دبی شبیه‌سازی‌شده با دبی مشاهداتی در خروجی حوضه در مقیاس زمانی روزانه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد دبی شبیه‌سازی‌شده توسط داده‌های بارندگی ایستگاهی با ضریب همبستگی ۰/۹۳ با دبی مشاهداتی عملکرد بهتری نسبت به دبی شبیه‌سازی‌شده توسط داده‌های بازتحلیل دارد. هم‌چنین در میان داده‌های بازتحلیل، داده Agera5 با ضریب همبستگی ۰/۸۲ دارای عملکرد بهتری نسبت به داده Era-interim می‌باشد. نتایج داده Era-interim کم برآوردی در مقادیر بارش را نشان می‌دهد که علت این امر واقع‌شدن در حوضه آبخیز شاپور (خط ساحلی هم‌مرز دریای عمان و خلیج‌فارس) می‌باشد. هم‌چنین در بررسی صورت گرفته در داده‌های بلندمدت ماهانه، داده‌های بازتحلیل در ماه‌های گرم سال دبی را به‌درستی شبیه‌سازی نکرده است که علت این امر دوام و ضخامت کم ابرها می‌باشد و این مسئله باعث کاهش دقت در مقدار بارش شده است. درنهایت به دلیل پراکندگی مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی در این حوضه نتایج حاصل از داده‌های ایستگاهی بهتر از داده‌های بازتحلیل می‌باشد.

کلمات کلیدی: منابع آب، مدل Sacramento، بارندگی، Era-interim، Agera5

۱- مقدمه

مدل‌های هیدرولوژیکی، از جمله ابزارهای مهم در پیش‌بینی سیلاب و خشکسالی، ارزیابی منابع‌آب و اثرات هیدرولوژیکی فعالیت‌های انسانی است. این مدل‌ها به ما در درک بهتر چرخه هیدرولوژیکی کمک می‌کنند. استفاده از مدل‌های بارش-رواناب به اواخر قرن نوزدهم برمی‌گردد (Wu & Chau, 2011; Vafakhah & Janizadeh, 2021). در این زمینه، مدل‌های مفهومی، فیزیکی و تصادفی توسعه داده شده‌اند (Jothiprakash and Magar, 2009; Trambauer et al, 2013; Sooda & Smakhtin, 2015; Bierkens et al, 2015; Kauffeldt et al, 2016; Jothiprakash and Magar, 2009; Vafakhah & Janizadeh, 2021). مدل‌های مفهومی براساس توزیع مکانی می‌توانند به سه دسته مدل یکپارچه، نیمه‌توزیعی و توزیعی طبقه‌بندی شوند (Wheater et al,1993;Manikanta & Umamahesh,2024). مدل‌های هیدرولوژیکی باعث بهبود پیش‌بینی‌ها و درک بهتر از رفتار حوضه آبخیز می‌شود. با این‌حال، این مدل‌ها حتی اگر به همهٔ داده‌های هواشناسی دسترسی داشته باشند، ناقص بوده و تخمین‌های آن‌ها نامطمئن است (Beven, 1989; Moges et al, 2021). یکی از روش‌های بهبود دقت مدل‌های هیدرولوژیکی و توسعه آن‌ها، ارزیابی مدل‌هایی است که بر متغیرهای هیدرولوژیکی ازجمله رواناب (Zhou et al, 2012; Hou,2023) و تبخیر (Miralles et al, 2016; Michel et al,2016; Talsma et al,2018; Martens et al,2018) تمرکز دارند. در میان متغیرهای هیدرولوژیکی، رواناب به عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرها شناخته می‌شود؛ زیرا منعکس‌کننده‌ی واکنش یکپارچه‌ای از فرآیندهای هیدرولوژیکی است که در یک حوضه رخ می‌دهد (Fekete et al, 2004). از سوی دیگر برآورد دقیق و صحیح بارندگی و تبخیر مانع خطای معنی‌داری در برآورد رواناب خواهد شد. یکی از راهکارهای دسترسی به داده‌های دقیق بارش، پایگاه‌های اطلاعاتی هستند که این پایگاه‌ها در سه گروه دسته‌بندی شده‌اند. در گروه اول، مقدار بارش براساس سنجش ضخامت لایه ابر و استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور، برآورد می‌شود. در گروه دوم نیز تنها با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های تاریخی اقلیمی، اقدام به درون‌یابی و برآورد متغیرهای اقلیمی می‌نمایند. درنهایت در گروه سوم، با ترکیب نتایج حاصل از مدل گردش‌عمومی‌جو (GCM)[1]، مدل LSM[2]و واسنجی خروجی نهایی با داده‌های زمینی، مقدار بارش تخمین زده می‌شود که این گروه معروف به داده‌های بازتحلیل هستند (عزیزیان و رمضانی اعتدالی،۱۳۹۸). داده‌های بازتحلیل به یک منبع ارزشمند برای مطالعه

[1] General Circulation Model
[2] Land Surface Models

سیستم‌های آب‌وهوایی و متغیرهای اقلیمی تبدیل‌شده‌اند. این داده‌ها به عنوان تنها ابزار موجود برای ارزیابی بارندگی در زمینه متغیرهای هواشناسی و اقلیمی به‌صورتی پویا و متناسب استفاده می‌شود (Sun et al. 2018; Yao et al. 2020; Jones et al, 2021). علت استفاده از داده‌های بازتحلیل عدم‌وجود ایستگاه‌های مشاهداتی و احتیاج به مقادیر بارش با توزیع مکانی و زمانی مناسب برای برآورد مقادیر رواناب در طول دوره زمانی بلندمدت است. سیستم‌های بازتحلیل در علوم اقلیمی ترکیبی از داده‌های مشاهده‌ای و عددی هستند و مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی را در بر می‌گیرد. در پیش‌بینی بارش با داده‌های بازتحلیل از مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا (NWP[1]) استفاده شده است. ساختار مدل‌های NWP شبکه سه‌بعدی از جو را ارائه می‌دهد. به هر گره شبکه یک مقدار اولیه «بهترین برآورد» از شرایط جوی اختصاص داده می‌شود (Hurley; Bakketun et al, 2023، 2014).

به جهت اهمیت شبیه‌سازی بارش ـ رواناب تاکنون مطالعات بسیاری از عملکرد این مدل‌ها گزارش شده است. همچنین در چند دهه اخیر، داده‌های بارش ماهواره‌ای و بازتحلیل اهمیت قابل توجهی یافته‌اند. در ادامه به بررسی تعدادی از این پژوهش ها پرداخته شده است.

در تحقیقی که توسط علی بخشی و همکاران (۱۳۹۷) انجام گردید به مقایسه کمی داده‌های بارش MERRA و ماهواره GPM با داده‌های ایستگاهی در حوضه کشف رود پرداخته شد. تحقیق نشان داد که در کل، داده‌های بارش روزانه ماهواره GPM دقت بیشتری نسبت به داده‌های MERRA در منطقه مورد مطالعه دارد و می‌تواند توزیع مکانی و زمانی بارش را در سطح حوضه نشان دهد. در مقابل، داده‌های MERRA دقت بالاتری در مقایسه زمانی ماهانه نسبت به داده‌های GPM داشتند. در پژوهش دیگری عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) بررسی و مقایسه دقت داده‌های بارشی ماهواره‌ای و بازتحلیلی با داده‌های ایستگاهی را در استان اردبیل انجام دادند. این پارامترها شامل پارامتر بارشی مهم به نام Era5 است که در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه در مقایسه با داده‌های ایستگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها با استفاده از شاخص‌هایRMSE ، ضریب همبستگی، POD ،FAR، CSI و POFD انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که دقت منابع بارشی مورد بررسی در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه دقیق بوده و تفاوت قابل توجهی بین داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی مشاهده نشده است. تحلیل خوشه‌ای و مدل ویلکز لامبدا نیز صحت طبقه‌بندی و تفاوت‌های بین میانگین‌های خوشه‌ها را تایید کرده‌اند. رضوانی و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی Sacramento, SimHyd و SMAR در شبیه‌سازی رواناب و تحلیل حساسیت پارامترهای آن‌ها، در حوضه آبخیز گالیکش استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد Sacramento با بهترین عملکرد، قادر به شبیه‌سازی دقیق‌تر رواناب است. مدل SimHyd نیز

[1] Numerical Weather Prediction

عملکرد مناسبی را نشان داده، اما مدل SMAR در شبیه‌سازی رواناب موفقیت چندانی نداشته است. تغییر پارامترهای مختلف مدل‌ها می‌تواند تأثیر متفاوتی بر روند شبیه‌سازی رواناب داشته باشد و بهینه‌سازی صحیح این پارامترها دقت شبیه‌سازی را افزایش خواهد داد. هم چنین پورصالحی و پوررضابیلندی (۱۳۹۵) واسنجی خودکار پارامترهای مدل مفهومی بارش-رواناب Sacramento با استفاده از دو روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل رقابتی جامع (SCE) در حوضه آبریز قره‌سو انجام دادند. نتایج نشان داد که روش الگوریتم ژنتیک به‌نسبت الگوریتم SCE، پاسخ بهتری در شبیه‌سازی رواناب روزانه حوضه خواهد داد. پارامترهای مدل بر پایه معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف (NS) و معیار خطا (RMSE) واسنجی شده‌اند. نگوین و همکاران (۲۰۱۸) نیز به اعتبارسنجی مدل‌سازی بارش-رواناب با استفاده از محصولات بارندگی مبتنی بر ماهواره و بازتحلیل در زیرحوضه سره‌پوک در حوضه رودخانه مکونگ پرداختند. آن‌ها سه محصول منتخب TRMM، CMORPH و ERA–Interim را با داده‌های بارندگی ایستگاهی ۱۳ باران سنج واقع در داخل و در مجاورت حوضه آبریز مورد مقایسه قرار دادند. نتایج اعتبارسنجی آن‌ها نشان داد که مجموعه داده‌های جهانی مورد مطالعه همبستگی مناسبی با مشاهدات ایستگاهی در مقیاس زمانی ماهانه دارند.

پژوهش‌های مدل‌سازی رواناب دارای قابلیت پیش‌بینی در حوضه‌های بزرگ و کوچک و استفاده از روش‌های پیشرفته برای بهبود دقت و عملکرد مدل‌ها هستند؛ استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بازتحلیل به عنوان ورودی این مدلها می‌تواند به محققان کمک کند تا با تحلیل دقیق‌تر اطلاعات و داده‌های مربوط به اقلیم، پیش بینی های بهتری ارائه دهند.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

محدوده رودخانه مورد مطالعه حوضه رودخانه شاپور است. این حوضه بین استان‌های فارس و بوشهر واقع شده است و دارای مساحت ۲۳۹۴ کیلومترمربع است. حوضه شاپور بخشی از حوضه آبخیز حله می‌باشد که با توجه به تقسیم‌بندی مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب) ایستگاه هیدرومتری ۰۴۳-۲۳ با نام چیتی-بورکی در انتهای این حوضه واقع شده است. این حوضه ازنظر موقعیت جغرافیایی در '۲۶°۲۹ تا '۰°۳۰ عرض شمالی و تا '۵۱°۱۱ تا '۲°۵۲ طول شرقی قرار گرفته است. حوضه مورد پژوهش، بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن دارای اقلیم غالب نیمه‌خشک می‌باشد. داده‌های دبی به‌صورت روزانه از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۶ از مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب) و داده‌های تبخیر و تعرق از پایگاه earth2observe[1] و مدل W3RA[2] دریافت شده است. هم

[1] https://wci.earth2observe.eu
[2] Worldwide Water Resources Assessment

چنین داده‌های بارندگی از مرکز تحقیقات منابع آب ایران (تماب) و پایگاه بازتحلیلی Era-interim و Agera5 دریافت گردیده است. این داده‌ها برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده شد و جریان شبیه‌سازی‌شده توسط این داده‌ها در خروجی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

شکل (۱): محدوده مورد مطالعه (حوضه شاپور)
Fig. (1): Study area (Shapur whatershed)

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های تبخیر و تعرق یکی از ورودی‌های مهم مدل‌های بارش-رواناب مفهومی می‌باشد. در حال حاضر روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری و یا تخمین این مؤلفه اقلیمی وجود دارد که هرکدام از آن‌ها نیازمند الزامات و داده‌های مختلفی هستاند. در پژوهش حاضر به‌جای استفاده از روش‌های مذکور (به علت عدم دسترسی به

داده‌های ورودی و نیز عدم توزیع صحیح مکانی آن‌ها در سطح حوضه) از داده تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی‌شده توسط مدل بازتحلیل جهانی W3RA استفاده گردید. برای دسترسی به داده‌های مذکور می‌توان از سامانه اطلاعاتی توسعه‌یافته توسط اتحادیه اروپا به نشانی https://wci.earth2observe.eu استفاده نمود. توان تفکیک مکانی داده‌های موجود در این سامانه در مقیاس ۰/۲۵ و ۰/۵ درجه می‌باشد و در تحقیق حاضر از داده‌های با ابعاد سلولی ۰/۵ درجه (۵۲/۰۲ کیلومتر) استفاده شده است.

W3RA توسط اداره هواشناسی استرالیا برای ارزیابی و محاسبه روزانه بیلان آب ارائه شده است (کوهی و همکاران، ۱۳۹۸). سیستم ارزیابی منابع آب W3RA بر مبنای نمایشی از جزء هیدرولوژی مدل با سیستم AWRA است. AWRA-L ترکیب مدل سطح زمین مبتنی بر شبکه و مدل یکپارچه است که برای هر سلول به‌صورت جداگانه اعمال می‌شود (Dutra,2015).

ورودی دیگر حائز اهمیت در مدل‌های هیدرولوژیکی بارندگی است. در این پژوهش در ابتدا شبیه‌سازی رواناب با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاهی و سپس شبیه‌سازی رواناب با داده‌های بازتحلیل ERA Interim و AgERA5 صورت گرفت. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه های بارندگی زمینی و در جدول (۲) پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط به داده‌های بازتحلیل نمایش داده شده است.

جدول شماره (۱): مشخصات ایستگاه های بارندگی زمینی
Table (1): Specifications of Ground Gage Precipitation

کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام رودخانه	X_{utm}	Y_{utm}	ارتفاع (متر)	سال تاسیس	متوسط بارندگی دوره آماری مورد مطالعه (میلی متر)
۲۳-۰۰۵	بوشیگان کازرون	شاپور	۵۴۹۳۲۴/۴	۳۲۸۸۲۶۸/۷	۷۳۵	۱۳۵۰	۱۴/۲
۲۳-۰۰۶	مرکز خدمات کازرون	شاپور	۵۶۴۰۶۴/۵	۳۲۷۵۸۴۶/۶	۸۴۱	۱۳۶۴	۱۲/۸
۲۳-۰۱۲	دشت ارژن	دالکی	۵۹۵۵۱۴/۲	۳۲۸۱۴۵۷/۱	۲۰۱۳	۱۳۵۶	۱۷/۷
۲۳-۰۱۷	نرگسی-شیب تنگ	دالکی	۶۰۲۲۳۵/۲	۳۲۳۶۸۸۱/۵	۹۳۳	۱۳۵۶	۱۳/۱
۲۳-۰۲٤	کمارج	حله	۵۴۶۶۵۲/۸	۳۲۷۸۱۹۲/۳	۸۴۷	۱۳۵۶	۱۵/۳
۲۳-۰٤۳	چیتی - بورکی	شاپور	۵۲۹۸۰۴/۱	۳۲۷۴۰۴۱/۳	۴۹۰	۱۳۶۴	۱۴/۲

۲۳-۰۵۳	چم چیت-دالکی	دالکی	۵۷۱۴۵۱/۵	۳۲۵۱۸۸۲/۶	۵۴۵	۱۳۸۳	۱۲/۱
۲۳-۰۵۷	قائمیه	شاپور	۵۵۸۴۱۷/۴	۳۳۰۱۳۰۲/۰	۹۱۵	۱۳۶۵	۱۵/۷
۲۳-۱٤۰	بابامنیر	زهره	۵۱۹۹۴۴/۲	۳۳۲۷۱۷۵/۷	۱۰۳۳	۱۳۷۳	۱۴/۳
۲۳-۱٤٤	دوسیران	شاپور	۵۷۵۹۲۸/۲	۳۲۹۵۳۴۳/۷	۱۴۴۶	۱۳۷۶	۱۸/۶
۲٤-۱۰۰	بن رود-گل زردی	قره آغاج	۵۸۵۲۲۳/۸	۳۲۹۸۱۸۱/۳	۲۲۱۷	۱۳۶۴	۲۶/۱
۲۳-۰۲۵	سرقنات-دالکی	دالکی	۵۲۶۹۰۵/۷	۳۲۵۹۹۳۷/۶	۱۱۹	۱۳۴۵	۵/۱

جدول شماره (۲): پایگاه دریافت داده‌های بازتحلیل
Table (2): Database for receiving reanalyzed data

مجموعه بارشی	پایگاه مربوطه	پوشش زمانی	قدرت تفکیک مکانی (درجه)	قدرت تفکیک مکانی (کیلومتر)	قدرت تفکیک زمانی
ERA Interim	https://apps.ecmwf.int	۱۹۷۹-۲۰۱۹	۰,۲۵*۰,۲۵	۲۶/۰۱*۲۶/۰۱	روزانه
AgERA5	https://cds.climate.copernicus.eu	۱۹۷۹-تاکنون	۰,۱*۰,۱	۱۰/۴*۱۰/۴	روزانه

جدول شماره (۳): مشخصات ایستگاه هیدرومتری موردمطالعه
Table (3): Specifications of the studied hydrometric station

کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام رودخانه	سال تاسیس	X_{utm}	Y_{utm}	ارتفاع (متر)	جنس بستر
۲۳-۰٤۳	چیتی-بورکی	شاپور	۱۳۶۴	۵۲۹۰۴۸/۸	۳۲۷۴۸۳۹/۶	٤۸۳	سنگی و آبرفتی رودخانه ای کوهستانی و کوهپایه ای

ERA Interim، محصول بازتحلیل اتمسفری جهانی است که طول دوره آماری آن از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. هدف اصلی این پایگاه بهبود برخی جنبه‌های Era40 ازجمله معرفی چرخه هیدرولوژیکی، کیفیت چرخش استراتوسفر و تغییرات در سیستم مشاهداتی بوده است. داده‌های روزانه بارش این پایگاه برای هر ماه به‌صورت تفکیک‌شده قرار داده شده است. در این پژوهش، داده‌ها در سه‌گام و برای دو ساعت ۰۰ و ۱۲ برای دوره مورد مطالعه (۱۰ سال) دریافت گردید. مختصات محدوده موردنظر در ابعاد سلولی ۰/۲۵ درجه با فرمت Netcdf در نظر گرفته شده است. تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار QGIS فراخوانی و برای محاسبه بارش روزانه مجموع مقادیر بارش ساعت ۰۰ و ۱۲ در هر روز به دست آورده شده است.

AgERA5[1] داده‌های هواشناسی سطح روزانه را برای دوره ۱۹۷۹ تاکنون به‌عنوان ورودی مطالعات کشاورزی و بوم‌شناختی فراهم می‌کند. این مجموعه داده براساس داده‌های ساعتی Era5 در سطح زمین ساخته شده است و متغیرهای ارائه‌شده در این مجموعه با نیازهای ورودی اکثر مدل‌های بوم‌شناسی‌کشاورزی[2] مطابقت دارد. استفاده و پیش‌پردازش داده‌های اصلی ERA5 یک کار پیچیده و تخصصی است. داده‌ها در گام زمانی روزانه در منطقه زمانی محلی تجمیع شده و به سمت توپوگرافی دقیق‌تر با وضوح مکانی ۰/۱ درجه اصلاح می‌شوند. این داده‌ها توسط سرویس کوپرنیکوس[3]ارائه شده و از طریق برنامه‌نویسی پایتون در محیط جعبه‌ابزار سایت کوپرنیکوس[4]برای تمامی سال‌های موردنظر دریافت شد.

شکل (۲): نمایش سلول‌های داده‌های بارندگیبازتحلیل در حوضه شاپور
Fig. (2): Display of reanalyzed precipitation data cells in Shapur whatershed

۳-۲- روش اجرای پژوهش

مدل هیدرولوژیکی Sacramento از بارندگی روزانه و تبخیر و تعرق پتانسیل برای تخمین رواناب روزانه استفاده می‌کند. Sacramento منطقه فعال هیدرولوژیکی خاک را به‌صورت مفهومی و به‌شکل دولایه نشان می‌دهد. در این مدل دو مخزن در لایه بالایی و سه مخزن در لایه پایینی وجود دارد. در لایه بالایی خاک، مخزن کشش آب (UZTWM)[5] و مخزن آب آزاد (UZFWM)[6] واقع شده است. در هنگام بارندگی و برف ابتدا مخزن کشش آب لایه بالایی اشباع می‌شود و سپس رطوبت اضافی در دسترس مخزن آب آزاد قرار می‌گیرد و مخزن آب آزاد، آب را به مخازن لایه پایینی هدایت می‌کند. اگر مخزن آب آزاد لایه بالایی از قبل اشباع شده باشد مقدار اضافی به رواناب سطحی تبدیل می‌شود. آب موجود در مخزن آب آزاد لایه بالایی در اثر جریان و نفوذ عمودی از بین

---

1 Agrometeorological indicators from 1979 to present derived from reanalysis
2 Agro-Ecological
3 Copernicus
4 Toolbox Editor
5 Upper Zone Tension Water Maximum
6 Upper Zone Free Water Maximum

می‌رود (Leisenring, 2011). لایه پایینی خاک شامل یک مخزن کشش آب (LZTWM)[1] و دو مخزن آب آزاد (LZFPM)[2] و(LZFSM)[3] است. مخازن آب آزاد باعث حرکت آب به‌صورت عمودی به لایه بالایی خاک (جریان زیرقشری) و یا لایه پایینی خاک (جریان پایه) می‌گردد. مخازن آب آزاد منجر به تولید رواناب می‌شود. ضریب تخلیه در مخزن لایه بالایی خاک برای مخزن (UZFWM)، UZK[4]است و برای لایه پایینی مخازن LZFPM و LZFSM به ترتیب LZPK[5] و LZSK[6] است. Rserve[7] کسر آب آزاد غیرقابل‌دسترس موجود در منطقه پایینی برای تعرق است (Podger,2004).

مدل Sacramento حوضه آبخیز را به مناطق نفوذناپذیر و غیرقابل‌نفوذ تقسیم می‌کند. به‌طورکلی دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سایر سطوح غیرقابل نفوذ که مستقیماً به شبکه جریان متصل می‌شوند، منطقه غیرقابل نفوذ را پوشش می‌دهند. منطقه غیرقابل نفوذ با هر بارش، رواناب تولید می‌کند، درحالی‌که منطقه عبوری فقط در هنگام بارش شدید رواناب تولید می‌کند. جریان حاصل از Sacramento رواناب غیرقابل نفوذ است. این مدل نیز با سه ورودی بارندگی (بارندگی‌های ایستگاهی، era-interim و Agera5)، تبخیر و تعرق پتانسیل و دبی خروجی حوضه در فایل نوت پد (با پسوند cdt) و وارد کردن آن‌ها به نرم‌افزار Rainfall Runoff Library (RRL) اجرا گردیده است. پارامترهای مدل Sacramento در شکل (۳) نشان داده شده است.

---

1 Lower Zone Tension Water Maximum
2 Lower Zone Free Water Primary Maximum
3 Lower Zone Free Water Supplemental Maximum
4 The fraction of water in UZFWM
5 The ratio of water in LZFPM
6 The ratio of water in LZFSM
7 Fraction of lower zone free water unavailable for transpiration

شکل (۳): نمایش پارامترهای مدلSacramento (Podger، ۲۰۰۴)

Fig. (3): Show parameters of the Sacramento model (Podger, 2004)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پارامترهای مدل Sacramento

مقادیر بهینه پارامترهای مدل Sacramento برای شبیه‌سازی رواناب با بارندگی ایستگاهی و بازتحلیل با کمترین میزان خطا در جدول (۴) نمایش داده شده است. در مدل Sacramento ابتدا بارش وارد مخزن بالایی کشش آب می‌شود و زمانی که مخزن پر شود آب به مخزن بالایی آب آزاد منتقل می‌شود و این مخزن به‌طور همزمان آب را به مخازن پایین‌تر هدایت می‌کند. رواناب سطحی به‌طور مستقیم و یا زمانی که مخزن بالایی کشش آب پر شود و بارش بیش از حاصل جمع نرخ نفوذ و حداکثر ظرفیت زهکشی جریان زیر قشری است، اتفاق می‌افتد. همان‌طور که در جداول مربوطه مشاهده می‌گردد پارامترهای Rserv، Sarva[1]، Side[2] وSsout[3] همان مقادیر پیش‌فرض مدل بوده و این پارامترها تأثیری بر روی مدل شبیه‌سازی رواناب ندارند. این موضوع نشان‌دهنده

[1] A decimal fraction representing that portion of the basin normally covered by streams, lakes and vegetation that can deplete stream flow by evapotranspiration

[2] The ratio of non-channel baseflow (deep recharge) to channel (visible) baseflow

[3] The volume of the flow which can be conveyed by porous material in the bed of stream

عدم‌حساسیت مدل به این پارامترها است. از ۱۶ پارامتر مدل ساکرامنتو، پارامترهای Sarva، Side و Rserv دارای مقادیر ثابت هستند (Hameed، ۲۰۱۵).

جدول (۴): پارامترهای مدل Sacramento
Table (4): Sacramento model parameters

پارامتر	پیش فرض	برآوردی	ERA Interim	Ag ERA5
Adimp	۰/۰۱	۰/۰٦	۰/۵۷	۰/۰۰۴
Lzfpm	٤۰	۱۲/۲۷	۱۱/۲۲	۱۲/۰۰
Lzfsm	۲۳	٤۹/۸۳	۴۵/۳۵	۴۰/۱۵
Lzpk	۰/۰۰۹	۰/۵۹	۰/۷۸	۰/۸۹
Lzsk	۰/۰٤۳	۰/۰۱۹	۰/۱۹	۰/۰۴
Lztwm	۱۳۰	۲۹۳/۰۲	۴۰۰	۱۱۳/۱۲
Pctim	۰/۰۱	۰/۰٦	۰/۰۷	۰/۰۰۲
Pfree	۰/۰٦۳	۰/۳۹	۰/۶۴	۰/۷۴
Rexp	۱	۰/۵٤	۲/۳۵	۰/۳۵
Rserv	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
Sarva	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Side	۰	۰	۰	۰
Ssout	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Uzfwm	٤۰	۷۲/۹۱	۷۰/۲۸	۱۳/۹۹
Uzk	۰/۲٤۵	۰/۰۰٦	۰/۵۵۵	۱/۰۰
Uztwm	۵۰	۸۹/۹۹	۴۲/۶۶	۱۳/۷۷
Zperc	٤۰	۱٦/٦۸	۶۰/۹۰	۱۶/۰۶

پارامتر Rserv برابر ۰/۳ و بیانگر پایین بودن کسر آب آزاد غیرقابل‌دسترس موجود در منطقه پایینی برای تعرق است. پارامتر Sarva برابر ۰/۰۱ و نشان‌دهنده تبخیر و تعرق ناچیز از آبراهه، دریاچه و پوشش‌گیاهی است. پارامتر Side نشان‌دهنده کسری از جریان پایه مشاهداتی است که به عنوان جریان آب زیرزمینی از حوضه

خارج می‌شود و مقدار صفر این پارامتر به معنای عدم وقوع این مسئله است. پارامتر Ssout برابر ۰/۰۰۱ و نمایانگر عدم انتقال جریان توسط مواد متخلخل در بستر جریان است.

پارامترهای Adimp و Pctim رواناب مستقیم را برآورد می‌نمایند. پارامتر Adimp برای داده ایستگاهی و داده بازتحلیل AgERA5 دارای مقدار نزدیک به صفر و به معنای کمبود سطح نفوذپذیری است که توسط اشباع خاک نفوذناپذیر شده باشد. Pctim برای همه داده‌ها دارای مقادیر نزدیک به صفر است. بنابراین عدم وجود بخش نفوذناپذیر در حوضه، عامل ایجاد رواناب مستقیم می‌باشد.

پارامتر Rexp برای داده بازتحلیل AgERA5 دارای مقادیر پایین‌تر از یک است و این موضوع نشان‌دهنده توان کم نرخ تغییرات نفوذ با تغییر ذخیره‌سازی آب منطقه پایینی است.

پارامترهای Lzsk، Lzpk و Uzk بیانگر نرخ جریان جانبی می‌باشند. پارامترهای Lzsk و Uzk (داده ایستگاهی) دارای مقادیر نزدیک به صفر و نشان‌دهنده حساسیت کم بر روی مدل شبیه‌سازی رواناب هستند.

۲-۳- شاخص‌های آماری مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش برای ارزیابی کارایی مدل‌ها از شاخص‌های آماری از جمله شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف (NSE)[1] (Nash & Sutcliffe, 1970)، مقدار متوسط خطا (DRMS)[2]، ضریب همبستگی پیرسون (CC)[3]، شاخص کلینگ -گوپتا (KGE)[4] (Gupta et al, 2009) استفاده و روابط آن‌ها به صورت زیر ارائه شده است:

رابطه ۱)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

رابطه ۲)

$$DRMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim} - Q_{obs})^2}$$

رابطه ۳)

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2 \sum_{i=1}^{n}(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}}$$

رابطه ۴)

$$KGE = 1 - \sqrt{(\beta - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (CC - 1)^2}$$

---

1 Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)
2 Daily Root Mean Square (DRMS)
3 Correlation Coefficient (CC)
4 Kling Gupta Efficiency (KGE)

شاخص ارزیابی نش-ساتکلیف (NSE) اگر برابر ۱ باشد، مطابقت کامل داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد و اگر بین ۰/۱ تا ۱ باشد قابل‌قبول و اگر کوچک‌تر از صفر باشد نتیجه شبیه‌سازی بد بیان می‌شود. DRMS نیز نشان‌دهنده مقدار متوسط خطا در برآورد دبی است که محدودهٔ این شاخص معمولاً بین صفر تا بی‌نهایت است و واحد این شاخص مترمکعب بر ثانیه است. شاخص کلینگ گوپتا (KGE) یکی از شاخص‌های ارزیابی است که توسط Gupta et al (2009) ارائه شده است. این شاخص بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و هر چقدر به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر است. شاخص ضریب همبستگی پیرسون نیز نشان‌دهنده تطابق بین رواناب مشاهده‌شده و رواناب شبیه‌سازی‌شده است که توسط Pearson (1896) ارائه شده است. این شاخص بین ۱- و ۱ متغیر است و اگر این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده همبستگی خوب داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده است. هم‌چنین اگر برابر عدد ۰ باشد، هیچ ارتباط خطی بین متغیرها وجود ندارد.

۳-۳- ارزیابی رواناب شبیه‌سازی شده توسط داده‌های بارندگی

برای ارزیابی هرچه بهتر کارایی پایگاه‌های بارندگی در شبیه‌سازی رواناب، مدل Sacramento در مقیاس زمانی روزانه اجرا گردید که در این بخش عملکرد مدل مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (۴) نمودار پراکنش رواناب ترسیم گردید. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های آماری شبیه‌سازی رواناب مربوط به داده‌های بارندگی Agera5، حاکی از عملکرد بهتر آن نسبت به داده‌های بارشی Era-interim می‌باشد. طبق محاسبات صورت گرفته، شاخص CC برای داده‌های بارشی Era-interim و Agera5 به ترتیب برابر ۰/۷۱ و ۰/۸۲ است و هم چنین شاخص DRMS به ترتیب برابر ۲۱/۸ و ۱۷/۵ مترمکعب بر ثانیه می باشد. در این میان داده‌های ایستگاهی با شاخص نش-ساتکلیف ۰/۸۶ دارای بهترین عملکرد می باشد.

الف ب ج

شکل (۴): نمودار پراکنش رواناب شبیه‌سازی شده الف)داده ایستگاه‌های زمینی، ب)پایگاه بارشیEra interim ج) پایگاه بارشی Agera5

Fig. (4): Scatter diagram of simulated runoff data from a) ground stations, b) precipitation stations Era interim and c) precipitation stations Agera5

نکته قابل توجه دیگر این است که رواناب شبیه‌سازی شده در هر دو پایگاه بارشی تقریباً در دبی‌های بالای ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه، دارای پراکندگی نامناسب است در صورتی‌که رواناب شبیه‌سازی شده با داده‌های ایستگاهی دارای پراکندگی خوب می باشد.

جدول (۵): شبیه‌سازی هیدروگراف جریان روزانه با اجرای مدلSacramento

Table (5): Simulating the daily flow hydrograph by running the Sacramento model

	Ground Gages	Era interim	AgEra5	مشاهداتی
۱	۲۲۱	۱۷۷	۱۱۷	۳۸۴
۲	۴۰۲	۲۶۷	۱۷۶	۴۹۸
۳	۹۴۴	۲۷۹	۴۷۴	۹۳۲
۴	۵۶۶	۳۶۶	۴۲۳	۵۲۱
۵	۳۷۰	۳۸۲	۲۷۷	۳۶۵
متوسط خطا	۱۴/۶	۴۰/۹	۴۵/۳	
	۹۰	۶۰	۳۰	

شکل (۵): مقایسه متوسط جریان ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده داده‌های ایستگاهی و بازتحلیل
Fig. (5): Comparison of observed and simulated mean monthly flow of ground station and reanalyzed data

شکل (۶): مقایسه متوسط جریان سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده
Fig. (6): Comparison of observed and simulated mean annual flow

بررسی سری زمانی دبی نشان می‌دهد که در چند بازه زمانی دبی‌های بالایی وجود داشته است و این می‌تواند نشان‌دهنده وقوع سیلاب‌های مهم باشد. مدل Sacramento، به عنوان یک مدل مبتنی بر بیلان، قادر به تخمین و پیش‌بینی دبی‌های اوج نیست؛ با این حال، نتایج دبی‌های اوج توسط این مدل مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. جدول (۵) مقادیر دبی‌های اوج در این مطالعه را نمایش میدهد. همانطور که مشاهده می‌گردد دبی اوج

چهارم و پنجم توسط همه داده‌ها به خوبی شبیه‌سازی شده است و بهترین مقدار آن به‌ترتیب دارای خطای ۸/۶ و ۱/۴ درصد است. میانگین درصد خطای داده‌های ایستگاهی و داده‌های بازتحلیل زیر ۵۰ درصد است و این موضوع نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب دبی‌های اوج است. نتایج نهایی حاکی از عملکرد مطلوب مدل با داده‌های ایستگاهی است. هم‌چنین در بین داده های بازتحلیل، داده بازتحلیل Era-interim دارای عملکرد بهتری می باشد.

۴- نتیجه‌گیری

به دلیل شرایط اقلیمی و توپوگرافیکی متفاوت کشور ایران استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی به جهت پیش‌بینی جریان در رودخانه‌ها دارای اهمیت بسیار می باشد. از آنجایی‌که مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی نیاز به داده‌های ورودی بیشتر و درنتیجه هزینه بالاتر نسبت به مدل‌های هیدرولوژیکی یکپارچه و نیمه توزیعی دارند لزوم بررسی این مدل‌ها به جهت ارزیابی عملکرد آن‌ها ضروری است. یکی از مهم‌ترین ورودی این مدل‌ها، بارش است. به دلیل وسعت بالای کشور، کمبود ایستگاه زمینی و هم‌چنین توسعه داده‌های بازتحلیل، استفاده از این داده‌ها به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بسیار حائز اهمیت است. پایگاه‌های بازتحلیل بدون محدودیت زمانی و مکانی داده‌ها را در اختیار قرار می‌دهند. بنابراین می بایست به این سوال که کدام منبع داده بازتحلیل در کدام مدل شبیه‌سازی رواناب دقت بیشتری دارد، پاسخ داد. پژوهش‌های مختلفی در زمینه محصولات بارشی بازتحلیل و شبیه‌سازی رواناب در سطح جهان انجام شده است. پژوهشی که در بالادست سد مارون انجام پذیرفته بود حاکی از برتری منبع بارشی Era-interim نسبت به سایر منابع بارشی بود (گرجی زاده و همکاران). هم‌چنین در پژوهش دیگری که در حوضه شاپور انجام گرفت تلفیق مدل بارش-رواناب مفهومیSacramento و داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل بازتحلیل مدل‌های جهانی برای شبیه‌سازی رواناب مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از برتری مدل تبخیر و تعرق پتانسیل W3RA بود (بایرام و عزیزیان، ۱۴۰۱). همچنین در پژوهشی تحلیل پراکنش فصلی بارش‌های فرین در ایران با استفاده از پایگاه AgERA5 نیز انجام پذیرفته است و نتایج نشان‌دهنده آن است که این پایگاه، بارش را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با دقت بیشتری برآورد می‌کند (اسدی رحیم بیگی و همکاران،۱۴۰۰).

درنتیجه هدف از این پژوهش، بررسی تفاوت خروجی شبیه‌سازی شده توسط داده‌های بازتحلیل‌شده Agera5 و Era-interim و هم چنین بررسی عملکرد مدل یکپارچه می‌باشد. نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد خوب مدل با داده ایستگاهی و عملکرد مناسب با داده بازتحلیل‌شده Agera5 است. داده بازتحلیل‌شده Era-interim علیرغم همبستگی ۰/۷۷ با داده‌های ایستگاهی، دارای ضریب نش-ساتکلیف ۰/۴۷ است. داده‌های بازتحلیل مقدار بارش را در نواحی ساحلی، خلیج فارس و دریای عمان کم برآورد می‌کنند (رضیئی و ستوده، ۱۳۹۶). به

دلیل اینکه ایران دارای ۵۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی هم مرز با دریای عمان و خلیج فارس است (Dibajnia et al,2012) و حوضه شاپور نیز در این ناحیه واقع شده است؛ نتایج این داده در حوضه شاپور در خط ساحلی هم مرز دریای عمان و خلیج فارس دارای کم برآوردی در تخمین بارش است. هم چنین داده بازتحلیل AgERA5 نیز دارای کم‌برآوردی در تخمین مقادیر بارش است و علت این کم‌برآوردی بارش را نیز می‌توان ساخته‌شدن آن از داده بازتحلیل Era5 دانست؛ بنابراین تصحیح اریبی در داده‌های بازتحلیل‌شده می تواند منجر به شبیه‌سازی بهتر رواناب گردد. در بررسی صورت گرفته به جهت متوسط خطای دبی اوج به ترتیب داده‌های ایستگاهی، داده بازتحلیل‌شده Era-interim و داده بازتحلیل‌شده Agera5 قرار دارند. در مقایسه متوسط جریان سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده نیز نتایج داده ایستگاهی بهتر از داده بازتحلیل است. داده‌های بازتحلیل ماه‌های گرم سال دبی را به‌درستی شبیه‌سازی نکرده‌اند. علت اصلی این عملکرد ضعیف را این‌چنین می‌توان عنوان نمود که در ماه‌های گرم، ابرها پس از تشکیل دوام زیادی نداشته (دارای ضخامت کمی هستند) و به‌سرعت از بین می‌روند و لذا سنجنده‌ها نمی‌توانند به‌خوبی دمای بالای ابر را محاسبه نمایند که همین مسئله می‌تواند موجب کاهش دقت آن‌ها در تخمین ضخامت ابر و مقدار بارش شود (Kidd et al,2013; De Leeuw et al,2015; Azizian & Ramezani,2019). از طرفی به دلیل اینکه داده‌های بازتحلیل توانایی و دقت خوبی در شبیه‌سازی بارش‌های همرفتی و اروگرافیک ندارند و در مقیاس محلی خوب نیستند؛ بنابراین مقادیر بارش در ماه‌های گرم سال را درست شبیه‌سازی نمی‌کنند. به‌عنوان نتیجه نهایی از تحقیق حاضر می‌توان به اهمیت تلفیق مدل شبیه‌سازی رواناب و داده‌های بازتحلیل‌شده اشاره نمود زیرا لزوماً پایگاه‌های بارشی خوب منجر به شبیه‌سازی خوب نخواهند شد و ساختار مدل تأثیر به‌سزایی در این امر دارد. به طور خلاصه مقایسه داده‌های Era-interim با پیکسل سایز ۰/۲۵ با داده‌های Agera5 با پیکسل سایز ۰/۱ نشان می‌دهد که داده‌هایی با پیکسل‌های کوچکتر دارای مزایای بیشتری برای تحلیل و ارزیابی هستند اما داده های با پیکسل سایز بزرگتر نیز در مواردی همچون دبی‌های اوج عملکرد مناسب داشته اند. درنهایت باتوجه به مطالعات مختلف در زمینه شبیه‌سازی رواناب پیشنهاد می‌شود ورودی‌های این مدل‌ها با داده‌های بازتحلیل در حوضه‌های کشور ایران بررسی گردد و هم چنین ارزیابی گردد که کدامیک از مدلهای بارش رواناب توزیعی، نیمه توزیعی و یکپارچه با تلفیق این داده ها میتوانند نتایج بهتری داشته باشند.

۵-منابع

Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the performance of Era-5 Re-analysis data in estimating daily and monthly precipitation, Case Study; Ardabil Province. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(11), 2937-2951.

Asadi Rahim-Begi, N., Zarrin, A., Modfidi, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Seasonal Distribution Analysis of Extreme Precipitation in Iran using AgERA5 dataset. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(11), 2723-2737. (In Persian)

Alibakhshi, S. M., Farid Hossini, A., Davari, K., Alizadeh, A., & Munyka, H. (2019). Assessment of Ground Station, GPM Satellite and MERRA Precipitation Products in Kashafrud Basin. Journal of Watershed Management Research, 9(18), 111-122. (In Persian)

Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the performance of Era-5 Re-analysis data in estimating daily and monthly precipitation, Case Study; Ardabil Province. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(11), 2937-2951. (In Persian)

Bayram, M., & Azizian, A. (2022). Integrating the Sacramento Conceptual Rainfall-Runoff Model and Reanalyzed Datasets for Runoff Simulation. Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN, 2423, 7833. (In Persian)

Wu, C. L., & Chau, K. W. (2011). Rainfall–runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis. Journal of Hydrology, 399(3-4), 394-409

Vafakhah, M., & Janizadeh, S. (2021). Application of artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system in streamflow forecasting. In Advances in Streamflow Forecasting (pp. 171-191). Elsevier.

Jothiprakash, V., & Magar, R. (2009). Soft computing tools in rainfall-runoff modeling. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 15(sup1), 84-96

Trambauer, P., Maskey, S., Winsemius, H., Werner, M., & Uhlenbrook, S. (2013). A review of continental scale hydrological models and their suitability for drought forecasting in (sub-Saharan) Africa. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 66, 16-26.

Sooda, A., and V. Smakhtin (2015), Global hydrological models: A review, Hydrol. Sci. J., 60(4), 549–565, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.09.002.

Bierkens, M. F. (2015). Global hydrology 2015: State, trends, and directions. Water Resources Research, 51(7), 4923-4947.

Kauffeldt, A., Wetterhall, F., Pappenberger, F., Salamon, P., & Thielen, J. (2016). Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level. Environmental Modelling & Software, 75, 68-76.

Wheater, H. S., Jakeman, A. J., & Beven, K. J. (1993). Progress and directions in rainfall-runoff modelling.

Manikanta, V., & Umamahesh, N. V. (2024). Unravelling the impact of spatial discretization and calibration strategies on event-based flood models. Modeling Earth Systems and Environment, 1-17.

Beven, K. (1989). Changing ideas in hydrology—the case of physically-based models. Journal of hydrology, 105(1-2), 157-172.

Moges, E., Demissie, Y., Larsen, L., & Yassin, F. (2021). Sources of hydrological model uncertainties and advances in their analysis. Water, 13(1), 28.

Zhou, X., Zhang, Y., Wang, Y., Zhang, H., Vaze, J., Zhang, L., ... & Zhou, Y. (2012). Benchmarking global land surface models against the observed mean annual runoff from 150 large basins. Journal of Hydrology, 470, 269-279.

Hou, Y., Guo, H., Yang, Y., & Liu, W. (2023). Global evaluation of runoff simulation from climate, hydrological and land surface models. Water Resources Research, 59(1), e2021WR031817.

Miralles, D. G., Jiménez, C., Jung, M., Michel, D., Ershadi, A., McCabe, M. F., ... & Fernández-Prieto, D. (2016). The WACMOS-ET project–Part 2: Evaluation of global terrestrial evaporation data sets. Hydrology and Earth System Sciences, 20(2), 823-842.

Michel, D., Jiménez, C., Miralles, D. G., Jung, M., Hirschi, M., Ershadi, A., ... & Fernández-Prieto, D. (2016). The WACMOS-ET project–Part 1: Tower-scale evaluation of four remote-sensing-based evapotranspiration algorithms. Hydrology and Earth System Sciences, 20(2), 803-822.

Talsma, C. J., Good, S. P., Miralles, D. G., Fisher, J. B., Martens, B., Jimenez, C., & Purdy, A. J. (2018). Sensitivity of evapotranspiration components in remote sensing-based models. Remote Sensing, 10(10), 1601.

Martens, B., De Jeu, R. A., Verhoest, N. E., Schuurmans, H., Kleijer, J., & Miralles, D. G. (2018). Towards estimating land evaporation at field scales using GLEAM. Remote Sensing, 10(11), 1720.

Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., Roads, J. O., & Willmott, C. J. (2004). Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. Journal of Climate, 17(2), 294-304.

Azizian, A., & Ramezani Etedali, H. (2019). Assessing the accuracy of european center for medium range weather forecasts (ECMWF) reanalysis datasets for estimation of daily and monthly precipitation. Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4), 777-791. (In Persian)

Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. Reviews of Geophysics, 56(1), 79-107.

Yao, J., Chen, Y., Yu, X., Zhao, Y., Guan, X., & Yang, L. (2020). Evaluation of multiple gridded precipitation datasets for the arid region of northwestern China. Atmospheric Research, 236, 104818.

Jones, E., Wing, A. A., & Parfitt, R. (2021). A global perspective of tropical cyclone precipitation in reanalyses. Journal of Climate, 34(21), 8461-8480.

Hurley, A. R. (2014). Comparison and validation of Arctic precipitation fields from three atmospheric reanalyses: CFSR, MERRA, ERA-Interim (Doctoral dissertation, University of Colorado at Boulder).

Bakketun, Å., Blyverket, J., & Müller, M. (2023). Using a Reanalysis-Driven Land Surface Model for Initialization of a Numerical Weather Prediction System. Weather and Forecasting, 38(11), 2155-2168.

Koohi, S., Azizian, A., & Brocca, L. (2019). Evaluating the Efficiency of Earth2Observe Re-Analysis Dataset and VIC-3L for Estimation of Runoff. Journal of Soil and Water Resources Conservation, 8(4), 118-134. (In Persian)

Dutra, E. (2015). Report on the current state-of-the-art Water Resources Reanalysis, Earth2observe deliverable no. D. 5.1.

Tarek, M., Brissette, F.P. and Arsenault, R., 2020. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. Hydrology and Earth System Sciences, 24(5), pp.2527-2544.

Leisenring, M. A. (2011). Implications of Hydrologic Data Assimilation in Improving Suspended Sediment Load Estimation in Lake Tahoe, California. Portland State University.

Podger, G. (2004). Rainfall runoff library user guide. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.

Poursalehi, F., & Pourrezabilandi, M. (2015). Automatic recalibration of Sacramento model parameters using genetic algorithm and comprehensive competitive evolution algorithm (case study: Gharesu watershed). Paper presented at the 2nd Iranian National Irrigation and Drainage Congress, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)

Sadat Rezvani , F., Ghorbani , K., Salarijazi , S., ezaei Ghaleh, L., Yazarloo,B., 2023. Comparative assessment of Sacramento, SMAR, and SimHyd models in long-term daily runoff simulation, Water and Soil Management and Modelling, 3(1), 279-297. (In Persian)

Hameed, M. A. (2015). Evaluating global sensitivity analysis methods for hydrologic modeling over the columbia river basin (Doctoral dissertation, Portland State University).

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models' part I—A discussion of principles. Journal of hydrology, 10(3), 282-290.

Nguyen, T.H., Masih, I., Mohamed, Y.A. and Van der Zaag, P., 2018. Validating rainfall-runoff modelling using satellite-based and reanalysis precipitation products in the Sre Pok catchment, the Mekong River basin. Geosciences, 8(5), p.164.

Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of hydrology, 377(1-2), 80-91.

Gorjizade, A., AkhondAli, A., Shahbazi, A., & Moridi, A. (2019). Comparison and evaluation of precipitation estimated by era-interim, persiann-cdr and chirps models at the upstream of maroon dam. Iran-Water Resources Research, 15(1), 267-279. (In Persian)

Pearson, K. (1896). VII. Mathematical contributions to the theory of evolution. —III. Regression, heredity, and panmixia. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a mathematical or physical character, (187), 253-318.

Raziei, T., & Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran.

Dibajnia, M., Soltanpour, M., Vafai, F., Shoushtari, S. M. H. J., & Kebriaee, A. (2012). A shoreline management plan for Iranian coastlines. Ocean & coastal management, 63, 1-15.

De Leeuw, J., Methven, J., & Blackburn, M. (2015). Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 141(688), 798-806.

Azizian, A., & Ramezani Etedali, H. (2019). Spatiotemporal assessment of reanalysis and remotely-sensed precipitation datasets. Iran-Water Resources Research, 15(1), 163-177. (In Persian)

Kidd, C., Dawkins, E. and Huffman, G. (2013). Comparison of precipitation derived from the ECMWF operational forecast model and satellite precipitation datasets. American Meteorological Society. 14: 1463-1482.

Application of remote sensing and GIS in environmental sciences, Vol. 2, No. 5, Winter 20.., pp. 1-2

Assessing the accuracy of station precipitation data and reanalysis for runoff simulation (case study: Shapur watershed)

Abstract

The current research was conducted to evaluate the effectiveness of the reanalysis data of Era-interim, Agera5, and station data to simulate runoff using the Sacramento model in the Shapur watershed. Focusing on an innovative approach, this study provides solutions for integrating reanalysis data into runoff modeling that can improve the flexibility and accuracy of hydrological models. The research data were analyzed by statistically comparing the simulated discharge with the observed discharge at the watershed outlet on a daily time scale. The results showed that the discharge simulated by the station precipitation data with a correlation coefficient of 0.93 with the observed discharge performs better than the discharge simulated by the reanalysis data. Also, among the reanalysis data, the Agera5 data with a correlation coefficient of 0.82 performs better than the Era-interim data. The results of Era-interim data show an underestimation in the amount of precipitation, which is because it is located in the Shapur watershed (the coastline bordering the Oman Sea and the Persian Gulf). Also, in the review of the long-term monthly data, the reanalysis data in the hot months of Dubai has not been correctly simulated, which is due to the durability and low thickness of the clouds, and this has caused a decrease in the accuracy of the amount of precipitation. Finally, due to the proper distribution of rain gauge stations in this basin, the results obtained from the station data are better than the reanalysis data.

Keywords: Water resources, Sacramento model, Precipitation, Era-interim, Agera5