

## Research Paper

# Investigation the Effect of Climate Change and Land Use Change on the Future Flow of the Kor and Sivand Rivers Using the SWAT Model

Mostafa Bayesteh<sup>1</sup>,Heidar Zarei<sup>2\*</sup>

1. Department of Hydrology and water resource, Faculty of water engineering and environmental, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Department of Hydrology and water resource, Faculty of water engineering and environmental, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email:zareih@scu.ac.ir



10.22125/iwe.2025.533564.1889.

Received:  
June 9, 2025

Accepted:  
September 7, 2025

Available online:  
December 25, 2025

**Keywords:**  
Climate change, land use, Bakhtegan basin, Run off, SWAT

## Abstract

Numerous effects of land use and climate change on the basin's hydrological components alter the features of its water supplies. This study examined the joint effects of land use and climate change on runoff in the Kor and Sivand basins using two climate models, HadGEM3-GC31-LL and MPI-ESM1-2-LR, under SSP1-2.6 and SSP5-8.5 scenarios for years 2021–2050. After obtaining photos of the area from the Landsat satellite's TM, ETM+, and OLI sensors, changes in land use were forecasted using the LCM model. River runoff was modeled using the SWAT hydrological model. The assessment criteria specify the model's intended performance throughout the calibration and validation phases. The HadGEM3-GC31-LL model predicts an increase in temperature and winter precipitation in the period 2021-2050. The MPI-ESM1-2-LR model indicates a drier future with a significant decrease in precipitation in the cold seasons and a relative increase in temperature. The study of land use changes in the region shows that forest and pasture cover have decreased and agricultural, horticultural, and residential uses are 2.3, 10.8, and 8.45 times greater than the base period, respectively. The HadGEM3-GC31-LL model forecasts an increase in discharge in the winter season under both scenarios and the effect of land use change due to increased precipitation so that the Chamriz station in January increased by 145% compared to the base period. The MPI-ESM1-2-LR model shows a uniform decrease in discharge at all stations, especially in the summer months.

## Introduction

Water quantity and quality are subject to changes in hydrological components due to climate change and land use phenomena that have occurred due to urbanization and deforestation. Investigating the effects of these two phenomena in the present and future on the hydrological system of the watershed is essential for making management decisions. Considering the environmental and economic conditions of the Bakhtegan Basin, agricultural development, and extensive changes in land use in the region, it is important to evaluate the impacts of such phenomena on the surface water resources of the Kor and Sivand rivers in the aforementioned basin. Therefore, in this paper, the simultaneous effects of climate change and land use on the surface water resources of the basin will be carried out using the SWAT model.

## Materials and Methods

First, using the output of the atmospheric general circulation models under the greenhouse gas emission scenarios of the sixth report, which were downscaled with the Lars-WG version 8 model, the precipitation, minimum temperature, and maximum temperature parameters were predicted. Then, the

\* **Corresponding Author:** Heidar zarei

**Address:** Department of Hydrology and water resource,  
Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

**Email:** zareih@scu.ac.ir

**Tel:** 09163033055

**Mostafa Bayesteh, Heidar Zarei\*, Investigation the Effect of Climate Change and Land Use Change on the Future Flow of the Kor and Sivand Rivers Using the SWAT Model**

LCM model was used to detect changes in the basin's land use in the period 2021-2050. Finally, the SWAT model was used to simulate the effects of climate change and land use on the basin's run off.

### Results

From the accuracy assessment of the studied climate models, it was found that the two models HadGEM3-GC31-LL and MPI-ESM1-2-LR had a good agreement with the recorded values of precipitation, minimum and maximum temperatures and were used as the models used in the research. The HadGEM3-GC31-LL model under the SSP5-8.5 and SSP1-2.6 scenarios shows an increase in precipitation in most months, especially in autumn and winter, and the MPI-ESM1-2-LR model shows a decrease in precipitation and an increase in temperature. The output of the LCM model indicates a significant change in land use during the period 2021-2050, especially a decrease in the area of pastures and forests and an expansion of the area of agricultural, garden and residential lands. The basin runoff under the effect of climate change and land use with the HadGEM3-GC31-LL model shows an increase in flow in winter and autumn and a decrease in summer. However, the MPI-ESM1-2-LR model has predicted a flow lower than the base period due to the decrease in precipitation.

### Discussion and Conclusion

The long-term forecast of the HadGEM3-GC31-LL model indicates an increase in precipitation in winter and autumn and a decrease and fluctuation in other months, but the MPI-ESM1-2-LR model shows a drier future with a significant decrease in precipitation in the cold seasons and a relative increase in temperature. The predicted land use maps in the study period confirm a decrease in forest area by 95 percent and an increase in agricultural land area by more than 2 times, indicating increasing human pressure on the natural resources of the basin. These developments, in conditions where surface and groundwater resources are in short supply, can endanger the ecological sustainability and water security of the basin. The results of this study indicate the interaction of climate change phenomena and land use and their complex effects on the water regime of the basin. In these conditions, the development of water resources management guidelines is recommended, taking into account different climate change scenarios and land use change trends to deal with the challenges ahead.

### Six important references

- 1) Azari, M., H. R. Moradi, B. Saghafian and M. Faramarzi. 2012. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gourganroud River Basin. *Water and Soil* 27(3): 537-547 (in Farsi).
- 2) Hedayat, S. 2016. Assessment and optimal management of groundwater resources (Bakhtegan-Maharlo watershed). Master's thesis, Water Engineering, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (In Persian).
- 3) Khoshravesh, M. and R. Norooz Valashedi. 2020. Investigation the effect of climate change scenarios on the monthlyflow discharge at the outlet of Gelevar Dam. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(4): 23-43. (in persian)
- 4) Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., and Daggupati, P. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-1785
- 5) Rashedi, S., S. A. Hisseini, S. Nazif and B. G. Cheshmeh. 2025. Modeling the effects of climate change and land use on flow rate and sedimentation by SWAT model in Anzali Wetland in the north of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(1), 69.
- 6) Shokouhifar, Y., H. Zarei, A. M. Akhondali and A. Khoramian. 2022. Assessment of effects of changes in landuse on the water balance components using SWAT (Case study: Doroudzan dam basin). *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(2), 139-150.

### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## بررسی اثر همزمان تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر جریان آینده رودخانه کر و سیوند با استفاده از مدل SWAT

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

مصطفی بایسته<sup>۱</sup>، حیدر زارعی<sup>۲\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶

مقاله پژوهشی

### چکیده

تغییر اقلیم و کاربری اراضی اثرات متعددی بر مولفه‌های هیدرولوژیکی حوضه می‌گذارند که باعث تغییر خصوصیات منابع آب حوضه می‌شود. در این پژوهش جهت بررسی اثر همزمان تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر رواناب حوضه‌های کر و سیوند از دو مدل اقلیمی HadGEM3-GC31-LL و MPI-ESM1-2-LR تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ استفاده شد. تغییرات کاربری اراضی پس از دریافت تصاویر منطقه از سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهواره لندست با مدل LCM پیش‌بینی گردید. برای شبیه‌سازی رواناب رودخانه‌ها از مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. معیارهای ارزیابی بیانگر عملکرد مطلوب مدل در دوره واسنجی، اعتبارسنجی می‌باشد. مدل HadGEM3-GC31-LL افزایش دما و بارش زمستانی در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌کند. مدل MPI-ESM1-2-LR آینده‌ای خشک‌تر با کاهش چشمگیر بارش در فصول سرد و افزایش نسبی دما نشان می‌دهد. بررسی تغییرات کاربری منطقه نشان می‌دهد پوشش جنگلی و مرتعی کاهش یافته و کاربری‌های کشاورزی، باغی و مسکونی به ترتیب ۲/۳، ۱۰/۸ و ۸/۴۵ برابر نسبت به دوره پایه بیشتر است. مدل HadGEM3-GC31-LL تحت هر دو سناریو و اثر تغییر کاربری به تبع افزایش بارش، افزایش دبی در فصل زمستان پیش‌بینی کرده است به طوری که ایستگاه چمریز در دیماه دبی ۱۴۵ درصد نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. مدل MPI-ESM1-2-LR در همه ایستگاه‌ها کاهش یکنواخت جریان بخصوص در ماه‌های تابستان را نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، کاربری اراضی، حوضه بختگان، دبی جریان، SWAT

۱- گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، رایانامه: mostafabayesteh1234@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، رایانامه: zareih@scu.ac.ir

## مقدمه

کمیت و کیفیت آب با توجه به ظهور پدیده‌های تغییر اقلیم و کاربری و پوشش اراضی در اثر فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی به یکی از مسائل مهم در سطح جهانی تبدیل شده است (Bangash و همکاران، ۲۰۱۳). تغییر اقلیم در سطح حوضه آبریز اثرات متعددی بر مولفه‌های هیدرولوژیکی مانند تبخیر، تعرق، دما، بارش، رواناب و ... می‌گذارد (Zhang و همکاران، ۲۰۲۲). از طرفی بر اساس مطالعات صورت گرفته تغییر کاربری اراضی سبب گسترش زمین‌های زراعی و شهرنشینی، توسعه جنگل‌زدایی و تخریب عرصه‌های طبیعی بخصوص در مناطق گرمسیری شده است (Song و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به آنچه گفته شد تغییرات اقلیمی و تغییر در پوشش و کاربری اراضی منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این‌رو ارزیابی اثرات این دو پدیده در شرایط حال و آینده بر سیستم هیدرولوژیک حوضه جهت اتخاذ تصمیم و سیاست‌های مدیریتی و تدوین برنامه بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است. برخی از مطالعات اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی را به صورت مجزا و برخی به صورت توأم این اثرات را بر فرایندهای هیدرولوژیک حوضه در مقیاس‌های مکانی و زمانی بررسی کرده‌اند که نتایج متفاوتی بدست آمده است (خوش‌روش و همکاران؛ ۱۳۹۹، آذری و همکاران، ۱۳۹۰). به عنوان مثال در مطالعه Manikanta و Kaposami (۲۰۲۵) اثرات توأم تغییرات اقلیمی و کاربری و پوشش اراضی حوضه‌ای نیمه-خشک در هند تحت سناریوهای RCP4.5<sup>۱</sup> و RCP8.5 با استفاده از مدل‌های LCM<sup>۲</sup> و SWAT<sup>۳</sup> بررسی شد. نتایج نشان داد تا سال ۲۰۳۰ کاهش آبدهی و پس از آن تا سال ۲۱۰۰ افزایش آبدهی در حوضه مورد انتظار است. Rashedi و همکاران (۲۰۲۵) اثرگذاری تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی بر نرخ جریان و میزان رسوبدهی رودخانه پسیخان در حوضه تالاب انزلی را مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌های پژوهش حاکی از افزایش ۶۶ درصدی مقدار

رسوب در حوضه می‌باشد. همچنین نتایج کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل عملکرد مطلوب مدل SWAT را نشان داد. Wldmchel و Osore (۲۰۲۵) تغییرات رژیم هیدرولوژیکی رودخانه جلانا در اتیوپی را تحت اثرات جداگانه و ترکیبی تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی را بررسی کردند. نتایج مدلسازی تغییرات قابل توجهی را در مقدار دبی رودخانه در بلند مدت نشان می‌دهد. ایرانشاهی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو MPI-ESM2 و سناریوهای انتشار-SSP1 و SSP2-4.5 و SSP5-8.5، 2.6 به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش ایستگاه‌های الشتر و خرم‌آباد پرداختند. نتایج حاکی از افزایش مقدار دمای حداقل و حداکثر در همه سناریوها برای دوره آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۶۳) نسبت به دوره پایه و کاهش بارش سالانه ۰/۳ تا ۱۶ و ۷ تا ۱۲ درصد برای ایستگاه الشتر و خرم‌آباد بود. Sharma و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی را به صورت مجزا و ترکیبی بر سیستم منابع آب منطقه‌ای گرم و مرطوب در هند بررسی کردند. در این پژوهش از مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بهره گرفتند. همچنین جهت مدلسازی تغییرات کاربری اراضی مدل LCM<sup>۴</sup> برای بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت، بلندمدت و میان مدت بکار گرفته شد. در پایان مشاهده شد که تغییرات کاربری اراضی باعث افزایش مقدار رواناب شده است اما تغییر اقلیم سبب کاهش مقدار تبخیر تعرق و رواناب حوضه خواهد شد. دنیایی و صراف (۱۳۹۹) برای ارزیابی شرایط آب‌وهوایی حوضه گرگانود تحت اثر تغییر اقلیم از مدل MIROC-ESM تحت سناریوهای RCP ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ در افق‌های زمانی مختلف استفاده کردند. نتایج بیانگر افزایش معنی‌دار دما و کاهش بارش و دبی در حوضه تا انتهای قرن ۲۱ می‌باشد. ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۹۸) به منظور بررسی پارامترهای حساس در شبیه‌سازی رواناب و دقت عملکرد مدل SWAT حوضه بختگان را مورد مطالعه قرار دادند.

3 - Soil and Water Assessment Tool

1 - Representative Concentration Pathways

2- Land Change Modeler



و همکاران، ۱۳۹۸) در این پژوهش جهت بررسی پاسخ هیدرولوژیک حوضه‌های کر و سیوند به تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی از این مدل بهره گرفته شد.

حوضه آبریز بختگان واقع در استان فارس یکی از حوضه‌های مهم کشور از نظر مسائل اقتصادی و نیز وجود دریاچه بختگان از حیث مسائل زیست محیطی محسوب می‌شود. در این حوضه بدلیل مصرف بیش از حد آب در بخش کشاورزی و توسعه کشت‌های پرمصرف نظیر برنج رودخانه‌های حوضه خشک شده (هدایت، ۱۳۹۳) و برداشت از منابع آب زیرزمینی با حفر چاه و قنات آغاز شده است تا جایی که در دهه‌های اخیر جهت تامین نیازهای آبی حوضه استفاده از آب‌های موجود در سازند سخت رایج شده است. با توجه به موارد مطرح شده بررسی تغییرپذیری حوضه تحت اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بدلیل کمبود آب و وجود زیست‌بوم دریاچه بختگان به لحاظ تامین نیاز زیست-محیطی و ایجاد تعادل بین منابع و مصارف حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است.

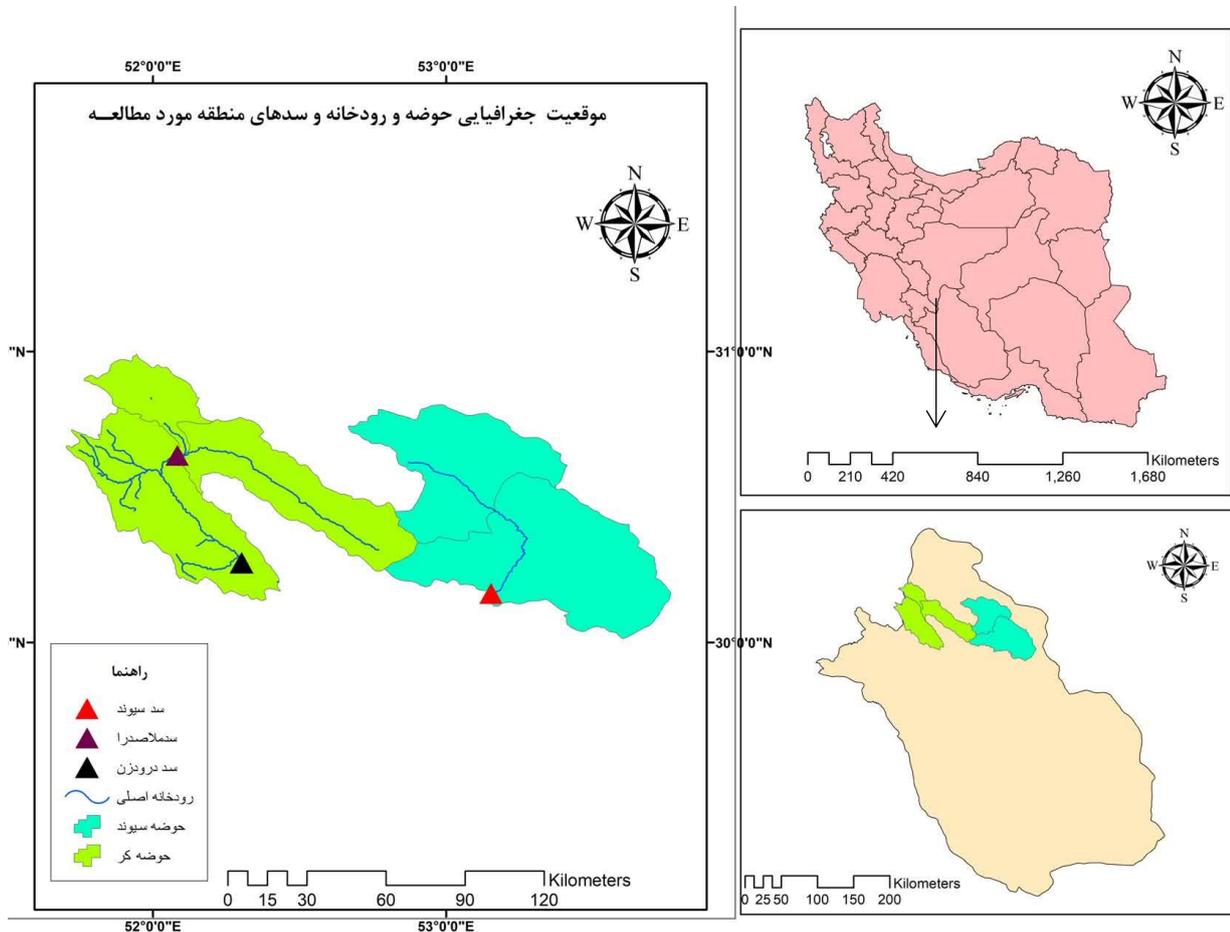
بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات توام تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر وضعیت هیدرولوژیک رودخانه‌های کر و سیوند تحت سناریوهای خوش بینانه و بدبینانه از بالادست حوضه تا محل جریان ورودی به سد درودزن انجام شده است.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

حوضه‌های آبریز کر و سیوند با مساحتی حدود ۲۸۲۳۴ کیلومتر در محدوده‌ای به مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه تا ۳۱ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی در استان فارس واقع گردیده است (غفاری‌جو، ۱۳۹۵).

مقادیر ضریب نش ۰/۷۱ و ۰/۷۴ در مرحله کالیبراسیون و اعتبارسنجی عملکرد مناسب مدل را تایید کرد. مطالعه تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی در حوضه آبریز کشف رود با استفاده از مدل SWAT تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 توسط کاظمی‌رشخواری و همکاران (۱۴۰۲) بیانگر کاهش دبی در اکثر مدل‌های اقلیمی مورد استفاده خواهد بود. شیخ‌ریعی و همکاران (۱۴۰۳) به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تولید رواناب و رسوب از ترکیب مدل‌های SDSM و SWAT و مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل canESM5 کارایی بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. همچنین خروجی مدل SWAT بیانگر کاهش مقدار رواناب و افزایش رسوب در تحت همه سناریوها بود. مطالعه تغییر کاربری و اقلیم حوضه آبریز گرین (نادری و همکاران، ۱۳۹۶) با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و کاربرد مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب نشان‌دهنده افزایش ۲/۲۸ درصدی پوشش جنگلی و کاهش ۲/۰۷ درصدی پوشش مرتعی همچنین افزایش دما و کاهش بارش و مقدار رواناب تا سال ۲۰۴۲ خواهد بود. شبیه‌سازی هیدرولوژیک نسبت به روش‌های تحلیل آماری و حوضه جفتی (Pair catchment) عملکرد مناسب‌تری برای مطالعه تغییرات کاربری و تغییر اقلیم داشته است (کاظمی‌رشخواری و همکاران، ۱۴۰۲). با گسترش برنامه‌های کامپیوتری در دهه‌های گذشته مدل‌های هیدرولوژیکی زیادی جهت شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب توسعه داده شده است که ویژگی خاص هر مدل باعث شده کاربر با توجه به شرایط مدل‌سازی مدل مورد استفاده را انتخاب نماید. با توجه به عملکرد مناسب و استفاده گسترده از مدل هیدرولوژیک توزیعی ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) (Rashedi و همکاران، ۲۰۲۵؛ Wldmchel و Osore، ۲۰۲۵؛ ذرتی‌پور



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و جانمایی رودخانه‌ها و سد‌های حوضه

در این حوضه‌ها بدلیل مشکلات اقتصادی- معیشتی و سایر مسائل کشاورزی بیش از حد توسعه یافته و به سمت کشت محصولات پرمصرف مانند برنج پیش رفته است که باعث خشک شدن منابع آب سطحی و افت شدید سطح آب زیرزمینی و بلااستفاده شدن بخشی از اراضی حوضه شده است (لقب‌دوست‌آرانی و همکاران، ۱۴۰۳). تحت این شرایط مدلسازی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی به منظور مدیریت بهینه منابع آب حوضه حائز اهمیت است.

#### مدل SWAT

به منظور بررسی اثرات تغییرات اقلیمی و کاربری‌های اراضی بر نحوه تغییرات رژیم رودخانه‌ای موجود در حوضه از مدل SWAT نسخه ۲۰۱۲ موجود در محیط نرم افزار ArcGIS بهره گرفته شد. این مدل هیدرولوژیکی

متوسط بارندگی سالانه حوضه حدود ۳۲۰ میلی‌متر و تبخیر سالانه بین ۱۷۶۳ تا ۲۸۴۹ میلی‌متر متغیر است. در حوضه کر سه دشت کامفیروز، خسروشیرین و آسپاس که حدود ۱۴ درصد از کل مساحت حوضه بختگان را فراگرفته است قرار دارد. طول رودخانه کر که اصلی‌ترین رودخانه حوضه آبریز است حدود ۱۵۰/۲ کیلومتر می‌باشد و پس از عبور از دشتهای در نهایت به دریاچه سد درودزن می‌ریزد (شکوهی‌فر و همکاران، ۱۴۰۱). سد درودزن بر رودخانه کر واقع شده‌است و آب کشاورزی مورد نیاز برای حدود ۱۱۰۰ کیلومترمربع از اراضی پایین دست را تأمین می‌کند. سد ملاصدرا نیز در این حوضه در سال ۱۳۸۶ جهت تأمین نیاز آبی مصارف مختلف حوضه به بهره‌برداری رسید. زیرحوضه سیوند هم با مساحت ۵۹۶۶۷ هکتار اراضی کشاورزی و باغی شامل دشتهای دهبید و قادرآباد مادرسلیمان است.



اهمیت بالایی دارد. روش‌های مختلفی بدین منظور توسعه داده شده است که از آن جمله می‌توان به SUFI-2، MCMC، BIS و Parasol اشاره کرد (Yang و همکاران، ۲۰۰۸). مرور مطالعات انجام شده حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم Sufi-2 جهت واسنجی پارامترهای مدل SWAT می‌باشد (Yang و همکاران، ۲۰۰۸). لذا در پژوهش حاضر از این الگوریتم برای بهینه‌سازی پارامترها استفاده شد. بدین منظور دبی ایستگاه‌های چمریز و دهکده سفید و جریان ورودی به سد درودزن برای رودخانه کر و ایستگاه تنگ‌بلاغی برای رود سیوند از سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ برای واسنجی و از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱ جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شد. برای ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی جریان از شاخص‌های P-Factor، R-Factor، نش-ساتکلیف و  $R^2$  استفاده شد. P-Factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهداتی که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند. R-Factor از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای بدست می‌آید (Abbaspoor و همکاران، ۲۰۱۵). ضریب نش ساتکلیف و ضریب تعیین  $R^2$  مطابق روابط زیر است (Moriasi و همکاران، ۲۰۰۷، Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰).

$$NS=1-\frac{\sum_{i=1}^n(Q_o-Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n(Q_o-\bar{Q})^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n(O_i-\bar{O})(S_i-\bar{S}))^2}{\sum_{i=1}^n(O_i-\bar{O})^2 \sum_{i=1}^n(S_i-\bar{S})^2} \quad (3)$$

در این روابط  $O_i$ ،  $Q_o$  دبی مشاهداتی،  $Q_s$  و  $S_i$  دبی شبیه‌سازی شده،  $\bar{O}$  و  $\bar{Q}$  متوسط دبی مشاهداتی،  $\bar{S}$  متوسط دبی شبیه‌سازی شده، NS ضریب نش ساتکلیف و  $R^2$  ضریب تعیین می‌باشد. در جدول زیر حدود قابل قبول برای معیارهای مذکور نشان داده شده است (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰؛ Abbaspoor، ۲۰۱۵؛ Moriasi و همکاران، ۲۰۰۷).

نیمه‌توزیعی ابزاری مناسب برای مدلسازی تاثیر فرایندهای مدیریتی حوضه آبریز بر منابع آب و خاک است. مدل SWAT که در سال ۱۹۹۰ توسط مرکز تحقیقات کشاورزی امریکا برای اولین بار به کار گرفته شد، قابلیت بررسی و پیش‌بینی تاثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب و مقادیر مواد شیمیایی در خاک‌های با کاربری‌های متفاوت تحت شرایط مدیریتی و برای گام‌های زمانی متفاوت داراست (کازمی رشخواری، ۱۴۰۲). روناب سطحی در این مدل با ترکیب داده‌های مختلف مانند داده‌های زمانی، مکانی و توصیفی با استفاده از روابط بین داده‌ها و الگوریتم‌های فیزیکی شبیه‌سازی می‌گردد. (علبدینی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Arnold و همکاران، ۱۹۹۸). برای محاسبه روناب این مدل ابتدا منطقه مورد مطالعه را به زیرحوضه‌های کوچکتر تقسیم می‌کند، سپس با توجه به نوع خاک، کاربری اراضی و شیب منطقه هر زیر حوضه به واحدهای هیدرولوژیک یکسانی<sup>۱</sup> HRU (Arnold و همکاران، ۱۹۹۸) تقسیم می‌شود و معادله بیلان آب به صورت رابطه (۱) (Arnold و همکاران، ۲۰۱۰) برای هر HRU و سپس برای کل حوضه محاسبه می‌گردد. در این مطالعه حوضه رودخانه کر به ۱۷ و حوضه سیوند به ۲۱ واحد هیدرولوژیک تقسیم شد.

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

در این رابطه  $SW_o$  و  $SW_t$  به ترتیب مقدار آب موجود در خاک در زمان  $t$  و مقدار آب اولیه خاک می‌باشد.  $R_{day}$ ،  $Q_{surf}$ ،  $E_a$ ،  $W_{seep}$ ،  $Q_{gw}$  به ترتیب بارندگی، روناب سطحی، تبخیر و تعرق، آب نفوذیافته به لایه غیراشباع خاک و آب برگشتی به لایه آب زیرزمینی در زمان  $i$  می‌باشند.

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

بهینه‌سازی پارامترهای مدل با توجه به تاثیرگذاری آنها بر خروجی مدل در پیش‌بینی روناب تحت شرایط مختلف

جدول (۱): حدود شاخص‌های آماری مدل SWAT در مرحله واسنجی و صحت سنجی

وضعیت	نش سائکلیف	ضریب تعیین	r-factor	p-factor
خیلی خوب	NS>0.75	$R^2=1$		
خوب	0.65<NS<0.75			
مناسب و قابل قبول	0.5<NS<0.65	$R^2>0.5$	r-factor<1.5	p-factor>0.7
غیرقابل قبول	NS<0.5			

پس از ارزیابی عملکرد مدل، مقادیر نهایی پارامترها در آخرین مرحله واسنجی به مدل SWAT اعمال شد. سپس مدل SWAT برای بررسی اثر سناریوهای آینده تغییر اقلیم و تغییرات کاربری اراضی بر جریان سطحی حوضه آبریز رودخانه کر و رودخانه سیوند مورد استفاده قرار گرفت.

#### بررسی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی

در این مطالعه از مدل‌های موجود در گزارش ششم CMIP6<sup>1</sup> برای پیش‌بینی دو پارامتر دما و بارش استفاده شده است. به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما برای دوره آینده نزدیک از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰، مدل HadGEM3-MPI-ESM2-2-LR، GFDL-ESM4 و GC31-LL ACCESS-ESM1-5 انتخاب شد و از پایگاه داده کوپرنیک به فرمت NETCDF دریافت شدند. برای دریافت سری زمانی داده‌ها به فرمت NETCDF از نرم‌افزار QGIS 3.12.2 و افزونه Temporal/Spectral Profile Tool استفاده شد. مدل‌های اقلیمی عملکرد متفاوتی در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی در نقاط مختلف دارند. بنابراین باید قبل از استفاده از این مدل‌ها، توانایی آن‌ها مورد ارزیابی قرار داده شود. بدین منظور داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ایستگاه‌های مورد استفاده در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۸) با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین و ضریب همبستگی مطابق فرمول‌های زیر استفاده گردید. پس از بررسی عملکرد هر یک از مدل‌ها، از خروجی مدل MPI-ESM1-2-LR و HadGem3-GC31-LL

برای پیش‌بینی بارش و دما تحت دو سناریوی انتشار SSP1-2.6 و SSP5-8.5 مربوط به ششمین گزارش ارزیابی هیئت جهانی تغییر اقلیم استفاده شد. سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 سناریوهای خط سیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی، گروهی از سناریوهای اقلیمی حاصل از مدل‌های جفت شده فاز ششم تغییر اقلیم هستند که با هدف پیش‌آگاهی‌هایی در مسیرهای مشترک اجتماعی - اقتصادی ارائه شده‌اند و به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین سطح گرمایش جهانی را نشان می‌دهند که هر کدام به ترتیب منجر به گرم شدن ۱/۴+ و ۵+ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۱۰۰ نسبت به سطح پیش از صنعتی شدن می‌شوند (O'Neill و همکاران، ۲۰۱۶). برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی این سناریوها به مقیاس محلی از مدل V8 LARS-WG استفاده شد. سپس پارامتر بارش، دما حداقل و حداکثر تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ پیش‌بینی شدند.

#### بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوضه

در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی ابتدا تصاویر سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهواره Landsat از سایت USGS<sup>2</sup> برای سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ دریافت شدند. به دلیل اینکه در خرداد ماه سطح پوشش گیاهی در حوضه مورد مطالعه در حداکثر حالت خود قرار می‌گیرد، این ماه برای بررسی تغییرات کاربری اراضی انتخاب شد. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای

1- United States Geological Survey

1 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ii}}{n} \quad (5)$$

$$K = \frac{N \sum_{i=1,j=1}^n X_{ij} - \sum_{i=1,j=1}^n (X_i^+ * X^+ + j)}{N^2 - \sum_{i=1,j=1}^n (X_i^+ * X^+ + j)} \quad (6)$$

در این روابط OA دقت کلی،  $p_{ii}$  عناصر قطر اصلی ماتریس خطا، K ضریب کاپا، N تعداد کل پیکسل‌ها در ماتریس خطا،  $X_{ij}$  مجموع قطر اصلی ماتریس خطا،  $X_i^+$  مجموع ردیف i و  $X^+$  مجموع ستون متناظر j ماتریس خطا می‌باشد.

برای شناسایی روند تغییرات کاربری اراضی آینده در حوضه‌های مورد مطالعه از مدل LCM موجود در محیط نرم‌افزار IDRISI Terrset 2020 استفاده شد. مدل LCM پوشش زمین آینده را با استفاده از روند تاریخی تغییر و نقشه پتانسیل انتقال برای هر طبقه پوشش زمین مدل می‌کند. نقشه‌های پتانسیل انتقال بر اساس یک یا گروهی از زیرمدل‌ها و با استفاده از پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی تهیه شدند. مدل رقومی ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از آبراه‌ها و احتمال تجربی تغییر بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۶ به عنوان متغیرهای تأثیرگذار تعیین‌کننده تغییرات پوشش زمین در نظر گرفته شد. ضریب کرامر که نقش و توانایی هر یک از متغیرهای مکانی در تأثیرگذاری و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی را بیان می‌کند مطابق رابطه ۳ برای سنجش قدرت ارتباط بین متغیرها و دسته‌های پوشش زمین اجرا شد (Eastman, 2009).

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{N * \min(K-1, L-1)}} \quad (7)$$

در این رابطه  $X^2$  کای اسکور، N تعداد نمونه‌ها و K و L تعداد سطر و ستون جدول است. مقدار ضریب کرامر بیشتر از ۰.۴ مناسب تشخیص داده می‌شود (Eastman, 2009).

موردنیاز، در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، خطاهای موجود در تصاویر شناسایی و اصلاح شدند. جهت اصلاح خطای رادیومتریک تصاویر از روش تصحیح رادیومتریک استفاده شد و پس از آن آنالیز اتمسفری تصاویر با استفاده از روش<sup>۱</sup> FLAASH در نرم‌افزار ENVI انجام شد. با توجه به کارایی مناسب و کاربرد گسترده روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال<sup>۲</sup> (آرا و همکاران، ۱۳۹۹؛ Bolstad و Lillesand, 1991) برای طبقه‌بندی تصاویر از این روش استفاده شد. در این روش با فرض پراکنش نرمال همه مناطق آموزشی واریانس و کواریانس طبقه‌ها ارزیابی می‌گردد. نمونه‌های آموزشی برای هر هفت دسته شامل آب، مناطق مسکونی، زمین بایر، اراضی کشاورزی، جنگل، باغ و مرتع با استفاده از بازدیدهای میدانی، تصاویر موجود در Google Earth و شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده<sup>۳</sup> بر اساس نسبت بازتاب امواج باند مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک با فرمول زیر انتخاب شده و سپس نمونه‌ها بر سطح تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر پیاده شدند.

$$NDVI = \left( \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (4)$$

در این رابطه NDVI شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده، NIR بازتاب امواج مادون قرمز نزدیک و RED بازتاب امواج مادون قرمز می‌باشد.

بخشی از این نمونه‌های آموزشی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و بخشی دیگر برای ارزیابی صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی استفاده شدند. برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی شد. در این مرحله با بخشی از نمونه‌های آموزشی برداشت شده، دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی با محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا با فرمول‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت (Jaber و Abbas, ۲۰۲۰).

۱۹۹۴ به عنوان Warm up و یا به اصطلاح گرم کردن مدل، سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ برای واسنجی مدل و سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱ برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به پیچیدگی ساختار مدل تعدادی پارامتر برای واسنجی در نظر گرفته شد و برای کاهش زمان محاسبات، ابتدا فرآیند آنالیز حساسیت به روش موضعی بر روی پارامترهای مؤثر در مدل انجام شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی ایستگاه‌های هیدرومتری دهکده سفید، چمریز، جریان ورودی به سد درودزن و ایستگاه تنگ‌بلاغی در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. براساس مقادیر بدست آمده شاخص‌های آماری و حدود آن‌ها در جدول شماره ۱ می‌توان گفت مقادیر نش‌ساتکلیف در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در محدوده قابل قبول تا خیلی خوب قرار دارند. همچنین با توجه به جدول ضریب تعیین و سایر شاخص‌ها عملکرد مناسب مدل را تایید می‌کند. از شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ نمودار سری زمانی دبی مشاهداتی (سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹) و شبیه‌سازی شده توسط مدل به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان، دریافت می‌شود که مدل زمان و مقادیر دبی پایه و دبی‌های اوج را به خوبی مدل‌سازی نموده است.

در مجموع از شش مدل فرعی برای تولید پتانسیل انتقال با استفاده از پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده شد که شامل تبدیل مرتع به زمین بایر، مرتع به اراضی کشاورزی، زمین بایر به اراضی کشاورزی، جنگل به مرتع، زمین بایر به مناطق مسکونی، مرتع به باغ و اراضی کشاورزی به زمین بایر می‌باشند. نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۶ برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ استفاده شدند. عملکرد مدل با مقایسه پوشش زمین مشاهده شده و پیش‌بینی شده در سال ۲۰۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از دستیابی به دقت مناسب براساس معیارهای ارزیابی شاخص کاپا و نسبت Hits که تعداد سلول‌های تغییر یافته در مدل و در واقعیت می‌باشد، پوشش زمین برای سال ۲۰۵۰ با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ بر اساس مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد.

## نتایج و بحث

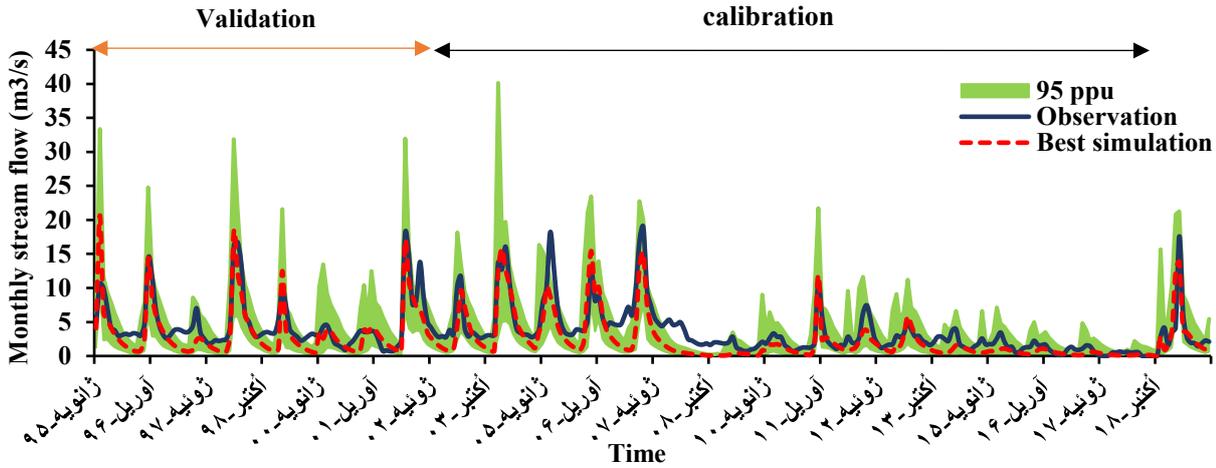
**نتایج تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل**  
در این پژوهش دوره آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۹ در جهت انجام شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. سال‌های ۱۹۹۲ تا

جدول (۲): نتایج شاخص‌های آماری مدل SWAT در مرحله واسنجی

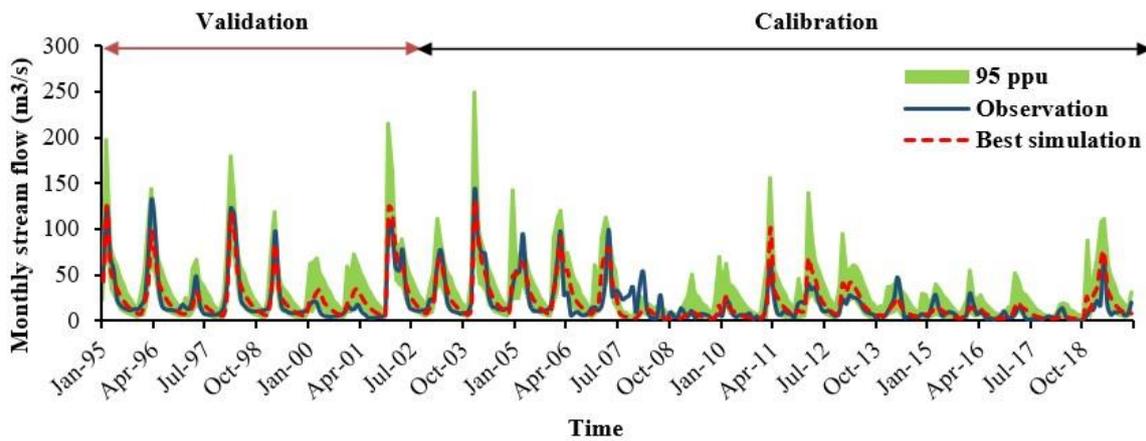
نام ایستگاه	نش ساتکلیف	ضریب تعیین	r-factor	p-factor
دهکده سفید	۰/۶۸	۰/۷۳	۱/۲۸	۰/۷۷
چمریز	۰/۷	۰/۷۷	۱/۳۱	۰/۸۴
جریان ورودی به سد	۰/۷۵	۰/۸	۱/۲۶	۰/۶۹
تنگ بلاغی	۰/۷۵	۰/۸۱	۱/۴۲	۰/۷۲

جدول (۳): نتایج شاخص‌های آماری مدل SWAT در مرحله اعتبارسنجی

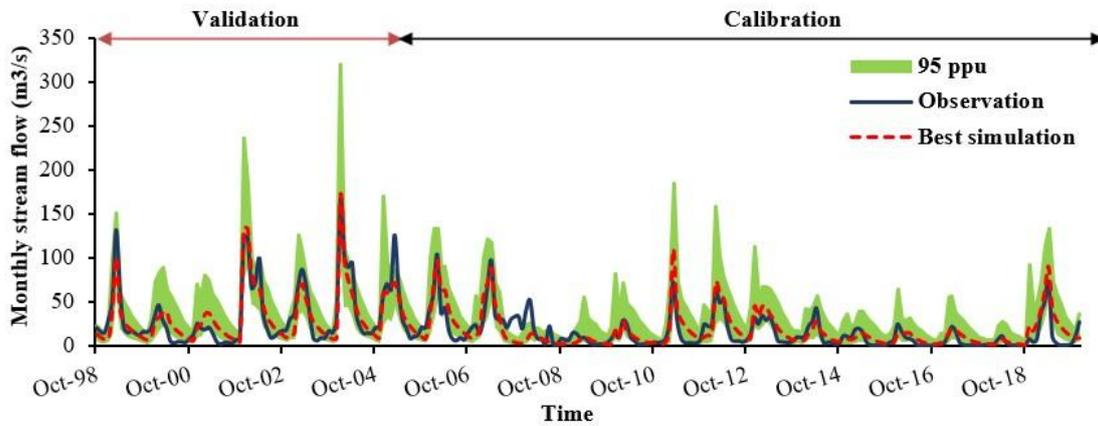
نام ایستگاه	نش ساتکلیف	ضریب تعیین	r-factor	p-factor
دهکده سفید	۰/۶۵	۰/۷۹	۱/۴۵	۰/۷۷
چمریز	۰/۸۵	۰/۸۴	۱/۰۸	۰/۸۳
جریان ورودی به سد	۰/۷۹	۰/۷۹	۱/۳۱	۰/۶۹
تنگ بلاغی	۰/۶۸	۰/۷۳	۱/۴۸	۰/۸۳



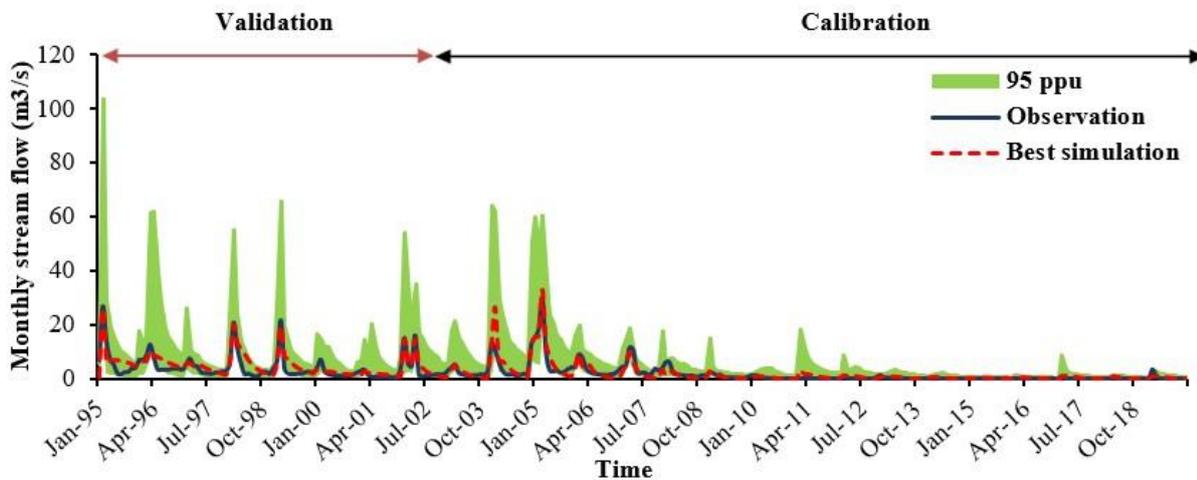
شکل (۲): دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (دهکده سفید)



شکل (۳): دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (ایستگاه چمریز)



شکل (۴): دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (جریان ورودی به سد درودزن)



شکل (۵): دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (ایستگاه تنگ بلاغی)

#### بررسی وضعیت حوضه در شرایط تغییر اقلیم

نتایج معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی و ضریب تعیین برای بررسی دقت مدل‌های اقلیمی انتخابی در تخمین بارش، دمای حداقل و حداکثر ماهانه در جدول ۴ نشان داده شده است. هرچه این ضرایب به عدد یک نزدیکتر باشند عملکرد مدل مطلوب‌تر است. براین اساس مدل‌های MPI-ESM1-2-LR و HadGEM3-GC31-LL عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها در حفظ خصوصیات داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های حوضه دارند. به طور

کلی، مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دمایی و سرعت باد موفق‌تر عمل می‌کند، در حالی که مدل LARS-WG در پیش‌بینی بارش دقت بالاتری دارد (دنیایی و صراف، ۱۳۹۹). پس از انتخاب مدل‌های اقلیمی مناسب برای حوضه مورد مطالعه، نتایج پیش‌بینی خروجی مدل‌های اقلیمی MPI-ESM1-2-LR و HadGEM3-GC31-LL و سناریو ESM1-2-LR برای دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG نسخه ۸ ریزمقیاس‌نمایی شدند.

جدول (۴): نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای انتخاب بهترین مدل GCM

مدل اقلیمی				شاخص آماری	پارامتر
MPI-ESM1-2-LR	ACCESS-ESM1-5	HadGEM3-GC31-LL	GFDL-ESM4		
۰/۶۵	۰/۰۳	۰/۸۱	۰/۳۹	ضریب تعیین	بارش
۰/۸	۰/۱۴	۰/۹	۰/۶۲	ضریب همبستگی	
۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	ضریب تعیین	دمای
۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	ضریب همبستگی	
۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	ضریب تعیین	حداکثر
۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	ضریب همبستگی	

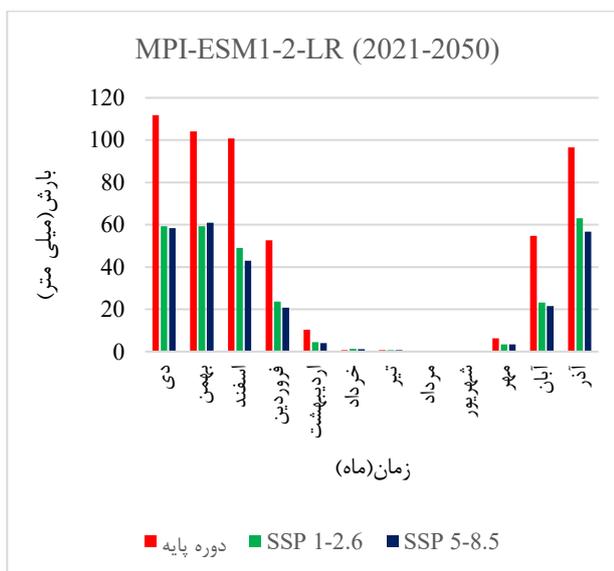
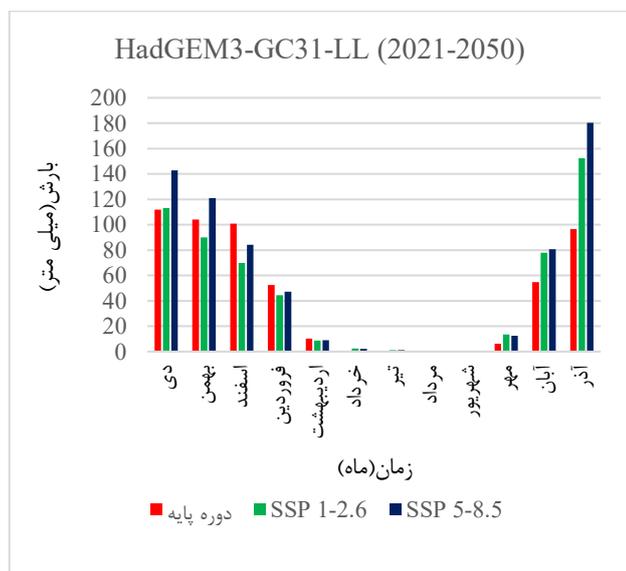
پاییز و زمستان پیش‌بینی کرده است. بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های آذر و دی به مقدار ۱۷/۲ و ۳۰/۹ میلی‌متر بوده است. نتایج پژوهش حاضر از لحاظ پیش‌بینی بارش با

با توجه به شکل ۶، داده‌های بارش ماهانه برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نشان می‌دهد که مدل HadGEM3-GC31-LL در سناریوی SSP5-8.5 افزایش بارش را عمدتاً در ماه‌های



مقدار ۱۱۶/۱۸ و ۳۱/۳۲ میلی‌متر ثبت کرده است، در حالی که بهار و تابستان تغییرات اندک یا کاهش جزئی نشان داده‌اند. مدل MPI-ESM1-2-LR در تمام فصول بارش کمتری نسبت به پایه پیش‌بینی کرده است. این اختلاف فصلی بین دو مدل بسیار قابل توجه است و نشان می‌دهد که مدل-HadGEM3-GC31-LL اقلیم آینده را مرطوب‌تر و مدل MPI-ESM1-2-LR خشک‌تر از شرایط فعلی در نظر می‌گیرد. این تفاوت می‌تواند ناشی از پارامترسازی متفاوت فرآیندهای جوی و تعادل انرژی در مدل‌ها باشد.

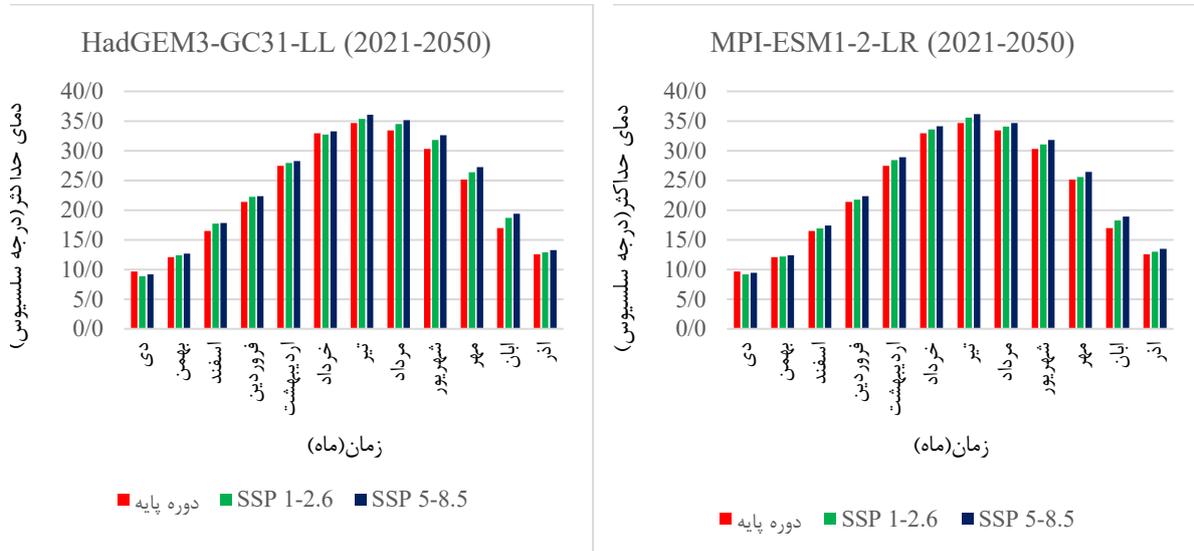
مطالعه شنایی و همکاران (۱۴۰۱) مشابهت دارد. افزایش بارش در ماه‌های سرد سال می‌تواند به افزایش رطوبت جوی و تقویت سامانه‌های بارشی نسبت داده شود. در مقابل، مدل MPI-ESM1-2-LR در هر دو سناریو کاهش بارش قابل توجهی را در اغلب ماه‌های سال به‌ویژه زمستانی و پاییزی نشان داده است. کاهش بارش در ماه‌های دی، بهمن و اسفند بیش از ۶۰ درصد نسبت به دوره پایه بوده و نشان‌دهنده کاهش توان سیستم‌های باران‌زا در این مدل است. از نظر فصلی، مدل HadGEM3-GC31-LL در سناریوی SSP5-8.5 افزایش بارش را در پاییز و زمستان به



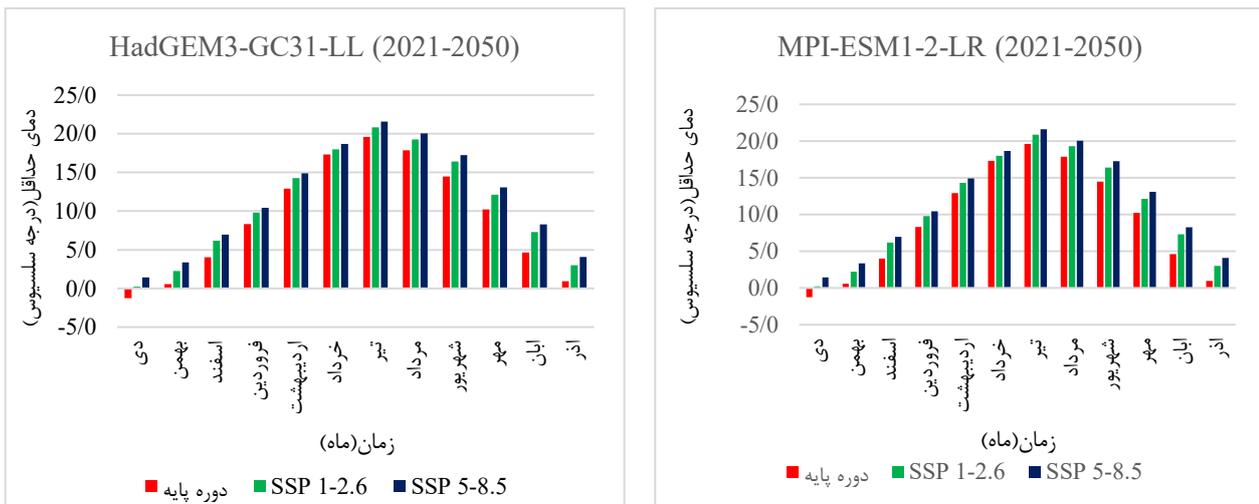
شکل (۶): تغییرات ماهانه بارش حوضه کر تحت اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰

سلسیوس بوده است. تحت سناریوی SSP5-8.5، دمای حداکثر بین ۰/۲ تا ۱/۹۴ درجه سلسیوس افزایش یافته که بالاترین میزان مربوط به آبان و پایین‌ترین مقدار مربوط به دی‌ماه بوده است. تحت همین سناریو دمای حداقل نیز بین ۰/۵۳ تا ۲/۱۴ درجه سلسیوس افزایش داشته که بیشترین مقدار در آبان و کمترین در دی ثبت شده است.

با توجه به شکل ۷ و ۸، در مدل HadGEM3-GC31-LL تحت هر دو سناریو، میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه را نسبت به دوره پایه به طور متوسط بین ۰/۱۲ تا ۲/۱۰ درجه سلسیوس برای دمای حداکثر و ۰/۵۳ تا ۳/۶۵ درجه سلسیوس برای دمای حداقل افزایش را نشان داده است. در مدل MPI-ESM1-2-LR، بر اساس سناریوی SSP1-2.6، افزایش دمای حداکثر ماهانه بین ۰/۱۲ تا ۱/۲۶ درجه



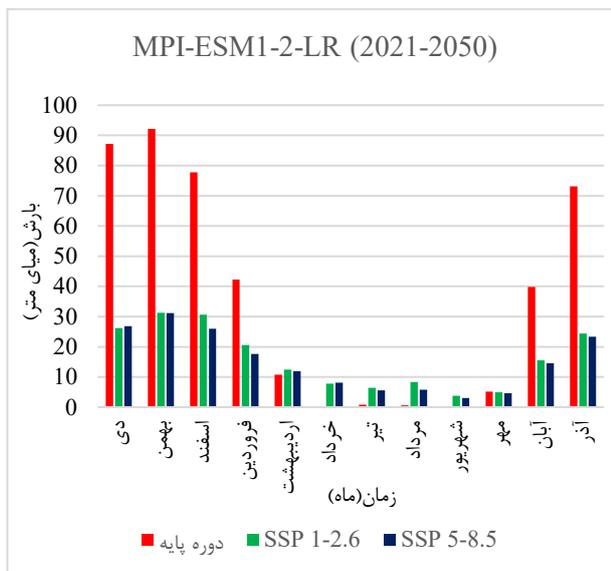
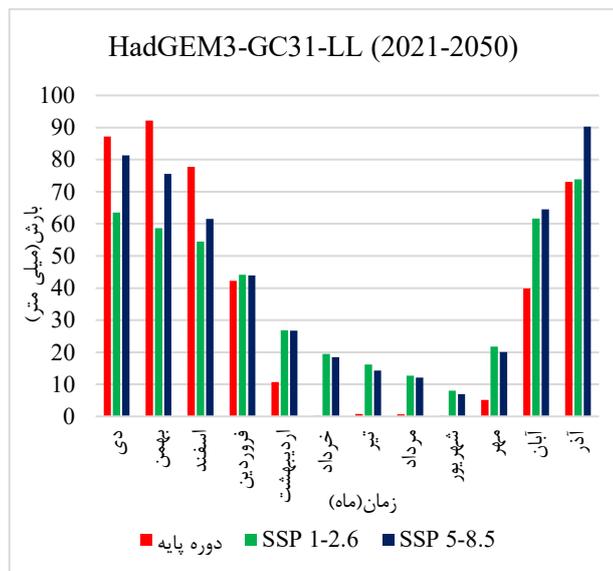
شکل (۷): تغییرات ماهانه دمای حداکثر حوضه کر تحت اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰



شکل (۸): تغییرات ماهانه دمای حداقل حوضه کر تحت اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰

کاهش چشمگیر بارش پیش‌بینی کرده است به طوری که در دی، بهمن و اسفند بارش‌ها به ترتیب در SSP1-2.6 حدود ۶۱/۰۷، ۶۰/۹۷ و ۴۷/۴۱ میلی‌متر و در SSP5.8.5 حدود ۶۰/۴۱، ۶۱ و ۵۱/۷۹ میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش یافته‌اند. اما در تابستان اندکی افزایش بارش مشاهده شده است و در تیر ماه حدود ۴/۵ تا ۵/۵ میلی‌متر در هر دو سناریو افزایش داشته است.

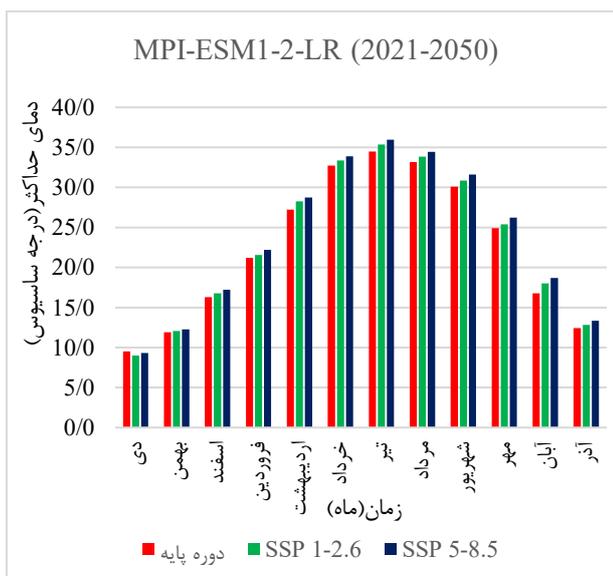
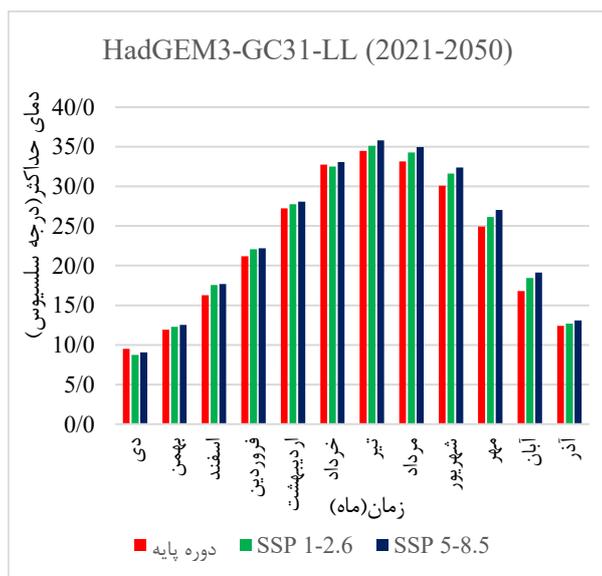
مطابق شکل ۹ بارش در زیرحوضه سیوند مدل HadGEM3-GC31-LL تحت هر دو سناریو نشان دهنده افزایش بارش در پاییز ( ماههای مهر و آبان) و بهار (فروردین و خرداد) نسبت به دوره پایه و کاهش بارش در فصول زمستان (دی، بهمن، اسفند) بوده است. مدل MPI-ESM1-2-LR برای دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰، در هر دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در اکثر ماه‌های سال



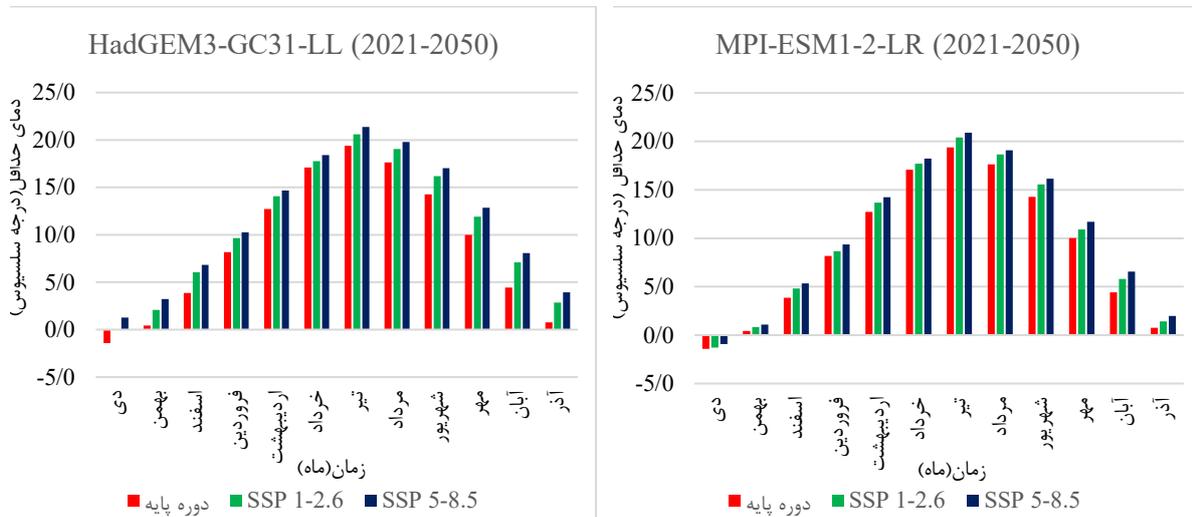
شکل (۹): تغییرات ماهانه بارش حوضه سیوند تحت اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰

باشد و به‌ویژه در فصل‌های مهمی چون پاییز و زمستان، باید به شدت به این تغییرات توجه کرد. به‌ویژه در سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5، کاهش بارش‌های زمستانی و تغییرات زیاد بارش در پاییز، می‌تواند اثرات قابل توجهی بر منابع آب و کشاورزی در این حوضه آبریز بگذارد. این تفاوت‌ها در خروجی مدل‌ها بر اهمیت استفاده ترکیبی از چند مدل اقلیمی در تحلیل‌های آینده‌نگرانه و برنامه‌ریزی منابع آب تأکید دارد.

از شکل‌های ۱۰ و ۱۱ دریافت می‌شود که هر دو مدل اقلیمی منتخب دماهای حداقل و حداکثر حوضه سیوند در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) را بیشتر از دوره پایه پیش‌بینی می‌کنند. به‌طوریکه مدل HadGEM3-GC31-LL نشان دهنده افزایش دمای حداقل بین ۱/۵ تا ۲/۷ و دمای حداکثر ۰/۳ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد در هر دو سناریو می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی می‌تواند در فصول مختلف تأثیرات متفاوتی بر بارش‌ها و دما داشته



شکل (۱۰): تغییرات ماهانه دمای حداکثر حوضه سیوند تحت اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰



شکل (۱۱): تغییرات ماهانه دمای حداقل حوضه سیوند تحت اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰

### تغییر کاربری اراضی

با توجه به نیاز مدل LCM به نقشه کاربری اراضی دوره‌های گذشته جهت پیش‌بینی نقشه کاربری در دوره‌های آتی، با استفاده از نقشه کاربری در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ نقشه سال ۲۰۲۱ پیش‌بینی گردید. با محاسبه مؤلفه‌های موفقیت، خطا و هشدار خطا وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به دست آمد که هر کدام به ترتیب ۰/۸۱، ۷/۲۶ و ۱/۷۶ درصد محاسبه شدند. نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده نیز ۱۱/۱۰ درصد محاسبه شد. همچنین شاخص ضریب کاپا استاندارد، موفقیت و کمیت به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۹ و ۰/۹ بدست آمد که این مقادیر بیانگر قابل قبول بودن نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه می‌باشد. پس از صحت‌سنجی مدل LCM نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۵۰ نیز با استفاده از تغییرات کاربری اراضی ایجاد شده در دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ پیش‌بینی شد. شکل ۱۲ نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبریز رودخانه کر و سیوند را در سال ۱۹۹۶، ۲۰۰۵، ۲۰۱۶، ۲۰۲۱، ۲۰۵۰ و شکل ۱۳ نمودار مساحت اختصاص یافته به هر کاربری اراضی را نشان می‌دهد. تحلیل روند تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز رودخانه‌های کر و سیوند طی دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۵۰ بیانگر

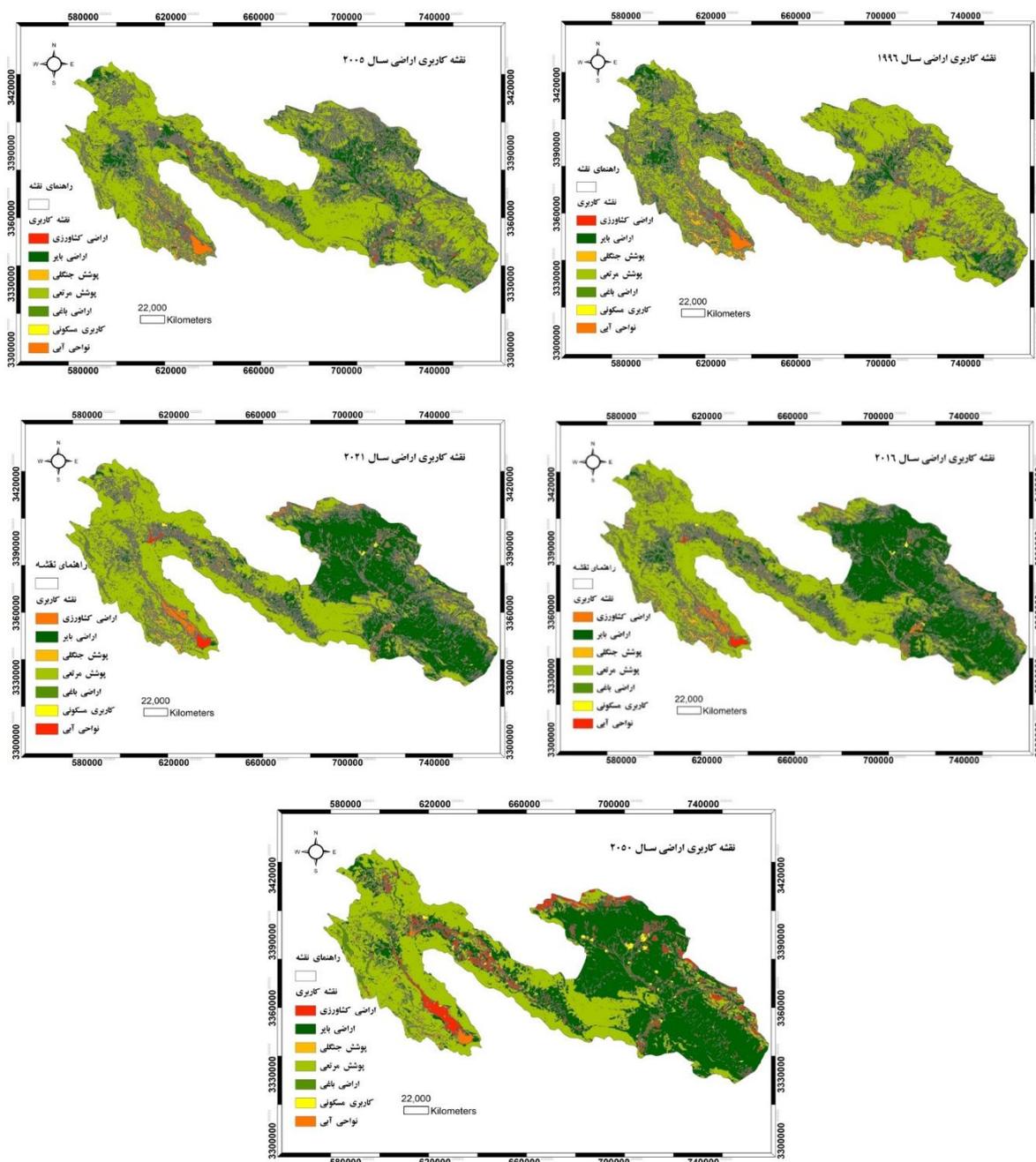
دگرگونی‌های قابل توجه در الگوی بهره‌برداری از زمین در منطقه است. مشابه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوضه سد درودزن (زارعی و همکاران، ۱۴۰۳) نتایج حاکی از آن است که در بازه مذکور، پوشش‌های طبیعی شامل مراتع و جنگل‌ها کاهش چشمگیری را تجربه کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که مساحت مراتع از ۶۶۲۸ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۶ به ۳۹۵۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۵۰ کاهش یافته و در همین بازه، اراضی جنگلی از ۶۶۷ کیلومترمربع به تنها ۳۲ کیلومترمربع رسیده‌اند. این کاهش، به‌ویژه در مورد جنگل‌ها که معادل ۹۵ درصد از سطح اولیه خود را از دست داده‌اند، بسیار نگران‌کننده بوده و نشانه‌ای از فشار فزاینده انسانی و کاهش تاب‌آوری اکولوژیکی منطقه است.

در مقابل، کاربری‌هایی همچون اراضی کشاورزی، باغی، بایر و نواحی مسکونی روندی افزایشی را نشان می‌دهند. مساحت اراضی کشاورزی از ۳۱۸ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۶ به ۷۳۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. باغ‌ها نیز با رشدی بیش از ۱۰ برابری، از ۲۴ کیلومترمربع به ۲۵۹ کیلومترمربع می‌رسند. هم‌چنین اراضی بایر که معمولاً نشان‌دهنده کاهش بهره‌وری سرزمین یا تخریب سرزمینی هستند، با افزایش قابل توجه از ۱۴۴۱ به ۴۰۳۶ کیلومترمربع گسترش یافته‌اند. نواحی مسکونی نیز از ۱۱

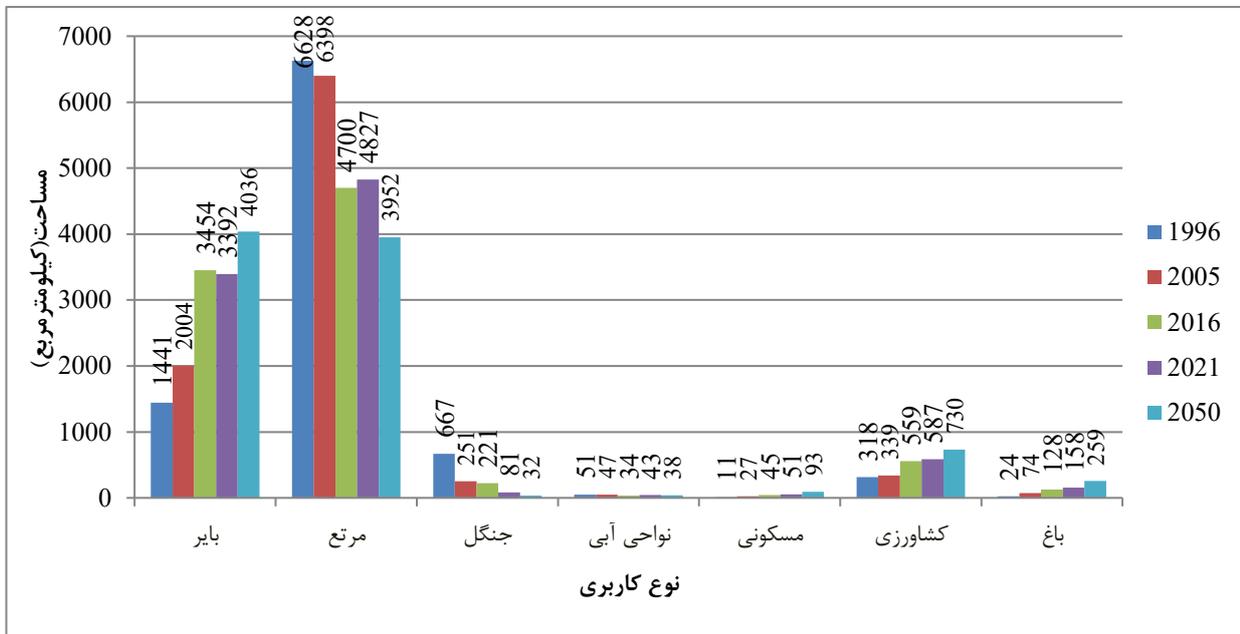


در کنار کاهش جریان‌های سطحی، اثرات منفی بر منابع آبی و اکوسیستم‌های وابسته به آن‌ها داشته باشد. همچنین از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ مساحت نواحی آبی افزایش یافته که این افزایش جزئی به دلیل احداث سد ملاصدرا در بالادست حوضه آبریز رودخانه کر می‌باشد.

کیلومترمربع در سال ۱۹۹۶ به ۹۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۵۰ توسعه می‌یابد که ناشی از رشد جمعیت، توسعه فیزیکی سکونتگاه‌ها و مهاجرت به مناطق جدید باشد. نواحی آبی در این دوره تغییر چندانی نداشته‌اند، با این حال کاهش از ۵۱ کیلومترمربع به ۳۸ کیلومترمربع نیز می‌تواند



شکل (۱۲): نقشه‌های کاربری و پوشش زمین (LULC) منطقه مورد مطالعه به ترتیب سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۱۶، ۲۰۰۵، ۲۰۲۱ و ۲۰۵۰



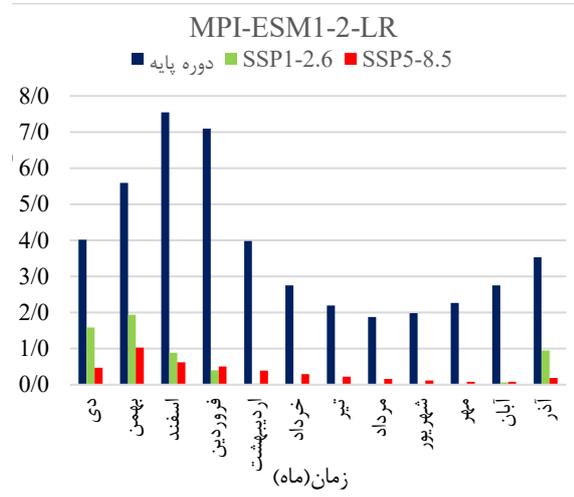
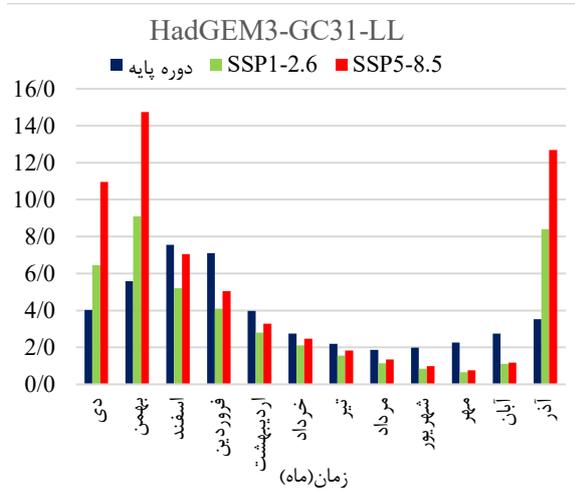
شکل (۱۳): مساحت اختصاص یافته به هر نوع کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۵، ۲۰۱۶، ۲۰۲۱ و ۲۰۵۰

### بررسی جریان سطحی آینده حوضه آبریز رودخانه کر و سیوند

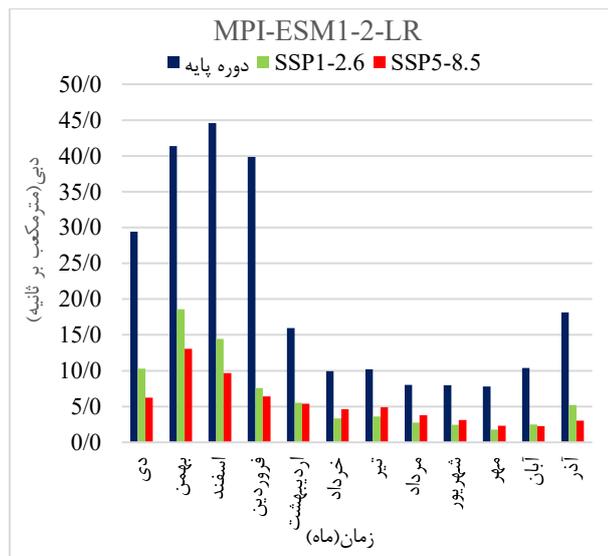
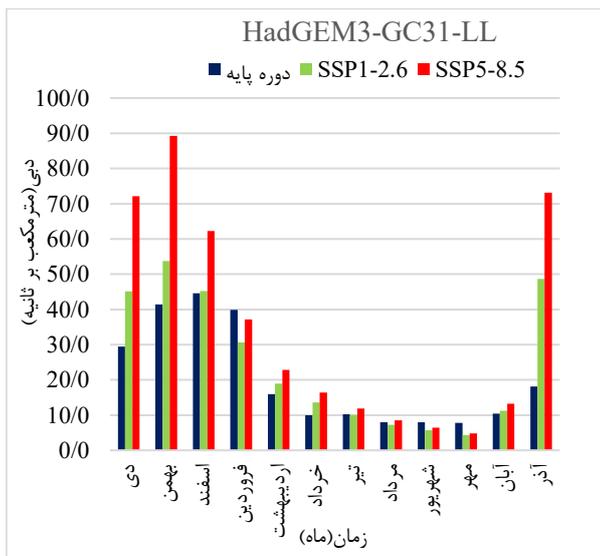
پس از کالیبراسیون مدل SWAT، با استفاده از داده‌های بارش و دما مدل‌های اقلیمی HadGEM3-GC31-LL و MPI-ESM1-2-LR تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 و نقشه کاربری اراضی آینده، مدل برای پیش‌بینی جریان آینده حوضه آبریز رودخانه کر و سیوند اجرا شد و سپس نتایج حاصل با جریان دوره تاریخی حوضه (۱۹۹۵-۲۰۱۹) در مقیاس زمانی ماهانه مورد مقایسه قرار گرفت. بدین ترتیب از شکل ۱۴ می‌توان نتیجه گرفت مدل HadGEM3-GC31-LL تحت هر دو سناریو و اثر تغییر کاربری برای ایستگاه‌های رودخانه کر (دهکده سفید،

چمریز، سد درودزن) در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰، افزایش جریان به خصوص برای فصل زمستان (دی و بهمن) برآورد کرده است. برای ایستگاه چمریز در دی ماه دبی ۴۲/۷۵ مترمکعب بر ثانیه نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. همچنین در ایستگاه سد درودزن تحت سناریوی SSP5-8.5 در بهمن ماه دبی جریان به ۱۰۵/۹ مترمکعب بر ثانیه رسیده است. مدل MPI-ESM1-2-LR در همه ایستگاهها کاهش جریان یکنواخت در اکثر ماه‌ها به خصوص در ماه‌های تابستان و پاییز قابل رویت است. در ایستگاه سد درودزن کاهش جریان در فصول زمستان و بهار بیشتر نمایان است. به طوریکه دبی از ۳۴/۵ مترمکعب به ۶/۷ مترمکعب بر ثانیه رسیده است

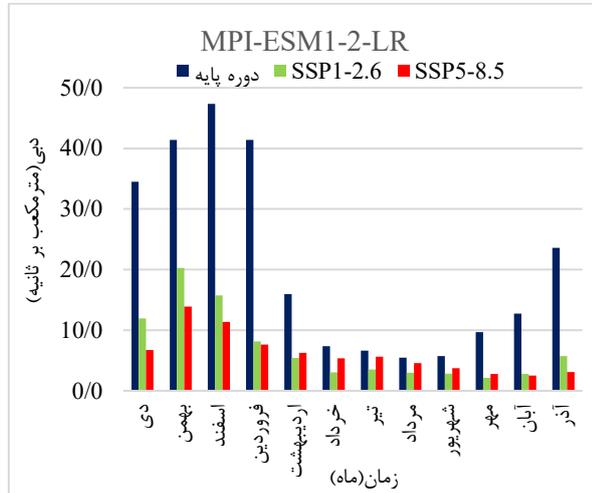
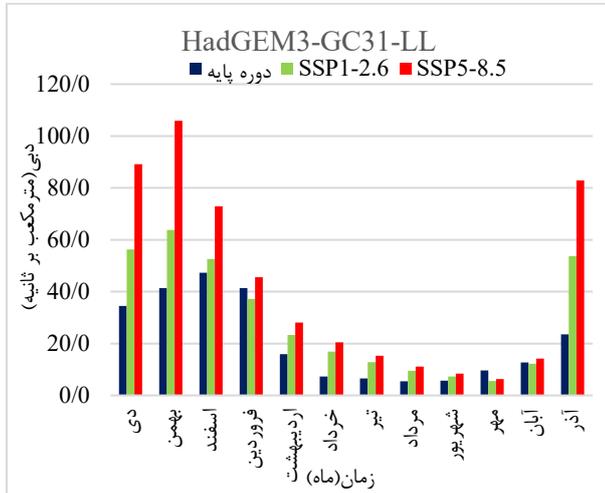
الف) دهکده سفید



ب) چمریز



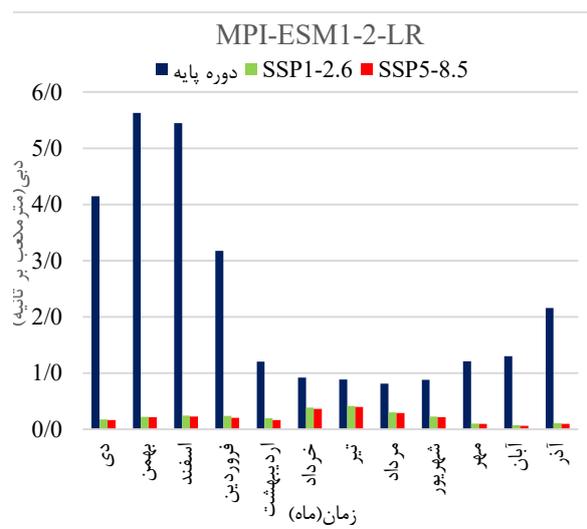
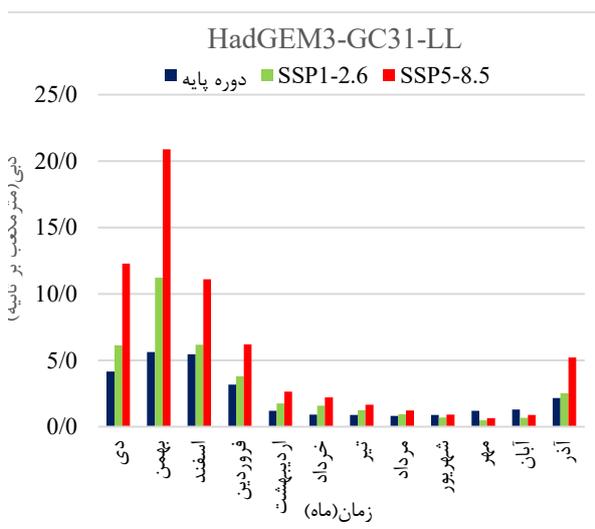
ج) سد درودزن



شکل (۱۴): تغییرات ماهانه دبی ایستگاههای الف (دهکده سفید، ب) چمریز و ج) سد درودزن تحت اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی

همکاران، ۱۳۸۸) در مطالعه حوضه زنجانرود تحت اثر تغییر کاربری به نتایج مشابه به این پژوهش دست یافتند به طوریکه تحت اثر تغییر کاربری اراضی رواناب به مقدار ۳۳ درصد افزایش یافت. در مدل MPI-ESM1-2-LR در همه ماه ها کاهش جریان محسوسی دیده می شود که علت آن توسعه اراضی کشاورزی و باغات، افزایش تبخیر و تعرق و افت سطح آب زیرزمینی بدلیل برداشت بیش از حد در نزدیکی رودخانه است (هدایت، ۱۳۹۳).

با توجه به شکل ۱۵ در ایستگاه تنگ بلاغی واقع بر رودخانه سیوند مشابه رود کر مدل HadGEM3-GC31-LL تحت هر دو سناریو و اثر تغییرات کاربری اراضی به تبع افزایش مقدار بارش افزایش جریان را نشان می دهد. به عنوان مثال تحت سناریوی SSP5-8.5 دبی از ۴/۵ متر مکعب به ۱۲/۲۹ متر مکعب در ثانیه رسیده است. با توجه به تغییرات کاربری اراضی حوضه و کاهش پوشش جنگلی افزایش مقدار دبی در حوضه قابل توجه است. (غفاری و



شکل (۱۵): تغییرات ماهانه جریان سطحی ایستگاه تنگ بلاغی تحت اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰



۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌کند، در حالی که مدل MPI-ESM1-2-LR آینده‌ای خشک‌تر با کاهش قابل توجه بارش در فصول سرد و افزایش نسبی دما را ترسیم کرده است. نقشه‌های پیش‌بینی شده کاربری اراضی برای سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل LCM نیز نشان‌دهنده تغییرات چشمگیر در الگوی بهره‌برداری از زمین هستند. بر اساس نتایج پوشش جنگلی و مراتع به شدت کاهش یافته و در مقابل کاربری‌های کشاورزی، باغی و مناطق مسکونی روندی افزایشی داشته‌اند. افزایش سطح اراضی کشاورزی (بیش از دو برابر)، رشد چشمگیر باغ‌ها (بیش از ۱۰ برابر)، و گسترش مناطق مسکونی، نشان‌دهنده فشار فزاینده انسانی بر منابع طبیعی حوضه است. این تحولات به‌ویژه در شرایطی که منابع آب سطحی محدود و منابع آب زیرزمینی نیز تحت فشار برداشت قرار دارند، می‌تواند پایداری اکولوژیکی و امنیت آبی منطقه را در معرض تهدید جدی قرار دهد. پیش‌بینی جریان سطحی تحت تأثیر هم‌زمان تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی نشان داد که مدل HadGEM3-GC31-LL در سناریوی SSP5-8.5 افزایش جریان زمستانی را به دنبال افزایش بارش پیش‌بینی کرده اما در سایر فصول کاهش یا نوسان جریان مشاهده شده است. در مقابل، مدل MPI-ESM1-2-LR در هر دو سناریو کاهش یکنواخت و قابل توجه جریان در اکثر ماه‌ها را ارائه داده است. نتایج این پژوهش به روشنی نشان می‌دهد که تعامل میان تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی، تأثیرات پیچیده‌ای بر رژیم جریان‌های سطحی خواهد داشت. در این شرایط تدوین راهبردهای مدیریت منابع آب با لحاظ سناریوهای مختلف اقلیمی و روند تغییرات کاربری اراضی جهت مقابله با چالش‌های پیش‌رو حائز اهمیت است.

در مجموع می‌توان گفت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد تغییر در متغیرهای اقلیمی می‌شود که امروزه به تغییر اقلیم موسوم است و باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها می‌شود (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرف دیگر در مقیاس جهانی کاربری اراضی به صورت گسترده دچار تغییر شده و سطح اراضی کشاورزی، باغی، مناطق مسکونی و شهرک‌های صنعتی گسترش یافته و از مساحت جنگل‌ها و مراتع کاسته می‌شود (Amos et al., 2021). نتایج پژوهش حاضر نیز این یافته‌ها را تایید کرده و حاکی از افزایش دما و ایجاد تغییر در مقدار بارش و به تبع رواناب حوضه و همچنین کاهش پوشش جنگلی، مرتعی و افزایش اراضی کشاورزی، باغی و سکونتگاهی می‌باشد. این تغییرات در منطقه بدلیل گسترش فعالیت‌های کشاورزی تغییر در الگوی کشت و افزایش تقاضا برای تغییر در منابع طبیعی منطقه است. به طور کلی تغییرات مشاهده شده منجر به افزایش رواناب سطحی، تشدید فرسایش و کاهش نفوذپذیری خاک، تغییر در مقادیر نیاز آبی محصولات و کاهش پایداری منابع آبی منطقه می‌شود.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور ارزیابی اثرات هم‌زمان تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی بر جریان سطحی رودخانه‌های کر و سیوند، از مدل نیمه‌توزیعی SWAT استفاده شد. جهت بررسی وضعیت اقلیمی آینده، داده‌های دو مدل اقلیمی HadGEM3-GC31-LL و MPI-ESM1-2-LR تحت سناریوهای SSP1.2.6 و SSP5.8.5 با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. نتایج پیش‌بینی اقلیم آینده نشان داد که مدل HadGEM3-GC31-LL افزایش دما و بارش زمستانی را برای دوره

## منابع

- ایرانشاهی، م. ب، ابراهیمی، ح. یوسفی و ع. مریدی. ۱۴۰۱. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت دما و بارش با استفاده از شبکه عصبی و گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه‌های الشتر و خرم‌آباد). نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۱۲(۴): ۸۴۵-۸۲۱.
- آرا، ه. م. ک. کیانیان، ح. سهرابی و ع. احمدآبادی. ۱۳۹۹. بررسی کارایی روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست در شناسایی انواع سنگفرش بیابانی در جنوب استان سمنان. پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۳۸(۲): ۲۰-۱.

پورمحمدی، س.، م.ت. دستورانی، ع. مساح بوانی، م. گودرزی، ه. جعفری و م. ح. رحیمیان. ۱۳۹۶. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه و ارائه راهکارهای سازگاری با آن. علوم و مهندسی آبخیزداری. ۱۱(۳۷): ۳۷۱-۳۷۸.

دنیایی، ع. و ا. پ. صراف. ۱۳۹۹. ارزیابی شرایط آب- هواشناختی حوضه آبریز گرگانود تحت اثر تغییر اقلیم با استفاده از مدل MIROC-ESM. هیدروژئومورفولوژی. ۷(۲۵): ۱۸۱-۲۰۴.

زارعی، ح.، س. م. شنائی هویزه وش. جورابیان شوشتری. ۱۴۰۳. پیش‌بینی زمانی- مکانی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در حوزه آبخیز سد درودزن. محیط زیست و مهندسی آب، ۱۰(۳): ۳۶۳-۳۷۸.

شنائی هویزه، س. م. ۱۴۰۱. ارزیابی تاثیر تغییر کاربری و تغییر اقلیم بر سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل تلفیقی SWAT-MODFLOW (مطالعه موردی: حوضه سد درودزن). رساله دکتری رشته منابع آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.

شیخ ربیعی، م.، ر. ح. م. پیروان، پ. دانشکار آراسته، م. اکبری و ب. معتمدوزیری. ۱۴۰۳. بررسی اثرات تغییرات اقلیم با استفاده از نتایج گزارش ششم هیات بین الدول بر میزان تولید رواناب و رسوب. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۶(۴): ۵۷۰-۵۵۰.

عفیفی، م. ا. ۱۳۹۷. مدلسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل LCM مطالعه موردی شهر شیراز. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۰(۵۶): ۱۵۸-۱۴۱.

غفاری جو، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی بیلان آب حوضه آبریز با رویکرد احیای دریاچه بختگان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته منابع آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.

غفاری، گ. ج. قدوسی و ح. احمدی. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ های هیدرولوژی حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه زنجانرود). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۱۶(۱): ۱۶۳-۱۸۰.

کاظمی رشخواری، ا.، ا. اسدی وایقان وم. آذری. ۱۴۰۲. پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی دبی حوضه آبریز رودخانه کشف رود با استفاده از مدل SWAT. نشریه علوم آب و خاک، ۲۸(۱): ۱۰۳-۹۳.

لقب دوست‌آرانی، ا.، ح. زارعی، ف. رادمنش، ا. سلگی وم. ضرغامی. ۱۴۰۳. بررسی اثر تغییر الگوی کشت بر منابع آب حوضه آبریز سد ملاصدرا با استفاده از روش پویایی سیستم. علوم و مهندسی آبیاری

نادری، م.، ع. ایلدرمی، ح. نوری، س. آقابیگی امین و ح. زینی‌وند. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT مطالعه موردی حوضه آبخیز گرین. هیدروژئومورفولوژی ۱۴ ۴۲-۲۳.

Abbas, Z., & H. S. Jaber., (2020). Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 745(1). 159-166.

Abbaspour, K.C., et al., 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. J. Hydrol. 524, 733–752.

Abedini, M., F. Pour Farrash Zadeh and M. Gharachorlu. 2021. Analysis and Modeling of the Relationship between Monthly Discharge and Geomorphometric Characteristics (Case Study: Kashafrud Watershed). Geography and Environmental Planning 32(4): 29-44 (in Farsi).

Amos, P.K., Tai, A.B., Perry, H.L., Ma, A., Yuk-Chun Chan, C., Ming-Keung Chow, A., David, A., Ridley, D., Jasper, F., & Kok, E. 2021. Impacts of climate and land cover variability and trends on springtime East Asian dust emission over 1982–2010: A modeling study. Atmospheric Environment, 254.

Arnold, J. G., Allen, P. M., Volk, M., Williams, J. R., & Bosch, D. D. (2010). Assessment of different representations of spatial variability on SWAT model performance. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1433-1443.

Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah and J. R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 34(1): 73-89.

Azari, M., H. R. Moradi, B. Saghafian and M. Faramarzi. 2012. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gourganroud River Basin. *Water and Soil* 27(3): 537-547 (in Farsi).

Bangash, R. F., A. Passuello, M. Sanchez-Canales, M. Terrado, A. López, F. J. Elorza and M. Schuhmacher. 2013. Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of the Total Environment* 458: 246-255.

Bolstad, P. V, and Lillesand, T. M, (1991). Rapid maximum likelihood classification.

1 discussion of principles, *Journal of Hydrology*, **10**: 282–290.

Eastman, J.R., 2009. *IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing*, Clark University,

Hedayat, S. 2016. Assessment and optimal management of groundwater resources (Bakhtegan-Maharlo watershed). Master's thesis, Water Engineering, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (In Persian).

Khoshravesh, M. and R. Norooz Valashedi. 2020. Investigation the effect of climate change scenarios on the monthly flow discharge at the outlet of Gelevard Dam. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(4): 23-43. (in persian)

Manikanta, B., and Yaswanth, K. K. 2025. Impact assessment of future LULC and climate change on hydrology in the Upper Pennar basin, India. *Sustainable Water Resources Management*, 11(2), 1-24.

Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., and Daggupati, P. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-178.

Naderi, M. 2020. Assessment of water security under climate change for the large watershed of Dorudzan Dam in southern Iran. *Hydrogeology Journal*, 28(5), 1553-1574.

Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I –A

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. 2016. The scenario model intercomparison project (Scenario MIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482

Rashedi, S., S. A. Hosseini, S. Nazif and B. G. Cheshmeh. 2025. Modeling the effects of climate change and land use on flow rate and sedimentation by SWAT model in Anzali Wetland in the north of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(1), 69.

Roozbahani, A., P. Behzadi and A.M. Bavani. 2020. Analysis of performance criteria and sustainability index in urban stormwater systems under the impacts of climate change. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122727.

Sharma, S. K., Sinha, R. K., Eldho, T. I. and Patel, H. M. 2024. Individual and Combined Impacts of Land Use/Cover and Climate Change on Water Balance Components of a Tropical River Basin. *Environmental Modeling & Assessment*, 29(1), 67-90.

Shokouhifar, Y., H. Zarei, A. M. Akhondali and A. Khoramian. 2022. Assessment of effects of changes in landuse on the water balance components using SWAT (Case study: Doroudzan dam basin). *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(2), 139-150.

Song, X. P., M. C. Hansen, S. V. Stehman, P. V. Potapov, A. Tyukavina, E. F. Vermote and J. R. Townshend. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature* 56(7720): 639-643.

Wldmchel, M. and Osore, A. 2025. Evaluation of the impact of climate and land use/land cover change on hydrological response in Gelna watershed. *PLOS Climate*, 4(1), e0000483.

Yang, J., Reichert, P., Abbaspour, K. C., Xia, J., & Yang, H. 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *Journal of hydrology*, 358(1-2), 1-23.

Zhang, L., Y. Jiang, M. Yang, H. Wang, N. Dong, H. Wang, X. Liu, L. Chen and K. Liu. 2022. Quantifying the Impacts of Land Use and Cover Change (LUCC) and Climate Change on Discharge and Sediment Load in the Hunhe River Basin, Liaoning Province, Northeast China. *Water* 14(5): 737.

Zorratipour, M., H. Zarei, M. R. Sharifi and F. Radmanesh. 2021. Hydrological simulation of Bakhtegan basin in Iran using the SWAT model. *Irrigation Science and Engineering*, 44(2), 39-51