Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 724-739

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۷۳۹-۷۲۴

تلفیق مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و داده‌های بارش ماهواره‌ای با توان تفکیک زمانی و مکانی بالا جهت شبیه‌سازی سیلاب

هاله علم‌شاهی[۱]، اصغر عزیزیان[۲*]، لوکا بروکا[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳۰

چکیده

شبیه‌سازی سیلاب با مدل‌های هیدرولوژیکی نیازمند داده‌ی بارش ورودی مناسب می‌باشد که متاسفانه در بیشتر حوضه‌های کشور، پراکندگی مناسبی از ایستگاه‌های باران‌سنجی و داده‌های آمار بلند مدت وجود ندارد. بدین منظور استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای با توان تفکیک زمانی و مکانی بالا جهت رفع این خلأ می‌تواند مفید و سودمند باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی داده‌های ساعتی منبع بارشی PERSIANN-CCs جهت شبیه‌سازی سیلاب با مدل رخدادمحور HEC-HMS در حوضه آبریز اسالم به انجام رسیده است. برای ارزیابی هرچه بهتر عملکرد مدل HEC-HMS نسبت به بارش ورودی از سه سناریوی مکانی (Lumped, Thiessen, Link-Lumped) و زمانی (۱، ۳ و ۶ ساعته) مختلف استفاده بعمل آمده است. نتایج حاصل از اجرای مدل به ازای سناریوهای مذکور نشان داد که در صورت استفاده از داده‌های بارش PERSIANN-CCs برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب، گام زمانی ۳ و ۶ ساعته به ویژه در سناریوی مکانی Link-Lumped منجربه نتایج بهتری خواهد شد. به عنوان مثال، متوسط مقادیر شاخص کارایی نش- ساتکلیف (NSE) و ضریب همبستگی (CC) برای رخدادهای مورد بررسی برای موارد مذکور به ترتیب در حدود ۰/۵۸ و ۰/۷۸ (گام زمانی ۳ ساعته) و ۰/۵۶ و ۰/۷۴ (گام زمانی ۶ ساعته) می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن است که چنانچه هدف برآورد صحیح دبی اوج سیلاب باشد، سناریوی مکانی دوم یعنی استفاده از پلیگون Thiessen برای محاسبه بارش متوسط در سطح حوضه در گام‌های زمانی ۱ و ۳ ساعته منجربه کمترین مقدار خطا می‌شود (با خطای نسبی ۰/۲ تا ۷/۶ درصد) و این در حالی است که سناریوی مکانی سوم یعنی Link-Lumped از نظر توانایی لازم جهت تخمین دبی اوج برخوردار نمی‌باشد. تلفیق سناریوی مکانی اول و داده‌های بارش PERSIANN-CCs نیز بهترین گزینه برای تخمین زمان رسیدن سیلاب به حداکثر مقدار خود (Tp) که از اهمیت زیادی در سامانه‌های هشدار سیلاب برخوردار است، می‌باشد. یافته‌های پژوهش حاضر موید این مطلب است که در صورت عدم وجود داده‌های بارش زمینی می‌توان از داده‌های بارش ماهواره‌ای با توان تفکیک زمانی و مکانی بالا مانند PERSIANN-CCs برای شبیه‌سازی سیلاب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بارش، رواناب، سنجش از دور، سیلاب، هیدرولوژی

مقدمه

بارش به عنوان اساسی‌ترین مؤلفه اقلیمی در بسیاری از مطالعات علمی نقش مهمی را ایفا می‌کند (Shayeghi et al., 2020). در مطالعات هیدرولوژیکی، هیدروکلیماتولوژی و هواشناسی، داده‌های بارندگی نقش کلیدی را ایفا می‌کنند. داده‌های بارندگی اغلب از طریق شبکه ایستگاه‌های هواشناسی در سطح دنیا بر اساس هدف آن ایستگاه در بازه‌های زمانی متفاوتی برداشت می‌شود. این ایستگاه‌ها شامل ایستگاه‌های سینوپتیک،کلیماتولوژی و باران‌سنجی بوده که تراکم شبکه ایستگاه‌ها بر اساس اقلیم و توپوگرافی منطقه تعیین می‌شود. کمبود منابع مالی و سختی دسترسی به برخی مناطق سبب شده که در برخی مناطق دنیا ایستگاه‌های موجود با تراکم کمی احداث شده باشند. این مساله به عنوان یکی از مشکلات محققان در تخمین دقیق بارش مناطق مذکور همواره مطرح بوده است. از طرفی داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی در یک محدوده جغرافیایی به صورت نقطه‌ای برداشت

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
۳- مدیر تحقیقات، مؤسسه تحقیقات هیدرولوژی، مرکز ملی مطالعات ایتالیا، پروجیا، ایتالیا
(*- نویسنده مسئول: Email: azizian@eng.ikiu.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شوند که بایستی این داده‌ها به سطح تعمیم داده شود (Shayeghi et al., 2020). داده‌های بارش با توان تفکیک زمانی و مکانی بالا به عنوان ورودی کلیدی در مدل‌های هیدرولوژی و هواشناسی برای دقت پیش‌بینی مدیریت منابع آب واقعی ضروری می‌باشند. امروزه و با توجه به گسترش روزافزون تکنولوژی اطلاعات، منابع بارشی مختلفی بر روی وبگاه‌های اطلاعاتی در دسترس است که ارزیابی عملکرد آنها در تخمین بارش ضروری است (Prakash et al., 2010). به طورکلی سه روش برای اندازه‌گیری مقدار بارش وجود دارد که عبارتند از: ایستگاه باران‌سنجی، رادار هواشناسی و سنجنده‌های ماهواره‌ای که در میان آنها ایستگاه‌های باران‌سنجی دقیق‌ترین و پرکاربردترین راه برآورد بارش هستند (Li et al., 2013). ایستگاه‌های باران سنجی از نظر مکانی در بسیاری از مناطق به ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران فاقد یک شبکه متراکم بوده و با توجه به نقطه‌ای بودن بارش اندازه‌گیری شده، نمی‌توانند بارش را به صورت سطحی نمایش دهند که این مساله محدودیت قابل توجهی برای استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. برخلاف داده‌های زمینی، داده‌های بارش ماهواره‌ای و مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور می‌توانند تصویر بهتری از توزیع بارش در سطح زمین نسبت به ایستگاه‌های زمینی، به ویژه در مناطقی که کمبود ایستگاه وجود دارد ارائه دهند. استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای و مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور با توان تفکیک زمانی و مکانی بالا از اهمیت بسیاری زیادی به ویژه در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی سیلاب برخوردار می‌باشد. تاکنون، پایگاه‌های بارش ماهواره‌ای با توان تفکیک زمانی و مکانی مختلف توسعه داده شده‌است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به منابع بارشی ماهواره TRMM با نام TMPA (Hong et al., 2012)، داده‌های CMORPH (Joyce et al., 2004)، داده‌های بارش نیم ساعته IMERG (Huffman and Bolvin, 2013) و سیستم طبقه‌بندی رایانش ابری PERSIANN-CCS (Hong et al., 2004) اشاره نمود. تاکنون مطالعات متعددی در سطح کشور و در زمینه ارزیابی منابع بارشی ماهواره‌ای به انجام رسیده است که عمده آنها صرفاً از دیدگاه تخمین مقدار بارش بوده است (Moazami et al., 2016; Katiraie-Boroujerdy, 2013; Jamli, 2015; Alijanian et al., 2017; Moghari et al., 2018; Azizian and Ramezani, 2019; Shayeghi et al., 2020; Rahmati and Masahbavani, 2019) و در کمتر مطالعه‌ای به بررسی کارایی داده‌های مذکور جهت مدل‌سازی رواناب و سیلاب پرداخته شده است. به عنوان مثال، معظمی و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی چهار منبع بارشی TMPA-3B42V7، TMPA-3B42RT، PERSIANN و CMORPH در سطح ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بر اساس شاخص خطای نسبی (RBias)، منبع بارشی 3B42V7 با دارا بودن متوسط شاخص RBias در حدود ۱۳/۴ درصد از عملکرد بهتر نسبت به دیگر منابع بارشی دارد. همچنین منابع بارشی PERSIANN و CMORPH به ترتیب با دارا بودن متوسط شاخص RBias در حدود ۷۸/۱ و ۳۱ درصد از خطای قابل توجهی در سطح ایران برخوردار می‌باشند. مغاری و همکاران (۲۰۱۸) نیز با ارزیابی چهار منبع بارشی CRU، GPCC، PCDR و UDEL در سطح ایران و با استفاده از داده‌های ۸۵ ایستگاه سینوپتیک زمینی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمامی منابع بارش مقدار بارش را برای مناطقی که دارای بارش سالانه بزرگتر از ۶۰۰ میلی‌متر دارند، کم برآورد می‌کنند. همچنین برای مناطقی که دارای بارش سالانه کمتر از ۱۰۰ میلیمتر هستند، منابع مذکور دارای بیش برآوردی زیادی هستند. طبق محاسبات این محققین منبع GPCC مناسب‌ترین پایگاه بارشی در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در سطح کشور می‌باشد. رحمتی و مساح بوانی (۲۰۱۹) به ارزیابی پایگاه‌های بارشی PERSIANN، Era-Interim، TRMM-3B4RT، CHIRPS، APHRODITE و PERSIANN-CDR در حوضه آبریز کارون و در گام زمانی روزانه پرداختند. یافته‌های این محققین نشان داد که اگرچه بر اساس شاخص‌های آماری همچون CC و NRMSE، پایگاه‌های بارشی APHRODITE و Era- Interim در مقایسه با دیگر منابع بارشی از عملکرد بهتری برخوردار هستند، اما در تشخیص روزهای بارانی با خطای زیادی روبرو هستند و لذا استفاده از این داده‌ها جهت شبیه‌سازی رواناب می‌تواند منجربه عدم قطعیت زیادی گردد. شایقی و همکاران (۲۰۲۰) نیز به بررسی کارایی منابع بارش ماهواره‌ای در تخمین بارش و همچنین شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل توزیعی VIC-3L در حوضه آبریز سفیدرود پرداختند. نتایج نشان داد که در مقیاس روزانه و ماهانه عملکرد منبع ECMWF و APHRODITE در تخمین بارش مناسب می‌باشد و این در حالی است که منبع PERSIANN-CDR تنها در مقیاس ماهانه از عملکردی مشابه با منابع مذکور برخوردار است. همچنین در شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه استفاده از منبع بارشی PERSIANN-CDR منجر به بالاترین مقدار همبستگی بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی و کمترین خطا در برآورد دبی‌های اوج و حجم رواناب می‌گردد. پاریسوج و همکاران (۲۰۱۸) دو داده بارشی TRMM و PERSIANN را جهت شبیه‌سازی رواناب و سیلاب با استفاده از مدل بارش–رواناب HEC-HMS مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در مقیاس زمانی روزانه استفاده از داده‌های TRMM نسبت به PERSIANN منجربه شبیه‌سازی بهتر رواناب می‌گردد. کوهی و همکاران (۲۰۲۰) برای واسنجی مدل بزرگ مقیاس VIC-3L در سطح حوضه سفیدرود از داده‌های رطوبت سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

ASCAT استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از داده‌های مبتنی بر سنجش از دور می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب برای تخمین دبی به ویژه در حوضه‌هایی که فاقد آمار زمینی هستند، باشد. احمدی و همکاران (۲۰۲۰) با تلفیق مدل بارش-رواناب IHACRES و داده‌های بارش ماهواره‌ای CHIRPS اقدام به برآورد رواناب در مقیاس روزانه و در سطح حوضه آبریز گرگانرود نمودند و به این نتیجه رسیدند که اگرچه مدل هیدرولوژیکی در برآورد دبی‌های حداکثر روزانه خوب عمل نکرده است اما در مجموع از عملکرد مناسبی برخوردار است. عینی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی عملکرد داده‌های بارش بازتحلیل شده پایگاه‌های اقلیمی CRU و NCEP-CFSR جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز مهارلو پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ مقدار متوسط شاخص نش-ساتکلیف بین داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی در حدود ۰/۹۱ می‌باشد. همچنین محاسبات صورت نشان داد که پایگاه اطلاعاتی CRU نسبت به NCEP از عملکرد به مراتب بهتری در تخمین رواناب سطحی برخوردار می‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌گردد، بیشتر مطالعات صورت گرفته در زمینه منابع بارشی ماهواره‌ای عمدتاً در زمینه ارزیابی کارایی آنها بوده و یا نهایتاً در تخمین رواناب در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین لازم به ذکر است که بیشتر منابع بارش ماهواره‌ای مورد استفاده از توان تکفیک زمانی و مکانی پائینی برخوردار می‌باشند و جهت استفاده در حوضه‌های میانه و کوچک مقیاس چندان مناسب نیستند. با توجه به اهمیت مولفه بارش در شبیه‌سازی سیلاب، بایستی داده‌های بارشی با مقیاس مکانی و زمانی مناسبی در دسترس باشد تا بتوان برای حوضه‌هایی که دارای مساحت کمی هستند، اقدام به برآورد سیلاب با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی نمود. به جرأت می‌توان گفت که تاکنون تحقیقات چندان قابل توجهی در زمینه ارزیابی کارایی منابع بارشی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا برای شبیه‌سازی سیلاب به ویژه در سطح کشور ایران که همواره با سیلاب‌های متعدد و خسارت‌زایی در سال‌های اخیر روبرو بوده است، انجام نگرفته است. لذا با توجه به توضیحات فوق، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی کارایی داده‌های ساعتی منبع بارشی PERSIANN-CCs جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و مولفه‌های مرتبط با آن (مانند: دبی اوج سیلاب و زمان رخداد آن) در سطح حوضه اسالم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در جنوب غربی استان گیلان در شهرستان تالش و بخش اسالم قرار دارد. بخش اسالم از طرف شمال به شهرستان تالش، از جنوب به شهرستان رضوانشهر، از غرب به شهرستان خلخال و از طرف شرق به دریای خزر محدود است. این حوضه دارای مساحت و محیطی به ترتیب در حدود ۲۶۵ کیلومتر مربع و ۸۲ کیلومتر بوده و مقدار ارتفاع در آن بین ۱۳۰ تا ۳۰۱۰ متر متغیر می‌باشد. در خروجی این حوضه ایستگاه هیدرومتری خرجگیل-اسالم واقع شده است که حاوی اطلاعات ارزشمندی از میزان آبدهی و سیلابهای عبوری از حوضه مذکور می‌باشد. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز اسالم نشان داده شده است.

داده‌های مورد استفاده در پژوهش

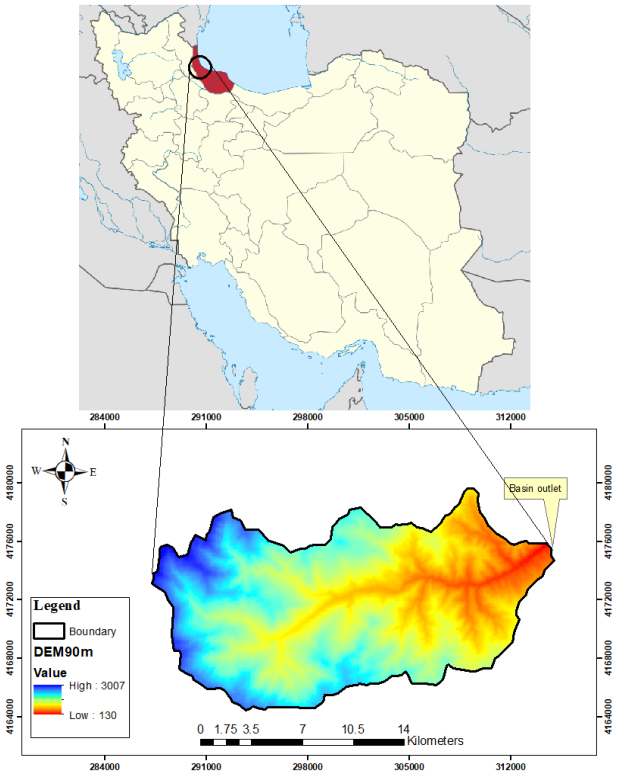
در این پژوهش علاوه‌بر داده‌های ثبت شده در محل ایستگاه‌های هواشناسی (https://data.irimo.ir/) از داده‌های بارشی PERSIANN-CCs که جزء منابع بارشی با توان تفکیک زمانی و مکانی بالا می‌باشد، در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ استفاده بعمل آمده است. منبع بارشی PERSIANN-CCs دارای توان تفکیک مکانی و زمان به ترتیب معادل ۴ کیلومتر و ۱ ساعته می‌باشد. از سامانه CHRS به نشانی https://chrsdata.eng.uci.edu نیز برای دسترسی به منبع بارشی PERSIANN-CCs می‌توان استفاده نمود. ایستگاه‌های هواشناسی واقع در محدوده مطالعاتی عبارتنداز: هشتپر، خرجگیل-اسالم، خلیان، ناوبالا و آبیاری خلخال. همچنین برای استخراج شبکه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌های بازه مطالعاتی از DEMهای ۳۰ متری SRTM استفاده شده است. بررسی آمار ایستگاه هیدرومتری خرجگیل-اسالم حاکی از آن است که از میان سیلاب‌های ثبت شده در این ایستگاه تنها ۸ رخداد از وضعیت مطلوبی (از نظر موجود بودن داده‌های ساعتی بارش و دبی) برخوردار بوده و برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS مناسب می‌باشند. در جدول ۱ زمان رخداد و مدت زمان تداوم هر کدام از سیلاب‌های مذکور ارائه شده است.

ساختار مدل بارش-رواناب HEC-HMS

مدل بارش-رواناب HEC-HMS یکی از پرکاربردترین مدل‌های هیدرولوژیکی رخداد محور برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب بشمار می‌آید که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا توسعه داده شده است (USACE, 2017). این مدل در رده مدل‌های یکپارچه (Lumped) قرار داشته و در ابتدا تنها برای مدل‌سازی وقایع رخدادی (Event Based) مورد استفاده قرار می‌گرفته ولی در سال‌های اخیر تلاش‌هایی جهت وارد نمودن مدل‌سازی پیوسته (Continues) در مدل HEC-HMS شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت جغرافیای حوضه آبریز اسالم

جدول ۱- مشخصات سیلاب‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

رخداد	تاریخ آغاز رخداد	تاریخ پایان رخداد	مدت سیلاب
۱	۸۶/۱۲/۱۲	۸۶/۱۲/۱۴	۳ روز
۲	۸۷/۰۸/۲۰	۸۷/۰۸/۲۰	۱ روز
۳	۸۸/۰۴/۰۴	۸۸/۰۴/۰۵	۲ روز
۴	۸۸/۰۶/۲۵	۸۸/۰۶/۲۷	۳ روز
۵	۹۰/۰۳/۱۹	۹۰/۰۳/۲۰	۲ روز
۶	۹۰/۰۸/۱۵	۹۰/۰۸/۱۶	۲ روز
۷	۹۱/۰۱/۱۴	۹۱/۰۱/۱۵	۲ روز
۸	۹۱/۰۴/۰۸	۹۱/۰۴/۰۸	۱ روز

هر چند این تلاش‌ها اغلب موجب توسعه معادلاتی شده که به علت وابسته بودن به پارامترهای متعدد چندان کاربردی نمی‌باشند. برای شبیه‌سازی سیلاب توسط مدل مذکور، مولفه‌های مختلفی موردنیاز می‌باشد که از میان آنها مقدار بارش ورودی به مدل از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشند. در پژوهش حاضر برای معرفی داده‌های بارشی به مدل هیدرولوژیکی مذکور از دو منبع ماهواره‌ای و زمینی استفاده بعمل آمده است. همچنین برای واسنجی مدل و برآورد پارامترهای آن از الگوریتم بهینه‌سازی Nelder-Mead استفاده شده است.

سناریوهای مورد استفاده برای لحاظ نمودن سری زمانی بارش در مدل هیدرولوژیکی

با توجه به موقعیت مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی و داده‌های ماهواره‌ای بارش سه سناریو مختلف برای معرفی داده‌های بارشی به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS مدنظر قرار گرفت که عبارتنداز: **۱) سناریو ۱:** در این سناریو حوضه مطالعاتی به صورت یکپارچه (Lumped) در نظر گرفته می‌شود و متوسط بارش در سطح حوضه با استفاده از روش وزنی‌دهی پلیگون تیسن[1] حاصل گردید. در

1- Thiessen

www.SID.ir

Archive of SID

این سناریو، متناسب با هر ایستگاه زمینی و در مختصات جغرافیایی مربوط به آن سری زمانی بارش از منبع PERSIANN-CCs و به صورت نقطه استخراج و با استفاده از پلیگون تیسن متوسط سری زمانی بارش ماهواره‌ای در سطح حوضه محاسبه می‌شود. **۲) سناریو ۲:** این سناریو نیز مشابه با سناریوی ۱ بوده با این تفاوت که برای برآورد بارش از داده‌های ماهواره‌ای به صورت نقطه‌ای عمل نشد و متوسط بارش سلولهای واقع در هر پلیگون تیسن محاسبه و در نهایت با مشخص بودن وزن هر پلیگون، مقدار متوسط سری زمانی بارش منبع PERSIANN-CCs در سطح حوضه برآورد خواهد گردید. **۳) سناریو ۳:** در این سناریو حوضه به صورت نیمه‌توزیعی (Semi-Distributed / Link Lumped) و با لحاظ نمودن زیرحوضه‌های آن مدنظر قرار گرفت. در این حالت سری زمانی بارش برای هر کدام از زیرحوضه‌های به صورت جداگانه استخراج و در مدل استفاده شد (برای داده‌های بارش ماهواره‌ای متوسط بارش در سطح هر زیرحوضه محاسبه گردید). در شکل ۲ نمونه‌ای توزیع مکانی بارش بر اساس داده‌های PERSIANN-CCs و زیرحوضه‌های حوضه آبریز اسالم برای سناریوی ۳ نشان داده شده است. همچنین برای بررسی تاثیر گام زمانی داده‌های ورودی جهت شبیه‌سازی سیلاب از سه گام زمانی ۱، ۳ و ۶ ساعته برای اجرای مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در هر کدام از سناریوهای مذکور و داده‌های بارشی (زمینی و ماهواره‌ای) استفاده شد. در نهایت برای ارزیابی هرچه بهتر عملکرد مدل هیدرولوژیکی-بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CCs، خروجی‌های مهمی همچون دبی اوج سیلاب، حجم سیلاب، زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب و شکل هیدروگراف در سناریوهای مختلف محاسبه و با خروجی‌های حاصل از از داده‌های زمینی مقایسه گردید. در شکل فلوچارت کلی سناریوهای مکانی و زمانی مورد استفاده جهت شبیه‌سازی سیلاب نشان داده شده است.

شاخص‌های آماری مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد مدل هیدرولوژیکی در سناریوهای زمانی و مکانی مختلف از سه شاخص آماری ضریب همبستگی (CC[1])، میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE[2]) و ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NSE[3]) استفاده بعمل آمد (جدول ۲). طبق تحقیقات صورت گرفته توسط موریاسی و همکاران (۲۰۰۷) چنانچه مقدار شاخص CC بین ۰/۸ تا ۱ و ۰/۷۵ تا ۰/۸ باشد مقدار همبستگی به ترتیب بسیار خوب و خوب خواهد بود. همچنین مقدار CC کمتر از ۰/۶ به معنی عدم رضایت‌بخش بودن میزان همبستگی بین داده مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. مطالعات فوگلیا و همکاران (۲۰۰۹) نیز حاکی از آن است که مقدار شاخص NSE نیز چنانچه بالاتر از ۰/۶ باشد حاکی از عملکرد بسیار مناسب مدل هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب دارد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی دقیق‌تر کارایی منبع بارشی PERSIAN-CCs برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در سناریوهای مکانی مختلف مقادیر شاخص‌های آماری CC، NSE و RMSE در محل ایستگاه هیدرومتری خرجگیل-اسالم نسبت به داده‌های مشاهداتی و در سه گام زمانی ۱، ۳ و ۶ ساعته محاسبه شد که در ادامه نتایج هر بخش به تفکیک هر گام زمانی ارائه شده است.

شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب بر اساس داده‌های با گام زمانی ۱ ساعته

در این بخش به بررسی هیدروگراف‌های حاصل از اجرای مدل در سه سناریو مکانی مختلف در گام زمانی یک ساعته برای دو منبع بارشی زمینی و ماهواره‌ای پرداخته شده است (شکل ۳). نتایج حاصل از اجرای مدل بر اساس داده‌های بارش زمینی حاکی از آن است که استفاده از دیدگاه Link-Lumped از نظر شبیه‌سازی شکل هیدروگراف سیلاب منجربه نتایج بهتری شده است. به عنوان مثال، در رخدادهای ۱ و ۲ مقدار شاخص NSE به ترتیب در حدود ۰/۷۸ و ۰/۴۲ است و این در حالی است که مقدار همبستگی بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در حدود ۰/۹۳ و ۰/۷۳ می‌باشد.

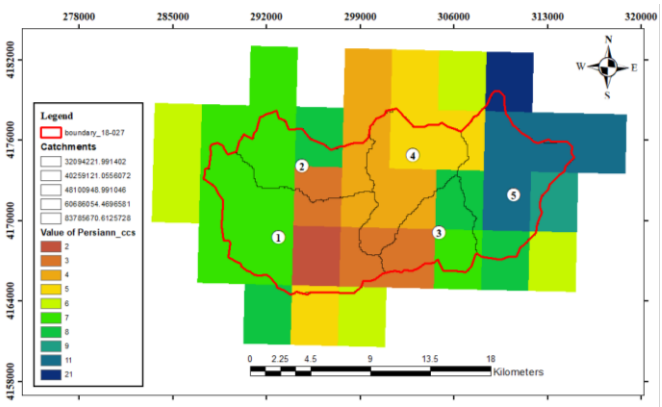
نتایج حاصل از کاربرد داده‌های بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CCs نیز حاکی از آن است که فرآیند شبیه‌سازی شکل هیدروگراف سیلاب و همچنین دبی اوج سیلاب در بیشتر سناریوهای مکانی (به ویژه سناریوی Link-Lumped) منجربه خروجی‌های به مراتب بهتری نسبت به داده‌های بارش زمینی می‌شوند.

طبق محاسبات صورت گرفته در سناریوی Link-Lumped، مقادیر ضرایب NSE و CC برای رخداد اول به ترتیب معادل ۰/۸ و ۰/۹۱ می‌باشد که طبق معیارهای موریاسی و همکاران (۲۰۰۷) و فوگلیا و همکاران (۲۰۰۹) در درجه‌ی عالی و بسیار خوب قرار می‌گیرند. در دیگر رخدادهای مورد بررسی هم نتایج حاصل از ترکیب سناریوی توزیعی با داده‌های بارش شبکه‌بندی شده PERSIANN-CCs حاکی از عملکرد مناسب مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب می‌باشد.

1- Correlation Coefficient (CC)
2- Root Mean Square Error
3- Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- توزیع مکانی بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CCs و موقعیت زیرحوضه‌های حوضه اسالم

جدول ۲- شاخص‌های آماری و جدولی مورد استفاده در پژوهش

ردیف	معیار ارزیابی	معادله
۱	میانگین مجموع مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-Q_{sim})^2}$
۲	ضریب همبستگی	$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\bar{Q}_{obs})(Q_{sim}-\bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}-\bar{Q}_{obs})^2\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}-\bar{Q}_{sim})^2}}$
۳	ضریب نش- ساتکلیف	$NSE = 1-\frac{\sum_{1}^{n}(Q_{sim}-Q_{obs})^2}{\sum_{1}^{n}(Q_{obs}-\bar{Q}_{obs})^2}$

در جدول فوق Q_{obs}: مقادیر مشاهداتی، Q_{sim}: مقادیر شبیه‌سازی، n: تعداد داده‌ها، $\bar{Q}_{obs}$: متوسط مقادیر مشاهداتی، $\bar{Q}_{sim}$: متوسط مقادیر شبیه‌سازی می‌باشد.

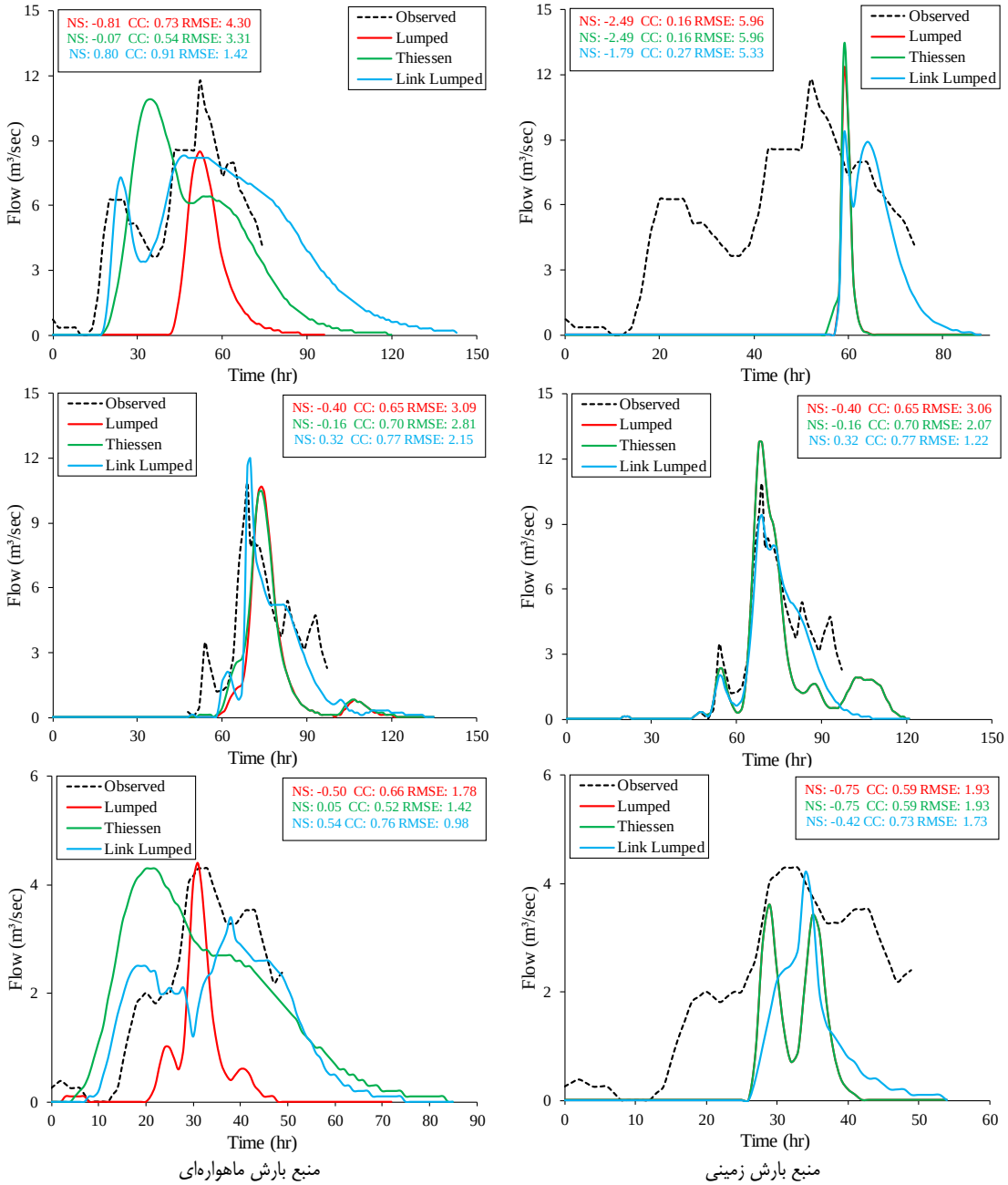
به عبارت بهتر استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای با ساختار شبکه‌بندی شده نسبت به داده‌های زمینی که از تراکم و توزیع مکانی مناسبی در سطح حوضه برخوردار نمی‌باشند، منجربه نتایج بهتری شده است. یافته‌های به دست آمده از تحقیق لی و همکاران (۲۰۱۹) نیز حاکی از آن است که در صورت استفاده از داده‌های بارشی PERSIANN-CCs متوسط مقدار شاخص کارایی NSE برای رخدادهای مورد مطالعه به ترتیب در حدود ۰/۸۴ و ۰/۸۶ می‌باشد که با یافته این پژوهش همخوانی مناسبی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی بررسی تحقیقات صورت گرفته در زمینه تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و منابع بارش ماهواره‌ای گویای این مطلب است که ترکیب مناسب بین منبع بارشی و پارامترهای مدل می‌تواند تا حدود زیادی خطا و عدم قطعیت ناشی از داده‌های ورودی را کاهش دهد (Yong et al., 2010; Qi et al., 2016; Shayeghi et al., 2020). همچنین توزیع مکانی مناسب بارش ماهواره‌ای یکی از عواملی است که منجربه کاهش هرچه بیشتر خطاها در طول فرآیند مدل‌سازی هیدرولوژیکی می‌گردد و این در حالی است که استفاده از داده‌های زمینی با تراکم مکانی ضعیف (مشابه آنچه در حوضه اسالم و بسیاری از حوضه‌های ایران وجود دارد) خود می‌تواند منابع خطای زیادی را در مدل‌سازی وارد نمایند.

شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب بر اساس داده‌های با گام زمانی ۳ ساعته

در این بخش به بررسی هیدروگراف‌های حاصل از اجرای مدل در سه سناریو مکانی مختلف در گام زمانی سه ساعته برای دو منبع بارشی زمینی و ماهواره‌ای پرداخته شده است (شکل ۴). نتایج حاصل از اجرای مدل بر اساس داده‌های بارش زمینی در این گام زمانی نیز اگرچه حاکی از برتری عملکرد سناریوی Link-Lumped در شبیه‌سازی شکل هیدروگراف سیلاب دارد، اما نتایج حاصل از سناریوی دوم نیز منجربه شبیه‌سازی قابل قبولی شده است. به عنوان مثال، مقدار ضریب CC در سناریوی سوم (Link-Lumped) برای رخدادهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب در حدود ۰/۳۴، ۰/۹۶، ۰/۹۲ و ۰/۵۲ است که حاکی از همبستگی مناسب بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

www.SID.ir

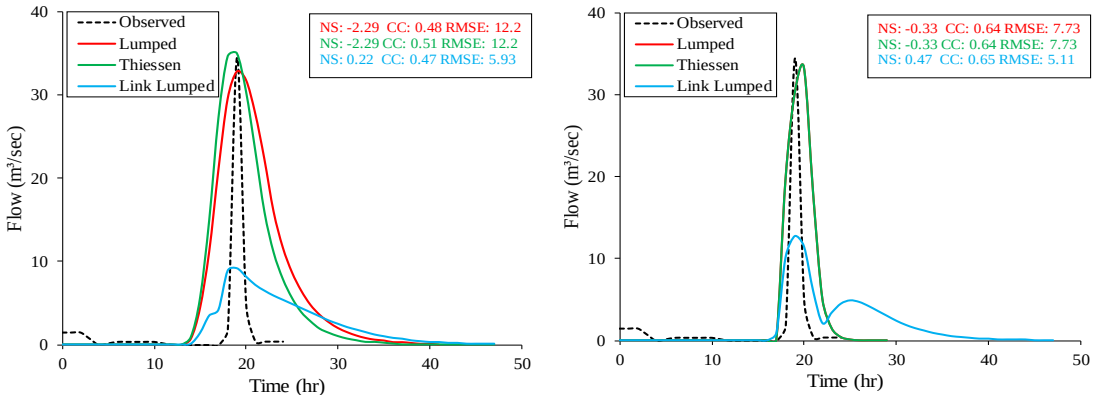
Archive of SID



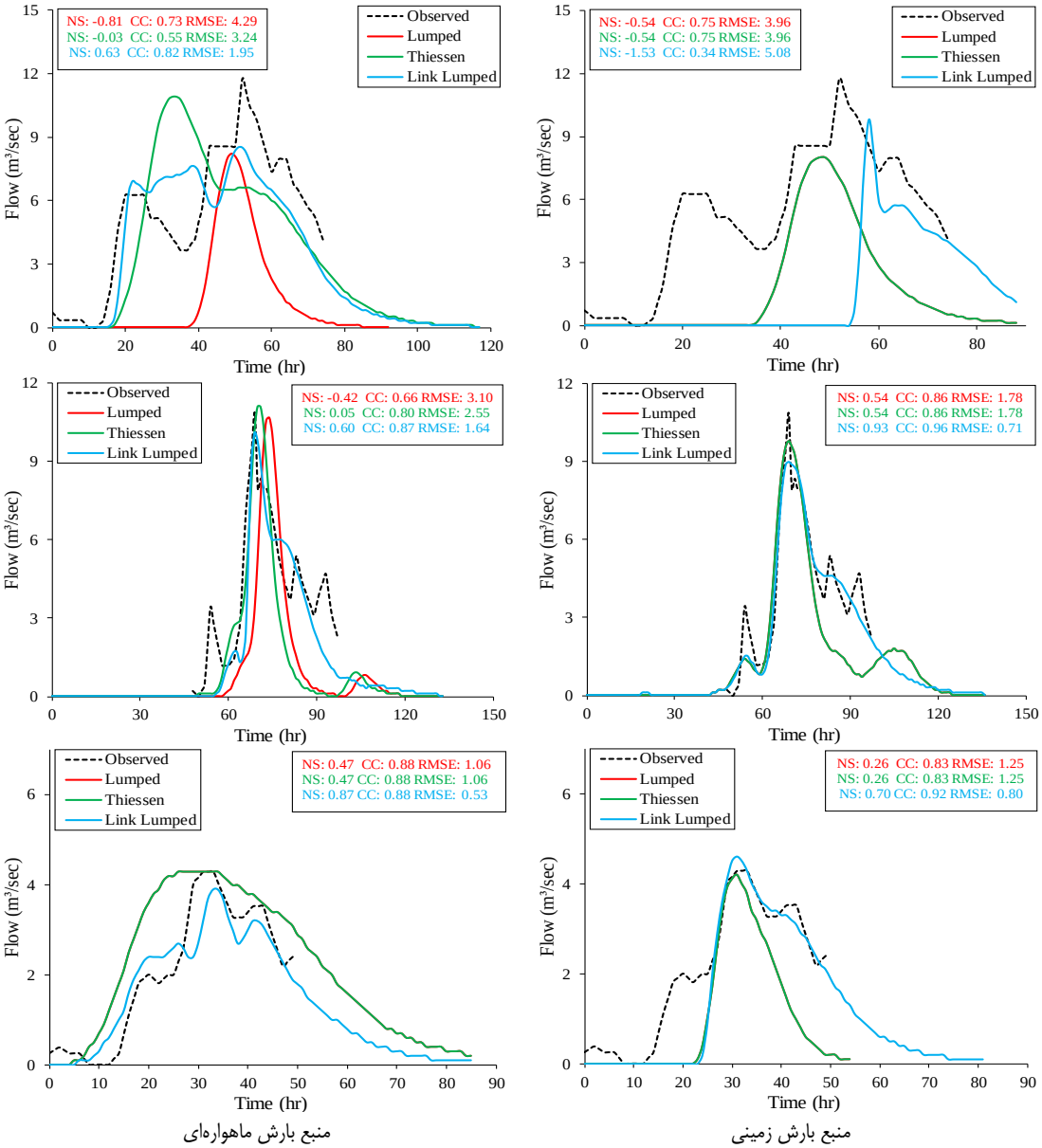
شکل ۳- شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در گام زمانی ۱ ساعته با دو منبع بارشی زمینی و ماهواره‌ای (مرحله واسنجی)

www.SID.ir

Archive of SID



ادامه شکل ۳

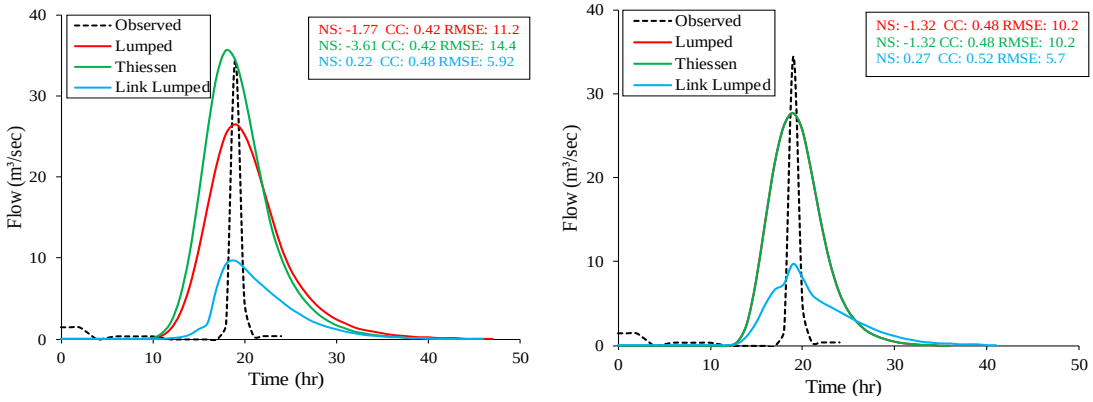


منبع بارش ماهواره‌ای　　منبع بارش زمینی

شکل ٤- شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در گام زمانی ۳ ساعته با دو منبع بارشی زمینی و ماهواره‌ای (مرحله واسنجی)

www.SID.ir

Archive of SID



ادامه شکل ٤

همچنین در سناریوی دوم نیز مقدار شاخص CC نسبت به سناریوی سوم کمی بهتر بوده و مقدار شاخص CC برای رخدادهای مذکور به ترتیب معادل ۰/۵۵، ۰/۸۰، ۰/۸۸ و ۰/۴۸ حاصل گردید. برخلاف داده‌های زمینی، خروجی‌های حاصل از تلفیق مدل HEC-HMS با داده‌های بارش شبکه‌بندی شده PERSIANN-CCs حاکی از عملکرد بسیار مناسب مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در سناریوی سوم دارد. مقدار شاخص‌های آماری NSE و CC برای رخدادهای ۱ تا ۴ به ترتیب در حدود ۰/۶۳، ۰/۶۰، ۰/۸۷ و ۰/۲۲ و ۰/۸۲، ۰/۸۷، ۰/۹۴ و ۰/۴۸ می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد ترکیب سناریوی Link-Lumped با داده‌های بارش ماهواره‌ای نسبت به داده‌های زمینی منجربه نتایج به مراتب بهتری می‌گردد و این به خوبی گویای این مساله که استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده بارش به جای داده‌های نقطه‌ای می‌تواند منجربه تسکین هرچه بیشتر خطاها در طول فرآیند مدل‌سازی گردد. ذکر این نکته نیز ضروری است که در گام زمانی ۳ ساعته، تلفیق مدل HEC-HMS در سناریوی دوم با داده‌های بارش PERSIANN-CCs منجربه نتایج چندان رضایت‌بخشی نمی‌شود.

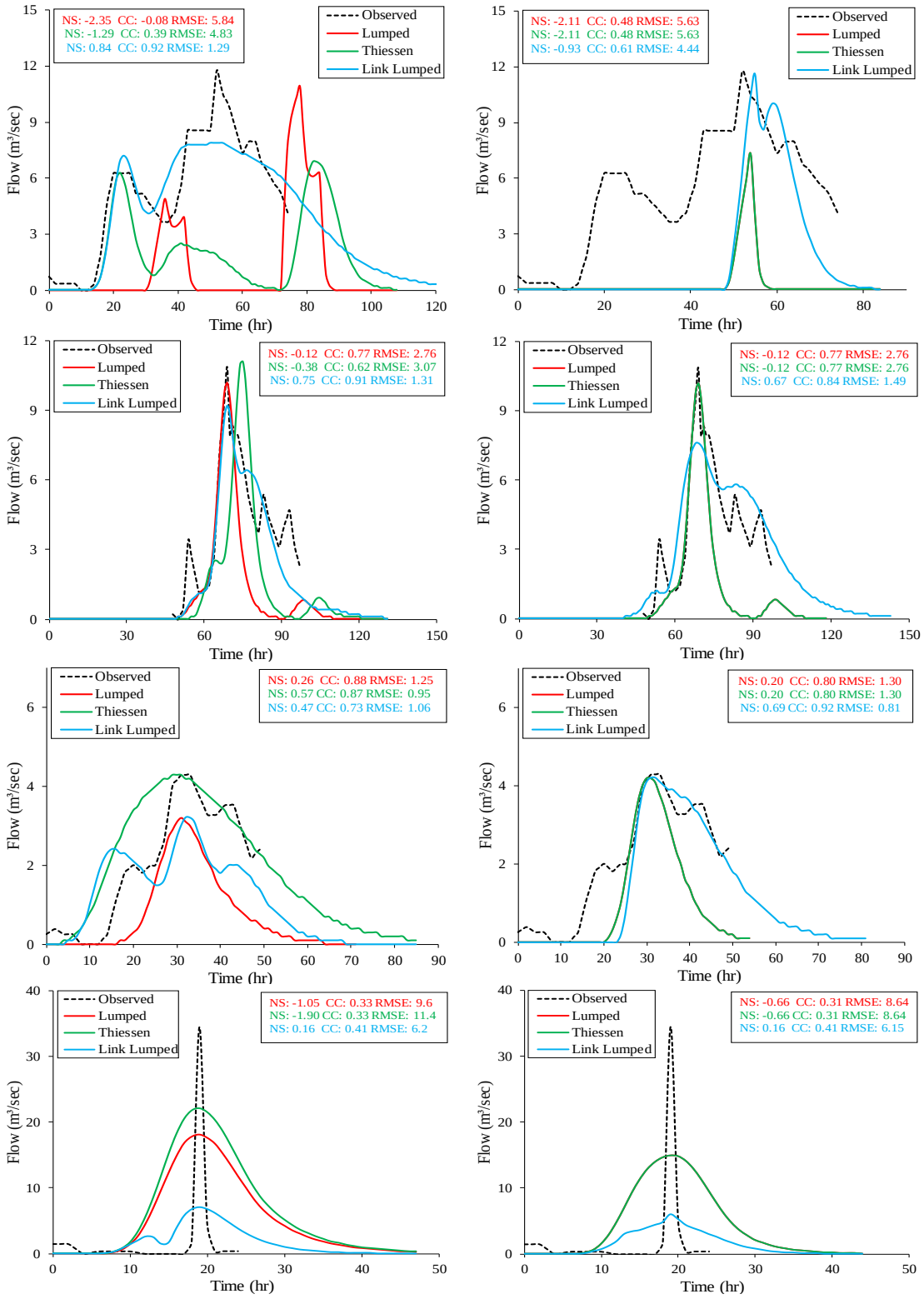
شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب بر اساس داده‌های با گام زمانی ۶ ساعته

در این بخش به بررسی هیدروگراف‌های حاصل از اجرای مدل در سه سناریو مکانی مختلف در گام زمانی شش ساعته برای دو منبع بارشی زمینی و ماهواره‌ای پرداخته شده است (شکل ۵). نتایج حاصل از اجرای مدل بر اساس داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در این گام زمانی اگرچه حاکی از عملکرد قابل قبول مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی شکل هیدروگراف سیل می‌باشد، اما مقادیر دبی اوج سیلاب و زمان رسیدن به دبی اوج که از اهمیت زیادی در سامانه‌های هشدار سیل برخوردار می‌باشند به خوبی شبیه‌سازی نشده است. از آنجائی که مدل مذکور یک مدل رخدادمحور می‌باشد، استفاده از داده‌های با گام زمانی بزرگتر منجربه عدم شبیه‌سازی صحیح مولفه‌های هیدروگراف سیل خواهد گردید. به عبارت بهتر افزایش گام زمانی بارش و ورود آن به مدل هیدرولوژیکی منجربه گسترش هرچه بیشتر خطاها در خروجی مدل هیدرولوژیکی می‌گردد و فارغ از نوع منبع بارشی، استفاده از داده‌های بارش ۶ ساعته با ساختار مدل‌های رخدادمحور مغایرت بیشتری را نشان می‌دهد. لذا توصیه می‌شود جهت شبیه‌سازی هر بهتر سیلاب به ویژه در مطالعات هشدار سیل از داده‌های بارش با توان تفکیک زمانی پائین استفاده نگردد. همچنین نتایج حاکی از آن است که تلفیق مدل هیدرولوژیکی مذکور با داده‌های بارش PERSIANN-CCs به ویژه در سناریوی Link-Lumped منجربه نتایج به مراتب بهتری نسبت به داده‌های زمانی می‌شود. به عنوان مثال متوسط شاخصهای NSE و CC برای ۴ رخداد مورد استفاده در مرحله واسنجی در صورت استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای به ترتیب در حدود ۰/۵۶ و ۰/۷۴ می‌باشد و این در حالی است که در صورت استفاده از داده‌های زمینی مقادیر شاخصهای مزبور به ترتیب معادل ۰/۱۵ و ۰/۷۰ است.

نتیجه مهم دیگری که از اجرای مدل هیدرولوژیکی در این گام زمانی نسبتاً بزرگ می‌توان برداشت نمود این است که استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده بارش (مانند تمامی داده‌های بارشی مبتنی بر سنجش از دور) به عنوان ورودی یک مدل هیدرولوژیکی (به ویژه در حالت نیمه توزیعی) منجربه ایجاد عدم قطعیت و خطای کمتری در خروجی مدل خواهد گردید. مشابه این نتایج در تحقیقات لی و همکاران (۲۰۱۹) و کای و همکاران (۲۰۱۶) که به ترتیب از مدل‌های نیمه توزیعی Liuxihe و TOPMODEL در دو حوضه کاملاً متفاوت استفاده کرده‌اند، مشاهده می‌شود. استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده بارش یکی از فاکتورهایی است که منجربه خنثی شدن هرچه بهتر خطاها در مدلسازی هیدرولوژیکی می‌گردد و این در حالی است که استفاده از داده‌های بارش زمینی که دارای تراکم مکانی کمی هستند، منابع خطای زیادی را به مدل موردنظر تحمیل می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID



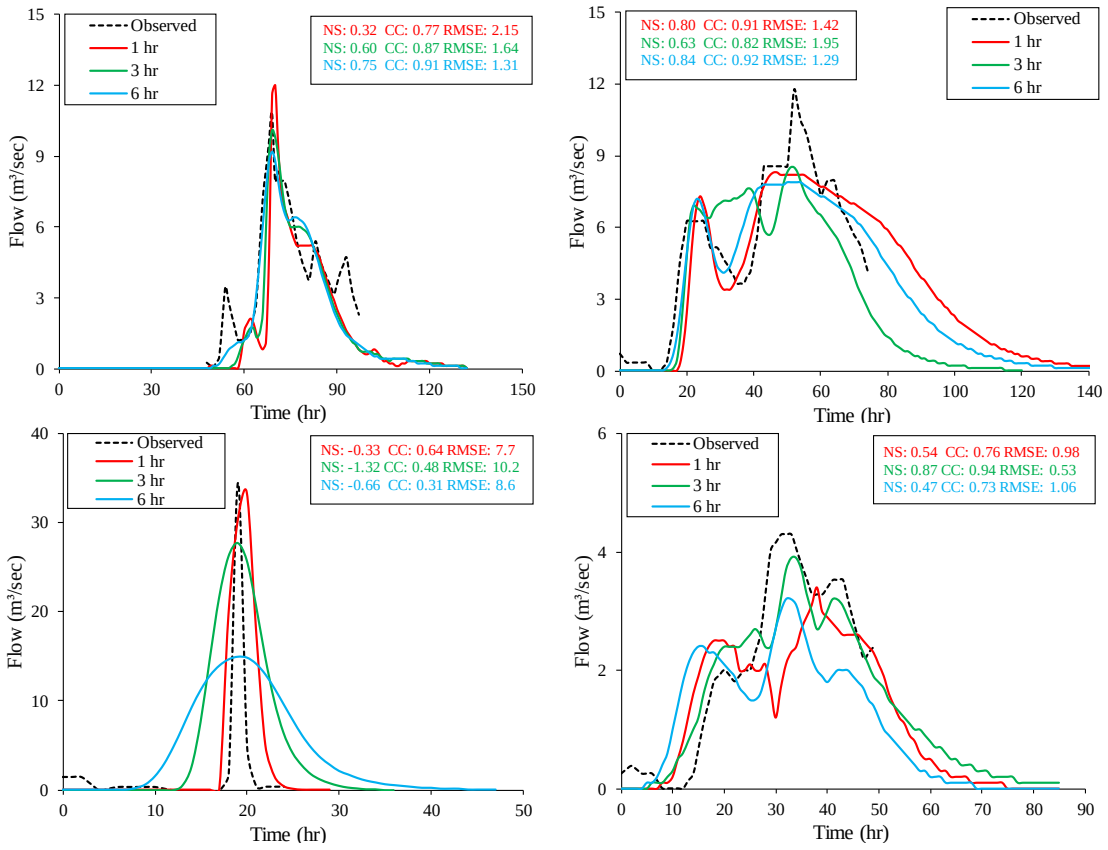
شکل ۵- شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در گام زمانی ٦ ساعته با دو منبع بارشی زمینی و ماهواره‌ای (مرحله واسنجی)

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه‌بر نوع داده بارش ورودی به مدل، ساختار مدل، پارامترهای آن و نیز فرآیند واسنجی نقشی اساسی در کاهش مقدار خطا در خروجی مدل هیدرولوژیکی دارند (Shayeghi et al., 2020).

در یک جمع‌بندی کلی از نتایج اجرای مدل در سه گام زمانی مختلف می‌توان چنین استنباط نمود که در صورت استفاده از داده‌های بارش PERSIANN-CCs برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب، گام زمانی ۳ و ۶ ساعته به ویژه در سناریوی مکانی Link-Lumped منجربه نتایج بهتری شده است. همچنین در صورت استفاده از داده‌های بارش زمینی در گام‌های زمانی ۱ و ۳ ساعته عمکرد مدل هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی رخدادهای سیلابی نسبتاً قابل قبول می‌باشد. همچنین در هر دو منبع بارشی مذکور، گام زمانی ۳ ساعته دارای عملکرد بهتری می‌باشد. در شکل ۶ تاثیر گام‌های زمانی مختلف داده‌های بارشی PERSIANN-CCs بر شکل هیدروگراف شبیه‌سازی شده در سناریوی مکانی Link-Lumped نشان داده شده است.



شکل ٦- شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در گام‌های زمانی ۱، ۳ و ٦ ساعته در صورت استفاده از داده‌های بارش PERSIANN-CCs

ارزیابی عملکرد مدل هیدرولوژیکی در تخمین مولفه‌های هیدروگراف سیلاب

برای ارزیابی هرچه بهتر کارایی منبع بارشی PERSIANN-CCs جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب، مولفه‌های مهمی مانند: دبی اوج سیلاب، زمان رسیدن به دبی اوج (Tp) و حجم سیلاب شبیه‌سازی شده در گام‌های زمانی و سناریوهای مکانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جداول ۳ تا ۶ ارائه شده است.

نتایج حاصل از رخدادهای مختلف حاکی از آن است که چنانچه هدف برآورد صحیح دبی اوج سیلاب باشد، سناریوی مکانی دوم یعنی استفاده از پلیگون تیسن برای محاسبه بارش متوسط در سطح حوضه منجربه کمترین مقدار خطا می‌شود و این در حالی است که سناریوی مکانی سوم یعنی Link-Lumped از نظر توانایی لازم جهت تخمین دبی اوج برخوردار نمی‌باشد. به عبارت بهتر در پروژه‌هایی که نیازمند شبیه‌سازی صحیح دبی اوج سیلاب می‌باشند (مانند: طراحی سرریز

www.SID.ir

Archive of SID

سدها، مخازن کنترل سیلاب، طراحی مجاری جمع‌آوری سیلاب‌های شهری)، تلفیق داده‌های بارش PERSIANN-CCs و سناریوی مکانی دوم می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب به ویژه در حوضه‌های فاقد آمار، مدنظر مهندسین و محققین قرار گیرد. همچنین محاسبات صورت گرفته نشان داد که تلفیق سناریوی مکانی اول و داده‌های بارش PERSIANN-CCs بهترین گزینه برای تخمین زمان رسیدن سیلاب به حداکثر مقدار خود به ویژه در سامانه‌های هشدار سیلاب می‌باشد.

جدول ۳- مشخصات آماری مربوط به عملکرد مدل در شبیه‌سازی مولفه‌های هیدروگراف سیلاب با داده‌های PERSIANN-CCs (رخداد ۱)

گام زمانی بارش (hr)	سناریوی مکانی	NSE	CC	RMSE (m^3/s)	خطای نسبی در برآورد دبی اوج (٪)	اختلاف در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج (hr)	خطای نسبی در برآورد حجم سیلاب (٪)
1 hr	Lumped	-0.81	0.73	4.30	-28.0	0	-70.0
	Thiessen	-0.07	0.54	3.31	-7.6	-17	-1.0
	Link-Lumped	0.80	0.91	1.42	-29.7	-5	30.3
3 hr	Lumped	-0.81	0.73	4.29	-30.5	-3	-70.1
	Thiessen	-.03	0.55	3.24	-7.6	-19	-0.8
	Link-Lumped	0.63	0.82	1.95	-28.0	-1	-3.4
6 hr	Lumped	-2.35	-0.10	5.84	-7.6	26	-65.4
	Thiessen	-1.29	0.39	4.83	-41.5	31	-49.6
	Link-Lumped	0.84	0.92	1.29	-33.1	0	19.7

جدول ٤- مشخصات آماری مربوط به عملکرد مدل در شبیه‌سازی مولفه‌های هیدروگراف سیلاب با داده‌های PERSIANN-CCs (رخداد ۲)

گام زمانی بارش (hr)	سناریوی مکانی	NSE	CC	RMSE (m^3/s)	خطای نسبی در برآورد دبی اوج (٪)	اختلاف در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج (hr)	خطای نسبی در برآورد حجم سیلاب (٪)
1 hr	Lumped	-0.40	0.65	3.09	-1.8	5	-9.4
	Thiessen	-0.16	0.70	2.81	-3.7	5	-35.5
	Link-Lumped	0.32	0.77	2.15	10.1	1	-19.2
3 hr	Lumped	-0.42	0.66	3.10	-1.8	5	-43.5
	Thiessen	0.05	0.80	2.55	1.8	1	-35.5
	Link-Lumped	0.60	0.87	1.64	-7.3	0	-14.1
6 hr	Lumped	-0.12	0.77	2.76	-6.4	0	-46.7
	Thiessen	-0.38	0.62	3.07	1.7	6	-35.5
	Link-Lumped	0.75	0.91	1.31	-15.6	0	-9.1

جدول ٥- مشخصات آماری مربوط به عملکرد مدل در شبیه‌سازی مولفه‌های هیدروگراف سیلاب با داده‌های PERSIANN-CCs (رخداد ۳)

گام زمانی بارش (hr)	سناریوی مکانی	NSE	CC	RMSE (m^3/s)	خطای نسبی در برآورد دبی اوج (٪)	اختلاف در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج (hr)	خطای نسبی در برآورد حجم سیلاب (٪)
1 hr	Lumped	-0.50	0.66	1.78	2.3	0	-69.3
	Thiessen	0.05	0.52	1.42	0.1	-10	37.2
	Link-Lumped	0.54	0.76	0.98	-20.9	7	2.9
3 hr	Lumped	0.47	0.88	1.06	0.1	0	81.1
	Thiessen	0.49	0.87	1.05	0.2	0	80.2
	Link-Lumped	0.87	0.94	0.53	-9.3	2	17.5
6 hr	Lumped	0.26	0.88	1.25	-25.6	0	-47.5
	Thiessen	0.57	0.87	0.95	0.1	-1	56.9
	Link-Lumped	0.47	0.73	1.06	-25.1	2	-8.8

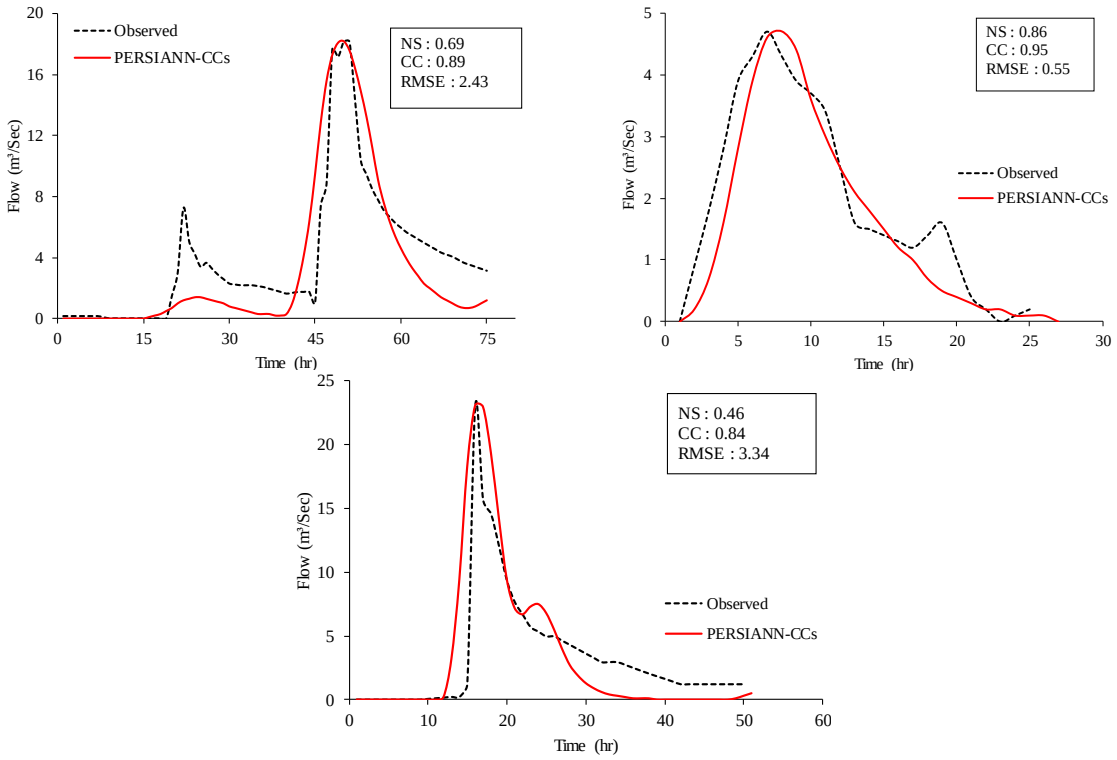
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- مشخصات آماری مربوط به عملکرد مدل در شبیه‌سازی مولفه‌های هیدروگراف سیلاب با داده‌های PERSIANN-CCs (رخداد ٤)

گام زمانی بارش (hr)	سناریوی مکانی	NSE	CC	RMSE (m^3/s)	خطای نسبی در برآورد دبی اوج (٪)	اختلاف در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج (hr)	خطای نسبی در برآورد حجم سیلاب (٪)
1 hr	Lumped	-2.3	0.48	12.2	-4.9	0	392.5
	Thiessen	-2.1	0.51	12.1	1.7	0	358.2
	Link-Lumped	0.22	0.47	5.9	-73.3	0	89.6
3 hr	Lumped	-1.8	0.42	11.2	-23.2	0	392.3
	Thiessen	-3.6	0.43	14.4	3.5	-1	489.6
	Link-Lumped	0.25	0.48	5.9	-71.9	0	62.7
6 hr	Lumped	-1.1	0.33	9.6	-47.5	0	391.1
	Thiessen	-1.9	0.35	11.4	-35.9	0	501.5
	Link-Lumped	0.16	0.41	6.2	-79.4	0	58.2

هرچند لازم به ذکر است که سناریوی مکانی Link-Lumped نیز پس از سناریوی اول دارای کمترین مقدار خطا در برآورد مولفه Tp می‌باشد. در نهایت، ارزیابی عملکرد مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS جهت تخمین حجم سیلاب موید این مطلب است که استفاده از سناریوی مکانی Link-Lumped بهترین حالت برای حفظ بیلان آب (ورودی به مدل و خروجی از آن) در طول بازه شبیه‌سازی توسط مدل می‌باشد. در نتیجه می‌توان چنین استنباط نمود که در مطالعاتی که هدف اصلی آن تخمین صحیح حجم سیلاب می‌باشد، تلفیق دیدگاه نیمه‌توزیعی با داده‌های بارش شبکه‌بندی شده منجربه کمترین مقدار خطا و عدم قطعیت در محاسبه حجم سیلاب خواهد گردید.



شکل ۷- شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با استفاده از داده‌های بارش PERSIANN-CCs (سناریوی مکانی Link-Lumped)

برای اینکه بهتر بتوان میزان کارایی منبع بارشی PERSIANN-CCs را جهت مدل‌سازی سیلاب مورد ارزیابی قرار داد از چند رخداد دیگر استفاده و مدل HEC-HMS مورد واسنجی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در بخش‌های قبل

www.SID.ir

Archive of SID

عنوان شد، سناریوی مکانی Link-Lumped و زمانی ۳ ساعته بهترین ترکیب برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل می‌باشند و به همین علت در این بخش تنها نتایج مربوط به این ترکیب ارائه شده است. طبق محاسبات مقدار متوسط شاخص‌های NSE و CC برای سه رخداد مذکور به ترتیب در حدود ۰/۶۷ و ۰/۸۹ می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی دبی اوج سیلاب و زمان رسیدن به دبی اوج دارد. آنچه که از نمودارهای مزبور قابل برداشت است این است که پارامترهای دبی اوج و زمان رسیدن به اوج که در سامانه‌های هشدار سیل از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند، با دقت قابل قبولی برآورد شده‌اند و این در حالی است که مدل در تخمین حجم سیلاب دچار کمی مشکل شده است و همین مساله بر روی آماره NSE در برخی رخدادها تأثیرگذار بوده است.

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی سیلاب توسط مدل‌های هیدرولوژیکی نیازمند داده‌های مختلفی می‌باشد که از مهم‌ترین و اساسی‌ترین آنها می‌توان به مقدار بارش اشاره نمود. با توجه به اهمیت این داده اقلیمی، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی داده بارش ساعتی PERSIANN-CCs با توان تفکیک مکانی ۰/۰۴ درجه در سه سناریوی مکانی و زمانی مختلف و در حوضه آبریز اسالم به انجام رسیده است. نتایج حاصل از اجرای مدل به ازای سناریوهای مختلف نشان داد که در صورت استفاده از داده‌های بارش PERSIANN-CCs برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب، گام زمانی ۳ و ۶ ساعته به ویژه در سناریوی مکانی Link-Lumped منجربه نتایج بهتری خواهد شد. به عبارت بهتر تلفیق یک مدل نیمه توزیعی (سناریوی مکانی Link-Lumped) با یک منبع بارشی شبکه‌بندی شده از عملکرد به مراتب بهتری نسبت به ترکیب مدل مذکور با داده‌های نقطه‌ای و با تراکم کم زمینی، برخوردار می‌باشد.

همچنین نتایج حاکی از آن است که چنانچه هدف برآورد صحیح دبی اوج سیلاب باشد، سناریوی مکانی دوم یعنی استفاده از پلیگون تیسن برای محاسبه بارش متوسط در سطح حوضه منجربه کمترین مقدار خطا می‌شود و این در حالی است که سناریوی مکانی سوم یعنی Link-Lumped از نظر توانایی لازم جهت تخمین دبی اوج برخوردار نمی‌باشد. تلفیق سناریوی مکانی اول و داده‌های بارش PERSIANN-CCs نیز بهترین گزینه برای تخمین زمان رسیدن سیلاب به حداکثر مقدار خود که از اهمیت زیادی در سامانه‌های هشدار سیلاب برخوردار است، می‌باشد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که منبع بارشی PERSIANN-CCs نسبت به داده‌های زمینی از عملکرد مناسبی جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و مولفه‌های مرتبط با آن برخوردار بوده و می‌تواند در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور (به ویژه حوضه‌های فاقد آمار بارش و یا حوضه‌ایی که از نظر تراکم ایستگاه‌های هواشناسی در وضعیت مطلوبی قرار ندارند) به عنوان یک منبع جایگزین و یا مکمل داده‌های زمینی مد نظر قرار گیرد.

منابع

Ahmadi, M., Dadashi, A.A. and Deyrmajai, A. 2019. Runoff Estimation Using the IHACRES Model Based on CHIRPS Satellite Data and CMIP5 Models (Case Study: Gorganroud Basin- Aq Qala Area). Iranian Journal of Soil and Water Research (under publishing).

Alijanian, M., Rakhshandehroo, G.R., Mishra, A.K. and Dehghani, M. 2017. Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran. International Journal of Climatology 37(14): 4896–4914.

Azizian, A and Ramezani, 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(40): 777-791.

Eini M.R, Javadi S. and Delavar, M. 2018. Evaluating the performance of CRU and NCEP CFSR global reanalysis climate datasets, in hydrological simulation by SWAT model, Case Study: Maharlu basin. Iran-Water Resources Research 14(1): 32-44.

Foglia, L. Hill, M.C. Mehl, S.W. and Burlando, P. 2009. Sensitivity analysis, calibration, and testing of a distributed hydrological model using error-based weighting and one objective function. Water Resources Research 45(6).

Hong, Y. Hsu, K.L. Sorooshian, S. and Gao, X. 2004. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural network cloud classification system. Journal of Applied Meteorology 43(12): 1834–1853.

Hong, Y. Ren, LL. Gourley, JJ. Huffman, GJ. Chen, X. Wang, W. and Khan, S. 2012. Assessment of evolving TRMM based multi-satellite real-time precipitation estimation methods and their impacts on hydrologic prediction in a high latitude basin. Journal of Geophys Research. 117, D09108.

Hosseini-Moghari, S.M., Araghinejad, S. and Ebrahimi, K. 2018. Spatio-temporal evaluation of global

www.SID.ir

Archive of SID

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van liew, M.W., Bingener, R.L., Harmel, R.D., and Veith, T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE. 50: 3. 885-900.

Parisooj, P., Goharnejad, H. and Moazami, S. 2018. Rainfall-Runoff Hydrologic Simulation Using Adjusted Satellite Rainfall Algorithms, a Case Study: Voshmgir Dam Basin. Golestan. Iran-Water Resources Research 14(3): 140-159.

Prakash, SC. Mahesh, R. Gairola, M. Pal, PK. 2010. Estimation of Indian summer monsoon rainfall using Kalpana-1 VHRR data and its validation using rain gauge and GPCP data. Journal of Meteorology and Atmospheric Physics 110(1-2): 45.

Qi, W et al. 2016. Evaluation of global fine-resolution precipitation products and their uncertainty quantification in ensemble discharge simulations. Hydrology and Earth System Sciences 20: 903–920.

Rahmati, A. and Masahbavani, A.R. 2019. Evaluation of the global rainfall datasets for use in physical models, Case study: Karoon Basin. Iran- Water Resources Research 15(1): 178-192.

Shayeghi, A., Azizian, A. and Brocca, L. 2020. The Reliability of Reanalysis and Remotely Sensed Precipitation Products for Hydrological Simulation over the SRB, Iran. Hydrological Sciences Journal 65(2): 296-310.

USACE .2017. HEC-HMS user's manual, Davis, CA. USA.

Yong, B. et al. 2010. Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: a case study in Laohahe basin, China. Water Resources Research, 46, W07542.

gridded precipitation datasets across Iran. Hydrological Sciences Journal. Taylor & Francis 63(11): 1669–1688.

Huffman, G.J. and Bolvin, D.T. 2013. TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA. Greenbelt USA 28.

Jamli, J.B, 2015. Validation of satellite-based PERSIANN rainfall estimates using surface-based APHRODITE data over Iran. Journal of Earth Sci., 4: 150–160.

Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A. and Xie, P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. Journal of Hydrometeorology 5(2): 487-503.

Katiraie-Boroujerdy, P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K. and Sorooshian, S. 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. Journal of Arid Environments. Elsevier Ltd 97(3): 205–219.

Koohi, S., Azizian, A. and Brocca, L. 2019. Calibration of VIC-3L Hydrological Model using Satellite-Based Surface Soil Moisture Datasets. Iran-Water Resources Research 15(4): 55-67.

Li, J., Yuan, D., Liu, J., Jiang, Y., Chen, Y., Hsu, K.L. and Sorooshian, S. 2019. Predicting floods in a large karst river basin by coupling PERSIANN-CCS QPEs with a physically based distributed hydrological model. Journal of Hydrology and Earth System Sciences 23(3): 1505-1532.

Li, Z. Yang, D. and Hong, Y. 2013. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. Journal of Hydrology, 500, pp.157-169.

Moazami, S. Golian, S. Hong, Y. Sheng, C. and Kavianpour, M.R. 2016. Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. Hydrological Sciences Journal 61(2): 420-440.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 14, Agu.-Sept. 2020, p. 724-739

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۴، مرداد - شهریور ۱۳۹۹، ص. ۷۳۹-۷۲۴

Integration of HEC-HMS Model with the Satellite-based High Spatiotemporal Resolution Dataset for Applying in Flood Simulation

H. Alamshahi[1], A. Azizian [2*], L. Brocca[3]

Recived: Apr.12, 2020 Accepted: May.19, 2020

Abstract

Flood simulation using the hydrological model requires an appropriate rainfall dataset and unfortunately, in most parts of the Iran country the spatiotemporal resolution and density of ground gauges aren't suitable. Hence, using remotely sensed high spatiotemporal resolution datasets can be useful for filling this gap. The main objective of this research is the assessment of PERSIANN-CCs hourly rainfall dataset for simulation of flood hydrograph using HEC-HMS event-based model at the Asalem river basin (ARB), Iran. Furthermore, to better evaluation of this model, three different spatial scenarios (including lumped, Thiessen and link-lumped) at 1, 3 and 6 hour time steps are used. Findings showed that using of link-lumped scenario at 3 and 6-hour time steps for simulation of flood hydrograph leads to the best results.

For example, in this case, the average values of Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and Correlation Coefficient (CC) values for all events are about 0.58 and 0.78 (for Δt= 3 hr) and 0.56 and 0.74 (for Δt= 6 hr), respectively. Moreover, if the main purpose of modeling is the accurate estimation of peak flow, using the second spatial scenario leads to minimum error (with the relative error ranging between 0.2 and 7.6 %) at 1 and 3 hr time steps, while the third spatial scenario(link-lumped) hasn't the required potential for simulation of peak flow. Also, combing the first spatial scenario and PERSIANN- CCs dataset is the best case for estimation of time to peak (Tp) which is very important in flood warning systems. Findings of this study indicate that in the lack of ground observations, the high spatiotemporal resolution rainfall datasets such as PERSIANN-CCs can be used for flood simulation.

Keywords: Rainfall, Runoff, Remote-Sensing, Flood, Hydrology

1- M.Sc Student, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University
2- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University
3- Director of Research, Hydrology Group of the Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Perugia, Italy
(*- Corresponding Author Email: azizian@eng.ikiu.ac.ir)

www.SID.ir