



## Evaluating the Performance of CRU and NCEP CFSR Global Reanalysis Climate Datasets in Hydrological Simulation by SWAT Model (Case Study: Maharlu Basin)

M.R. Eini<sup>1</sup>, S. Javadi<sup>2\*</sup> and M. Delavar<sup>3</sup>

### Abstract

Hydrological modeling needs climate data with high spatial accuracy especially in low-rainfall areas where usually there is a no-good observational network. Currently, the lack of climate observational data can somehow be overcome using gridded global databases. CRU and NCEP CFSR databases are amongst the most prestigious gridded databases which were evaluated in this study by using SWAT model for Maharlu Lake basin. Statistical index comparisons in 33 years (1980-2013) showed the accuracy of the two datasets with Nash Sutcliffe efficiency index as approximately 0.91 in monthly scale. The modeling was then conducted by SWAT for all three datasets. The modeling results showed that databases could have high accuracy in rainfall runoff modeling from which the CRU database indicated better runoff simulation compared to NCEP CFSR databases. Coefficients of determination and Nash Sutcliffe efficiency in each calibration and validation periods represented average values above 0.7 for observed datasets, 0.65 for CRU, and 0.6 for NCEP CFSR.

**Keywords:** Maharlu Lake Basin, Rainfall Runoff, Reanalysis Databases, SWAT Model.

Received: May 9, 2017

Accepted: July 15, 2017

## ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده پایگاه‌های اقلیمی جهانی CRU و NCEP CFSR در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل SWAT، مطالعه موردی: حوضه آبریز مهارلو

محمدرضا عینی<sup>۱</sup>، سامان جوادی<sup>۲\*</sup> و مجید دلاور<sup>۳</sup>

### چکیده

مدل‌سازی هیدرولوژیکی نیاز به داده‌های اقلیمی با دقت بالایی مکانی، به ویژه در نقاط کم‌بارش که معمولاً شبکه مشاهداتی خوبی در سطح کشور احداث نشده است، دارد. امروزه مشکلات کمبود داده‌های مشاهداتی اقلیمی را می‌توان با به کارگیری پایگاه‌های جهانی شبکه‌بندی شده تا حدودی رفع نمود. پایگاه‌های CRU و NCEP CFSR از جمله معتبرترین پایگاه‌های بازتحلیل شده‌ای هستند که در این پژوهش با استفاده از مدل SWAT در حوضه دریاچه مهارلو مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از مقایسه شاخص‌های آماری این دو پایگاه با داده‌های مشاهداتی در طی ۳۳ سال (از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳) که شاخص کارایی نش - ساتکلیف دقت داده‌های بارش این دو پایگاه را در مقیاس ماهانه به طور متوسط حدود ۰/۹۱ نشان داد، مدل‌سازی با SWAT برای هر ۳ پایگاه داده مختلف انجام شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد هر دو پایگاه داده در کنار مقادیر مشاهداتی دقت بالایی در مدل بارش-رواناب دارند، که در این بین پایگاه CRU بهتر از پایگاه NCEP CFSR توانست رواناب سطحی را شبیه‌سازی کند. ضرایب تبیین و کارایی نش - ساتکلیف در هر دوره واسنجی و اعتبارسنجی برای داده‌های مشاهداتی به طور متوسط مقادیر ۰/۷۰، برای پایگاه CRU، ۰/۶۵ و برای NCEP CFSR، ۰/۶۰ را ارائه دادند.

**کلمات کلیدی:** بارش - رواناب، پایگاه‌های بازتحلیلی، حوضه دریاچه مهارلو، مدل SWAT.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۲/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۴/۲۴

1-M.Sc. Student in Water Resources Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: javadis@ut.ac.ir

3-Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- استادیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۳- استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

رود نیل که شبکه جمع‌آوری مشاهداتی آن‌ها تراکم کمی داشتند، به این نتیجه رسیدند که تفاوت چشمگیری بین این داده‌ها وجود ندارد. Monterio et al. (2016) در شبیه‌سازی حوضه‌ای در برزیل به مقایسه و ترکیب محصولات ERA و NCEP SFSR با داده‌های مشاهداتی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که نتیجه ترکیب این سه پایگاه توانست به خوبی دقت شبیه‌سازی را بهبود بخشد. در پژوهشی دیگر که توسط Almeida et al. (2015) در حوضه‌ای در برزیل انجام گردید، مشخص شد که بهترین استفاده از این پایگاه‌ها، استفاده به صورت ترکیبی و همزمان از پایگاه NCEP CFSR و مشاهداتی است. در داخل کشور نیز در پژوهشی که Haji Hosseini et al. (2013) انجام داده‌اند، مشخص شد که می‌توان در حوضه‌های مرزی و فرامرزی کشور که ایستگاه‌های مشاهداتی با تراکم کم موجود است، به منظور شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به پایگاه داده CRU اعتماد کرد.

همانطور که ذکر شد با توجه به توسعه چندین پایگاه داده اطلاعات اقلیمی، در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی در پژوهش‌ها، استفاده از این پایگاه‌ها و بررسی تفاوت‌های آماری این پایگاه‌ها و نحوه تأثیرگذاری این اطلاعات به عنوان ورودی بر روی خروجی‌های مدل‌های نیمه‌توزیعی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است (Fekete et al., 2004; Piani et al., 2010; Adejei et al., 2015; Seyyedi et al., 2014). این مطالعات به‌خصوص در مناطق فاقد داده یا داده‌های کم برای تخمین و تدقیق داده‌های بلندمدت دارای اهمیت زیادی بوده‌اند (Casse et al., 2015; Thiemig et al., 2013). بدین منظور با استفاده از آزمون‌های آماری پارامتری و ناپارامتری، ابتدا مقادیر خطا و همبستگی این پایگاه‌ها در کنار روند و همگنی آن‌ها با پایگاه‌های مشاهداتی ارزیابی می‌شوند و سپس به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

خطاهای موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی بازتحلیل شده، به سادگی منجر به انتقال خطا در شبیه‌سازی رواناب می‌شود. به عنوان مثال، بررسی این پایگاه داده‌ها در غرب آفریقا (Thiemig et al., 2013; Gossest et al., 2013) نشان داد این پایگاه‌ها دارای مقادیر آریبی<sup>۷</sup> بالا و خطای زیادی در فصل گرم سال هستند. نتیجه‌ی این پژوهش‌ها بیانگر این موضوع بود که پایگاه‌های با مقیاس بزرگتر (۲/۵ × ۲/۵ درجه و ۵×۵ درجه به دلیل کاهش خطای درون‌بایی در مناطقی که اطلاعات مشاهداتی کمی وجود دارد) و همچنین پایگاه‌هایی که بیشترین ایستگاه‌های مشاهداتی را در فرآیند بازتحلیلی خود جای داده‌اند، خطای کمتری در مقایسه با داده‌های مشاهداتی دارند.

تغییرات زمانی و مکانی بارش در ساخت مدل‌های هیدرولوژیکی با استفاده از پایگاه‌های بازتحلیل شده مورد توجه پژوهشگران قرار دارد. مدل‌های نیمه توزیعی هیدرولوژیکی مانند مدل SWAT<sup>۸</sup> اخیراً به طور گسترده‌ای برای مدیریت حوضه آبریز به کار گرفته می‌شوند. یکی از چالش‌های اساسی استفاده از این مدل نحوه آماده‌سازی داده‌های ورودی جهت استخراج نتایج نسبتاً دقیق و بهینه از آن می‌باشد. از میان داده‌های ورودی مدل SWAT، نقشه‌های توزیعی خاک و کاربری اراضی به دلیل در دسترس بودن، حساسیت کمتر مدل به تغییرات این نقشه‌ها و همچنین تغییرات نسبتاً کم آن در طول زمان و اساساً بدلیل پیشرفت‌های صورت گرفته در سنجش از راه دور با اطمینان بالایی در کارهای مدل‌سازی به کار گرفته می‌شوند (Grusson et al., 2017). در این میان به کارگیری متغیرهای اقلیمی به دلیل تغییرات زمانی و مکانی بالا همواره با مشکلات زیادی روبه‌رو است. شبکه داده‌های مشاهداتی چه در سطح کشور و چه در سطح بین‌المللی با مشکلاتی نظیر عدم اختصاص بودجه مالی کافی برای گسترش ایستگاه‌ها و ثبت داده‌ها، تازه تأسیس بودن بسیاری از ایستگاه‌ها، تراکم شبکه مشاهداتی در مناطق پر بارش و پوشش کم ایستگاه‌های مشاهداتی در مناطق خشک و نیمه خشک و همچنین استفاده از تکنولوژی قدیمی در ایستگاه‌های باران‌سنجی، مواجه است. از این روی سازمان‌های مختلفی نسبت به جمع‌آوری اطلاعات مشاهداتی اقدام کرده‌اند و با استفاده از معادلات رگرسیونی و درون‌یابی، مدل‌هایی در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت ارائه داده‌اند. به همین دلیل مشکلاتی نظیر کمبود اطلاعات اقلیمی با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده نظیر NCEP CFSR<sup>۹</sup>، ECMWF<sup>۱۰</sup>، SAFRAN<sup>۱۱</sup>، PERSIANN<sup>۱۲</sup>، GPCC<sup>۱۳</sup>، CRU<sup>۱۴</sup> و پایگاه ملی داده‌های اقلیمی اسفزاری (توسعه‌یافته در دانشگاه اصفهان، Darand and Zankarimi, 2016) مرتفع یا تا حدودی از آن مشکلات کاسته شده است. مطالعات نشان داده است که داده‌های شبکه‌بندی شده اقلیمی در مدل SWAT به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. از بین مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهشی که توسط Fuka et al. (2014) انجام شده است، اشاره کرد. آن‌ها در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که داده‌های NCEP CFSR در شبیه‌سازی جریان رودخانه بهتر از شبکه داده‌های مشاهداتی عمل می‌کنند. همین نتیجه را نیز Auerbach et al. (2016) در تحقیق دیگری در پورتوریکو برای پایگاه NCEP CFSR به دست آوردند. در پژوهشی، Dile (2014) Srinivasan and با بررسی داده‌های NCEP CFSR و مقایسه آن‌ها با شبکه مشاهداتی در مناطق مختلف و وسیعی در حوضه آبریز

متوسط بارش ثبت شده در این منطقه در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۳ برابر با ۳۶۸ میلی‌متر و دمای متوسط این منطقه ۱۷/۴ درجه سلسیوس ذکر شده است. در این پژوهش ۳ ایستگاه مشاهداتی هواشناسی در نظر گرفته شده است. همچنین از ۳ ایستگاه آب‌سنجی چنار سوخته نهر اعظم، چنار سوخته رود خشک و باغ صفا برای واسنجی و صحت‌سنجی رواناب منطقه استفاده شده است. سه محصول عمده منطقه یعنی گندم آبی، زیتون و انگور با توجه به مساحت زیرکشت آن‌ها وارد مدل شدند. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های اقلیمی و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی در منطقه و شبکه آبراه‌های آمده است. در این پژوهش طول دوره آماری مورد استفاده برای ارزیابی دقت مدل‌های بازتحلیل شده اقلیمی، از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۳ انتخاب شده است. برای مدل‌سازی از سال ۱۹۸۰ تا سال ۱۹۸۳ برای دوره Warm up استفاده و از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۰ برای دوره واسنجی و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۱ اطلاعات لایه‌های رقومی مورد استفاده آمده است.

**Table 1- Characteristics of raster layers**

**جدول ۱- مشخصات لایه‌های رقومی**

Raster Layer	Properties
DEM	15 Meter (cell size)
Soil	Soil Database (1Km) FAO <sup>A</sup>
Land Use	GLCC map (2012) <sup>9</sup>

**۲-۲- پایگاه‌های اطلاعات اقلیمی**

در این پژوهش دو پایگاه CRU و NCEP CFSR برای ارزیابی دقت داده‌های بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی و همچنین شبیه‌سازی هیدرولوژیکی استفاده شده است. برای ساخت مدل هیدرولوژیکی از پارامترهای بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه استفاده شده است. در جدول ۲ برخی از ویژگی‌های این پایگاه‌های اقلیمی آمده است (Higgins et al., 2013; Haji Hosseini et al., 2010).

**۲-۳- ارزیابی دقت پایگاه‌های بکار برده شده در این پژوهش**

به منظور بررسی و ارزیابی دقت و صحت داده‌های بارش پایگاه‌های جهانی NCEP CFSR و CRU در مقایسه با داده‌های مشاهداتی از شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب کارایی نش - ساتکلیف (NS)، شاخص توافقی (IA)، شاخص اربیی (BIAS) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است (Duan et al., 2016; Darand and Zankarimi, 2016).

نتیجه بررسی مطالعات نشان داد که در بسیاری از موارد پایگاه‌های بازتحلیل شده اقلیمی در مقیاس حوضه‌ای یا منطقه‌ای اختلاف زیادی با داده‌های مشاهداتی ندارند و فقط در برخی از مناطق گزارش شده است که در فصول گرم همبستگی کمی دارند. پایگاه‌های بازتحلیل شده دارای سری‌های زمانی بلند مدتی هستند، اما با توجه به کم بودن داده‌های مشاهداتی در گذشته، سری‌های زمانی بلند مدت (مثلاً ۱۰۰ ساله یا ۶۰ ساله) خطای بیشتری دارند. همچنین می‌توان به جای استفاده از داده‌های مشاهداتی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با تراکم کم، از پایگاه‌های بازتحلیل شده اقلیمی استفاده کرد. در این پژوهش‌ها به دلیل اهمیت بیشتر داده‌های بارش در شبیه‌سازی و همچنین نوسان کمتر دما در طول سال و روند تغییرات ثابت آن، به بررسی و ارزیابی آماری بارش‌ها تأکید بیشتری شده است. در پیکره‌بندی و ساخت پایگاه‌های اقلیمی CRU و NCEP CFSR از اطلاعات مشاهداتی ثبت شده در نقاط مختلف کره زمین نظیر داده‌های بارش، دما، رطوبت، سرعت باد و همچنین اطلاعات ثبت شده توسط سنسور از راه دور نظیر دما و رطوبت و پارامترهای اقیانوسی نظیر دمای سطح اقیانوس‌ها استفاده می‌شود. در برخی دیگر از این پایگاه‌ها نظیر PERSIANN با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام به تولید داده‌های اقلیمی می‌کنند و با استفاده از داده‌های مشاهداتی، خروجی‌ها کنترل و اعتبارسنجی می‌شوند (Darand and Zankarimi, 2016).

در این پژوهش پس از ارزیابی عملکرد داده‌های دما و بارش پایگاه‌های اقلیمی جهانی CRU و NCEP CFSR در مقایسه با ایستگاه‌های مشاهداتی در حوضه دریاچه مهارلو، نسبت به آماده‌سازی مدل SWAT و واسنجی و اعتبارسنجی مدل با داده‌های مشاهداتی، پایگاه CRU و پایگاه NCEP CFSR اقدام شده است. از نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به بررسی عملکرد هیدرولوژیکی داده‌های دما و بارش دو پایگاه بازتحلیل شده NCEP CFSR و CRU در کنار یکدیگر به منظور شبیه‌سازی رواناب در منطقه‌ای گرم و خشک در ایران اشاره کرد.

**۲- روش تحقیق**

**۲-۱- منطقه مورد مطالعه**

حوضه دریاچه مهارلو به وسعت ۴۲۷۰ کیلومتر مربع در استان فارس واقع شده است. این محدوده مطالعاتی در حوضه آبریز فلات مرکزی و در تقسیمات حوضه آبریز دریاچه‌های طشک بختگان و مهارلو قرار دارد. حوضه دریاچه مهارلو بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و یک دقیقه تا ۳۰ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول‌های ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱).

در جدول ۳ روابط شاخص‌های آماری ذکر شده آمده است. در روابط پایگاه‌های بازتحلیل شده،  $O_{avg}$  متوسط داده‌های مشاهداتی و  $M_{avg}$  زیر  $N$  تعداد داده‌ها،  $i$  روز،  $O_i$  داده‌های مشاهداتی،  $M_i$  داده‌های

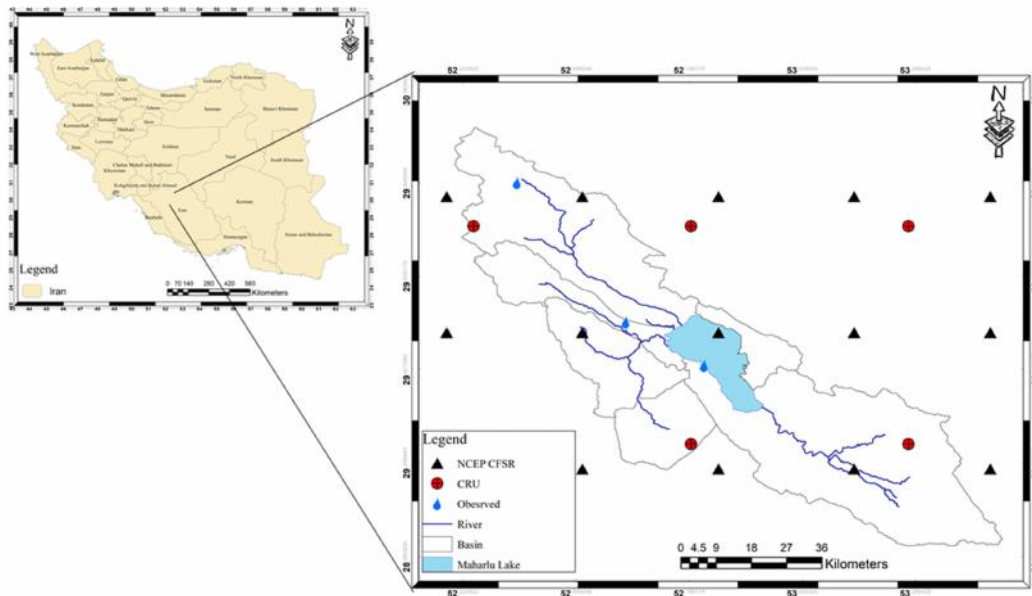


Fig. 1- Location of observation stations, hydrometric station and river network in Maharlu Basin

شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مشاهداتی، آب سنجی و رودخانه‌ها در حوضه دریاچه مهارلو

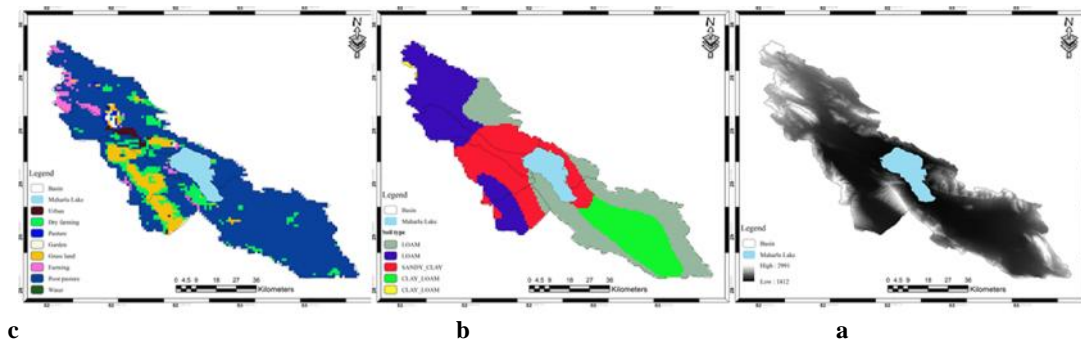


Fig. 2- Map of a) DEM, b) Soil and c) Land Use in Maharlu Basin

شکل ۲- نقشه DEM (a)، خاک (b) و کاربری اراضی (c) در حوضه مهارلو

Table 2- Some properties of climate databases

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های پایگاه‌های اقلیمی

Database	Spatial resolution	Climate parameters	Source
CRU	1*1 Degree	Temperature, precipitation, wet days, cloudiness (%), ETp, pressure	<a href="http://www.cru.uea.ac.uk/data">http://www.cru.uea.ac.uk/data</a>
NCEP CFSR	1*0.3 Degree	Temperature, precipitation, relative humidity, solar radiation, wind speed	<a href="https://globalweather.tamu.edu/">https://globalweather.tamu.edu/</a>

Table 3- Statistical indexes applied in the current study

جدول ۳- روابط شاخص‌های آماری مورد استفاده

No.	Name	Equation
1	Coefficient of determination	$R^2 = \left[ \frac{\sum_1^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \sqrt{\sum_1^N (M_i - M_{avg})^2}} \right]^2$
2	Nash Sutcliffe	$NS = 1 - \left[ \frac{\sum_1^N (O_i - M_i)^2}{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \right]$
3	Index agreement	$IA = 1 - \left[ \frac{\sum_1^N (M_i - O_i)^2}{\sum_1^N ( M_i - O_{avg}  +  O_i - O_{avg} )^2} \right]$
4	BIAS	$BIAS = \frac{\sum_1^N (M_i - O_i)}{N}$
5	Root mean square error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (M_i - O_i)^2}{N}}$

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (6)$$

برای ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های ضریب تبیین و کارایی نش ساتکلایف در کنار R-factor و P-factor استفاده می‌شود. کیفیت برازش با تعیین درصد مربوط به متغیرهای مشاهده شده که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرند (P-factor) و همچنین متوسط فاصله بین باندهای بالا و پایین (R-factor) تعیین می‌شود.

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

#### ۳-۱- ارزیابی عملکرد پایگاه‌های اقلیمی جهانی در برآورد بارش

باتوجه به مقیاس روزانه اطلاعات بارش، برای مقایسه با داده‌های مشاهداتی، ابتدا متوسط وزنی پارامتر بارش هر یک از پایگاه‌های اطلاعات اقلیمی به صورت متوسط‌گیری مکانی با استفاده از روش تبیین محاسبه شد. در مرحله بعدی داده‌ها به صورت ماهانه دسته‌بندی شدند تا بررسی دقیق‌تری از شاخص‌های آماری انجام شود. در خصوص پایگاه اقلیمی جهانی CRU می‌توان به نتایجی که در جدول ۴ آمده اشاره کرد. مقایسه مقادیر ضریب تبیین نشان داد که پایگاه NCEP CFSR همبستگی بیشتری نسبت به پایگاه CRU دارد. این شاخص برای CRU حدود ۰/۶۳ بدست آمده است. شاخص نش - ساتکلایف نشان داد که به جز ماه سپتامبر با مقدار ۰/۳۱۱ سایر ماه‌ها خطای کمی دارند. مقادیر شاخص توافق بیانگر بالا بودن هماهنگی و توافق بین مقادیر این دو سری آماری است. مقادیر شاخص آریبی نشان داده است که بارش‌ها در این منطقه توسط مدل بازتحلیل شده از دقت بسیار بالایی برخوردار است، البته

#### ۲-۴- مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل SWAT با توجه به گستردگی معادلات حاکم بر آن یکی از قوی‌ترین و پیچیده‌ترین مدل‌های هیدرولوژیکی به حساب می‌آید. در عین حال این مدل با توجه به انجام پروژه‌های متعدد در سطح بین‌المللی نشان داده است از دقت بسیار بالایی برخوردار است. مدل SWAT از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۱۲ در اداره تحقیقات کشاورزی آمریکا (USDA-ARS) توسعه یافته است (Neitsch et al., 2011). این مدل بر پایه و اساس فیزیکی، نیمه توزیعی، در مقیاس حوضه، برای زمان پیوسته و با تأکید بر فرآیندهای سطح خاک توسعه یافته است. این مدل یک حوضه آبریز را با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده، به چندین زیر حوضه کوچکتر تقسیم می‌کند که هر یک از این زیر حوضه‌ها، از نظر شیب، جنس خاک و کاربری اراضی منحصر به فرد هستند. هر یک از این زیر حوضه‌ها به عنوان یک واحد پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU<sup>۱۱</sup> شناخته می‌شوند و معادلات موجود در مدل برای هر HRU محاسبه می‌شود. ارتباط مکانی بین زیر حوضه‌ها و خروجی آن‌ها به طور پیوسته برقرار می‌شود و در نهایت به خروجی حوضه اصلی ختم می‌گردد.

با استفاده از رابطه (۶) بیلان آب‌های سطحی توسط SWAT محاسبه می‌شود. در این رابطه  $SW_t$  میزان آب باقی مانده در خاک،  $SW_o$  میزان اولیه رطوبت خاک،  $t$  زمان برحسب روز،  $R_{day}$  بارش روزانه برای روز  $i$  ام،  $Q_{surf}$  مجموع رواناب روزانه برای روز  $i$  ام،  $E_a$  تبخیر تعرق حاصل از روش پنمن - مانتیس،  $W_{seep}$  نفوذ آب از پروفیل زیرین خاک برای روز  $i$  ام،  $Q_{gw}$  جریان آب بازگشتی برای روز  $i$  ام می‌باشند.

داده‌های مشاهداتی هستند. شاخص ریشه دوم میانگین مربعات خطا نیز نشان داد که در ماه‌های پر بارش خطای بیشتری وجود دارد. البته با توجه به مقادیر کم حاصل از این مقادیر می‌توان برای تمام ماه‌های سال دقت بالایی از این ضریب را متصور شد. با توجه به آنالیز داده‌ها مشخص شد که این پایگاه نیز داده‌های بارش را به خوبی در شبکه‌بندی خود جای داده است. در شکل ۳ تغییرات بلند مدت بارش ۳ پایگاه اقلیمی و در شکل ۴ تغییرات ماهانه متوسط وزنی بارش این پایگاه‌ها آمده است.

### ۳-۲- ارزیابی عملکرد پایگاه‌های اقلیمی جهانی در برآورد بیشینه و کمینه دما در مقیاس روزانه

به دلیل تأثیر دمای هوا بر روی تبخیر و تعرق که در مدل SWAT محاسبه و در شبیه‌سازی رواناب مؤثر است، ارزیابی بیشینه و کمینه دما مورد توجه است.

مشخص است که در ماه‌های پر بارش، این مقدار اختلاف بیشتری را داشته است و منفی بودن این مقدار بیانگر این است که بارش‌ها کمتر برآورد شده‌اند. ریشه دوم میانگین مربعات خطا در ماه‌های فصل زمستان بیشترین میزان خطا را داشته‌اند. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر شاخص‌های آماری بیانگر این موضوع هستند که در ماه‌های کم بارش می‌توان اطمینان بیشتری نسبت به ماه‌های پر بارش به این پایگاه داشت.

در خصوص پایگاه اقلیمی NCEP CFSR می‌توان به این نتایج اشاره کرد. شاخص ضریب تبیین بیانگر این موضوع است که این داده‌ها در همه ماه‌ها همبستگی خوبی در حد ۰/۷۳ دارند. شاخص نش - ساتکلیف در ماه‌های تابستان دقت کمی برای داده‌ها را نشان داده است و بیشترین خطا مربوط به ماه جولای با مقدار ۰/۳۷۴ است. شاخص توافق بیانگر توافق آماری بالای داده‌های ماهانه هستند. مقادیر ضریب آریبی نیز نشان داده است که در ماه‌های پر بارش مقادیر برآورد پایگاه بازتحلیل شده به مقدار جزئی کمتر از

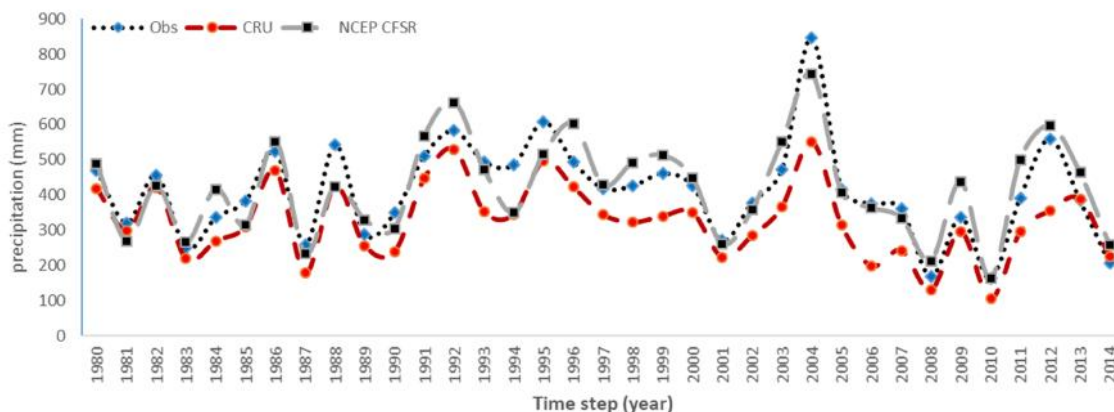


Fig. 3- Long term changes of estimated precipitation per climate database  
 شکل ۳- تغییرات بلند مدت بارش برآورد شده توسط هر پایگاه اقلیمی

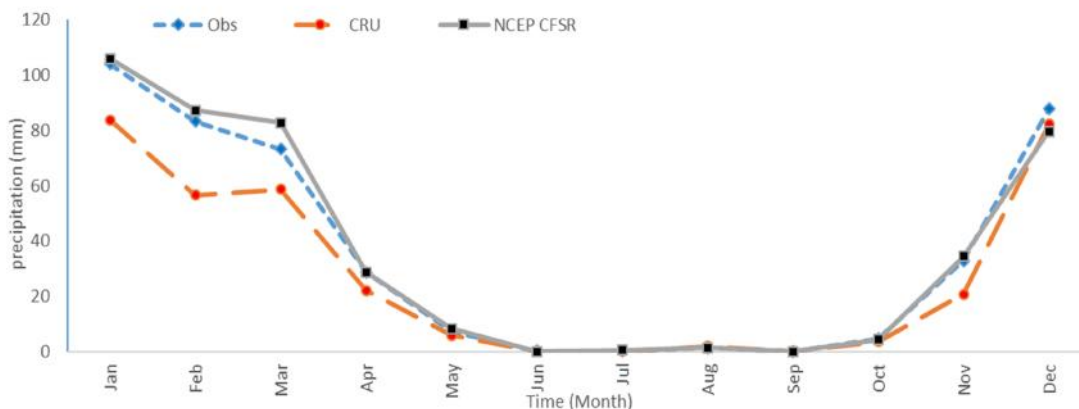


Fig. 4- Monthly changes of estimated precipitation per climate database  
 شکل ۴- تغییرات ماهانه بارش برآورد شده توسط هر پایگاه اقلیمی

Table 4- Results of precipitation statistical comparisons

جدول ۴- نتایج مقایسه آماری داده‌های بارش

Statistical Index	NS		IA		Bias (mm)		RMSE (mm)		R <sup>2</sup>	
	CRU	NCEP	CRU	NCEP	CRU	NCEP	CRU	NCEP	CRU	NCEP
Month										
Jan	0.996	0.998	0.999	0.999	-0.633	0.060	6.088	4.284	0.619	0.745
Feb	0.996	0.997	0.999	0.999	-0.907	0.143	5.149	4.508	0.632	0.732
Mar	0.996	0.997	0.999	0.999	-0.456	0.299	4.291	4.171	0.624	0.723
Apr	0.994	0.991	0.999	0.998	-0.199	0.012	2.173	2.632	0.631	0.724
May	0.983	0.980	0.996	0.995	-0.038	0.034	0.981	1.107	0.632	0.733
Jun	0.776	0.723	0.939	0.914	0.010	-0.006	0.206	0.717	0.632	0.733
Jul	0.861	0.374	0.973	0.872	0.009	0.022	0.144	0.398	0.631	0.733
Aug	0.925	0.735	0.981	0.926	0.019	0.008	0.447	0.886	0.631	0.732
Sep	0.311	0.548	0.815	0.854	0.006	0.026	0.223	0.834	0.632	0.732
Oct	0.961	0.964	0.990	0.991	-0.022	0.004	0.935	0.959	0.630	0.732
Nov	0.992	0.989	0.998	0.997	-0.360	0.060	2.954	3.461	0.626	0.716
Dec	0.996	0.997	0.999	0.999	-0.164	-0.247	5.586	4.445	0.637	0.743

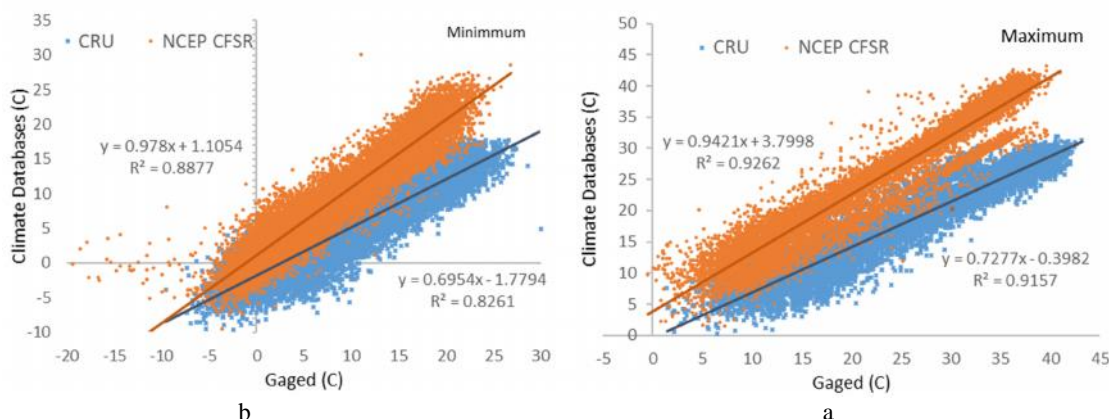


Fig. 5- Distribution of a) maximum and b) minimum daily temperature by climate databases and gaged stations

شکل ۵- پراکنش بیشینه (a) و کمینه (b) دما در مقیاس روزانه توسط پایگاه‌های اقلیمی و ایستگاه‌های مشاهداتی



Fig. 6- Changes in a) maximum and b) minimum temperature of climate databases

شکل ۶- تغییرات بیشینه (a) و کمینه (b) دما توسط هر پایگاه اقلیمی

فانکتورهای P-factor و R-factor و در جدول ۷ مقادیر نهایی برخی از پارامترهای حساس واسنجی نشان داده شده است.

واسنجی و اعتبارسنجی برای پایگاه اقلیمی مشاهداتی مشخص کرد که پارامترهای مربوط به جریانات پایه و رواناب سطحی دارای حساسیت بالایی هستند. مدل توانست برای سه ایستگاه آب‌سنجی مقادیر ضریب تبیین را بالای ۰/۶ برای دوره واسنجی و بالای ۰/۶۵ برای دوره اعتبارسنجی نشان دهد. بهترین نتیجه مربوط به ایستگاه چنارسوخته خشک با مقدار ۰/۷۲ در واسنجی و ۰/۸۱ در دوره اعتبارسنجی و همچنین ضریب نش-ساتکلیف ۰/۷۲ برای دوره واسنجی و ۰/۷۸ برای دوره اعتبارسنجی بود. ارزیابی و تحلیل مطلوبیت عدم قطعیت نتایج مدل با استفاده از شاخص‌های P-factor و R-factor انجام شد. شاخص P-factor بیانگر درصدی از داده‌های مشاهداتی است که در باند ۹۵ درصد اطمینان شبیه‌سازی شده توسط مدل قرار می‌گیرد و شاخص R-factor بیانگر متوسط ضخامت باند عدم قطعیت ۹۵ درصد اطمینان تقسیم بر انحراف معیار داده‌های مشاهداتی می‌باشد. مقادیر بیشتر P-factor و کمتر R-factor بیانگر نتایج بهتر مدل در شبیه‌سازی انجام شده می‌باشد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای پایگاه اقلیمی CRU همانند پایگاه مشاهداتی انجام شد. بهترین نتایج حاصل در ایستگاه چنارسوخته خشک رقم خورد، ضریب تبیین این ایستگاه در دوره واسنجی و دوره اعتبارسنجی ۰/۷ محاسبه شد و ضریب کارایی نش-ساتکلیف نیز با مقادیر ۰/۶۳ برای واسنجی و ۰/۶۹ برای دوره اعتبارسنجی بیانگر این موضوع هستند که می‌توان به داده‌های اقلیمی این پایگاه در مدل‌سازی اعتماد کرد.

واسنجی و اعتبارسنجی برای پایگاه اقلیمی NCEP CFSR نشان داد که با وجود نتایج بهتر این پایگاه در تخمین مقادیر بارش و دما نسبت به CRU، این پایگاه اقلیمی توانایی کمتری در شبیه‌سازی رواناب نسبت به پایگاه‌های مشاهداتی و CRU دارد. این امر به دلیل ماهیت نیمه توزیعی و مفهومی مدل هیدرولوژیکی SWAT قابل توجیه است. به منظور اختصاص داده‌های اقلیمی در هر زیرحوضه در مدل SWAT داده‌های اقلیمی هر زیرحوضه از نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل حوضه استخراج می‌شود و به HRUهای موجود در آن زیرحوضه تخصیص و در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به کار می‌رود. آنالیز حساسیت مدل نشان داد که پارامترهای جریانات پایه و رواناب سطحی و همچنین پارامترهای مربوط به باندهای ارتفاعی همچنان حساسیت بالایی از خود نشان می‌دهند. بهترین نتیجه مدل‌سازی نیز برای این پایگاه در ایستگاه چنارسوخته خشک رقم خورد.

برای ارزیابی دمای بیشینه و کمینه برای هر یک از پایگاه‌های اقلیمی، همانند بارش متوسط مکانی هر ایستگاه محاسبه شد. نتایج ارزیابی نشان داد که پایگاه CRU همواره مقادیر دما را کمتر برآورد کرده است. مقدار ضریب تبیین برای پایگاه CRU برای دمای بیشینه و کمینه به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۲ برآورد شد. در حالیکه پایگاه NCEP CFSR توانسته است این مقادیر را به ترتیب با ۰/۹۲ و ۰/۸۸ اندکی بهتر برآورد کند (شکل ۵). مقایسه‌های ماه به ماه نیز نشان داد که در ماه‌های گرم بیشترین اختلاف برآورد وجود دارد. به طوری که پایگاه CRU به طور متوسط در تابستان حدود ۱۰ درجه سلسیوس دما را کمتر برآورد کرده است. همچنین این مقایسات نشان داد که پایگاه NCEP CFSR بسیار نزدیک به مقادیر مشاهداتی عمل کرده است (شکل ۶). دلیل تفاوت در خروجی-ها به نحوه پیکره‌بندی این پایگاه‌ها و نحوه آنالیز داده‌های مشاهداتی و همچنین پراکنش این ایستگاه‌ها در منطقه مربوط می‌شود (Haji Hosseini et al., 2010; 2013; Higgins et al., 2010; 2013).

### ۳-۳- پیکره‌بندی و آماده‌سازی مدل SWAT

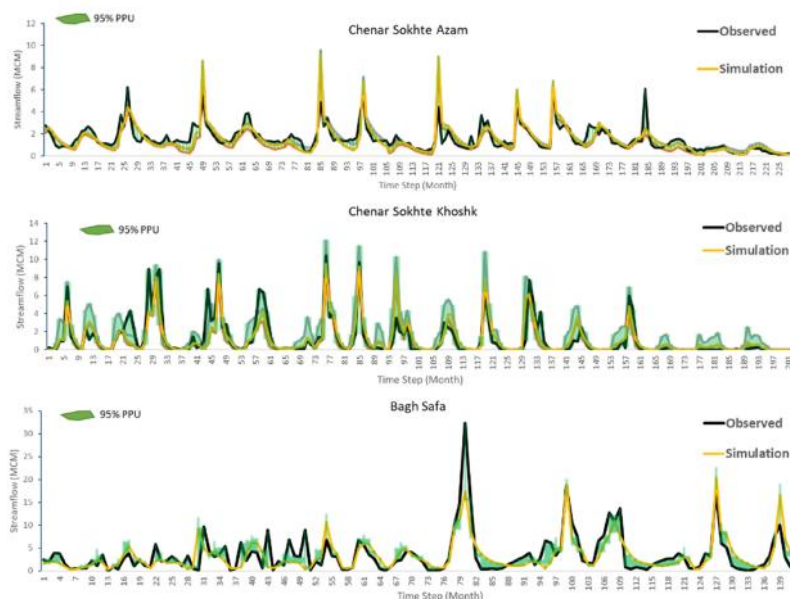
پیکره مدل SWAT با استفاده از نقشه‌های رقومی ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی حوضه انجام شد. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به ۲۲ زیر حوضه و ۸۳ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تفکیک گردید و اطلاعات اقلیمی و مدیریتی مناطق کشاورزی به مدل معرفی گردید. در این مطالعه برای آماده‌سازی مدل SWAT از سه سری داده اقلیمی مشاهداتی، CRU و NCEP CFSR استفاده شد. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت نتایج مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2<sup>۱۲</sup> در نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد. روش SUFI2 در مقایسه با سایر روش‌های موجود در نرم‌افزار SWAT-CUP نیاز به تعداد اجراهای کمتری به منظور رسیدن به نتایج مشابه و برآورد عدم قطعیت دارد. در روش SUFI2، عدم قطعیت پارامترها دربرگیرنده تمام منابع عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای موجود در بحث مدل‌سازی است. روش SUFI2 به دنبال طیفی از پارامترهاست که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند. دوره واسنجی و اعتبارسنجی برای تمام پایگاه‌های اقلیمی، یکسان و از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ برای دوره واسنجی و از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ برای دوره اعتبارسنجی استفاده شد. همچنین ۳ سال اول شبیه‌سازی به عنوان دوره Warm up انتخاب شد.

شکل‌های ۷ تا ۹ سری زمانی رواناب شبیه‌سازی شده مدل SWAT برای هر پایگاه را نشان می‌دهد. در جداول ۵ و ۶ نتایج نهایی شاخص‌های آماری ضریب تبیین و نش-ساتکلیف به همراه

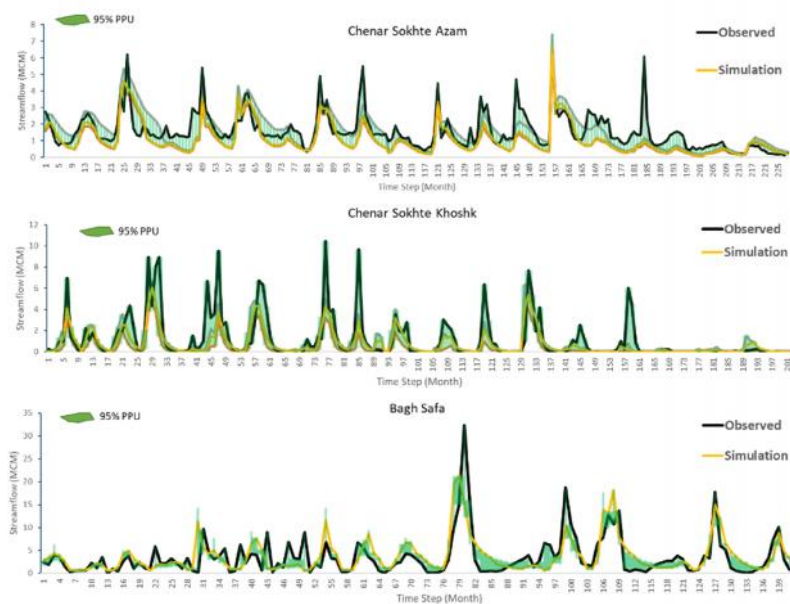


۳-۴- ارزیابی پایگاه‌های جهانی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رواناب ماهانه و سالانه  
 پس از اتمام مراحل شبیه‌سازی از نتایج آن به صورت ماهانه و سالانه متوسط‌گیری انجام شد. در مقیاس ماهانه پایگاه NCEP CFSR در مقایسه با پایگاه CRU در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی متوسط رواناب را بیشتر شبیه‌سازی کرده است.

مقایسه عدم قطعیت نتایج جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده پایگاه‌های جهانی حاکی از آن است که تفاوت چندانی در مقادیر R-factor و P-factor نتایج وجود ندارد.



**Fig. 7- Runoff time series of calibrated model with gaged data**  
 شکل ۷- سری زمانی رواناب مدل واسنجی شده با داده‌های مشاهداتی



**Fig. 8- Runoff time series of calibrated model with CRU data**  
 شکل ۸- سری زمانی رواناب مدل واسنجی شده با داده‌های CRU

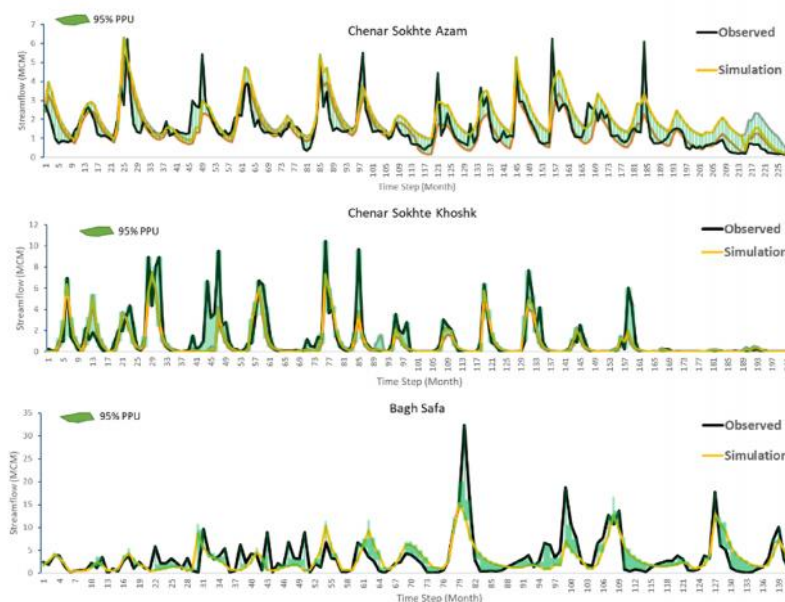


Fig. 9- Runoff time series of calibrated model with NCEP CFSR data

شکل ۹- سری زمانی رواناب مدل واسنجی شده با داده‌های NCEP CFSR

Table 5- Results of Calibration and Validation of SWAT model

جدول ۵- نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

Station		R2			NS		
		Gaged	CRU	NCEP CFSR	Gaged	CRU	NCEP CFSR
Chenar Sokhte Azam	Calibration	0.68	0.63	0.55	0.52	0.51	0.42
	Validation	0.73	0.69	0.61	0.6	0.57	0.51
Chenar Sokhte Khoshk	Calibration	0.72	0.7	0.64	0.72	0.63	0.61
	Validation	0.81	0.7	0.67	0.78	0.69	0.67
Bagh Safa	Calibration	0.6	0.57	0.51	0.6	0.53	0.42
	Validation	0.65	0.6	0.57	0.66	0.59	0.51

Table 6- Results of uncertainty analysis

جدول ۶- نتایج تحلیل مقادیر عدم قطعیت مدل

Station		P-factor			R-factor		
		Gaged	CRU	NCEP CFSR	Gaged	CRU	NCEP CFSR
Chenar Sokhte Azam	Calibration	0.49	0.5	0.48	0.39	0.33	0.38
Chenar Sokhte Khoshk	Calibration	0.47	0.45	0.51	0.48	0.39	0.43
Bagh Safa	Calibration	0.51	0.49	0.44	0.34	0.41	0.37

Table 7- Sensitive parameters and up and low band

جدول ۷- پارامترهای حساس و باند بالا و پایین

Parameter	Unit	Method	Low and up band of sensitive parameters		
			Gaged	CRU	NCEP CFSR
SHALLST.gw	mm	v	[3 , 127]	[78 , 203]	[95 , 280]
GW_DELAY.gw	day	v	[10 , 20]	[19 , 29]	[12 , 25]
GW_REVAP.gw	-	v	[0.015 , 0.016]	[0.15 , 0.17]	[0.15 , 0.17]
PLAPS.sub	-	v	[1 , 8]	[ 285 , 450]	[-600 , -300 ]
TLAPS.sub	-	v	[7 , 10]	[-7 , -3]	[-5 , -10 ]
CN2.mgt	-	r	[-0.01 , 0.38]	[-0.2 , 0.3]	[-0.5 , 0.17 ]
HRU_SLP.hru	mm	v	[0.75 , 0.84]	[0.4 , 0.67]	[0.43 , 0.85]
LAT_TTIME.hru	day	v	[22 , 32]	[159 , 179]	[1 , 15]
SOL_BD.sol	-	r	[-0.019 , 0.5]	[-0.19 , 0.03]	[-0.42 , 0]
ALPHA_BF.gw	-	v	[0.46 , 0.63]	[0.4 , 0.62]	[0.53 , 0.6]
SOL_AWC.sol	-	r	[-0.5 , -0.3]	[-0.3 , 0.1]	[-0.15 , 0]

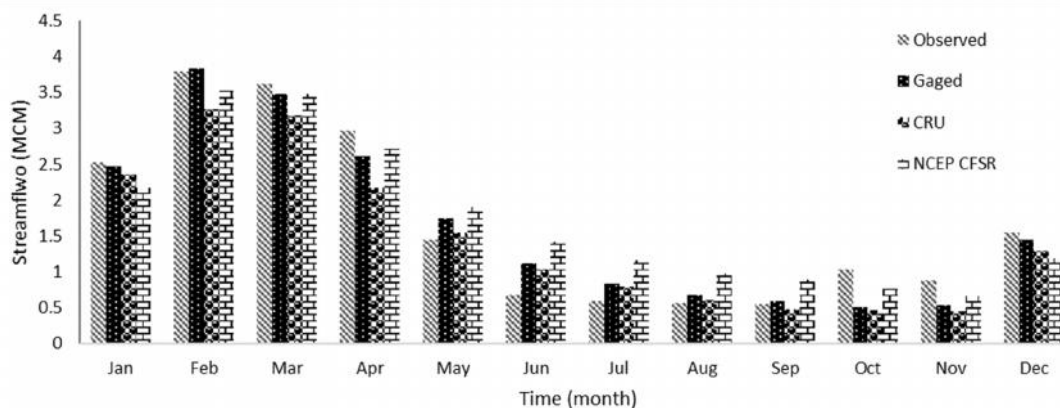


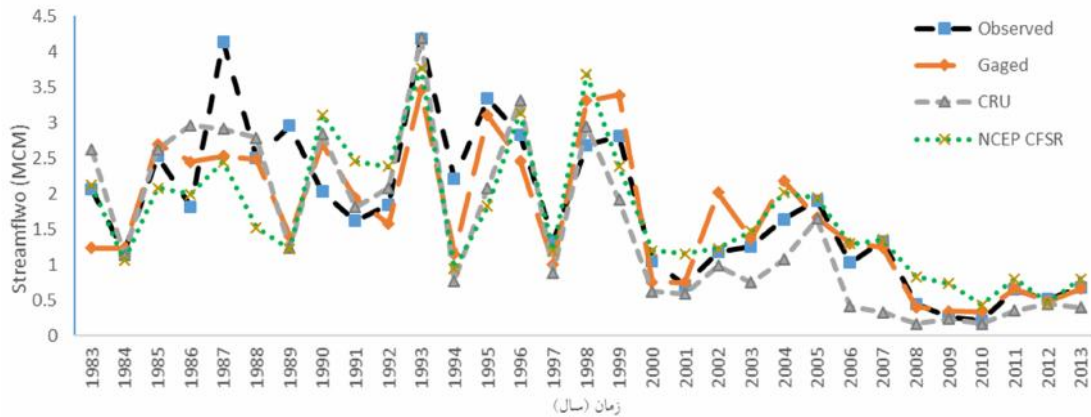
Fig. 10- Long term changes of monthly mean runoff

شکل ۱۰- تغییرات بلند مدت متوسط رواناب ماهانه

های پایانی می‌تواند این باشد که مقدار جریان به دلایلی نظیر کاهش بارش، افزایش دما و تغییرات در مصارف، کاهش یافته است و رفتار رواناب در سال‌های پایانی به حداقل میزان خود در طول کل دوره رسیده است. همچنین می‌توان ذکر کرد که در سال‌های انتهایی احتمالاً از تجهیزات دقیق‌تر برای اندازه‌گیری رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری و اقلیمی استفاده شده است. همچنین پایگاه‌های اقلیمی بازتحلیل شده نیز با توسعه و افزایش تعداد ایستگاه‌های مشاهداتی در تخمین روزانه بارش توانسته‌اند بهتر عمل کنند. در سال‌های ابتدایی قبل از سال ۱۹۹۰ مقادیر شبیه‌سازی شده متوسط کمتری نسبت به مقادیر ثبت شده را شبیه‌سازی کرده‌اند. از سال ۲۰۰۰ همه پایگاه‌ها توانسته‌اند کاهش متوسط جریان را به خوبی نشان دهند، همانطور که در شکل ۱۱ مشخص است در این منطقه از سال ۲۰۰۰ جریان رواناب بطور محسوسی کاهش پیدا کرده است.

در ماه‌های گرم، پایگاه NCEP CFSR مقادیر رواناب را در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رواناب به طور متوسط بیشتر از مقادیر ثبت شده، برآورد کرده است. پایگاه CRU در ماه‌های گرم سال مقادیر شبیه‌سازی شده هیدرولوژیکی رواناب اختلاف کمی با مقادیر ثبت شده رواناب دارد. متوسط دبی ثبت شده برابر با ۱/۶۸ مترمکعب، دبی شبیه‌سازی شده با پایگاه مشاهداتی ۱/۶۵ مترمکعب، متوسط دبی شبیه‌سازی شده با پایگاه CRU، ۱/۵ مترمکعب و متوسط دبی شبیه‌سازی شده با پایگاه NCEP CFSR برابر با ۱/۷۲ مترمکعب می‌باشد. نمودار تغییرات ماهانه در بلند مدت در شکل ۱۰ آمده است.

تغییرات بلندمدت شبیه‌سازی در مقیاس سالانه نشان داد که با نزدیک شدن به سال‌های انتهایی مقادیر متوسط شبیه‌سازی شده هر پایگاه به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند. دلیل شبیه‌سازی بهتر در سال-



**Fig. 11- Long term changes of annual mean streamflow**  
**شکل ۱۱- تغییرات بلند مدت سالانه متوسط رواناب**

کمیته مشخص شد که پایگاه CRU همواره دمای منطقه را کمتر از مقادیر مشاهداتی و پایگاه NCEP CFSR نشان می‌دهد. نتیجه واسنجی و اعتبارسنجی پایگاه‌های اقلیمی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رواناب نشان دادند که نتایج حاصل از پایگاه CRU به نتایج واسنجی و اعتبارسنجی با داده‌های مشاهداتی در هر ایستگاه هیدرومتری نسبت به پایگاه NCEP CFSR نزدیک‌تر بود، گرچه هر دو پایگاه توانستند به خوبی به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز بپردازند.

با توجه به نتایج حاصل در این پژوهش، از هر دو پایگاه اقلیمی می‌توان در اصلاح یا تکمیل داده‌های مفقودی استفاده کرد. در حوضه‌های فاقد ایستگاه مشاهداتی یا تراکم پایین می‌توان از این ایستگاه‌ها به عنوان نزدیک‌ترین مقادیر به مقادیر مشاهداتی یاد کرد.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت مدیریت منابع آب وزارت نیرو به دلیل حمایت مالی از پروژه تحقیقاتی به شماره ۹۵۰۱۰-۹۵ WMGW4 و مقاله حاضر مستخرج از آن، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

#### پی‌نوشت‌ها

1. Soil and Water Assessment Tool
2. Climate Forecast System Reanalysis of the National Center for Environmental Prediction
3. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
4. Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie
5. Global Precipitation Climatology Centre
6. Climatic Research Unit
7. BIAS
8. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey>
9. <https://lta.cr.usgs.gov/GLCC>

مقایسه نتایج حاصل با مطالعات پیشین نشان داد که مقیاس مکانی پایگاه‌های اطلاعاتی اقلیمی نقش مهمی در نتایج بدست آمده دارند، مقیاس‌های کوچک از نظر مکانی در برخی حوضه‌ها دقت کم‌تری از خود نشان می‌دهند (Thiemig et al., 2013; Gossest et al., 2013). همچنین پایگاه CRU نشان داده است که در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه عملکرد بهتری در مقایسه با سایر پایگاه‌های اقلیمی دارد. این نتیجه در پژوهش Sperna et al. (2015) که در حوضه‌های Amazon, Mackenzie, Murray, Rhine و Mekong انجام گرفته است، نیز ذکر شده است. در پژوهش دیگری که در منطقه گرم و خشک مشابه حوضه دریاچه مهارلو در سودان برپایه پایگاه‌های CRU, NCEP CFSR و ERA صورت پذیرفته است، پایگاه CRU در مقیاس روزانه و ماهانه عملکرد بهتری در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رواناب داشته است (Nkiaka et al., 2017).

#### ۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این پژوهش به ارزیابی آماری ۲ پایگاه بازتحلیل شده CRU و NCEP CFSR پرداخته شد و سپس به صورت جداگانه هریک در مدل شبیه‌سازی نیمه توزیعی هیدرولوژیکی SWAT برای برآورد جریان‌ات سطحی به کار گرفته شدند. هدف از این پژوهش ارزیابی توانایی پایگاه‌های بازتحلیل شده در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بود. نتایج حاصل از ارزیابی ماهانه برای داده‌های بارش نشان دادند که پایگاه CRU در ماه‌های سرد سال بارش را کمتر از مقادیر مشاهداتی برآورد کرده است. پایگاه NCEP CFSR همخوانی خوبی با داده‌های مشاهداتی داشته است. در ارزیابی نتایج دمای بیشینه و

- hydrological applications over west Africa using two high-resolution gauge networks. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 139(673):923-40
- Grusson Y, Ancil F, Sauvage S, Sánchez Pérez J (2017) Testing the swat model with gridded weather data of different spatial resolutions. Water, 9(1):54
- Haji Hosseini H, Haji Hosseini MR, Morid S, Delavar M (2013) Assessment of changes in hydro-meteorological variables upstream of Helmand basin during the last century using cru data and swat model. Iran-Water Resources Research, 10(3):38-52 (In Persian)
- Higgins RW, Kousky VE, Silva VBS, Becker E, Xie P (2010) Intercomparison of daily precipitation statistics over the united states in observations and in ncep reanalysis products. Journal of Climate, 23(17):4637-50
- Monteiro JAF, Strauch M, Srinivasan R, Abbaspour K, Gücker B (2016) Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. Hydrological Processes, 30(9):1419-30
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Srenivasan R, Williams JR (2011) Soil and water assessment tool theoretical documentation. Texas Water Resources Institute Technical Report, No 406, 647p
- Nkiaka E, Nawaz N, Lovett JC (2017) Evaluating global reanalysis datasets as input for hydrological modelling in the Sudano-Sahel region. Hydrology, 4(1):13
- Piani C, Weedon GP, Best M, Gomes SM, Viterbo P, Hagemann S (2010) Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. Journal of Hydrology, 395(3):199-215
- Seyyedi H, Anagnostou E, Beighley E, McCollum J (2014) Satellite-driven downscaling of global reanalysis precipitation products for hydrological applications. Hydrology and Earth System Sciences, 18(12):5077
- Sperna WFC, Vrugt JA, Beek RPH, Weerts AH, Bierkens MFP (2015) Significant uncertainty in global scale hydrological modeling from precipitation data errors. Journal of Hydrology, 529:1095-115
- Thiemig V, Rojas R, Zambrano-Bigiarini M, De Roo A (2013) Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo basin. Journal of Hydrology, 499:324-38
10. U.S. Department of Agriculture's Agricultural Research Service
11. Hydrologic Response Units
12. Sequential Uncertainty Fitting
13. v = Replace, r =Relative

## ۵- مراجع

- Adjei KA, Ren L, Appiah AEK, Odai SN (2015) Application of satellite-derived rainfall for hydrological modelling in the data-scarce black volta trans-boundary basin. Hydrology Research, 46(5):777-91
- Arnold JG, Moriasi DN, Gassman PW, Abbaspour KC, White MJ, Srinivasan R (2012) SWAT: model use, calibration, and validation. Trans ASABE, 55(4):1491-508
- Auerbach DA, Easton ZM, Walter MT, Flecker AS, Fuka DR (2016) Evaluating weather observations and the climate forecast system reanalysis as inputs for hydrologic modelling in the tropics. Hydrol Processes, 30(19):3466-77
- Bressiani DA, Srinivasan R, Jones CA, Mendiondo E M (2015) Effects of spatial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid basin, northeast brazil. International journal of agricultural and biological engineering, 8(3):125-139
- Casse C, Gosset M, Peugeot C, Pedinotti V, Boone A, Tanimoun BA (2015) Potential of satellite rainfall products to predict niger river flood events in niamey. Atmospheric Research, 163:162-76
- Darand M, Zand Karimi S (2016) Evaluation of the accuracy of the Global Precipitation Climatology Center (gpcc) data over iran. Journal of Iran Geophysical, 103:95-113 (In Persian)
- Dile YT, Srinivasan R (2014) Evaluation of cfsr climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: an application in the blue Nile river basin. Journal of the American Water Resources Association, 50(5):1226-41
- Fekete BM, Vörösmarty CJ, Roads JO, Willmott CJ (2004) Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. Journal of Climate, 17(2):294-304
- Fuka DR, Walter MT, MacAlister C, Degaetano AT, Steenhuis TS, Easton ZM (2014) Using the climate forecast system reanalysis as weather input data for watershed models. Hydrol Processes, 28(22):5613-23
- Gosset M, Viarre J, Quantin G, Alcoba M (2013) Evaluation of several rainfall products used for