



Investigating the Effect of Climate Change on Discharge, NO₃ Load, and Agricultural Products Yield Upstream of Esteghlal Dam

H. Yousefi¹, A. Moridi^{2*}, J. Yazdi²,
and A. Kazaeipoul³

Abstract

In this paper, the SWAT model is used to study the effects of climate change on discharge and water quality of inflow of Esteghlal reservoir in Minab catchment. Climate change scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5) in 5 GCMs (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC, NoerESM1-M) to simulate future discharge, NO₃ load, and agricultural products yield, were applied. According to the analysis of different climate change scenarios, the highest average annual precipitation decrease and increase were 34.8% and 37.2% in RCP8.5 and RCP6 scenarios in NoRESM1-M model, respectively. In the baseline period, the share of precipitation in winter is 65.8%, spring 5.1%, summer 1.8% and fall 27.4%. Crop yield change depends on the type of crop and its irrigation period. Because of the 77% water requirement of lima bean crop in winter, the average yield of this crop increases by 19%, as models show that the share of precipitation in winter increases by 9%. Also, 75% of water requirement of wheat and 44% of water requirement of eggplant is in autumn and winter that increased and stabilized rainfall in these seasons caused slight variations in yield. In contrast, 80% of water requirement of corn crop is in summer, and due to the severe decrease in precipitation in summer (15%), corn yield has decreased by 17%. In the baseline period (1995-2014) the maximum precipitation occurs between November and April. Maximum monthly precipitation displacement occurs in RCP8.5 toward early fall in 2080-2099 and late spring in 2021-2040, that it can respectively increase sediment load and soil erosion or nitrate load. In general, from reduced inflow to the reservoir and low average crop yield variations, it can be concluded that the decrease in crop yield due to decline green water is partially offset by increasing blue water allocation to agricultural areas, which in turn reduces inflow to the reservoir. These conditions result in an increase in nitrate loading into the reservoir and a decrease in the inlet flow to the reservoir resulting in increased nitrate concentration in the inlet runoff, which may result from displacement of maximum precipitation towards the grazing season or Increase the fraction of agricultural return water in runoff to the reservoir.

Keywords: Climate Change, SWAT, Basin's Quality and Quantity Management, NO₃, Crop Yield.

Received: November 4, 2019

Accepted: February 16, 2020

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دبی، نیترات و عملکرد محصول در بالادست سد استقلال

حسین یوسفی^۱، علی مریدی^{۲*}، جعفر یزدی^۲
و احمد خزائی پول^۳

چکیده

در این مقاله برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دبی و کیفیت آب ورودی به سد استقلال در حوضه آبریز میناب از مدل SWAT استفاده شده است. اثرات ۴ سناریو (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5) در ۵ مدل (GFDL-ESM2M, GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC, NoerESM1-M) بر دبی، نیترات و عملکرد محصول بررسی شد. بیشترین کاهش و افزایش میانگین بارش سالانه به ترتیب مربوط به سناریو RCP6 و RCP8.5 مدل NoerESM1-M با میزان ۳۴/۸٪ و ۳۷/۲٪ درصد است. در وضع موجود سهم بارش در فصل زمستان ۶۵/۸٪ بهار ۵/۱٪، تابستان ۱/۸٪ و پاییز ۲۷/۴٪ درصد است. تغییر عملکرد محصولات بستگی به نوع محصول و دوره آبیاری آن دارد. به دلیل اینکه ۷۷٪ درصد نیاز آبی محصول باقلا در زمستان است میانگین عملکرد این محصول ۱۹٪ درصد افزایش می‌یابد، زیرا طبق نتایج مدل‌ها سهم بارش در زمستان ۹٪ درصد افزایش می‌یابد. همچنین ۷۵٪ درصد از نیاز آبی گندم و ۴۴٪ درصد از نیاز آبی بادمجان در فصول پاییز و زمستان است که افزایش و ثبات بارش در این فصل‌ها باعث تغییرات اندک عملکرد این محصولات شده است. در مقابل ۸۰٪ درصد نیاز آبی محصول ذرت در تابستان است و با توجه به کاهش شدید بارش در فصل تابستان (۱۵٪ درصد)، عملکرد محصول ذرت ۱۷٪ درصد کاهش داشته است. در دوره پایه مقادیر حداکثر بارش بین ماه‌های نوامبر تا اپریل رخ می‌دهد. بیشترین جابه‌جایی حداکثر بارش مربوط به سناریو RCP8.5 است که در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۱ به سمت اواخر بهار و در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۱ به سمت اوایل پاییز می‌باشد. این جابه‌جایی‌ها به سمت پاییز یا بهار به ترتیب می‌تواند باعث افزایش رسوب و فرسایش خاک یا افزایش بار نیترات شود. در حالت کلی از کاهش دبی ورودی به مخزن و تغییرات کم میانگین عملکرد محصولات می‌توان نتیجه گرفت که کاهش عملکرد محصول ناشی از افت بارش (آب سبز) تا قسمتی با افزایش تخصیص آب آبی به زمین‌های کشاورزی جبران شده است که این امر موجب کاهش دبی ورودی به مخزن سد می‌شود. در این شرایط از افزایش بار نیترات ورودی به مخزن سد و کاهش جریان ورودی به مخزن نتیجه می‌شود که غلظت نیترات در رواناب ورودی افزایش یافته است که این امر می‌تواند منتج از جابه‌جایی حداکثر بارش به سمت فصل چرای دام یا افزایش سهم آب برگشتی کشاورزی در رواناب ورودی به مخزن باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، مدل SWAT، مدیریت کمی و کیفی حوضه، نیترات، عملکرد محصول.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۸/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۱/۲۷

1- M.Sc. of Water Resources Management and Engineering, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor of Civil Engineering, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_moridi@sbu.ac.ir

3- Ph.D. Candidate, Water Resources Engineering Department, Civil, Water and Engineering Environmental Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

(2009). نتیجه مطالعات اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و عملکرد محصولات کشاورزی توسط Chen et al. (2019) از این قرار است که کاهش عملکرد محصول در آینده به طور عمده به کوتاه شدن دوره بلوغ گیاه ناشی از افزایش دما نسبت داده می‌شود. همچنین آینده خشک و گرم باعث کاهش سرعت معدنی شدن نیتروژن در حوضه آبریز و در نهایت کاهش بار نیترات جریان می‌شود (Ye and Grimm, 2013). پایداری تأمین نیازهای شرب و کشاورزی سد دوستی تحت سناریوهای تغییر اقلیم و بهره‌برداری از سد سلما با کمک از مدل SWAT بررسی شده است که نتایج نشان‌دهنده کاهش اعتمادپذیری حجمی آب کشاورزی است (Nazari Mejdari et al., 2019). ظرفیت مدیریت فعلی آب کشاورزی در حوضه زربینه رود برای سازگاری با تغییر اقلیم براساس رویکرد تصمیم‌گیری استوار ارزیابی شده که بیانگر این است که مدیریت فعلی برای شرایط تغییر اقلیم استوار نمی‌باشد و در بسیاری از موارد شکست خواهد خورد (Babania et al., 2019). شبیه‌سازی میزان نیترات ورودی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه با استفاده از مدل SWAT نشان داد که با تغییر شیوه آبیاری سطحی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، تغییر قابل توجهی در میانگین میزان نیترات ورودی به منابع آب سطحی ایجاد نمی‌شود. همچنین با کاهش مقادیر کوددهی بی‌رویه به میزان زیادی می‌توان مانع آلودگی منابع آب‌های سطحی گردید (Misaghi and Noori, 2018). با توجه به مطالب فوق‌الذکر، عمده کارها تمرکز به بررسی اثر تغییر اقلیم بر کمیت یا کیفیت منابع آب و بر اساس نتایج یک مدل GCM داشته‌اند. در این مقاله تلاش شد تا اثر تغییر اقلیم با استفاده از ۵ مدل GCM (IPSL-CM5A-LR، MIROC، GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و NoerESM1-M) بر کیفیت و کمیت آب ورودی به سد و همچنین عملکرد محصولات کشاورزی بررسی گردد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده: حوضه میناب (بالادست سد استقلال)

منطقه مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه میناب واقع در استان هرمزگان به مساحت ۱۱۱۶۱۶۱ هکتار بین عرض‌های ۲۶/۹۶ تا ۲۸/۶۵ درجه شمالی و ۵۶/۴۵ تا ۵۷/۹۱ درجه شرقی می‌باشد. حداقل ارتفاع از سطح دریای آزاد ۴۲ متر و حداکثر ۲۸۱۱ متر و طول این رودخانه از ابتدایی‌ترین سرچشمه‌ها تا دریا به ۱۸۰ کیلومتر می‌رسد (شکل ۱). آورد متوسط آن ۲۰۳ میلیون متر مکعب در سال است. اطلاعات هواشناسی شامل بارش و دمای حداقل و حداکثر روزانه به مدل معرفی شده است که در مدل SWAT برای بارش ۶ ایستگاه به نام‌های بجگان، سد استقلال، محمدآباد، دره شور، فاریاب و بلبل آباد و همچنین

با توجه به افزایش جمعیت و نیازهای جامعه، درک صحیح تغییرات اقلیم جهت اتخاذ راهکارهای مدیریتی بهینه لازم است (Freund et al., 2017). ایران یکی از کشورهای کم آب در جهان است و به دلیل وابستگی زیاد آن به کشاورزی، تغییرات آب و هوایی می‌تواند بسیار خطرناک و زیان‌بار باشد (Nassiri et al., 2006). تغییرات اقلیم به طور قابل توجهی فرآیندهای هیدرولوژیکی در طول سالیان گذشته را تحت تأثیر قرار داده است و همچنان این روند شدیدتر از قبل در مناطق مختلف ادامه دارد (Van Quan and Kim, 2014). با توجه به اینکه پارامترهای زیادی از جمله بارش، حداقل و حداکثر دما در اثر تغییر اقلیم تغییر می‌کنند (Stocker, 2014)، در توافق‌نامه پاریس برای اولین بار به عنوان هدف مشخص شد که حداکثر افزایش دما نسبت به قبل از صنعتی شدن ۲ درجه سانتی‌گراد گردد و تمام سعی بر این باشد که این افزایش از ۱/۵ درجه فراتر نرود (Hallegatte et al., 2016).

مدل‌های کمی هیدرولوژیکی ابزارهایی بسیار کاربردی جهت توسعه سیاست‌های مدیریت و ارزیابی وضع کیفی منابع آب هستند (Abbaspour, 2015; Beven, 2011). در میان این مدل‌ها ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) (Arnold and Fohrer, 2005;) (Arnold et al., 2012, 1998) توسط افراد زیادی برای مدل‌سازی حوضه آبریز رودخانه در سراسر جهان استفاده شده است (Abbaspour et al., 2015a; Guse et al., 2016; Malagò et al., 2016; Nerantzaki et al., 2015; Schmalz et al., 2015). مدل SWAT به عنوان یک ابزار تأثیرگذار در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی، انتقال آلاینده‌ها و عملکرد محصولات کشاورزی تحت اثر تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی و اقدامات مدیریتی در شرایط مختلف محیط زیستی مورد استفاده قرار گرفته است (Castellia et al., 2017; Du et al., 2019; Marek et al., 2017; Osei et al., 2019; Schuol and Abbaspour, 2006; Sinnathamby et al., 2016; Woznicki et al., 2016; Yang et al., 2016).

(Leta et al., 2016) در تحقیقی اثر تغییر اقلیم بر وقایع حدی در مخزن و رواناب حوضه آبریز Nuuanu در هاوایی را بررسی کرده‌اند و با عدم قطعیت موجود، در نظر گرفتن تأثیر تغییر اقلیم در وقوع وقایع حدی را حیاتی دانستند. همچنین، Pyke et al. (2011) وقوع سیل در اثر تغییرات بارش منتج از تغییر اقلیم را بررسی نموده‌اند و راهکارهایی درباره نحوه مدیریت آن پیشنهاد داده‌اند. در اثر تغییر اقلیم پیامدهای کشاورزی شامل تغییر در نرخ رشد گیاهان، زمان آبیاری و رواناب ممکن است بر منابع آب آینده تأثیر بگذارد (Ficklin et al., 2016).

۲۰۹۹ در ۵ مدل گردش عمومی جو اقیانوس (Atmosphere Ocean GFDL-ESM2M، General Circulation Models) به نام‌های IPSL-CM5A-LR، HadGEM2-ES و MIROC، NoerESM1-M برای ۴ سناریو اقلیمی مشروح در جدول ۱ تهیه شده است.

برای دما ۳ ایستگاه به نام‌های میناب، رودان و کهنوج بر مبنای کمترین فاصله با حوضه انتخاب شده‌اند. دیگر اطلاعات مورد نیاز شامل کاربری اراضی، تیپ‌بندی خاک و نقشه DEM است.

آمار بارش و دمای حداقل و حداکثر روزانه برای سال‌های ۲۰۲۱ تا

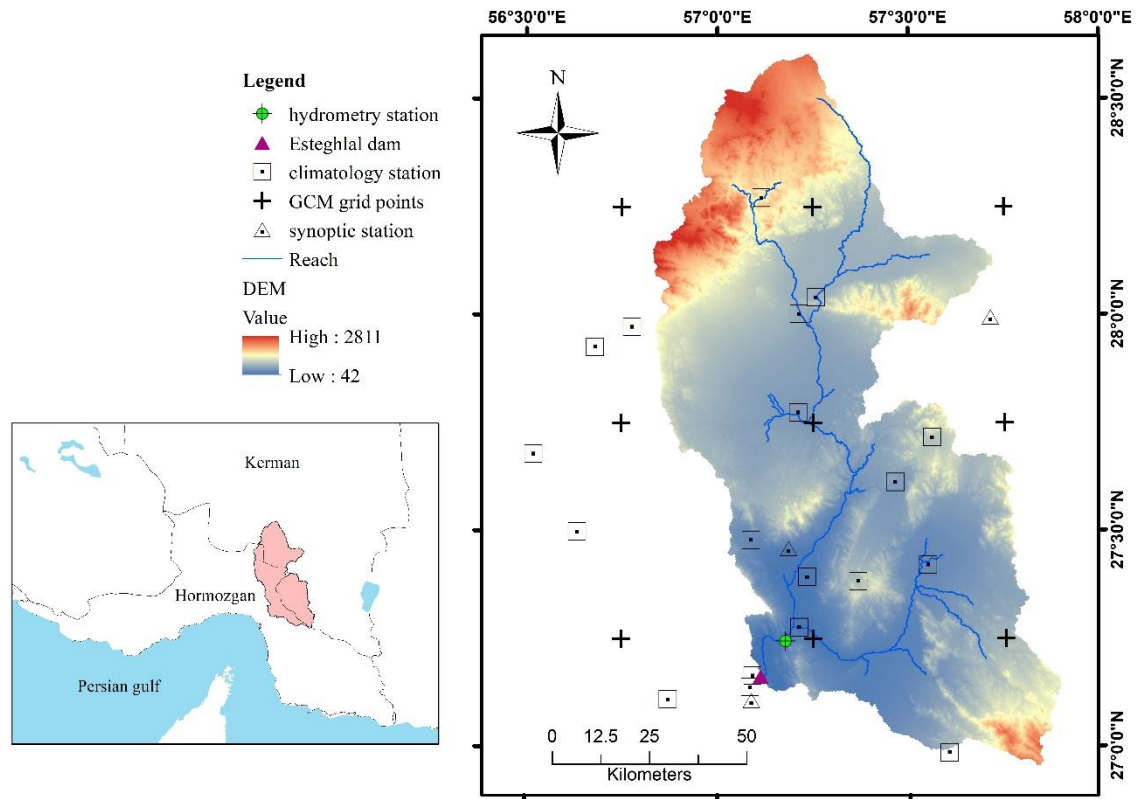


Fig. 1- Upstream catchment map of Esteghlal dam and climatology, synoptic and hydrometric stations
 شکل ۱- نقشه حوضه آبریز بالادست سد استقلال و ایستگاه‌های کلیماتولوژی، سینوپتیک و هیدرومتری

Table 1- Description of climate change scenarios in IPCC's 5th report

جدول ۱- تعریف سناریوهای تغییر اقلیم در گزارش پنجم IPCC

Description	IA Model	Publication – IA Model
RCP8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m ² in 2100.	MESSAGE (Riahi et al., 2007) (Rao and Riahi, 2006)
RCP6	Stabilization without overshoot pathway to 6 W/m ² at stabilization after 2100	AIM (Fujino et al., 2006) (Hijioka et al., 2008)
RCP4.5	Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m ² at stabilization after 2100	GCAM (MiniCAM) (Smith and Wigley, 2006) (Clarke et al., 2007) (Wise et al., 2009)
RCP2.6	Peak in radiative forcing at ~ 3 W/m ² before 2100 and decline	IMAGE (Van Vuuren et al., 2006) (Van Vuuren et al., 2007) (Meinshausen et al., 2011)

۲-۲- SWAT مدل

آب زیر زمینی که به رودخانه وارد می‌شود (تمامی ترم‌های معادله ۱ بر حسب mm است) (Neitsch et al., 2009).

مدل SWAT به جای استفاده از معادلات رگرسیون برای توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی، یک مدل بر مبنای قوانین و شرایط فیزیکی است. به همین دلیل SWAT به اطلاعات مشخصی از آب و هوا، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های مدیریت اراضی در سطح حوضه نیاز دارد. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوب، رشد گیاهان، چرخه مواد معدنی و غیره به طور مستقیم توسط SWAT با استفاده از اطلاعات فوق‌الذکر مدل می‌شوند. می‌توان برای نیترات و نیتروژن آلی موجود در مواد هیومیک برای تمام لایه‌های خاک در ابتدای مدل‌سازی مقداری را در نظر گرفت. اگر مقدار اولیه غلظت نیتروژن مشخص نشود، مدل SWAT مقادیری را برای توده‌های نیتروژن در نظر می‌گیرد. مقدار اولیه نیتروژن با تغییرات عمق تغییر می‌کند که با معادله ۲ مقدار آن بدست می‌آید

$$NO3_{conc,z} = 7 \cdot \exp\left(\frac{-z}{1000}\right) \quad (2)$$

ابزار ارزیابی آب و خاک یک مدل با مقیاس حوضه رودخانه یا که در آن $NO3_{conc,z}$ غلظت نیترات در خاک در عمق z بر حسب mg/kg یا ppm ، عمق خاک از سطح بر حسب میلی‌متر است (Neitsch et al., 2009).

گام‌های مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها در این تحقیق مطابق با الگوریتم ارائه شده در شکل ۲ است. این الگوریتم برای دبی، عملکرد محصول و نیترات به ترتیب و جداگانه اجرا شده است، منظور از به ترتیب بودن این است که باید مدل ابتدا برای جریان، سپس برای عملکرد محصول و در انتها برای نیترات، واسنجی و صحت‌سنجی شود. سپس سناریوهای تغییر اقلیم اعمال و بررسی شده‌اند.

حوضه‌های بزرگتر است که توسط Dr. Jeff Arnold برای سرویس تحقیقاتی کشاورزی ایالات متحد آمریکا توسعه داده شده است. SWAT برای پیش‌بینی تأثیر شیوه‌های مدیریت زمین بر روی رواناب، رسوب و تولید فرآورده‌های شیمیایی کشاورزی (مواد مغذی) در حوضه‌های آبی پیچیده با خاک‌ها، کاربری زمین و شرایط مدیریت مختلف در طی مدت طولانی توسعه داده شد. معادله اصلی حاکم بر مدل همان معادله بیلان است:

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

که در آن SW_t ظرفیت نهایی آب در خاک و SW_o ظرفیت اولیه آب در خاک، R_{day} بارش روزانه، Q_{surf} رواناب سطحی، E_a تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep} آبی که به ناحیه غیراشباع خاک وارد می‌شود و Q_{gw}

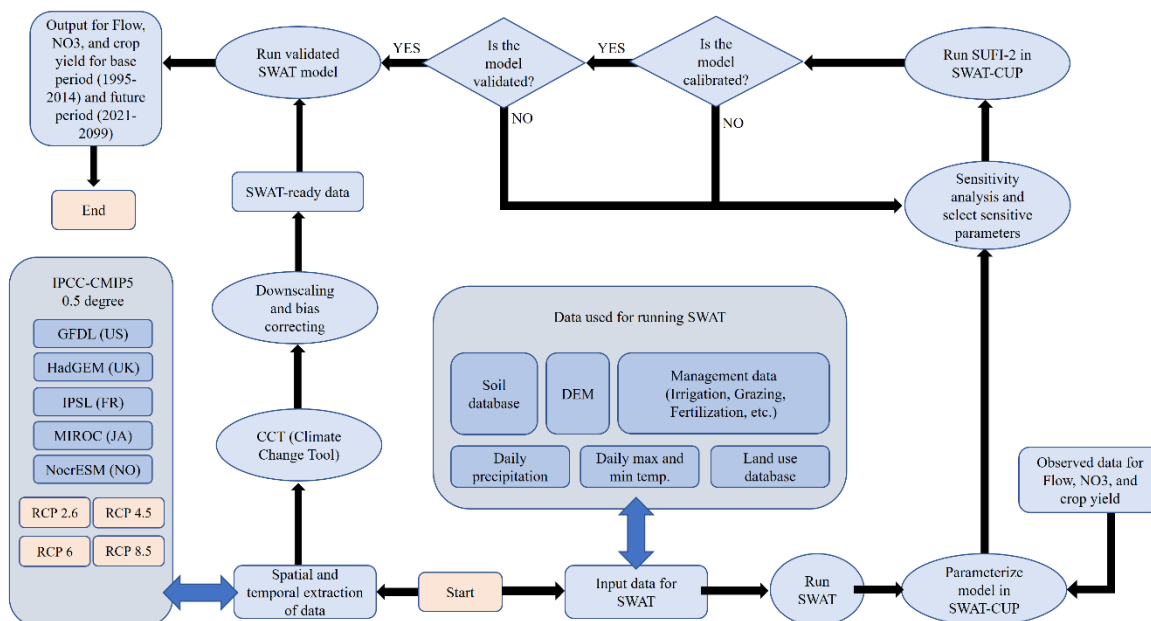


Fig. 2- Algorithm of the steps that have been done in this study
شکل ۲- الگوریتم گام‌های انجام شده در این تحقیق

۲-۱- واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT

از نرم‌افزار SWAT-CUP برای واسنجی و تحلیل حساسیت پارامترهای مدل SWAT استفاده می‌شود. این نرم‌افزار می‌تواند از ۴ الگوریتم بهینه‌سازی به منظور واسنجی، تحلیل حساسیت و عدم قطعیت مدل SWAT استفاده کند، که در این تحقیق از الگوریتم SUFI-2^۴ استفاده شده است. عدم قطعیت موجود در مدل‌سازی به سه قسمت عمده تقسیم می‌شود: (۱) عدم قطعیت مدل مفهومی، (۲) عدم قطعیت داده‌های ورودی و (۳) منحصر به فرد نبودن پارامترها (Yang et al., 2007). بین واسنجی و عدم اطمینان رابطه نزدیکی وجود دارد (Abbaspour et al., 2015b). در SUFI-2، عدم قطعیت در پارامترها به عنوان یک محدوده (توزیع یکنواخت) بیان شده است و تمام منابع عدم قطعیت مانند عدم قطعیت در متغیرهای استخراج شده (به عنوان مثال بارندگی)، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده را تشکیل می‌دهد. توزیع عدم قطعیت در پارامترها منجر به عدم قطعیت در متغیرهای خروجی مدل می‌شود، که به عنوان توزیع احتمال ۹۵ درصد بیان شده است. این توزیع در سطح ۲/۵ درصد و ۹۷/۵ درصد توزیع جمعیتی یک متغیر خروجی، توسط توزیع عدم قطعیت پارامتر با استفاده از نمونه‌برداری به روش Latin hypercube محاسبه می‌شود. به این محدوده «پیش‌بینی با عدم قطعیت ۹۵ درصد» یا «95PPU» گفته می‌شود. این 95PPUها خروجی مدل در یک روش واسنجی تصادفی هستند. این مهم است که بدانیم فقط یک سیگنال واحد که نمایانگر خروجی مدل باشد وجود ندارد، بلکه یک مجموعه از راه‌حل‌های خوب بیان شده توسط 95PPU، توسط محدوده پارامترهای خاص محاسبه شده است (Abbaspour, 2015).

۲-۳- مدل CCT^۵

CCT برای سه هدف کلی توسعه داده شده است؛ (۱) مدیریت داده‌های زیاد همانطور که در مطالعات تغییر اقلیم مورد نیاز است، (۲) محاسبه مسلط و یکپارچه مراحل ضروری در مطالعات تغییرات اقلیم، به عنوان مثال تجدید ساختار داده‌ها، درون‌یابی داده‌ها، ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح سوگیری و (۳) انطباق شرایط شدید دوره گذشته به آینده با شناخت الگوی شرایط دوره گذشته (Ashraf Vaghefi et al., 2017). در این مدل پس از استخراج داده‌های تغییر اقلیم برای محدوده مطالعه، ابتدا ریزمقیاس‌نمایی انجام می‌شود سپس آنومالی و میانگین ماهیانه و سالانه محاسبه می‌شود و تصحیح سوگیری برای داده‌های بارش روزانه با استفاده از روش Ratio Method و برای داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه از روش Additive Method انجام می‌شود.

۲-۴- معیارهای ارزیابی

ضریب R² به این معنی است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تأثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل می‌باشد. ضریب R² در بازه صفر تا یک تغییر می‌کند و بهترین حالت زمانی رخ می‌دهد که این ضریب برابر یک باشد. ضریب NS برای اندازه‌گیری نزدیکی داده‌های شبیه‌سازی شده به داده‌های مشاهداتی است. بازه تغییرات ضریب NS از منفی بی‌نهایت تا یک می‌باشد و هر چه به یک نزدیکتر شود، نتایج شبیه‌سازی و داده‌های مشاهداتی تطابق بیشتری دارد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})^2} \quad (4)$$

در معادلات ۳ و ۴ مقادیر Q_{sim} و Q_{obs} به ترتیب مقادیر رواناب شبیه‌سازی شده و متوسط رواناب شبیه‌سازی شده و Q_{obs} و Q_{obs} به ترتیب مقادیر رواناب مشاهداتی و متوسط رواناب مشاهداتی همچنین n تعداد مشاهدات است.

۳- نتایج و بحث

به منظور خلاصه‌سازی، مدل‌های GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES، MIROC_IPSL-CM5A-LR و NoerESM1-M به ترتیب به نام‌های G1 تا G5 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به ترتیب به نام‌های S1 تا S4 نامگذاری شده‌اند. همچنین در همه نمودارها ستون «OBS» مربوط به داده‌های مشاهداتی است. در حالت کلی حداکثر بارش ماهانه در دوره پایه در اواخر پاییز و کل فصل زمستان رخ می‌دهد. در ۲۰ سال انتها و ابتدای دوره آینده در اغلب سناریوها بارش در ماه فوریه نسبت به دوره پایه افت داشته است. از منظر جابه‌جایی زمانی پیک‌های بارش تحت اثر تغییر اقلیم، دو حالت کلی بوجود می‌آید. در حالت اول حرکت پیک‌های نمودار بارش در دوره پایه به سمت ماه‌های پاییز تحت اثر تغییر اقلیم نشانگر آن است که بارش‌های شدید قبل از فصل رویش گیاهان و تشکیل پوشش گیاهی رخ داده است لذا حجم فرسایش و انتقال رسوب و به تبع آن مواد مغذی که با رسوبات منتقل می‌شوند (مانند فسفر) افزایش می‌یابد. در حالت دوم اگر تحت اثر تغییر اقلیم پیک‌های نمودار بارش در دوره پایه به سمت ماه‌های بهار جابه‌جا شوند، به دلیل پوشش گیاهی موجود در مراتع و نفوذ کمتر آب به خاک، رواناب‌های تشکیل شده فضولات ناشی از چرای دام در مراتع را بیشتر می‌شوید و به تبع آن مواد مغذی که با جریان جابه‌جا می‌شوند (مانند نیتروژن) را به آبراهه‌ها منتقل

بهیود عملکرد محصولات تابستانه مانند ذرت می‌گردد. مدل GCM 4 تغییرات زیادی در مقدار بارش تحت اثر همه سناریوها در فصول مختلف را نشان نمی‌دهد به جز مقدار بارش در فصل زمستان تحت اثر سناریو RCP 8.5 که افزایش زیادی یافته است. با توجه به این که مدل GCM 4 تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب را پیش‌بینی می‌کند، پیشنهاد می‌شود کشت محصولاتی مانند ذرت تا حد امکان در فصول گرم نباشد. مدل GCM 5 در فصول بهار، تابستان و پاییز تغییرات زیادی برای بارش نسبت به دوره پایه نشان نمی‌دهد ولی در فصل زمستان تحت اثر سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 کاهش شدید بارش و سناریو RCP 6 افزایش زیاد بارش را محاسبه می‌کند. تغییر زمان کشت متناسب با این مدل به دلیل تفاوت‌های زیاد بارش در سناریوهای مختلف ریسک بالایی دارد.

در وضع موجود سهم بارش در فصل زمستان ۶۵/۸، بهار ۵/۱، تابستان ۱/۸ و پاییز ۲۷/۴ درصد است. با مقایسه مقادیر بارش سالانه در آینده با دوره پایه تحت اثر سناریو اول کاهش یافته است. در سناریو دوم نتایج مدل G1 و G4، در سناریو سوم مدل G1 و G5 و در سناریو چهارم مدل G1 و G4 افزایش بارش و باقی حالات کاهش مقادیر بارش سالانه را نشان می‌دهند. در فصل زمستان اغلب مقادیر بارش افزایش یافته است که شدیدترین حالت سناریو اول با ۱۳ درصد افزایش است. افزایش بارش در فصل زمستان باعث استفاده بیشتر محصولاتی مانند گندم (۶۵ درصد از نیاز آبی گندم در زمستان است)، باقلا (۷۷ درصد از نیاز آبی باقلا در زمستان است) و بادمجان (۳۹ درصد از نیاز آبی بادمجان در زمستان است) از آب سبز می‌شود که این امر موجب جلوگیری از افت عملکرد محصولات می‌گردد. سهم فصول بهار و تابستان از بارش سالانه بسیار کم است (در مجموع حدود ۸ درصد از بارش سالانه) که با وجود این کمبود آب سبز کشت محصولات در بهار توصیه نمی‌شود. سهم بارش سالانه برای فصل بهار در اغلب سناریوها کمتر از ۲ درصد تغییر کرده است. در همه سناریوها در فصل تابستان کاهش شدید بارش را شاهد هستیم که باعث آسیب به محصولات تابستانه مانند ذرت که ۸۰ درصد آب مورد نیازش باید در تابستان تأمین شود، می‌گردد. با این تفاسیر کشت محصولات تابستانه مانند ذرت در این منطقه با در نظر گرفتن سناریو اول پیشنهاد نمی‌شود. سهم بارش سالانه برای فصل پاییز در اغلب سناریوها کمتر از ۵ درصد تغییر کرده است، بارش پاییز حدوداً ۲۷ درصد از بارش سالانه را تشکیل می‌دهد که این موضوع باعث فراهم آمدن آب سبز برای گیاهانی که دوره رشد آن‌ها با فصل پاییز همپوشانی دارد (گندم ۱۰ درصد، باقلا ۲۳ درصد و بادمجان ۵ درصد از نیازش در پاییز است) می‌شود.

می‌کنند. طبق شکل ۳ در دوره (۲۰۸۰-۲۰۹۹)، G2S1، G1S1، G4S1، G5S4، G4S2، G5S2، G2S3، G4S3، G5S3، G1S4 و G3S4 بیانگر مصادیق حالت اول و G4S4، G1S2، G2S2، G5S1 و G3S4 بیانگر حالت دوم هستند. در برخی از سناریوها نمودار بارش دارای دو پیک با اختلاف زیاد است (G2S3 و G3S3) که این پدیده باعث آسیب به مراتع و گیاهان آسیب‌پذیر نسبت به کم آبی می‌شود. در سناریو RCP 2.6، مدل G1 در ماه ژانویه تقریباً دو برابر مقدار دوره پایه پیش‌بینی کرده است و در ماه‌های بعدی افت بارش را نشان می‌دهد که این موضوع تفاوت نتایج مدل G1 با سایر مدل‌ها و افزایش احتمال وقوع سیلاب و فرسایش را بیان می‌کند. همین موضوع برای مدل G5 در ماه دسامبر و در سناریو RCP 8.5 رخ می‌دهد ولی به دلیل اینکه RCP 2.6 سناریو خوشبینانه است، بارش‌های حدی در آن ریسک بالاتری را شامل می‌شوند.

در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، G2S1، G5S1، G1S2، G4S3، G3S2، G1S4، G4S1 و G3S3 مصادیق حالت اول و G1S4 بیانگر حالت دوم هستند. در سناریو RCP 4.5، مدل G1 و G3 در ماه ژانویه تقریباً دو برابر مقدار دوره پایه پیش‌بینی کرده‌اند و در ماه بعدی (فوریه) افت شدید و ناگهانی بارش را نشان می‌دهد که این موضوع نشانگر تفاوت زیاد نتایج سناریو RCP 4.5 با سایر سناریوها و افزایش احتمال وقوع وقایع حدی و فرسایش را بیان می‌کند. مجموع بارش در هر فصل تحت اثر سناریوهای تغییر اقلیم و برای ۵ مدل GCM محاسبه شده است. برای تعیین زمان مناسب کشت محصولات در هر منطقه فاکتورهای زیادی از جمله دما و بارش مؤثر است. با توجه به اینکه حوضه رودخانه میناب در نواحی گرم و خشک قرار دارد، فاکتور بارش برای مشخص نمودن زمان مناسب کشت از اهمیت بسزایی برخوردار است. مدل GCM1 در فصل پاییز در همه سناریوها افزایش بارش را نشان می‌دهد. همینطور در فصل بهار نیز بارش بیشتر یا مساوی مقادیر مشاهداتی است. اگر ملاک عملکرد در آینده مدل GCM1 باشد، پیشنهاد می‌شود جهت استفاده حداکثر از بارش زمان کشت محصولات از نیمه اول پاییز شروع شود. مدل GCM2 در همه سناریوها و فصول مختلف کاهش در مقدار بارش را نشان می‌دهد ولی الگوی کاهش منطبق بر الگوی بارش در دوره پایه است و بهتر است زمان کشت محصولات تغییر نکنند. مدل GCM 3 در همه سناریوها و در فصول پاییز و زمستان کاهش بارش را گزارش می‌کند ولی در فصول تابستان و بهار مقادیر بارش افت زیادی ندارند یا افزایش یافته‌اند، برای مثال بارش در تابستان تحت اثر سناریو RCP 6 بیش از سه برابر شده است. به دلیل کم بودن مقادیر بارش در فصول گرم نسبت به فصول سرد، با وجود افزایش بارش در فصل تابستان و بهار، توصیه نمی‌شود که زمان کشت به این ماه‌ها سوق داده شود ولی این افزایش بارش باعث

می‌افتد. حداکثر عملکرد محصول باقلا در شرایط G5S2 و G5S2 تقریباً برابر ۱۴/۵ تن در هر هکتار و حداقل ۴ تن در هر هکتار تحت اثر G1S2 محاسبه شده است.

حداکثر عملکرد محصول ذرت تقریباً برابر ۷ تن در هر هکتار در شرایط G4S2 و حداقل ۳/۷ تن در هر هکتار اغلب تحت اثر S4 رخ می‌دهد. حداکثر عملکرد محصول بادمجان حدوداً برابر ۳۸ تن در هر هکتار در شرایط G5S3 و حداقل ۱۲ تن در هر هکتار تحت اثر G1S2 اتفاق

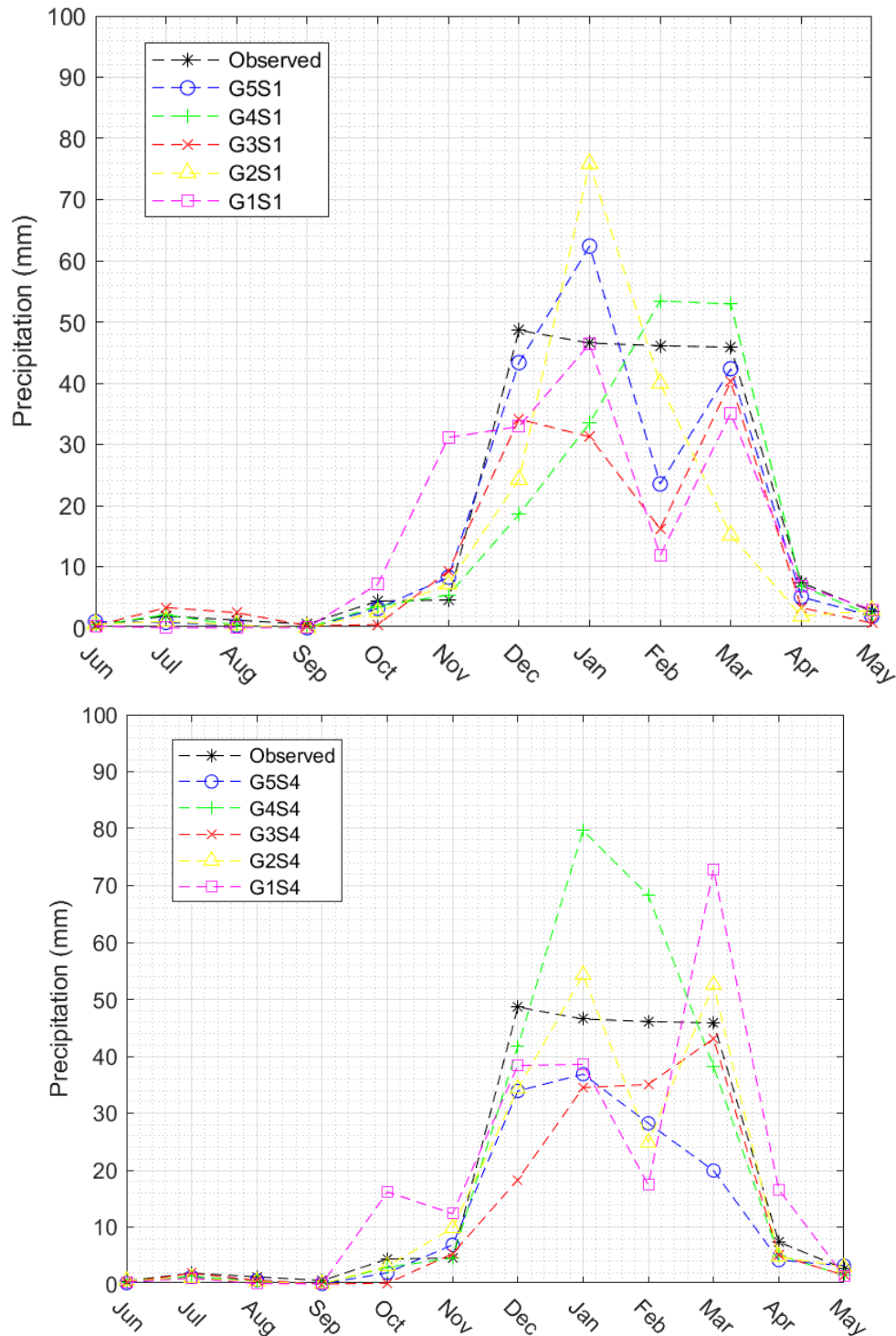


Fig. 3- Average monthly precipitation changes due to RCP8.5 climate change scenario (2021-2040) compared to baseline

شکل ۳- تغییرات میانگین بارش ماهانه تحت اثر سناریو RCP8.5 تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه

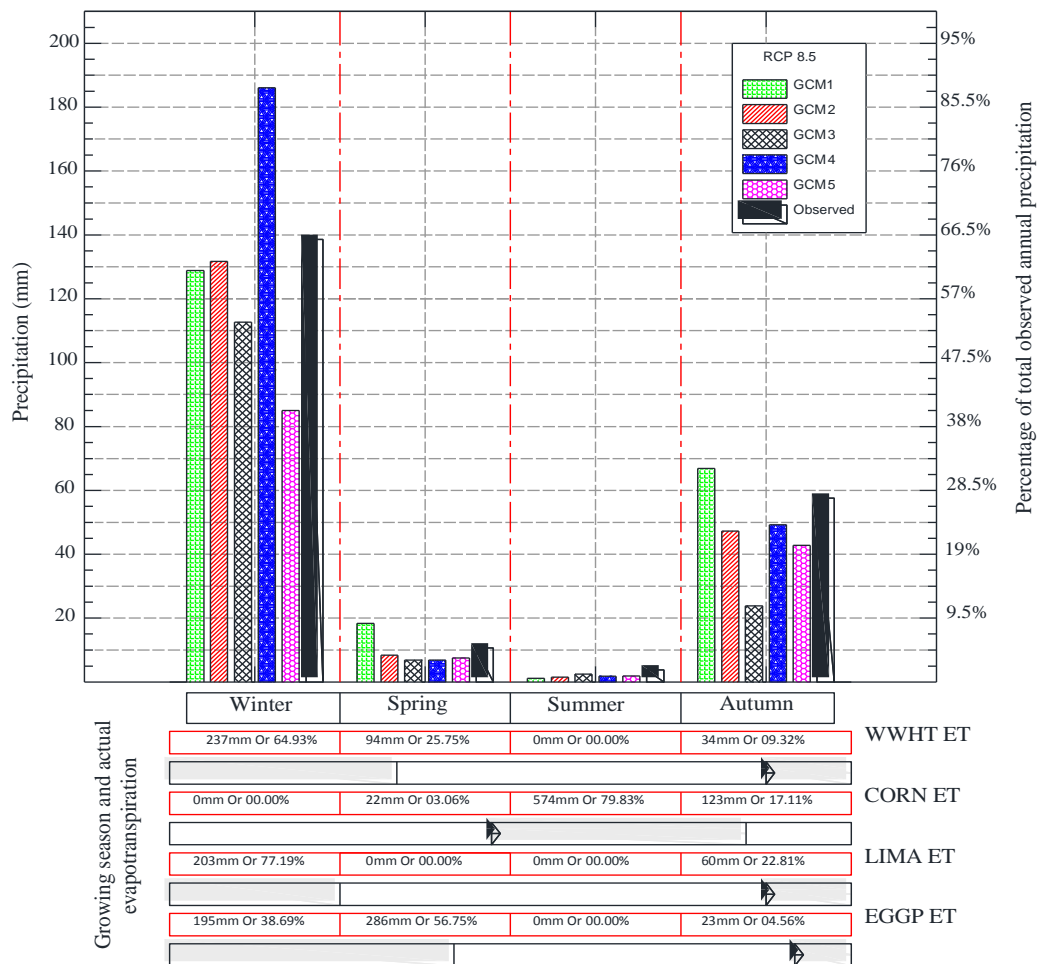


Fig. 4- Seasonal average precipitation variations in RCP8.5 criteria compared to growing season (2021-2040)
 شکل ۴- تغییرات میانگین بارش تحت اثر سناریو RCP8.5 در هر فصل در مقایسه با دوره رشد گیاهان (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

Table 2- Percentage of average annual and standard precipitation variation (2021-2040)
 جدول ۲- درصد تغییرات میانگین و انحراف معیار بارش سالانه (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

	GCM1 (%)		GCM2 (%)		GCM3 (%)		GCM4 (%)		GCM5 (%)		Average of GCMs (%)	
	Std.	Avg.	Std.	Avg.	Std.	Avg.	Std.	Avg.	Std.	Avg.	Std.	Avg.
S1	-22.2	-17	5.7	-18.3	-31.2	-32.5	-6.3	-14.9	-0.3	-8.6	-10.9	-18.3
S2	40.3	24	-17.2	-17.9	7.7	-16.6	14.1	7	-30.3	-31.5	2.9	-7
S3	-2.0	15.1	-29.7	-30	-9.0	-4.7	7.5	-11.8	48.7	37.2	3.1	1.1
S4	2.2	2.2	-5.0	-10.2	-25.2	-30.7	34.0	15.9	-34.6	-34.8	-5.7	-11.5

محصولات دیگر مخصوصاً گندم به دلیل همپوشانی دوره رشد با فصل‌های پر باران کم ولی تغییرات واریانس عملکرد زیاد است.

پس از مرحله تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر در دبی، نیترات و عملکرد محصول به شرح جدول ۳ بدست آمد. از بین پارامترهای دبی، پارامترهای ۹ تا ۱۱ مربوط به واسنجی دبی پایه هستند. مقدار ضرایب R^2 ، برای واسنجی آبدهی ایستگاه برنطین- میناب به ترتیب

حداکثر عملکرد محصول گندم حدوداً برابر ۳/۹ تن در هر هکتار در شرایط G1S2 و حداقل ۱/۲ تن در هر هکتار تحت اثر G3S1 به دست آمده است. میانگین عملکرد محصول گندم و باقلا در مدل G3 و همه سناریوها نسبت به سایر حالات کمتر محاسبه شده است. به دلیل کاهش بارش در تابستان در اثر تغییر اقلیم میانگین عملکرد محصول ذرت افت داشته است که نتایج مربوط به مدل‌سازی عملکرد محصول نیز بیانگر این موضوع است. همچنین تغییرات میانگین عملکرد

برابر ۰/۹ و ۰/۸۹ است و برای صحت‌سنجی داده‌های آبدهی ضریب واسنجی و صحت‌سنجی نیترات به ترتیب برابر ۰/۶۲ و ۰/۴۳ به دست N.S برابر ۰/۵۲ محاسبه شده است. برای واسنجی و صحت‌سنجی بار نیترات از داده‌های ماهیانه استفاده شده است. نتایج ضریب N.S برای

Table 3- Selected parameters after sensitivity analysis
جدول ۳- پارامترهای منتخب پس از تحلیل حساسیت

	parameter	Fitted value	Description			
Flow parameters	r_SOL_AWC(1).sol	-0.11859	Available water capacity of the soil layer			
	r_SOL_BD(1).sol	-0.45338	Moist bulk density			
	r_SOL_K(1).sol	-0.15775	Saturated hydraulic conductivity			
	v_CH_K2.rte	30.25723	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium			
	r_CH_N2.rte	0.308173	Manning's "n" value for the main channel			
	r_CN2.mgt	-0.80966	SCS runoff curve number			
	r_GW_DELAY.gw	0.469241	Groundwater delay			
	r_ALPHA_BF.gw	-0.9609	Base flow alpha factor			
Base flow parameters	v_GWQMN.gw	2833.379	Threshold depth of water in the shallow aquifer for return flow to occur			
	v_GW_REVAP.gw	-0.06618	Groundwater "revap" coefficient			
	v_REVAPMN.gw	-49.3125	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur			
NO ₃ parameters	r_NPERCO.bsn	-0.9495	Nitrogen percolation coefficient			
	r_SOL_CBN().sol	0.4075	Organic carbon content			
	v_N_UPDIS.bsn	84.650002	Nitrogen uptake distribution parameter			
Crop yield parameters	plant	Corn	Eggplant	Lima bean	Wheat	
	T_BASE{ }.plant.dat	12.15	5.749	3.15	12.11	Min temp for plant growth
	T_OPT{ }.plant.dat	42	23.514	47	43	Optimal temp for plant growth
	DLAI{ }.plant.dat	0.4	0.754	0.25625	0.38375	Fraction of growing season when leaf area starts declining
	LAIMX2{ }.plant.dat	0.86	0.445	0.125	0.875	Fraction of the max. leaf area index
	LAIMX1{ }.plant.dat	0.64	0.322	0.425	0.625	Fraction of the max. leaf area index
	BLAI{ }.plant.dat	2.213	12.23	5.4875	2.1625	Max leaf area index
	HVSTI{ }.plant.dat	0.875	0.859	1.157	0.909	Harvest index
	BIO_E{ }.plant.dat	39	90.737	84	40	Biomass/Energy Ratio
	FRGRW2{ }.plant.dat	0.983	0.628	0.675	0.975	Fraction of the plant growing season
FRGRW1{ }.plant.dat	0.264	5.749	0.075	0.275	Fraction of the plant growing season	

مشاهداتی هستیم که مشخص می‌شود احتمال وقوع آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد است. هرچقدر اختلاف بین نمودارهای دبی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد در هر سناریو کم باشد (مانند سناریو RCP 6 در ماه دسامبر، مارس و فوریه) نشانگر این است که جریان‌های حدی کمتر رخ می‌دهند و جریان از پایداری خوبی برخوردار است.

میانگین بار نیتراژ ورودی در اغلب موارد در حدود میانگین نیتراژ در دوره مشاهداتی یا بیشتر از آن است. چارک‌ها بسیار به چارک‌های اطلاعات مشاهداتی نزدیک است ولی مقادیر حداکثر بار نیتراژ به شدت متغیر است. میانگین بار نیتراژ تحت اثر هر چهار سناریو و در تمامی ماه‌ها، هرچند کم، افزایش یافته است. حداکثر بار نیتراژ تحت اثر همه سناریوها از حداکثر بار نیتراژ مشاهداتی بیشتر است و بیشترین اختلاف در ماه‌های دسامبر تا می مربوط به RCP 6 و در ماه‌های ژوئن تا نوامبر متأثر از RCP 4.5 است. عمده عوامل مؤثر در بار نیتراژ محاسبه شده در این منطقه، تعداد دام غیر متمرکز و کودهای کشاورزی است. جابه‌جایی قسمت عمده نیتراژ به وسیله رواناب صورت می‌گیرد و با نرخ انتقال دبی نسبت مستقیم دارد. هرچند عوامل دیگری مانند غلظت نیتراژ در آب نیز بسیار مؤثر است. با این تفاسیر این پدیده نیز ممکن می‌شود که با کاهش دبی به شرط افزایش غلظت، بار نیتراژ افزایش یابد. مقدار حداکثر بار نیتراژ تحت شرایط G5S3 و G1S2 در تمام ماه‌ها از ۲ تا ۱۸ برابر حداکثر بار نیتراژ مشاهداتی متغیر است.

غالباً در شرایط G5S3 مقادیر حداکثر دبی لحظه‌ای رخ می‌دهد البته در ماه ژانویه جریان به بزرگی ۱۶۵ مترمکعب بر ثانیه تحت اثر G1S1 محاسبه شده است و در ماه مارس جریان به بزرگی ۱۹۵ مترمکعب بر ثانیه تحت اثر G3S1 محاسبه شده است. بیشترین مقادیر حداکثر جریان در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس یعنی اغلب در فصل زمستان رخ داده است. نتایج برای تمامی سناریوها در مدل‌های مختلف در ماه‌های گرم سال (June-October) در منطقه مورد مطالعه بسیار به هم نزدیک است.

میانگین دبی ورودی به مخزن سد تحت تمامی شرایط مورد بررسی، کاهش یافته است. مقادیر حداکثر جریان در ماه دسامبر برای هر چهار سناریو از مقادیر حداکثر جریان مشاهده شده بیشتر است ولی در اکثر ماه‌های سال جریان حداکثر تحت اثر سناریوها کمتر از جریان حداکثر اتفاق افتاده در دوره پایه است. در ماه‌های ژانویه، آگوست و سپتامبر موارد حداکثر جریان تحت اثر سناریو RCP 2.6 از مقادیر حداکثر جریان مشاهده شده بیشتر است. حداقل جریان تحت اثر هر ۴ سناریو کمتر از حداقل جریان در هر ماه محاسبه شده است.

با استفاده از احتمال تجمعی بر اساس تابع توزیع ویبول (WEIBULL)، مقادیر دبی که با احتمال تجمعی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد رخ می‌دهد برای دوره پایه و سناریوهای مختلف محاسبه شده است. منظور از دبی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد این است که به ترتیب در ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد مواقع این دبی یا بیشتر از آن رخ می‌دهد. در شکل ۵ شاهد جریان حدی شدید در ماه‌های فوریه و مارس در داده‌های

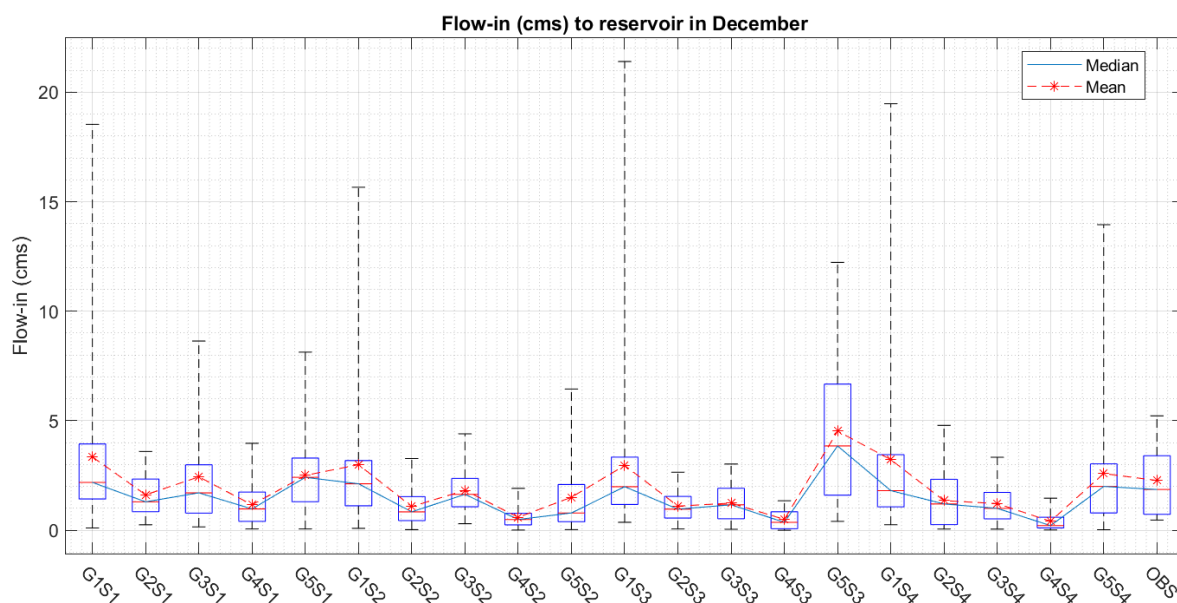


Fig. 5- Sample boxplots for inflow to reservoir due to various scenarios and GCMs
 شکل ۵- نمونه نمودار جعبه‌ای جریان ورودی به مخزن سد تحت اثر سناریوها و مدل‌های مختلف

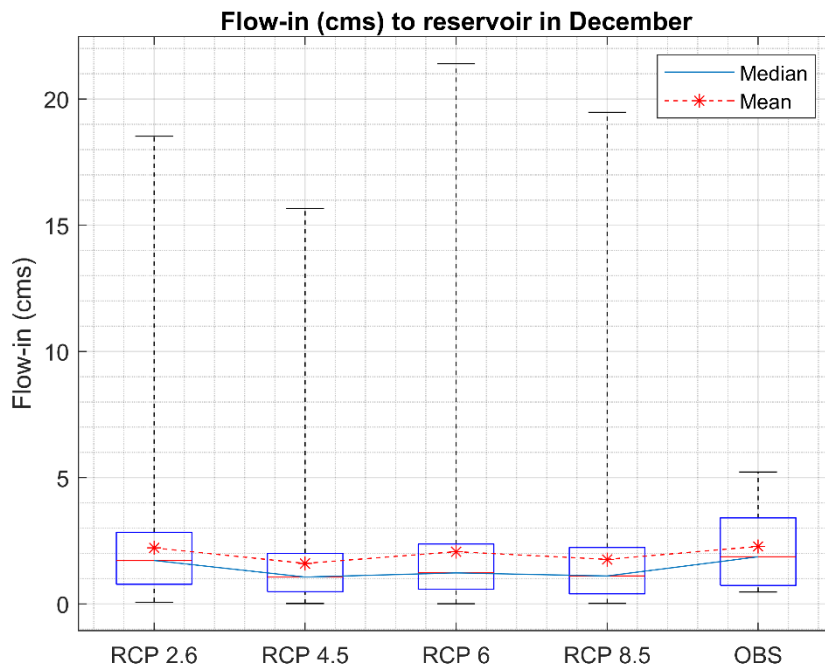


Fig. 6- Sample boxplots for inflow to reservoir due to various scenarios for each month
 شکل ۶- نمونه نمودار جعبه‌ای جریان ورودی به مخزن سد تحت اثر سناریوهای مختلف برای هر ماه

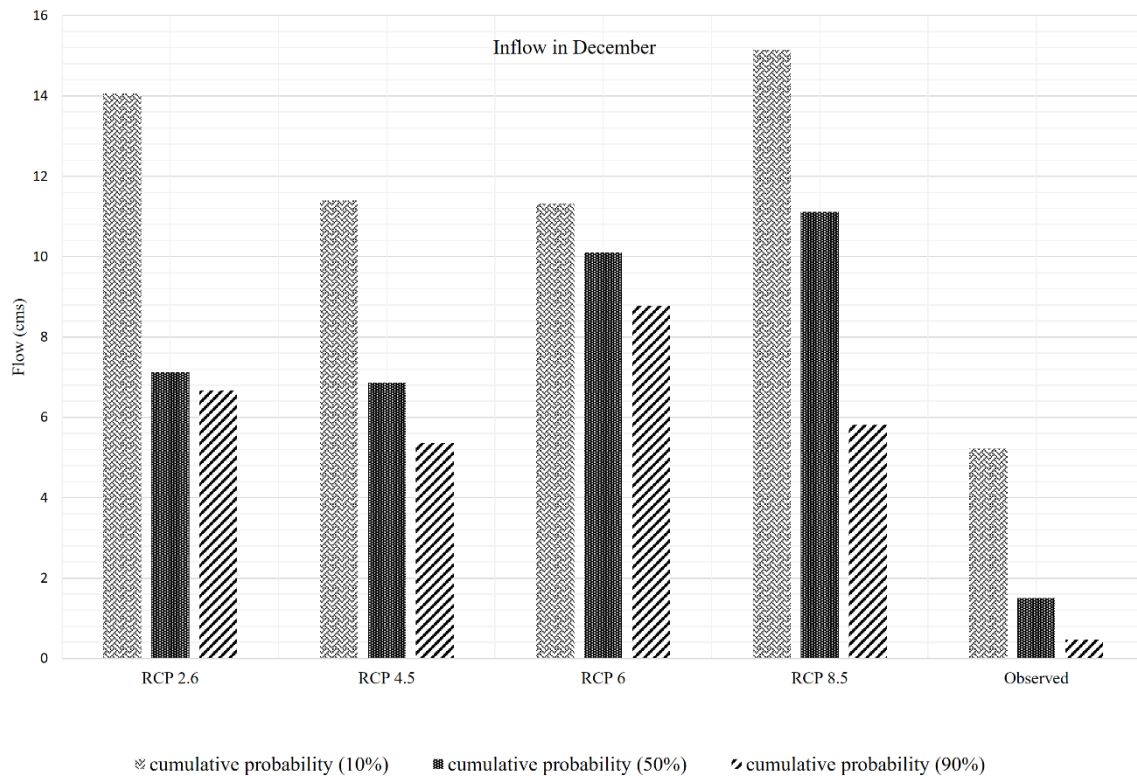


Fig. 7- Sample bar charts for Probabilistic inflow to reservoir due to various scenarios
 شکل ۷- نمونه نمودار میله‌ای جریان احتمالی ورودی به مخزن سد تحت اثر سناریوها

احتمالی است. نظر به این که میانگین بار نیترات ورودی به مخزن سد تحت شرایط تغییر اقلیم افزایش کمی نسبت به میانگین بار نیترات ورودی به مخزن در دوره پایه دارد و همچنین با مقایسه چارکها در نمودارهای مشابه شکل ۸ نتیجه می شود که مقادیر میانگین بار نیترات در کل افزایش چشم گیری نسبت به دوره پایه ندارد. البته مقادیر حداکثر بار نیترات ورودی به مخزن تحت اثر هر چهار سناریو و در همه ماههای سال افزایش قابل توجهی (حداقل ۲ و حداکثر ۱۸ برابر) داشته است، که نشان دهنده خطرپذیری حوضه و لزوم مدیریت آن است. منابع عمده نیترات در منطقه مورد مطالعه کودهای کشاورزی و دامداری (غیر نقطه ای) هستند. با توجه به افزایش بار نیترات تحت اثر تغییرات اقلیم لازم است اقداماتی جهت کنترل و نظارت بر کشاورزی و دامداری صورت گیرد. میانگین عملکرد محصول ذرت در اثر تغییر اقلیم کاهش می یابد ولی برای سایر محصولات (گندم، باقلا و بادمجان) تقریباً میانگین ثابت است. در حالت کلی از کاهش دبی ورودی به مخزن و تغییرات کم میانگین عملکرد محصولات می توان نتیجه گرفت که کاهش عملکرد محصول ناشی از افت بارش تا قسمتی با افزایش تخصیص رواناب به زمین های کشاورزی جبران شده است که این امر موجب کاهش دبی ورودی به مخزن سد می شود. در این شرایط از افزایش بار نیترات ورودی به مخزن سد و کاهش جریان ورودی به مخزن نتیجه می شود که غلظت نیترات در رواناب ورودی افزایش یافته است که این امر می تواند منتج از جابه جایی حداکثر بارش به سمت فصل چرای دام یا افزایش سهم آب برگشتی کشاورزی در رواناب ورودی به مخزن باشد.

نتایج حالت GIS2 نشان دهنده پدیده های حدی شدید (بیشتر از نوع افزایشی) است که تفاوت زیادی با سایر مدل ها در پیش بینی بار نیترات در منطقه مورد مطالعه دارد. مقادیر حدی بار نیترات در ماه های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) تحت اثر سناریوی RCP 4.5 خیلی بیشتر از مقادیر حدی مشاهداتی پیش بینی شده است که این موضوع خطر تغذیه گرایمی مخزن سد را افزایش می دهد. به منظور حفظ و کنترل شاخص های کیفیت آب از جمله تغذیه گرایمی مخزن سد، حوضه آبریز نیازمند برنامه ریزی جامع و بلندمدت مدیریت اراضی کشاورزی، آب سبز، آب برگشتی کشاورزی و دامداری غیر متمرکز است.

۴- نتیجه گیری

با توجه به اقلیم موجود منطقه، در حال حاضر پراکندگی بارش در روزهای سال کم است ولی شدت بارش های ثبت شده زیاد است که این امر منجر به وقوع سیلاب می شود. نتایج تغییر اقلیم نشان می دهد که دبی ورودی به مخزن سد استقلال در خوشبینانه ترین حالت نزدیک به میانگین جریان ورودی در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۵) ولی باز هم کمتر است. با وجود کاهش میانگین بارش در تمام سناریوها، در ماه های دسامبر و ژانویه حداکثر جریان ورودی به مخزن سد در هر چهار سناریو بیشتر از مقدار ثبت شده در دوره پایه، محاسبه شده است. این امر نشان دهنده این موضوع است که احتمال وقوع سیلاب در این دو ماه تحت اثر تغییر اقلیم افزایش می یابد لذا حوضه و سد نیازمند در نظر داشتن تمهیدات مدیریتی جهت کنترل و مدیریت سیلاب های

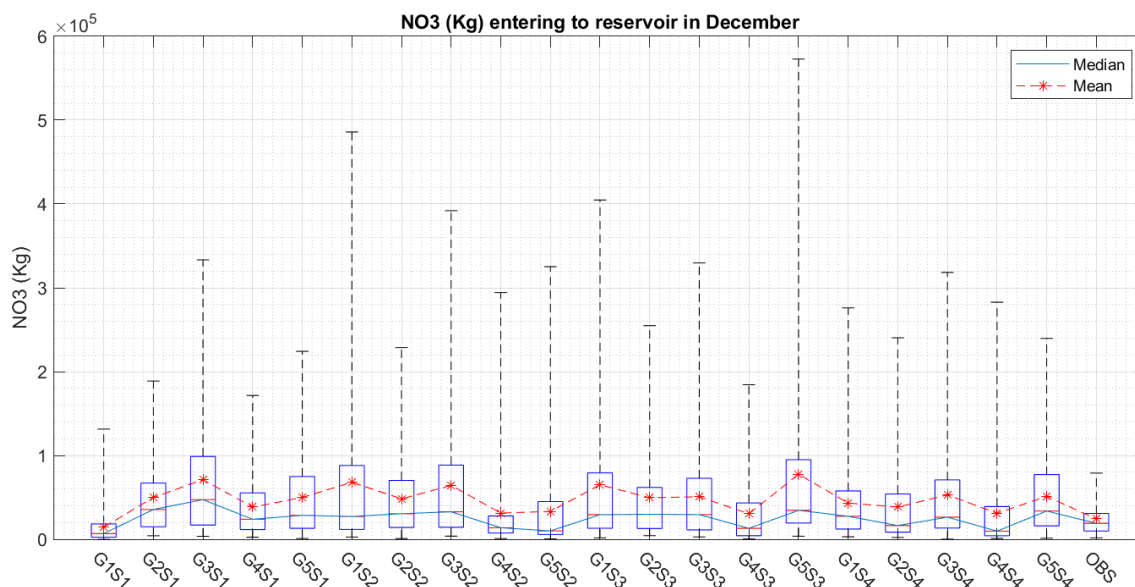


Fig. 8- Sample box-plots for NO₃ (kg) entering to reservoir due to various scenarios and GCMs
 شکل ۸- نمونه نمودار جعبه ای نیترات (kg) ورودی به مخزن سد تحت اثر سناریوها و مدل های مختلف

technique. Iran-Water Resources Research 14(5):31–41 (In Persian)

Beven KJ (2011) Rainfall-runoff modelling: the primer. John Wiley & Sons

Castellia G, Minellib A, Teferab ML, Brescia E, Hagosc EY, Embayec TG, and Sebhatleabd M (2017) Impacts of rainwater harvesting and rainwater management on upstream–downstream agricultural ecosystem services in two catchments of southern Tigray, Ethiopia. Chemical Engineering 58

Chen Y, Marek GW, Marek TH, Moorhead JE, Heflin KR, Brauer DK, Gowda PH, and Srinivasan R (2019) Simulating the impacts of climate change on hydrology and crop production in the Northern High Plains of Texas using an improved SWAT model. Agricultural Water Management 221:13–24

Clarke L, Wise M, Kim S, Smith S, and Lurz J (2007) Model documentation for the minicam climate change science program stabilization scenarios: Ccsp product 2.1 a. Pacific Northwest National ... (July). Available at: /citations?view_op=view_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Den%26start%3D108%26as_sdt%3D0,21%26scilib%3D1&citilm=1&citation_for_view=TZR356oAAAAJ:UebtZRa9Y70C&hl=en&oi=p

Du X, Shrestha NK, and Wang J (2019) Assessing climate change impacts on stream temperature in the Athabasca River Basin using SWAT equilibrium temperature model and its potential impacts on stream ecosystem. Science of the Total Environment 650:1872–1881

Ficklin DL, Luo Y, Luedeling E, and Zhang M (2009) Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT. Journal of Hydrology 374(1–2):16–29

Freund ER, Abbaspour KC, and Lehmann A (2017) Water resources of the Black Sea Catchment under future climate and landuse change projections. Water (Switzerland) 9(8):1–18

Fujino J, Nair R, Kainuma M, Masui T, and Matsuoka Y (2006) Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using aim global model. Energy Journal 27(SPEC. ISS. NOV.):343–353, Available at: <http://www.iaee.org/en/publications/ejarticle.aspx?id=2199>

Guse B, Pfannerstill M, Strauch M, Reusser DE, Lütke S, Volk M, Gupta H, and Fohrer N (2016) On characterizing the temporal dominance patterns of model parameters and processes. Hydrological Processes 30(13):2255–2270

Hallegatte S, Rogelj J, Allen M, Clarke L, Edenhofer O, Field CB, Friedlingstein P, Van Kesteren L, Knutti

پی‌نوشت‌ها

1. Soil and Water Assessment Tool
2. General Circulation Models
3. Representative Concentration Pathway
4. Sequential Uncertainty Fitting version 2
5. Climate Change Toolkit

۵- مراجع

Abbaspour K (2015) SWAT- Calibration and Uncertainty Programs (CUP). Neprashtechology. Ca. Available at: http://www.neprashtechology.ca/wp-content/uploads/2015/06/Usermanual_SwatCup.pdf

Abbaspour KC, Rouholahnejad E, Vaghefi S, Srinivasan R, Yang H, and Kløve B (2015a) A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology 524:733–752, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>

Abbaspour KC, Rouholahnejad E, Vaghefi S, Srinivasan R, Yang H, and Kløve B (2015b) A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology 524:733–752, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>

Arnold JG and Fohrer N (2005) SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. Hydrological Processes 19(3):563–572

Arnold JG, Moriasi DN, Gassman PW, Abbaspour KC, White MJ, Srinivasan R, Santhi C, Harmel RD, Van Griensven A, and Van Liew MW (2012) SWAT: Model use, calibration, and validation. Transactions of the ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers 55(4):1491–1508

Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, and Williams JR (1998) Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 34(1):73–89

Ashraf Vaghefi S, Abbaspour N, Kamali B, and Abbaspour KC (2017) A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions- Case study: California-Baja California Peninsula. Environmental Modelling and Software 96:181–198

Babania F, Morid S, and Shokri A (2019) Assessment of the capacity of current agricultural water management of Zayaneh Rud Basin for adaptation to climate change using Robust Decision Making

- Mediterranean watershed. *Science of the Total Environment* 538:288–297
- Osei MA, Amekudzi LK, Wemegah DD, Preko K, Gyawu ES, and Obiri-Danso K (2019) The impact of climate and land-use changes on the hydrological processes of Owabi catchment from SWAT analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 25:100620
- Pyke C, Warren MP, Johnson T, LaGro Jr J, Scharfenberg J, Groth P, Freed R, Schroeer W, and Main E (2011) Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change. *Landscape and Urban Planning* 103(2):166–173
- Rao S and Riahi K (2006) The role of Non-CO greenhouse gases in climate change mitigation: Long-term Scenarios for the 21st Century. *The Energy Journal*. International Association for Energy Economics 27:177–200. Available at: <http://www.jstor.org/stable/23297081>
- Riahi K, Grübler A, and Nakicenovic N (2007) Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change* 74(7):887–935
- Schmalz B, Kuemmerlen M, Kiesel J, Cai Q, Jähnig SC, and Fohrer N (2015) Impacts of land use changes on hydrological components and macroinvertebrate distributions in the Poyang lake area. *Ecohydrology* 8(6):1119–1136
- Schuol J and Abbaspour KC (2006) Calibration and uncertainty issues of a hydrological model (SWAT) applied to West Africa. *Advances in Geosciences* 9:137–143
- Sinnathamby S, Douglas-Mankin KR, and Craige C (2017) Field-scale calibration of crop-yield parameters in the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Agricultural Water Management* 180:61–69
- Smith SJ and Wigley TML (2006) Multi-gas forcing stabilization with Minicam. *The Energy Journal*, JSTOR 373–391
- Song X, Duan Z, Kono Y, and Wang M (2011) Integration of remotely sensed C factor into SWAT for modelling sediment yield. *Hydrological Processes* 25(22):3387–3398
- Stocker T (2014) *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press
- Van Quan N and Kim G (2014) Assessment of climate change effects on future drought levels by combining R, and Mach KJ (2016) Mapping the climate change challenge. *Nature Climate Change*, Nature Publishing Group 6(7):663
- Hijioka Y, Matsuoka Y, Nishimoto H, Masui T, and Kainuma M (2008) Global GHG emission scenarios under GHG concentration stabilization targets. *Journal of Global Environment Engineering* 13:97–108
- Leta OT, El-Kadi AI and Dulaiova H (2016) Assessing the impact of climate change on extreme streamflow and reservoir operation for Nuuanu Watershed, Oahu, Hawaii. *AGU Fall Meeting Abstracts*
- Malagò A, Efstathiou D, Bouraoui F, Nikolaidis NP, Franchini M, Bidoglio G, and Kritsotakis M (2016) Regional scale hydrologic modeling of a karst-dominant geomorphology: The case study of the Island of Crete. *Journal of Hydrology* 540:64–81
- Marek GW, Gowda PH, Marek TH, Porter DO, Baumhardt RL, and Brauer DK (2017) Modeling long-term water use of irrigated cropping rotations in the Texas High Plains using SWAT. *Irrigation Science* 35(2):111–123
- Meinshausen M, Smith SJ, Calvin K, Daniel JS, Kainuma MLT, Lamarque J-F, Matsumoto K, Montzka SA, Raper SCB, and Riahi K (2011) The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109(1–2):213
- Misaghi F and Noori M (2018) Simulation of nitrate input from agricultural land to the river using the SWAT model (Case study: Zanjanrood). *Iran-Water Resources Research* 14(2):155–168 (In Persian)
- Nassiri M, Koocheki A, Kamali GA, and Shahandeh H (2006) Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). *Archives of Agronomy and Soil Science* 52(1):113–124
- Nazari Mejdari H, Moridi A, Yazdi J, and KhazaiePoul A (2019) Sustainability outlook of domestic and agricultural demand of dusti dam considering climate change scenarios and impact of Salma Dam. *Iran-Water Resources Research* 15(3):17–32 (In Persian)
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, and Williams JR (2009) *Soil and water assessment tool theoretical documentation*. Blackland Research Center, Temple, TX 647
- Nerantzaki SD, Giannakis G V, Efstathiou D, Nikolaidis NP, Sibetheros IA, Karatzas GP, and Zacharias I (2015) Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic

- American Association for the Advancement of Science 324(5931):1183–1186
- Woznicki SA, Nejadhashemi AP, Abouali M, Herman MR, Esfahanian E, Hamaamin YA, and Zhang Z (2016) Ecohydrological modeling for large-scale environmental impact assessment. *Science of the Total Environment* 543:274–286
- Yang J, Reichert P, Abbaspour KC, and Yang H (2007) Hydrological modelling of the Chaohe Basin in China: Statistical model formulation and Bayesian inference. *Journal of Hydrology* 340(3–4):167–182
- Yang X, Liu Q, Fu G, He Y, Luo X, and Zheng Z (2016) Spatiotemporal patterns and source attribution of nitrogen load in a river basin with complex pollution sources. *Water Research* 94:187–199
- Ye L and Grimm NB (2013) Modelling potential impacts of climate change on water and nitrate export from a mid-sized, semiarid watershed in the US Southwest. *Climatic Change* 120(1–2):419–431
- a hydrological model and Standardized Precipitation Index (SPI) in the Nakdong river basin, Korea. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering* 6(9):239–251
- Van Vuuren DP, Den Elzen MGJ, Lucas PL, Eickhout B, Strengers BJ, Van Ruijven B, Wonink S, and Van Houdt R (2007) Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change* 81(2):119–159
- Van Vuuren DP, Eickhout B, Lucas PL, and Den Elzen MGJ (2006) Long-term multi-gas scenarios to stabilise radiative forcing-exploring costs and benefits within an integrated assessment framework. *The Energy Journal*, JSTOR 201–233
- Wise M, Calvin K, Thomson A, Clarke L, Bond-Lamberty B, Sands R, Smith SJ, Janetos A, and Edmonds J (2009) Implications of limiting CO₂ concentrations for land use and energy. *Science*,