Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 46, No. 1, Spring 2023, p. 47-63

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

The effect of changing the cultivation pattern and improving the efficiency of irrigation systems on reducing the withdrawal of groundwater resources under climate change scenarios (Case study: Kavar Plain)

M. K. Shaabani[1], J. Abedi-Koupai[2*], S. S. Eslamian[3], and S. A. R. Gohari[4]

1- Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2- Corresponding Author, Professor, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.(koupai@cc.iut.ac.ir).*
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
4-Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 15 July 2021
Revised: 5 January 2022
Accepted: 8 January 2022

Keywords:
Irrigation Requirement, Prediction, Temperature, Rainfall, Irrigation scenarios.

TO CITE THIS ARTICLE:

Shaabani, M. K., Abedi Koupai, J., Eslamian, S. S., Gohari, A. (2023). 'The effect of changing the cultivation pattern and improving the efficiency of irrigation systems on reducing the withdrawal of groundwater resources under climate change scenarios (Case study: Kavar Plain)', Irrigation Sciences and Engineering, 46(1), pp. 47-63. doi: 10.22055/jise.2022.38791.1994.

Introduction

The Severe shortage of surface and groundwater resources is the most important constraint on sustainable agricultural development in arid and semi-arid regions. Frequent droughts in recent decades have also led to a significant drop in groundwater levels due to uncontrolled abstraction. In the present study, different irrigation scenarios are provided to reduce the withdrawal of water from the aquifer of Kavar plain in Fars province. The results of various studies show that due to climate change, water resources are reduced and irrigation requirements of plants will be increased during the growing season (Goodarzi et al., 2015; Zeinoddini et al., 2019). In this study, to simulate future climate parameters, the outputs of AOGCMs models and emission scenarios RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 of the Fifth Climate Change Report were used (IPCC,2014). Then irrigation requirements of the study area were calculated by Cropwat software considering the cultivation pattern for the future period. Finally, by defining irrigation scenarios, the simultaneous effects of climate change and cultivation pattern change in the development of irrigation systems (surface and pressurized) on groundwater resources were evaluated.

Methodology

Due to the occurrence of recent droughts in Fars province, the water level of the Kavar plain aquifer has decreased by about 30 meters compared to 1995. In the present study, the effects of the developing irrigation systems and changing cultivation patterns on irrigation requirements and withdrawal of water from the aquifer have been investigated.

Water requirement of the cultivation pattern

Cropwat software was used to calculate the water requirement of the cultivation pattern. This software uses the FAO Penman-Monteith method to calculate water requirements. The results of using this method in comparison with the measurement data in neighboring areas have been satisfactory (Zand-Parsa et al., 2015).

Climate Prediction

Historical data on rainfall and maximum and minimum temperature were collected during the period of 57 years (1961-2018). In order to predict the climatic parameters in the future period, the CanESM2 model, which is a series of GCMs models, was used under the emission scenarios of RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 (Arora et al.,2011). The SDSM model was also used to downscaling data. The results of various researches indicated the proper performance of the SDSM model compared to other downscaling statistical models (Gutierrez et al., 2013). Statistical indices R^2, RMSE, NRMSE, and NSE were used to evaluate the results of the climate change model and downscaling data.

Development of irrigation scenarios

In the present study, six irrigation scenarios were defined based on the type of irrigation systems, changes in cultivation pattern levels, and future climate change, then the impact of each on the withdrawal of groundwater resources was evaluated. To determine the percentages of cultivation patterns in each scenario, linear programming (LP) was used in Excel software in which the maximum volume of available water resources and the gross irrigation requirements of plants are considered.

Results and discussion

Climate change results

Meteorological parameters of rainfall, maximum and minimum temperature were simulated by the SDSM model for the future period (2020-2070). The results of temperature prediction by the model showed that the temperature increase in the future period will be different in months of the year. The highest maximum temperature increase under the scenarios of RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 in July is predicted at 1.38, 1.44, and 1.72 ° C, respectively. Also, the minimum temperature increase will occur in June under the RCP8.5 scenario by 1.51 ° C and under the RCP2.6 and RCP4.5 scenarios in June by 1.26 and 1.43 ° C, respectively. Simulation of rainfall in the future period showed that the annual average will be decreased. rainfall decreases under the RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios are predicted at 16, 35, and 50 mm per year, respectively.

The impact of climate change on water demand

The modeling results showed that the net water requirement of plants under RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios will be increased in the future period. The rate of increase in net water requirement over the future period for RCP2.6 scenarios between 3.9 and 4.5; For RCP4.5 scenarios between 6 to 7 and for RCP8.5 scenarios between 8.5 to 10 percent are calculated.

Analysis of irrigation scenarios

Comparison of the climate change scenario with the reference scenario showed that the gross irrigation requirements for plain in the future period will be increased from 188 to 210 MCM. Therefore, to meet the irrigation requirements, Withdrawal from the aquifer should be increased by 18 percent. To reduce it, scenarios of changing the cultivation pattern towards low-consumption crops, increasing the allocation of surface water, improving the efficiency of surface and pressurized irrigation were proposed. The results showed that by applying these scenarios, the irrigation

requirements of the plain can be decreased to 164 MCM. It also reduced groundwater abstraction by 56 MCM (about 40 percent).

Conclusion

The simulation results of climatic parameters showed that in all three scenarios of emission, the temperature will be increased and precipitation will be decreased. increase in gross irrigation requirements for different plants under RCP2.6 scenario between 4 to 8; Under RCP4.5 scenario between 6 to 13 and under RCP8.5 scenario between 8 and 18 percent were predicted. Also, the results of irrigation scenarios on the amount of irrigation consumption in the region showed that by designing and adjusting the cultivation pattern and improving the efficiency of surface and pressurized irrigation, the amount of groundwater abstraction in dry and normal conditions can be reduced by 21 to 40 percent.

Acknowledgment

The authors sincerely appreciate the experts of the Regional Water Company and the Agricultural organization of Fars to provide all the required information.

References

1- Arora, V. K., Scinocca, J. F., Boer, G. J., Christian, J. R., Denman, K. L., Flato, G. M., Kharin, V. V., Lee, W. G., and Merry field, W. J., 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophysical Research Letters, 38*(5), pp. 1-6.

2- Goodarzi, M., Abedi-Koupai, J., Heidarpour, M. and Safavi, H.R., 2015. Evaluation of the effects of climate change on groundwater recharge using a hybrid method. *Water Resour Manage, 30*(1), pp.133-148.

3- Gutierrez, J.M., San-Martín, D., Brands, S., Manzanas, R. and Herrera, S., 2013. Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions. *Journal of Climate*, *26*(1), pp.171–188.

4- IPCC, 2014. Climate change 2014 synthesis report. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I, II and III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), In: R. Pachauri and L. Meyer (eds). Geneva, *Switzerland.* 151p.

5- Zand-Parsa, S.h., Mahmoudian Shooshtari, M. and Majnooni-Heris, A., 2015. Measurements of standard maize evapotranspiration using water balance method and Variable Root Depth in an Arid and Semi-Arid Region. *Water and Soil Science*, *25*(1), pp.169-181.(In Persian).

6- Zeinoddini, S., Anvari, S. and Zahmatkesh, Z., 2019. Application of simulation-optimization approaches to assess the effect of climate and management scenarios on a water resource system. *Iran-Water Resources Research, 14*(5), pp.295-310. (In Persian).

© 2023 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٦، شماره‌ی ۱، بهار ۱٤۰۲، مقاله پژوهشی، ص. ٦۳-٤۷

تأثیر تغییر الگوی کشت و بهبود راندمان سیستم‌های آبیاری بر کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تحت سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت کوار)

محمدکاظم شعبانی [۱]، جهانگیر عابدی کوپایی [۲*]، سید سعید اسلامیان [۳] و سید علیرضا گوهری [۴]

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، koupai@cc.iut.ac.ir.

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

چکیده

کمبود شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی مهم‌ترین محدودیت توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. در مطالعه حاضر به بررسی شناخت تأثیرات توسعه سیستم‌های آبیاری و تغییر الگوی کشت روی نیاز آبیاری در شرایط تغییر اقلیم پرداخته شده است. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در آینده و میزان تأثیر آن‌ها روی نیاز آبیاری از سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم استفاده گردید. هم‌چنین برای بررسی هم‌زمان اثر بهبود راندمان آبیاری، تغییراقلیم و تغییر الگوی کشت روی نیاز ناخالص آبیاری؛ ابتدا تغییرات الگوی کشت و سیستم‌های آبیاری دشت کوار در طی یک دهه مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس سناریوهای مدیریتی مختلفی برای کاهش برداشت از آبخوان تعریف گردید. نتایج پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بیانگر آن است که در هر سه سناریوی انتشار، دما افزایش و بارندگی کاهش می‌یابد. بر همین اساس میزان افزایش نیاز ناخالص آبیاری برای گیاهان مختلف تحت سناریو RCP2.6 بین چهار تا هشت درصد؛ تحت سناریو RCP4.5 بین شش تا ۱۳و تحت سناریو RCP8.5 بین هشت تا ۱۸ درصد پیش‌بینی گردید. هم‌چنین بررسی سطوح الگوی کشت دشت کوار در دهه اخیر نشان داد که افزایش راندمان آبیاری در منطقه موجب افزایش ۱۰ درصدی سطح زیرکشت شده و عدم کاهش برداشت آب از آبخوان را به دنبال داشته است. نتایج اعمال سناریوهای آبیاری مختلف نشان داد با طراحی و تنظیم الگوی کشت و بهبود راندمان‌های آبیاری سطحی و تحت فشار می‌توان در شرایط خشک و نرمال بین ۲۱ تا ٤۰ درصد، برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت را کاهش داد.

کلید واژه‌ها: نیاز آبیاری، پیش‌بینی، دما، بارندگی، سناریوهای آبیاری.

مقدمه

حدود دو سوم آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی جهان در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد. در ایران نیز مانند سایر کشورها بخش قابل توجهی(در حدود ۷۱ درصد) از منابع آب تجدیدپذیر در این بخش استفاده می‌شود (Nasseri et al., 2017). بنابراین انتخاب روش‌های مناسب برای استفاده بهینه از منابع آب به ازای مصرف هر چه کمتر آب ضروری به نظر می‌رسد. یکی از پدیده‌هایی که شرایط آب و هوایی مناطق مختلف جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد تغییرات اقلیمی می‌باشد. تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی، که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ دهد (Kumar,2012). با وجود این که تغییر اقلیم در برخی مناطق جهان به ویژه نواحی عرض‌های شمالی و بالاتر از ۵۵ درجه اثرات مثبتی بر تولیدات کشاورزی به همراه خواهد داشت، ولی اثرات منفی این تغییرات درمناطق گرم و خشک بسیار شدید خواهد بود به علاوه فراوانی و شدت وقوع پدیده‌های نادر اقلیمی (خشکسالی، گرما، و سیل) نیز تشدید خواهد شد (Sivakumar et al.,2005; Ewert et al.,2005). Alizadeh et al. (2010) تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش تحت سناریو A2 برای سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ را با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری و خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 در حوضه کشف‌رود مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در صورت افزایش دما به میزان یک، دو و چهار درجه سانتی‌گراد، نیاز آبی الگوی کشت گیاهان در کشف رود به ترتیب شش، ۱۰ و ۱۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. Gohari et al. (2013) تأثیر تغییرات

اقلیمی در تولید محصولات کشاورزی و بهره‌وری آب را برای چهار محصول (گندم، جو، برنج و ذرت) در حوضه زاینده‌رود ایران را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد در اثر تغییر اقلیم میانگین درجه حرارت ماهانه از ۱/۱ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد ولی بارندگی سالانه ۱۱ تا ۳۱ درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین در اثر تغییر اقلیم نیاز آبی گیاهان (برنج ۳۰/۲ و ذرت ۲۴/۹ درصد) طی دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت. Mehta et al. (2013) عرضه و تقاضای آب آبیاری را در اثر سناریوهای تغییر اقلیم و کاربری اراضی در منطقه یولوی کالیفرنیا مدل‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد تقاضای آب تحت سناریوی پایه A2 و B1 در اواخر قرن ۲۱ به‌ترتیب ۲۶ و ۳۲ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین بیشترین صرفه‌جویی در مصرف آب در سناریوی ترکیب الگوهای کشت متنوع‌تر و با کارآیی مصرف بیشتر با بهبود در فناوری آبیاری اتفاق می‌افتد، که این میزان، تقاضا را حدود ۱۲ درصد کاهش می‌دهد. Malmir et al. (2016) در تحقیقی تأثیر تغییرات اقلیم بر تخصیص آب کشاورزی در سطح حوضه قره سو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) دما ۱/۶ درجه سانتی-گراد افزایش، بارندگی ۱/۷۷ درصد کاهش و درنتیجه دبی رودخانه ۳۲/۶۲ درصد کاهش آبدهی خواهد داشت که این موضوع بیانگرافزایش عدم تأمین نیازآبی بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در دوره آتی می‌باشد. Abbasi et al. (2020) تأثیر تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب در حوضه آبریز طشک-بختگان استان فارس برای دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۴۶ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد در اثر تغییر اقلیم بارندگی کاهش و تبخیر و تعرق واقعی افزایش می‌یابد. هم‌چنین خروجی متوسط سالانه از رودخانه‌های حوضه از ۰/۸۶ به ۰/۶۸ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت. Mohebi (2019) در تحقیقی با استفاده از مدل SDSM و خروجی مدل جوی CanEsm2 اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی نخیلات در منطقه اهواز را مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق نشان داد در دوره آتی درجه حرارت افزایش و میزان بارندگی کاهش می‌یابد براین اساس نیاز آبی نخیلات در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ به میزان تا هشت درصد، در سال‌های ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ به میزان ۱۵ تا ۱۹ درصد و در سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۰۹۹ به میزان ۲۵ تا ۲۸ درصد افزایش می‌یابد. بررسی تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد در اثر تغییرات آب و هوایی و گرمایش جهانی منابع آبی کاهش و نیاز آبیاری گیاهان در طول دوره رشد افزایش می‌یابد (Goodarzi et al., 2015; Khayat et al., 2020; Zeinoddini et al., 2019). بنابراین محدودیت و کاهش شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی به لحاظ استفاده بیشتر قابل پیش‌بینی است. در این زمینه پیدا کردن روش‌های مختلف طراحی و تنظیم الگوی کشت با توجه به نوع سیستم‌های آبیاری برای کاهش نیاز آبیاری و کاهش برداشت آب زیرزمینی ضروری است. در این مطالعه هدف ارائه سناریوهای مختلف آبیاری به‌منظور کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی در دشت کوار استان فارس می‌باشد. در این راستا بررسی هم‌زمان تأثیر تغییر اقلیم و تغییر الگوی کشت در شرایط توسعه سیستم‌های آبیاری (سطحی و تحت فشار) بر نیاز آبیاری دشت از جمله نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت کوار به وسعت ۴۸۰ کیلومتر مربع در شهرستان کوار و ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز در استان فارس قرار دارد. ارتفاع متوسط دشت ۱۴۸۴ متر، متوسط بارندگی سالانه بلند مدت ۳۲۰ میلی‌متر و اقلیم آن متعدل و مرطوب می‌باشد. الگوی کشت منطقه مورد مطالعه شامل گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، پیاز، حبوبات، گوجه فرنگی، کلزا، چغندرقند، یونجه، انگور، پسته و باغات میوه (سیب، به، هلو، آلو) می‌باشد. نیاز کشاورزی از طریق منابع آب سطحی رودخانه قره‌آغاج و منابع آب زیرزمینی از جمله چاه‌های حفر شده در دشت تأمین می‌گردد. در دهه‌های اخیر به دلیل خشک‌سالی و محدودیت شدید منابع آب سطحی، برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌طور چشم‌گیری در این دشت افزایش یافته است. به‌طوری‌که سطح ایستابی آبخوان دشت در حدود ۳۰ متر نسبت به سال ۱۳۷۴ کاهش یافته است (www.frrw.ir). بررسی‌های صورت گرفته توسط مرکز زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب (شیراز) در زمینه پایش فرونشست با تصاویر ماهواره‌ای راداری بیانگر این است که در اثر برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، نرخ فرونشست دشت کوار از چهار تا هشت سانتی‌متر در سال برآورد می‌گردد (www.gsi.ir/shiraz). بنابراین لزوم برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. موقعیت محدوده دشت کوار در استان فارس در شکل (۱) نشان داده شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2022.38791.1994

تعیین نیاز آبی و نیاز آبیاری گیاه

مقدار نیاز آبی به روش‌های مختلفی قابل محاسبه می‌باشد. در این بین سازمان خواربار جهانی FAO نرم‌افزار Cropwat را تحت شرایط مختلف اقلیمی پیشنهاد نموده است و به‌طور گسترده‌ای توسط محققین برای تعیین نیاز آبی (CWR) گیاهان در مناطق مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Stancalie et al., 2010; Surendran et al., 2015). نرم‌افزار Cropwat از روش فائو پنمن مانتیث برای محاسبه تبخیر و تعرق استفاده می‌کند. نتایج استفاده از این روش در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری بیلان آب و خاک در مناطق هم‌جوار با آب و هوای مشابه رضایت بخش بوده است (Sepaskhah and Fooladmand, 2004; Rafiee et al. 2015; Zand-Parsa et al. 2015). در این روش مقدار تبخیر و تعرق به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.3u_2)} \quad (۱)$$

که در این رابطه ET_0 تبخیر و تعرق گیاه پتانسیل (mm/day)، Rn تابش خالص روی سطح گیاه ($MJ/m^2/day$)، T متوسط دمای روزانه (^0C)، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، e_a فشار بخار واقعی (kPa) ، Δ شیب منحنی فشار بخار ($kPa/^0C$)، G چگالی شار حرارتی ($MJ/m^2/day$) و γ ثابت فیزیومتری ($kPa/^0C$) می‌باشد. پس از تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل، مقدار نیاز آبی گیاه از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$CWR = K_c \times ET_0 \quad (۲)$$

که در این رابطه CWR نیاز آبی گیاه (mm/day)، Kc ضریب گیاهی می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور محاسبه نیاز ناخالص آبیاری (IWR) و حجم ناخالص آبیاری از روابط زیر استفاده شده است.

$$IWR = \frac{CWR - P_e}{E} \quad (۳)$$

$$V = \sum_{s=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} IWR_{s,i} \times A_{s,i} \quad (۴)$$

$$\sum_{s=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} A_{s,i} \le A_T \quad (۵)$$

که در این رابطه IWR نیاز ناخالص سالانه آبیاری گیاه (mm)، Pe بارندگی موثر (mm)، E راندمان کل سیستم آبیاری، A سطح زیرکشت، i شاخص نوع گیاه موجود در الگوی کشت، s شاخص نوع سیستم آبیاری، A_T سطح کل قابل کشت و V حجم ناخالص سالانه آب آبیاری الگوی کشت می‌باشد. برای محاسبه IWR ابتدا بایستی راندمان کل آبیاری با توجه نوع سیستم‌های آبیاری مشخص گردد. Abbasi et al. (2017) در تحقیقی وضعیت راندمان سیستم‌های آبیاری را به تفکیک در استان‌های ایران مورد تحلیل قرار دادند. براساس نتایج آن‌ها، میانگین راندمان کاربرد در سیستم‌های آبیاری سطحی شامل کرتی، نواری و جویچه‌ای به‌ترتیب ۵۵/۳، ۵۲/۹ و ۵۲/۵ درصد و برای سیستم‌های تحت فشار بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب ۶۲/۱ و ۷۱/۱ درصد برآورد شده است. هم‌چنین راندمان انتقال و توزیع نیز از ۶۷ تا ۷۴/۲ درصد محاسبه شده است. نکته قابل توجه اختلاف راندمان‌های ارائه شده در تحقیق آن‌ها با پتانسیل این سیستم‌ها در هنگام طراحی می‌باشد. در مطالعه حاضر نیز از نتایج همین تحقیق که در استان فارس تحلیل شده برای محاسبه نیاز ناخالص آبیاری استفاده گردیده است.

پیش بینی‌های پارامترهای اقلیمی و معیارهای ارزیابی

برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل نیاز به داده‌های اقلیمی شامل حداکثر و حداقل دما، بارندگی، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی می‌باشد که این داده‌ها در طول دوره ۵۷ ساله (از سال ۱۹۶۱تا ۲۰۱۸) از ایستگاه باران‌سنجی کوار و سینوپتیک شیراز جمع آوری گردید. با جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، تبخیر و

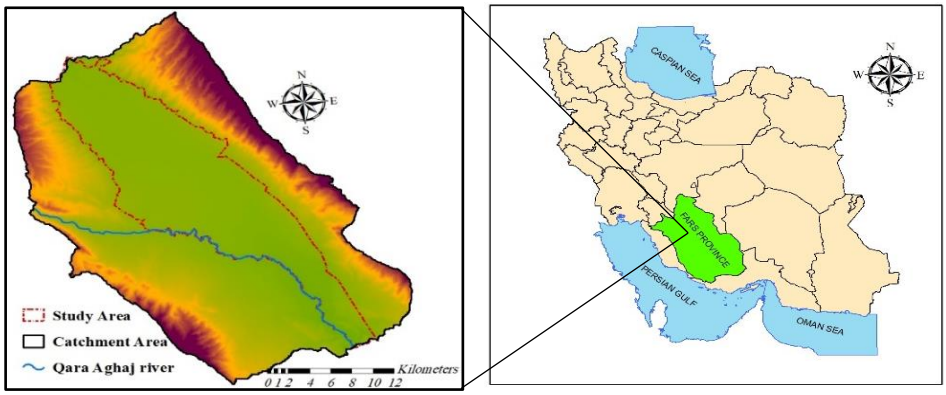


Fig. 1- Kavar plain area in Fars province

شکل ۱- محدوده دشت کوار در استان فارس

تعرق برای شرایط کنونی محاسبه شد. برای شرایط آینده از مدل CanESM2 محیط‌زیست کانادا برای پیش‌بینی و مدلسازی آب و هوا در منطقه مورد مطالعه استفاده شد که شامل ۲۶ مدل پیش‌بینی کننده (NCEP/NCAR) می‌باشد (Arora et al.,2011). براساس گزارش پنجم (AR5) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) خروجی‌های مدل تغییر اقلیم برای سه سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این گزارش سناریو RCP2.6 برای شرایط خوش بینانه که در آن واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ وات بر مترمربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ در سال ۲۱۰۰ می رسد. سناریو RCP4.5 برای شرایط متوسط تولید گازهای گلخانه-ای که در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می ماند. سناریو RCP8.5 برای شرایط حاد تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که در آن افزایش واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد (IPCC, 2014).

روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از مدل‌های چرخه عمومی جو (GCM) وجود دارد که از آن جمله می‌توان روش‌های ریزمقیاس را نام برد. در مطالعه حاضر برای ریزمقیاس نمایی از مدل SDSM برای مدل‌های گردش عمومی به مقیاس ایستگاه (زمینی) استفاده گردید. این مدل ترکیبی از مولد تصادفی آب و هوا و روشهای رگرسیونی می‌باشد (Wilby and Dawson, 2007). تولید داده در مدل SDSM طی مراحل کنترل کیفیت داده‌ها، انتخاب پیش‌بینی کننده‌های غالب، واسنجی، صحت‌سنجی و تولید سناریوهای اقلیمی آینده انجام می‌شود. نتایج تحقیقات مختلف بیانگر کارایی و عملکرد مناسب مدل به نسبت سایر مدل‌های آماری برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره آتی می‌باشد (King et al. 2012; Chen et al. 2012; Gutierrez et al. 2013). بنابراین خروجی‌های مدل تغییراقلیم به‌وسیله مدل SDSM برای دوره آتی ۵۰ سال آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) ریزمقیاس‌نمایی گردید. پس از کنترل داده‌های مشاهداتی هواشناسی، از ۵۷ سال داده‌های مشاهداتی هواشناسی ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی و ۳۰ درصد باقیمانده برای اعتبارسنجی مدل در نظرگرفته شد. برای شبیه‌سازی ابتدا بهترین مدل‌های پیش‌بینی کننده NCEP با قوی‌ترین ارتباط با پیش‌بینی شونده‌ها انتخاب شدند. سپس در مرحله غربالگیری بهترین پیش‌بینی کننده‌ها براساس آنالیز آماری مشخص شده، برای هر پارامتر هواشناسی تعیین شد.

برای ارزیابی نتایج مدل تغییر اقلیم و ریزمقیاس نمایی از معیارهای آماری ضریب تبیین R^2 ، خطای ریشه میانگین مربعات خطا RMSE، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده NRMSE و ضریب نش–ساتکلیف NSE استفاده گردید. بر پایه این معیارها هرچه میزان خطا کم؛ ضریب نش ساتکلیف و ضریب تبیین به یک نزدیک تر باشد مدل از کارایی قابل قبولی برخوردار خواهد بود. نتایج تحلیل‌های آماری انجام شده در تحقیقاتی که از مدل‌های CanEsm2 و SDSM استفاده شده بیانگر این است که این مدل‌ها از کارایی مناسبی برای بررسی اثر تغییر اقلیم برخوردار می‌باشند (Shaltout and Tobol, 2018; Etemadi and Delshab, 2020; Mojerloo et al. 2019; Goodarzi and Faraji, 2017; Fahiminezhad et al. 2019; Mesbah Zadeh et al. 2019). شاخص‌های آماری به شرح روابط (۵)، (۶)، (۷) و (۸) مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right)} \qquad (۶)$$

$$\mathrm{NRMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right)} \Big/ O_{ave} \qquad (۷)$$

$$\mathrm{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ave})^2} \qquad (۸)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ave})(P_i - P_{ave})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ave})^2 \sum_{i=1}^{n}(P_i - P_{ave})^2} \qquad (۹)$$

در روابط فوق O_i داده‌ها مشاهداتی، P_i داده‌های شبیه‌سازی شده مدل، O_{ave} میانگین داده‌های مشاهداتی، P_{ave} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده مدل و n تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد. برای سازگار شدن با تغییرات اقلیمی، پارامترهای درجه حرارت و میزان بارش در دوره آتی شبیه‌سازی و برای برآورد نیاز آبی الگوی کشت منطقه مورد مطالعه قرار گرفت.

تدوین سناریوهای آبیاری

در مطالعه حاضر سناریوهای مدیریتی مختلفی براساس سیستم‌های آبیاری، سطوح الگوی کشت، تغییر اقلیم و راه‌کارهای مدیریتی تعریف گردید. برای این منظور ابتدا سیستم‌های آبیاری در منطقه منطقه شناسایی گردید. این کار با بازدیدهای میدانی و اخذ اطلاعات از کارشناسان مربوطه صورت گرفت. در حال حاضر منابع آب سطحی به وسیله بند انحرافی بهمن و انهار سنتی در کل دشت توزیع می‌گردد. براساس آمار اندازه‌گیری‌شده شرکت آب منطقه‌ای فارس به طور متوسط سالانه در حدود ۴۵ میلیون مترمکعب آب به‌وسیله این انهار در سطح دشت توزیع می‌گردد. آن شرکت قصد دارد با احداث سد روی رودخانه قره‌آغاج (سد کوار) میزان تخصیص دشت کوار را برای کمک به تعادل‌بخشی به آب‌زیرزمینی در سال‌های مرطوب و نرمال به ۸۰ میلیون‌مترمکعب برساند. از جمله اقدام‌های دیگر شرکت آب منطقه‌ای، افزایش راندمان آبیاری سطحی از طریق پوشش دار کردن انهار سنتی

DOI: 10.22055/JISE.2022.38791.1994

پایین‌دست سد کوار (میرزای شیرازی) در آینده می‌باشد. برداشت از آبخوان آب زیرزمینی نیز براساس آماربرداری‌هایی که توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای صورت گرفته سالانه در حدود ۱۴۰ میلیون‌مترمکعب می‌باشد که به‌وسیله پمپاژ در انهار سنتی یا سیستم‌های تحت فشار در مزارع توزیع می‌گردد. بنابراین در حدود ۱۸۵ میلیون مترمکعب در سال، آب به مصارف کشاورزی در دشت کوار اختصاص یافته است (Anonymous, www.frrw.ir ; 2015). با در نظر گرفتن این موارد برای بررسی دقیق نیاز ناخالص آبیاری در آینده و اعمال آن در سناریوهای مدیریتی، باید سه نوع سیستم آبیاری منطقه شامل شبکه آبیاری انهار سنتی (Traditional Irrigation Canals Network, TICN)، شبکه آبیاری کانال‌های مدرن (Modern Irrigation Canals Network, MICN) و سیستم آبیاری تحت فشار (Pressurized Irrigation Systems, PIS) مورد بررسی قرار گیرد. براساس داده‌های تحقیق Abbasi et al (2017) در محدوده مورد مطالعه راندمان کل برای آبیاری سطحی با انهار سنتی (TICN) ۴۷ درصد، آبیاری سطحی با شبکه مدرن (MICN) ۵۴ درصد و شبکه تحت فشار (قطره‌ای و بارانی، PIS) ۶۷ درصد برآورد گردید. شبکه آبیاری تحت فشار غالب در منطقه قطره‌ای و نواری (Tape) می‌باشد. پارامترهای تغییر اقلیم در سناریوهای مدیریتی برای حالت بدبینانه و شرایط حاد تولید گازهای گلخانه‌ای (RCP8.5) در نظر گرفته شده است. در واقع فرض شده جامعه تلاشی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای انجام ندهد. بر این اساس سناریوهای منتخب آبیاری به شرح زیر تعریف شده‌اند.

سناریو S1: این سناریو به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات الگوی کشت و سیستم‌های آبیاری بر روی نیاز ناخالص آبیاری که در یک دهه گذشته در منطقه رخ داده، تعریف گردیده است. داده‌های این سناریو براساس درصدهای الگوی کشت و سطوح آبیاری سطحی و تحت فشار برای سال ۲۰۰۸ تنظیم شده است.

سناریو S2 (مرجع): سناریو مرجع ادامه وضع موجود بدون تغییری در مدیریت آبیاری می‌باشد. هم‌چنین این سناریو براساس درصدهای الگوی کشت و سطوح سیستم‌های آبیاری سال ۲۰۱۸ تعریف شده است. بررسی تغییرات نیاز ناخالص آبیاری طی یک دهه گذشته و هم‌چنین تغییرات تقاضای آب در آینده تحت شرایط مختلف مدیریتی با این سناریو مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

سناریو S3: این سناریو به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم روی نیاز ناخالص آبیاری در دوره آتی تعریف شده است. در این سناریو درصد الگوی کشت و سطوح سامانه‌های آبیاری حال حاضر، در دوره آتی ثابت فرض شده و برابر داده‌های سال ۲۰۱۸ در نظر گرفته شده است.

سناریو S4: این سناریو ترکیبی از سناریوی S3، افزایش راندمان سامانه آبیاری سطحی و تخصیص آب سطحی برای سال‌های نرمال (یا مرطوب) به میزان ۸۰ میلیون متر مکعب (۳۵ میلیون متر مکعب افزایش) می‌باشد. اعمال بهبود راندمان انتقال و توزیع با فرض پوشش انهار و مدرن کردن شبکه ثقلی در نظر گرفته شده است. هدف از طرح این سناریو ارزیابی تأثیر همزمان تغییر اقلیم، بهبود راندمان آبیاری سطحی و افزایش تخصیص روی کاهش منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

سناریو S5: سناریو S5 ترکیبی از سناریوی S4 و تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم مصرف منطقه می‌باشد. هدف این سناریو ارزیابی همزمان تغییر اقلیم، بهبود راندمان آبیاری (سطحی

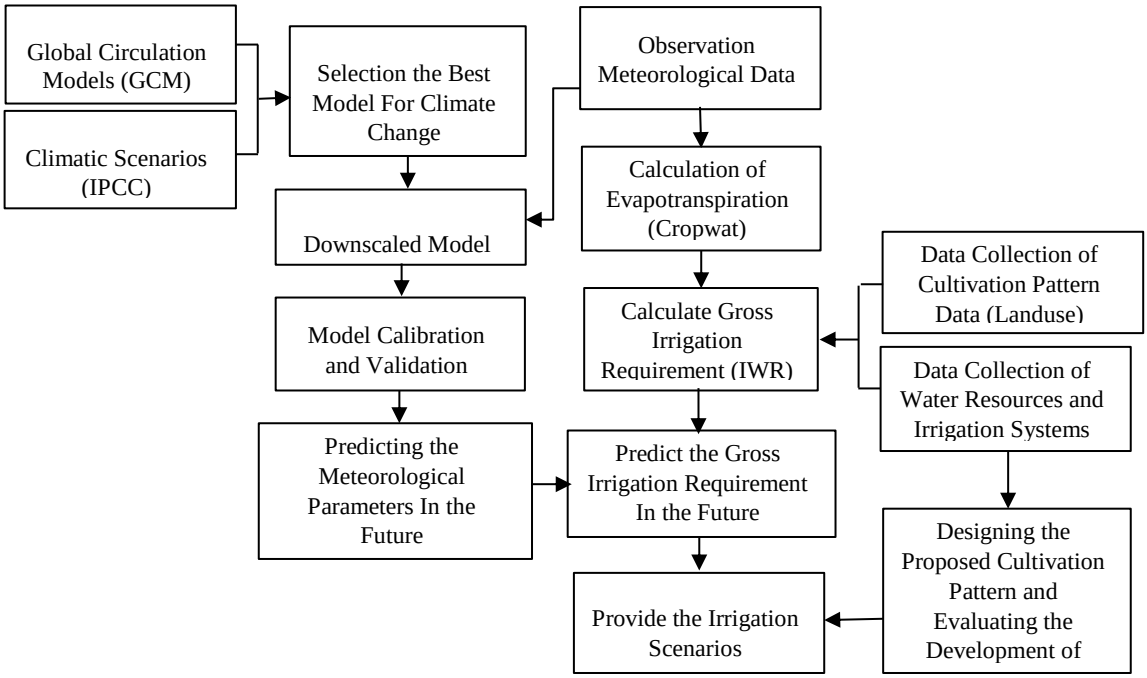


Fig. 2- The flowchart of the study procedure

شکل ۲- روند اجرای تحقیق

و تحت فشار) و تغییر الگوی کشت روی تقاضای آبیاری می‌باشد.

سناریو S6: سناریو S6 همان شرایط سناریو S5 را دارا می‌باشد. فقط در آن فرض شده شرایط خشکسالی باشد و هیچ‌گونه افزایش تخصیصی در آب سطحی صورت نگیرد و صرفاً با تغییر الگوی کشت و توسعه سیستم‌های آبیاری (سطحی و تحت فشار)، میزان تقاضای آبیاری را در شرایط خشکسالی کاهش داد.

برای تعیین سطوح زیرکشت گیاهان مختلف در هر سیستم آبیاری و نیاز ناخالص آبیاری از روابط (۴) و (۵) و برنامه برنامه-ریزی خطی (LP) در نرم‌افزار Excel استفاده گردید که در آن براساس حداکثر احجام منابع آب در دسترس و نیاز ناخالص آبیاری گیاهان، سطوح الگوی کشت طراحی و تنظیم شده است. در شکل (۲) روند اجرای تحقیق ارائه شده است.

نتایج و بحث

تغییرات الگوی کشت و سیستم‌های آبیاری منطقه

منطقه مطالعاتی دشت کوار دارای کاربری زراعی و باغی می‌باشد. موضوع مهم در منطقه تغییر در الگوی کشت به سمت محصولات باغی و توسعه سیستم‌های نوین آبیاری می‌باشد. نتایج این تغییرات در این تحقیق باتوجه به تهیه نقشه کاربری اراضی مطابق شکل (۳) در ابتدا و انتهای دهه اخیر (۲۰۱۸-۲۰۰۸) برآورد شده است. نقشه کاربری براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای در GIS، بازدیدهای میدانی و اطلاعات آمارنامه‌های کشاورزی تهیه شده که نتایج آن به شرح جدول (۱) خلاصه شده است (Anonymous, 2018; www.fajo.ir). مطابق جدول (۱) مشاهده می‌شود که در منطقه پژوهش از سطح زیر کشت محصولات زراعی کم و به سطح زیر کشت محصولات باغی اضافه شده است. بنابراین تغییرالگوی کشت به سمت محصولات باغی به دلیل سودآوری بیشتر رخ داده است. هم‌چنین سطح خالص کلی زیر کشت از حدود ۱۲۵۰۰ به ۱۳۷۰۰ هکتار رسیده که در حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است. سطح اراضی با آبیاری ثقلی و تحت فشار در دهه اخیر براساس آمارنامه کشاورزی و اطلاعات کارشناسان جهاد کشاورزی استان در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که سطح زیر کشت اراضی تحت فشار سالانه در حال افزایش است و این افزایش در سال ۲۰۱۸ در مقایسه با سال ۲۰۰۸ به حدود ۴۱ درصد رسیده است. این موضوع بیان‌گر افزایش راندمان آبیاری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش سطح زیرکشت به دلیل افزایش راندمان آبیاری و توسعه سیستم-های آبیاری تحت فشار در منطقه رخ داده است.

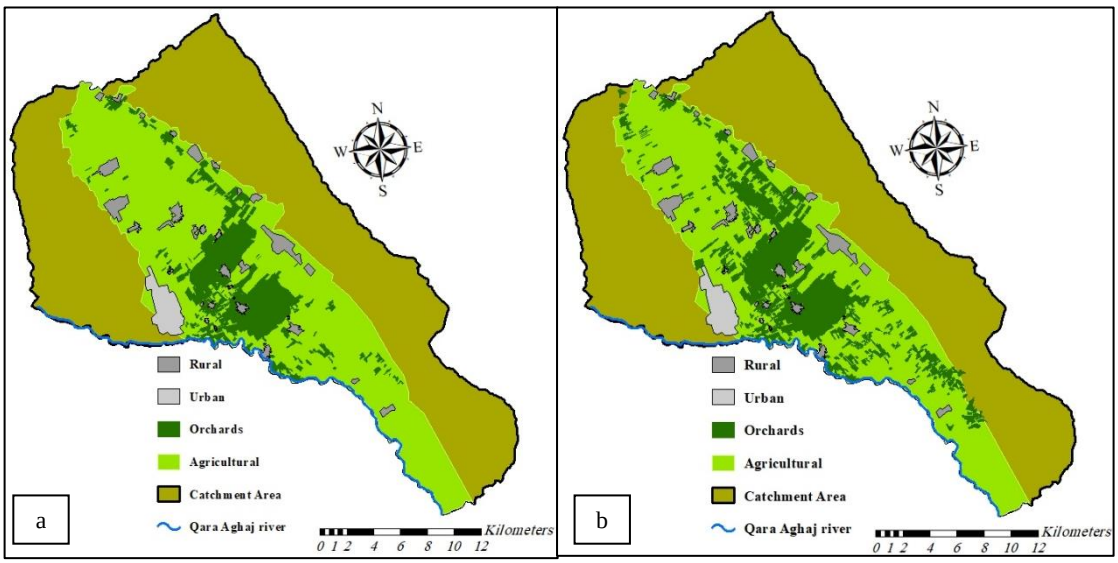


Fig. 3- Land use of Kavar plain catchment in the last decade (a:2008 b:2018)

شکل ۳- نقشه کاربری حوضه آبریز دشت کوار در دهه اخیر ((a): ۲۰۰۸ (b): ۲۰۱۸)

DOI: 10.22055/JISE.2022.38791.1994

جدول ۱- درصد محصولات مختلف الگوی کشت در دهه اخیر دشت کوار

Table 1- Percentage of crops in the cultivation pattern during the last decade in Kavar plain

rops	Percent (2008-2009)	Area (ha)	Percent (2017-2018)	Area (ha)
Canola	4	9500	4	8500
Wheat	35		30	
Barely	5		3	
Sugarbeet	9		7	
Maize (Grain)	10		7	
Onion	3		2	
Beans	1		1	
Alfafla	4		4	
Maize	3		3	
Tomato	2		1	
Grape	16	3000	25	5200
Pistachio	0		1	
Orchards	8		12	
SUM	100	12500	100	13700

جدول ۲- سطح اراضی ثقلی و تحت فشار دشت کوار در دهه اخیر

Table 2- Area of pressurized and Non-Pressurized lands of Kavar plain in the last decade

Irrigation System	2008-2009	2017-2018
Non-Pressurized (Gravity)	10650	8100
Pressurized	1850	5600
SUM	12500	13700

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل SDSM در طول دوره‌های واسنجی و صحت سنجی

Table 3- Evaluating the performance of the SDSM model during calibration and validation periods

Parameter	Calibration				Validation			
	RMSE	NRMSE	NSE	R^2	RMSE	NRMSE	NSE	R^2
Maximum Temperature	0.61	2.39	0.99	0.68	0.67	2.57	0.99	0.71
Minimum temperature	0.33	3.61	0.99	0.61	0.41	3.62	0.99	0.64
Percipitation	2.59	7.96	0.99	0.64	3.96	8.03	0.98	0.59

تغییر اقلیم و نیاز آبی

پارامترهای هواشناسی دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی به وسیله مدل SDSM برای دوره آتی (۲۰۲۰–۲۰۷۰) شبیه‌سازی گردید. نتایج آماری ارزیابی پارامترهای هواشناسی شبیه‌سازی شده حاصل از واسنجی و صحت سنجی مدل در جدول (۳) ارائه شده است.

بررسی کارایی مدل توسط شاخص NSE بیان‌گر این است که برازش کاملی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل وجود دارد. مقادیر شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE و R^2 نیز نشان می‌دهد مدل توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس نمایی پارامترهای هواشناسی در دوره آتی دارد. برای مقایسه بهتر نمودار انطباق‌پذیری مقادیر صحت‌سنجی شده مدل در مقایسه با داده‌های مشاهداتی در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی طی دوره آتی تحت سناریوهای مختلف انتشار در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. نتایج درجه حرارت حداکثر نشان می‌دهد که دما در دوره آتی افزایش خواهد یافت و این افزایش در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. مدل بیشترین افزایش دمای حداکثر را تحت سناریو RCP8.5 در ماه جولای به میزان ۱/۷۲ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوهای دیگر RCP2.6 و RCP4.5 در ماه جولای به‌ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۴۴ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی کرده است. نتایج درجه حرارت حداقل نیز نشان می‌دهد که افزایش دما در دوره آتی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. بیشترین افزایش دمای حداقل تحت سناریو RCP8.5 در ماه در ماه جون به میزان ۱/۵۱ درجه سانتی‌گراد و همچنین میزان افزایش دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 درماه ژوئن به‌ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۴۳ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. نتایج شبیه‌سازی بارندگی بیانگر کاهش متوسط سالانه آن در دوره آتی است و این کاهش تحت

سناریوهای مختلف متفاوت است. بیشترین کاهش بارندگی تحت سناریو RCP8.5 و به میزان ۵۰ میلی‌متر در سال (۱۶ درصد کاهش) می‌باشد. هم‌چنین مدل کاهش متوسط بارندگی سالانه تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به‌ترتیب ۱۶ و ۳۵ میلی-متر در سال (پنج و ۱۱ درصد کاهش) پیش بینی کرده است. خلاصه نتایج تغییر اقلیم روی نیاز خالص آبی سالانه گیاهان مختلف (CWR) تحت سناریوهای مختلف انتشار در شکل (۷) ارائه شده است. بیشترین نیاز خالص آبی مربوط به یونجه، باغات میوه، چغندرقند و پیاز می‌باشد. هم‌چنین ملاحظه می‌گردد که نیاز آبی همه گیاهان تحت سناریوهای انتشار در آینده (۲۰۷۰-۲۰۲۰) افزایش می‌یابد. برای سناریو RCP2.6 میزان افزایش بین ۳/۹ تا ۴/۵ ؛ برای سناریو RCP4.5 میزان افزایش بین شش تا هفت و برای سناریو RCP8.5 میزان افزایش بین ۸/۵ تا ۱۰ درصد محاسبه شده است. بیشترین افزایش مربوط به گیاه گندم، جو و پیاز می‌باشد. با توجه به نتایج مشاهده می‌گردد که اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبی (CWR) حداکثر ۱۰ درصد می‌باشد. در مورد نیاز ناخالص آبیاری (IWR) میزان افزایش طی ۵۰ سال آینده بیشتر می‌باشد. برای سناریو RCP2.5 بین چهار تا هشت درصد؛ برای سناریو RCP4.5 بین شش تا ۱۳ درصد و برای سناریو RCP8.5 بین هشت تا ۱۸ درصد پیش‌بینی می‌گردد که بیشترین افزایش مربوط به گیاه گندم، جو، کلزا، پیاز و حبوبات می‌باشد. نتایج بیانگر این موضوع می‌باشد که محصولات پاییزه بیشترین حساسیت و محصولات تابستانه کمترین حساسیت را به تغییر اقلیم خواهند داشت که با تحقیقات پیشین نیز مطابقت دارد (Goodarzi et al. 2015;Gohari et al.2013).

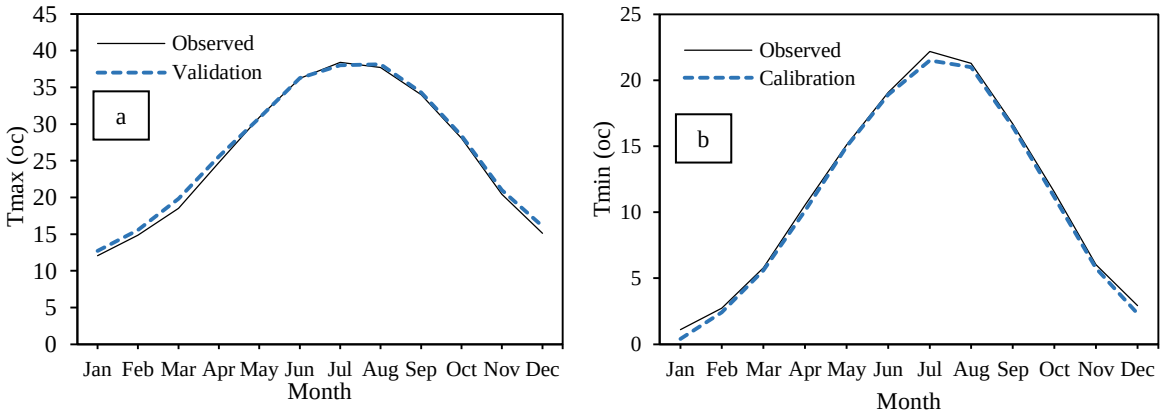


Fig. 4- Comparison of the maximum (a) and minimum (b) observed and simulated temperatures in the validation period

شکل ٤- مقایسه دمای حداکثر (a) و حداقل (b) مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره صحت سنجی

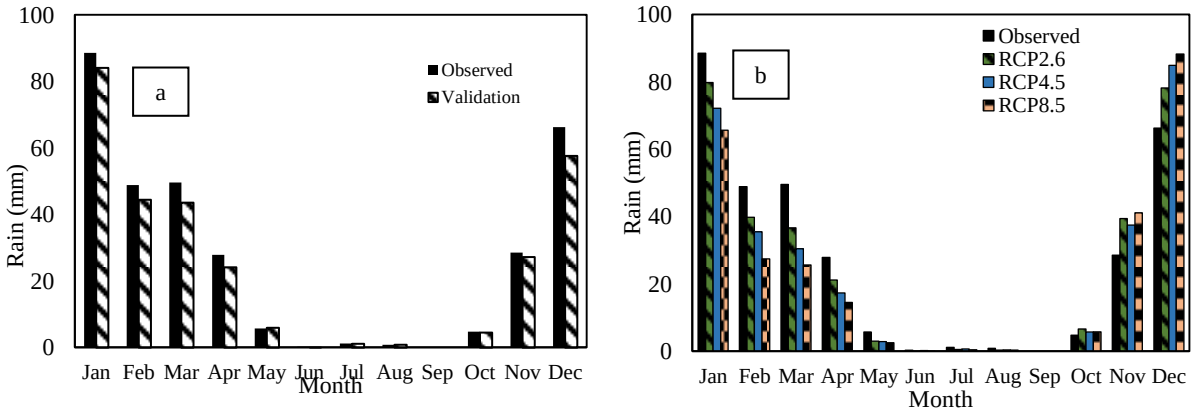


Fig. 5- (a) Comparison of the observed and simulated rainfall in the validation period, (b) Predicting the rainfall during the next period under climatic scenarios

شکل ٥- (a): مقایسه بارندگی مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره صحت سنجی. (b): پیش‌بینی بارندگی طی دوره آتی تحت سناریوهای اقلیمی

DOI: 10.22055/JISE.2022.38791.1994

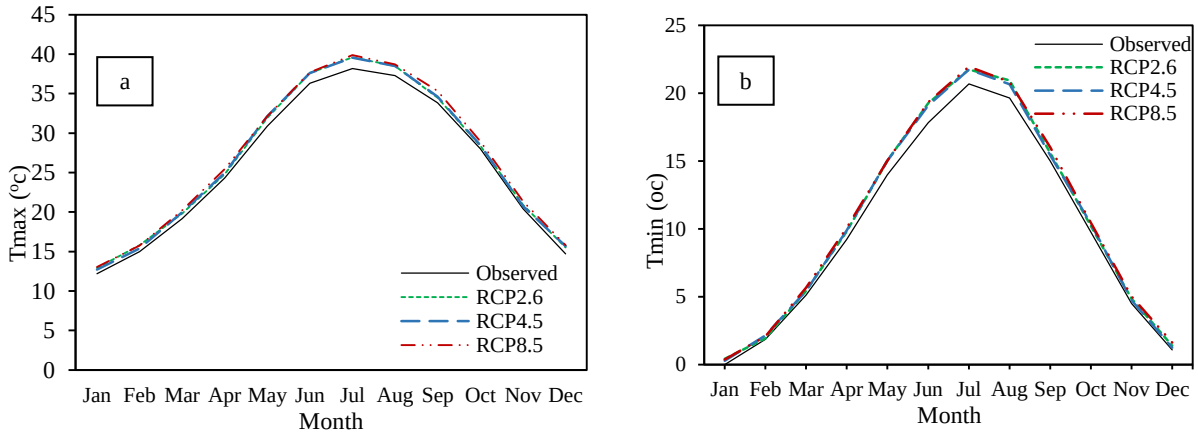


Fig. 6- Predicting the maximum (a) and minimum (b) temperature during the next period under climatic scenarios

شکل ٦- پیش‌بینی دمای حداکثر (a) و حداقل (b) طی دوره آتی تحت سناریوهای اقلیمی

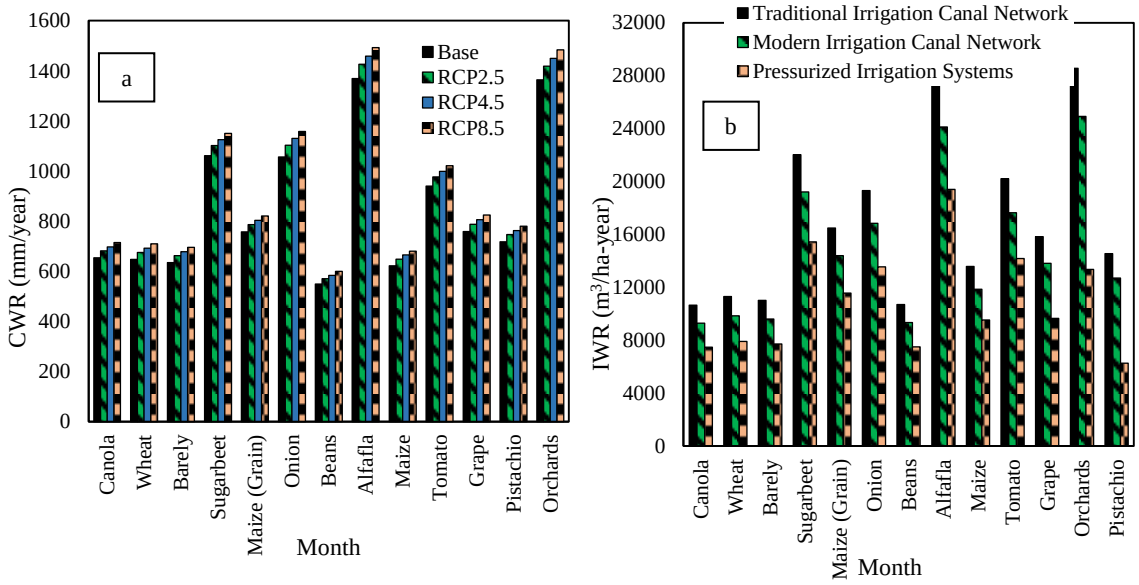


Fig. 7- (a) Evapotranspiration of annual plant for the next period under climatic scenarios, (b) Gross irrigation requirements for different irrigation systems

شکل ۷- (a): تبخیر تعرق سالیانه گیاهی برای دوره آتی تحت سناریوهای اقلیمی. (b): نیاز ناخالص سالانه آبیاری برای سیستم‌های مختلف آبیاری

برای اعمال نیاز ناخالص آبیاری در سناریوهای مدیریتی باید نوع سیستم‌های آبیاری مد نظر قرار گیرد. در شکل (۷) نیاز ناخالص آبیاری (IWR) برای سیستم‌های مختلف آبیاری در منطقه مورد مطالعه برآورد شده است. نتایج بیانگر کاهش نیاز ناخالص آبیاری در سیستم‌های تحت فشار می‌باشد. بدین صورت که نیاز ناخالص آبیاری (IWR) برای سامانه‌های آبیاری تحت فشار (PIS) و سطحی مدرن (MICN) نسبت به سیستم آبیاری سنتی (TICN) بطور متوسط به ترتیب ۳۵ و ۱۳ درصد کمتر می‌باشد.

تحلیل سناریوهای آبیاری

برای بررسی هم‌زمان اثر راندمان آبیاری، تغییراقلیم و تغییر ترکیب الگوی کشت بر روی نیاز ناخالص آبیاری در دوره آتی و هم‌چنین بررسی اثر تطبیقی آن‌ها بر یکدیگر، سناریوهای مختلفی تعریف شده است که نتایج آن‌ها در جدول (۴) ارائه شده است. در این مطالعه به‌منظور بررسی رفتار برنامه‌ریزی خطی (LP) تحت پارامترهای ورودی و اطمینان از نتایج به‌دست آمده تحلیل حساسیت صورت گرفت. نتایج نشان داد به ترتیب حجم تخلیه آب زیرزمینی، حجم آب سطحی و نیاز ناخالص آبیاری بیشترین تأثیر را بر روی نتایج دارند.

سناریوی S1، براساس درصدهای الگوی کشت و سطوح آبیاری سطحی و تحت فشار که در جداول (۱) و (۲) برای سال ۲۰۰۸ ارائه شده، تنظیم شده است. مطابق نتایج جدول (۴) ملاحظه می‌گردد میزان نیاز ناخالص آبیاری دشت در سال ۲۰۰۸ به میزان ۱۸۴ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. بدین صورت

که ۴۵ میلیون از طریق آب سطحی (انهار سنتی؛ TICN) و مابقی آن از طریق منابع زیرزمینی به مقدار ۱۳۹ میلیون مترمکعب تأمین شده که از این مقدار ۲۲ میلیون مترمکعب در قالب سیستم‌های تحت فشار (PIS) و ۱۱۷ میلیون مترمکعب به صورت پمپاژ در انهار سنتی (TICN) بوده است. نتایج محاسبات سطوح الگوی کشت و نیاز ناخالص آبیاری سناریو S1 نشان می‌دهد که آب مصرفی منطقه در سال ۲۰۰۸ با با داده‌های اندازه‌گیری شرکت آب منطقه‌ای فارس تطابق دارد.

سناریو S2 (مرجع) براساس درصدهای الگوی کشت و سطوح آبیاری جداول (۱) و (۲) که برای سال ۲۰۱۸ ارائه شده، تعریف شده است. نتایج جدول (۴) برای این سناریو نشان می‌دهد که میزان نیاز ناخالص آبیاری دشت ۱۸۸ میلیون متر مکعب برآورد شده است. بدین صورت که استفاده از منابع آب سطحی به مقدار ۴۵ میلیون (انهار سنتی؛ TICN)؛ منابع آب زیرزمینی به میزان ۱۴۳ میلیون مترمکعب که به دو طریق سیستم‌های تحت فشار (PIS) به مقدار ۶۳ میلیون مترمکعب و پمپاژ در انهار سنتی (TICN) به میزان ۸۰ میلیون مترمکعب بوده است. در این سناریو نیز مقادیر نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده تطابق قابل قبولی با مصارف منطقه دارد. هم‌چنین ملاحظه می‌گردد علی‌رغم این که سطح زیر کشت سیستم‌های تحت فشار تقریباً سه برابر شده (از ۱۹۰۰ به ۵۶۰۰ هکتار) ولی مصارف کشاورزی منطقه کاهش نیافته است. علت امر افزایش سطح زیرکشت و توسعه باغات پرمصرف به دلیل سود آوری بیشتر به نسبت محصولات زراعی بوده است. در واقع می‌توان گفت افزایش راندمان آبیاری در قالب افزایش سطح زیرکشت و گسترش باغات در منطقه رخ داده است. این همان پارادوکسی است که درباره توسعه سیستم‌های آبیاری و بهبود راندمان آبیاری وجود دارد (Grafton et al,2018). در نگاه اول افزایش راندمان موجب صرفه‌جویی در مصرف آب حوضه می‌گردد اما در واقع ذخیره و تخصیص مجدد به سایر اراضی قابل کشت را به دنبال دارد. در این شرایط می‌توان چنین گفت که دولت با اعطای یارانه و وام‌های بدون بهره‌ای که در زمینه توسعه سیستم‌های تحت فشار به کشاورزان می‌دهد به اهداف خود برای حفظ منابع آب زیرزمینی نرسیده است و به تخریب و بحران در سفره‌های زیرزمینی کمک کرده است.

سناریو S3 از نظر درصدهای الگوی کشت و سطوح تحت فشار شبیه سناریو S2 می‌باشد و در آن فرض شده با ثابت ماندن همان مشخصات، مقدار نیاز ناخالص آبیاری دشت در دوره آتی (۲۰۷۰-۲۰۲۰) برای شرایط حاد تولید گازهای گلخانه‌ای (RCP8.5) چقدر تغییر می‌یابد. مطابق جدول (۴) ملاحظه می‌گردد که نیاز ناخالص در دوره آتی به ۲۱۰ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد که در حدود ۱۲ درصد بیشتر از نیاز ناخالص آبیاری در سناریو مرجع است. همچنین حداکثر ۴۵ میلیون مترمکعب از طریق آب سطحی (TICN) و مابقی به مقدار ۱۶۵ میلیون مترمکعب باید از طریق پمپاژ از آبخوان تامین گردد. بنابراین تغییر اقلیم باعث می‌گردد که برداشت از سفره آب زیرزمینی در حدود ۱۸ درصد نسبت به حال حاضر افزایش یابد. بنابراین می‌توان گفت که کشت محصولات پرمصرف، افزایش سطح زیر کشت و تغییرات اقلیمی مهمترین عواملی می‌باشند که سبب می‌شوند سفره آب زیرزمینی منطقه با عبور از بحران بتدریج با ورشکستگی آب مواجه گردد.

در سناریو S4 علاوه بر شرایط سناریو S3، افزایش تخصیص (تخصیص آب سطحی به میزان ۸۰ میلیون مترمکعب درسال) و بهبود راندمان آبیاری سطحی نیز در آن اعمال شده است. نتایج سناریو S4 در جدول (۴) نشان می‌دهد که نیاز ناخالص آبیاری دشت به ۱۹۶ مترمکعب در سال می‌رسد که در حدود هفت درصد کمتر از سناریو S3 و در حدود چهار درصد بیشتر از سناریو مرجع خواهد بود. این در حالی است که برداشت از آبخوان به ۱۱۶ میلیون مترمکعب در سال کاهش یافته که در حدود ۳۰ درصد کمتر از سناریو S3 (۱۶۵ میلیون مترمکعب) خواهد بود. با توجه به اینکه اختلاف بین نیاز ناخالص آبیاری کل دشت در سناریو S4 و S3 کم می‌باشد، بنابراین افزایش راندمان آبیاری سطحی به تنهایی راهبرد تطبیقی کافی برای کاهش مصرف آبیاری منطقه نخواهد بود و صرفاً تخصیص آب سطحی به بهبود سفره آب زیرزمینی کمک کرده است. بنابراین رویکرد تغییر در الگوی کشت به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر و توسعه سیستم‌های تحت فشار (به شرط حفظ سطح زیرکشت) برای کاهش مصرف حوضه کاملاً ضروری است.

در سناریو S5 سعی شده از سطح زیرکشت محصولات پر مصرف کم و به سطح زیر کشت محصولات کم مصرف زیاد شود. بدین صورت که سطح زیر کشت گندم، ذرت‌دانه‌ای، یونجه، انگور، باغات میوه (سیاه‌درختان) کم شده و متناسب با دوره کشت به سطح زیر کشت محصولات کم مصرف‌تر منطقه شامل کلزا، حبوبات و باغ پسته اضافه گردیده است. الگوی کشت پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده که حداقل سطوح گیاهان علوفه‌ای (برای نیاز دام) و سطح چغندرقند (با توجه به وجود کارخانه قند) در منطقه حفظ گردد. در این سناریو ۸۰ میلیون مترمکعب از طریق آب سطحی (MICN) و مابقی نیاز از طریق آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. مطابق نتایج جدول (۴) مشاهده می‌گردد که نیاز ناخالص آبیاری به مقدار ۱۶۴ میلیون متر مکعب می‌رسد که ۲۲ درصد کمتر از سناریو S3 می‌باشد. در این سناریو میزان برداشت از آب زیرزمینی با توجه به افزایش تخصیص آب سطحی و توسعه سیستم‌های تحت فشار به ۸۴ میلیون متر مکعب کاهش می‌یابد. بدین صورت می‌توان ۴۰ درصد (نسبت به ۱۴۰ میلیون مترمکعب برداشت حال حاضر) برداشت آب از آبخوان را در سال‌های نرمال (یا مرطوب) با ترکیب الگوی پیشنهادی کاهش داد. این موضوع در حالی است که اثرات تطبیقی تغییرات اقلیمی آینده نیز در نظر گرفته شده و مصرف حوضه نیز کاهش پیدا کرده است.

DOI: 10.22055/JISE.2022.38791.1994

سناریو S6 با همان رویکرد سناریو S5 و برای شرایط خشکسالی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در سال‌های خشک محدودیت شدید منابع آب سطحی وجود دارد بنابراین در این سناریو تخصیص آب سطحی همان ۴۵ میلیون متر مکعب اعمال شده و مابقی نیاز از طریق آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. مطابق جدول (۴) ملاحظه می‌گردد که نیاز ناخالص آبیاری به مقدار ۱۵۶ میلیون متر مکعب می‌رسد که ۲۶ درصد از سناریو S3 (به دلیل توسعه بیشتر سیستم‌های تحت فشار نسبت به سناریو S5) کمتر می‌باشد. میزان برداشت از آبخوان زیرزمینی ۱۱۱ میلیون متر مکعب محاسبه شده است که ۲۱ درصد کمتر از برداشت حال حاضر می‌باشد. بنابراین با توسعه صحیح سیستم آبیاری تحت فشار می‌توان حتی در سال‌های خشک و در شرایط تغییر اقلیم نیز برداشت از آبخوان را کاهش داد. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد در صورت به‌کارگیری تدابیر لازم در راستای ممانعت از افزایش سطح زیرکشت و توسعه سیستم‌های نوین آبیاری می‌توان علاوه بر حفظ منابع آب در آبخوان‌های حوضه‌ها به کاهش تنش آبی نیز کمک کرد (Molavi et al. 2017; Multsch et al. 2017). البته در این تحقیق‌ها کمتر به‌صورت هم‌زمان کلیه سیاست‌های تغییر الگوی کشت، تغییراقلیم، بهبود راندمان آبیاری سطحی و تحت فشار در نظر گرفته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن جمیع موارد عنوان شده به‌منظور کاهش فشار بر منابع آب‌زیرزمینی دشت کوار، سیاست-های پیشنهادی سناریوهای S5 و S6 این تحقیق می‌تواند به کاهش برداشت و تعادل بخشی آب زیرزمینی در آینده کمک شایانی کند و هم‌چنین مد نظر مدیران اجرایی قرار گیرد.

جدول ٤- سناریوهای مختلف آبیاری

Table 4- The different irrigation scenarios

Crop Pattern	Irrigation Systems	Scenarios (ha)					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Canola	TICN*	500	548	548	137	0	0
	MICN**	0	0	0	411	548	137
	PIS***	0	0	0	0	822	1233
Wheat	TICN	4375	3425	3425	411	0	0
	MICN	0	0	0	3014	2740	1644
	PIS	0	685	685	685	685	1781
Barely	TICN	625	411	411	274	0	0
	MICN	0	0	0	137	411	411
Sugarbeet	TICN	975	360	360	89	0	0
	MICN	0	0	0	270	274	137
	PIS	150	600	600	600	685	822
Maize (Grain)	TICN	1250	548	548	205	0	0
	MICN	0	0	0	343	274	0
	PIS	0	411	411	411	274	548
Onion	PIS	375	274	274	274	137	137
Beans	TICN	125	137	137	137	0	0
	PIS	0	0	0	0	822	822
Alfafla	TICN	500	274	274	69	0	0
	MICN	0	0	0	206	137	0
	PIS	0	274	274	274	137	274
Maize	TICN	375	411	411	137	0	0
	MICN	0	0	0	274	411	411
Tomato	TICN	250	68	68	68	68	0
	PIS	0	68	68	68	69	137
Grape	TICN	1000	959	959	411	0	0
	MICN	0	0	0	548	548	274
	PIS	1000	2466	2466	2466	1644	1918
Orchards	TICN	625	959	959	548	0	0
	MICN	0	0	0	411	411	274
	PIS	375	685	685	685	685	822
Pistachio	PIS	0	137	137	137	1918	1918
Total Crop Pattern		12500	13700	13700	13700	13700	13700
Allocated Surface Water (MCM)	TICN	45	45	45	0	0	0
	MICN	0	0	0	80	80	45
Allocated Groundwater (MCM)	TICN	117	80	95	46	0	0
	PIS	22	63	70	70	84	111
Total allocated water (MCM)		184	188	210	196	164	156

* Traditional Irrigation Canals Network **Modern Irrigation Canals Network *** Pressurized Irrigation Systems

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نیاز آبیاری الگوی کشت دشت کوار در شرایط تغییرات اقلیمی و توسعه سیستم‌های آبیاری مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی تغییرات آب و هوایی روی نیاز آبی، پارامترهای هواشناسی برای دوره آتی تحت سناریوهای انتشار گزارش پنجم IPCC پیش‌بینی گردید. شبیه سازی پارامترهای دما در دوره آتی نشان داد که افزایش دما در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. افزایش درجه حرارت حداکثر تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب ۱/۳۸ ، ۱/۴۴ ، ۱/۷۲ درجه سانتی‌گراد و هم‌چنین افزایش درجه حرارت حداقل ۱/۲۶ ، ۱/۴۳ و ۱/۵۱ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است. نتایج شبیه‌سازی بارندگی بیان‌گر کاهش متوسط سالانه آن در دوره آتی است و این کاهش تحت سناریوهای مختلف متفاوت است. بیشترین کاهش بارندگی تحت سناریو RCP8.5 به میزان ۱۶ درصد برآورد گردیده است. هم‌چنین کاهش بارندگی تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به ترتیب پنج و ۱۱ درصد پیش‌بینی شده است. با اعمال پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی شده، نیاز آبی و آبیاری همه گیاهان تحت سناریوهای انتشار در آینده (۲۰۷۰-۲۰۲۰) افزایش می‌یابد. میزان افزایش نیاز آبیاری برای گیاهان مختلف تحت سناریو RCP2.6 بین چهار تا هشت درصد؛ تحت سناریو RCP4.5 بین شش تا ۱۳و تحت سناریو RCP8.5 بین هشت تا ۱۸ درصد پیش‌بینی می‌گردد. در این میان محصولات پاییزه بیشترین حساسیت و محصولات تابستانه کمترین حساسیت را به تغییر اقلیم خواهند داشت. بررسی‌های صورت گرفته روی تغییرات الگوی کشت و توسعه سیستم‌های نوین آبیاری در دهه اخیر نشان می‌دهد افزایش راندمان آبیاری و توسعه سیستم‌های تحت فشار موجب شده سطح خالص زیر کشت منطقه در حدود ۱۰ درصد در دهه اخیر (۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸) افزایش یابد و الگوی کشت نیز به سمت محصولات باغی پرمصرف، به دلیل سودآوری بیشتر تغییر یافته است. اعمال این تغییرات با تعریف سناریوهای آبیاری در شرایط وضع موجود و گذشته نشان داد که علی رغم افزایش راندمان آبیاری، مصرف آب در منطقه تغییری نیافته است. در واقع افزایش راندمان، ذخیره و تخصیص مجدد آب به سایر اراضی قابل کشت را به دنبال داشته است. ادامه این شرایط همراه با افزایش نیاز آبی در دوره آتی باعث می‌گردد که سفره‌های آب زیرزمینی بتدریج با ورشکستگی آب مواجه گردند. برای جلوگیری از این مشکل، دو سناریو آبیاری S5 و S6 برای شرایط خشکسالی و نرمال با رویکرد طراحی و تنظیم الگوی کشت و توسعه سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار به شرط حفظ سطح زیرکشت پیشنهاد گردید که نتایج آن‌ها با در نظر گرفتن اثرات تطبیقی تغییرات اقلیمی آینده موجب کاهش برداشت آب زیرزمینی در حدود ۲۱ تا ۴۰ درصد می‌گردد. بدیهی است با به‌کارگیری این پیشنهادها، کمک شایانی به تعادل بخشی آب زیرزمینی منطقه در آینده می‌شود. با توجه به اهمیت فراوان بحران آب، این تحقیق صرفاً روی مصارف آبیاری متمرکز گردید. بنابراین برای مطالعه‌های آتی پیشنهاد می‌گردد بررسی‌های اقتصادی نیز مد نظر قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

از همکاری صمیمانه کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان فارس برای در اختیار قراردادن کلیه اطلاعات مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1- Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi, N., 2017. Evaluation of Irrigation Efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *17*(67), pp.113-128. (In Persian).

2- Abbasi, H., Delavar, M. and Bigdeli Naalbanda, R., 2020. Evaluation of the effects of climate change on water resource sustainability in basins using water footprint scarcity indicators. *Iran-Water Resources Research*, *15*(4), pp.252-279. (In Persian).

3- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M.R., Bannayan Aval, M. and Farid Hossaini, A., 2010. Assessment of Climate Change Potential Impacts on Agricultural Water Use and Water Resources of Kashaf rood basin. *Journal of Water and Soil, 24*(4), pp. 815-835. (In Persian).

4- Anonymous, 2015. Studies of the second phase of the irrigation and drainage network Mirza Shirazi dam (Kavar plain). Parab Consulting Engineers. Regional water company of Fars. *Technical Report.* 295p. (In Persian).

5- Anonymous, 2018. Statistics and performance Agriculture section Fars province. Agricultural organization of Fars. *Technical Rep.* 224p. (In Persian).

6- Arora, V. K., Scinocca, J. F., Boer, G. J., Christian, J. R., Denman, K. L., Flato, G. M., Kharin, V. V., Lee, W. G. and Merry field, W. J., 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophysical Research Letters, 38*(5), pp. 1-6.

7- Chen, H., Chong-Yu, X. and Shenglian, G., 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology, 434*(435), pp.36–45.

8- Etemadi, H. and Delshab, H., 2020. Potential expected climate change impact on Persian Gulf Coastal Mangrove ecosystems based on temperature and precipitation variables. *Journal of Environmental Science and Technology (JEST), 22*(2), pp. 1-13. (In Persian).

9- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.G. and Leemans, R., 2005. Future scenarios of european agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 107*(2), pp.101–116.

10- Fahiminezhad, E., Baaghide, M.O., Babaeian, I. and Entezari, A., 2019. Simulation of the effect of global warming on the mean and extreme events of some hydrochemical variables in Shandiz catchment basin Case study: The Case of the general circulation model CanESM2. *Journal of Spatial Analysis Environmental*, *6*(3), pp.27-48. (In Persian).

11- Gohari, A.R., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A.R., Wang, D. and Madani, K., 2013 Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of the Total Environment, 442* (1), pp.405–419.

12- Goodarzi, M., Abedi-Koupai, J., Heidarpour, M. and Safavi, H.R., 2016. Evaluation of the effects of climate change on groundwater recharge using a hybrid method. *Water Resources Management, 30*, pp.133-148.

13- Goodarzi, M.R. and Faraji, A.R., 2017. Evaluation of different exponential downscaling methods for indicators minimal flow under the effects of climate change. *Journal of Climate Research, 31*(1), pp.57-72. (In Persian).

14- Grafton, R.Q., Williams, J., Perry, C.J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall. B., Wheeler, S.A., Wang, Y., Garrick, D. and Allen, R.G, 2018. The paradox of irrigation efficiency. *Science, 361*(6404), pp.748-750.

15- Gutierrez, J.M., San-Martín, D., Brands, S., Manzanas, R. and Herrera, S., 2013. Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions. *Journal of Climate, 26*(1), pp.171–188.

16- IPCC, 2014. Climate change 2014 synthesis report. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I, II and III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), In: R. Pachauri and L. Meyer (eds). Geneva, *Switzerland.* 151p.

17- King, L., Iriwin, M.S., Sarwar, R., McLeod, A.I., Slobodan, P. and Simonovic, P., 2012. The Effects of climate change on extreme precipitation events in the upper thames river basin: a comparison of downscaling approaches. *Canadian Water Resources Journal, 37*(3),pp.252-274.

18- Khayat, A., Amirabadizadeh, M., Pourreza-Bilondi, M. and Khozeymeh Nezhad, H., 2020. Study temperature and precipitation parameters under the effect of climate change (case study: Birjand plain). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, *11*(1), pp. 200-210. (In Persian).

19- Kumar, C.P., 2012. Climate change and its impact on groundwater resources. *International Journal of Engineering and Science*, *1*(5), pp.43-60.

20- Malmir, M., Mohammadrezapour, O. and Sharif Azari, S., 2016. Evaluation of climate change impacts on agricultural water allocation in Qara Su watershed, using WEAP. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, *23*(1), pp.143-155. (In Persian).

21- Mehta, V.K., Haden, V.R., Joyce, B.A., Purkey, D.R. and Jackson, L.E., 2013. Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. *Agricultural Water Management, 117*(1), pp. 70-82.

22- Mesbah Zadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H. and Mortezaie Farizhendi, G.H., 2019. Study of current and future meteorological drought conditions using the CMIP5 model under RCP scenarios. *Iran-Watershed Management Science & Engineering, 13*(46), pp.11-22. (In Persian).

23- Mohebi, A.H., 2019. Study of climate change on water requirement for date palm in Ahwaz region. *Journal of Water and Soil Conservation, 26*(4), pp.135-153. (In Persian).

24- Molavi, H., Liaghat, A.M. and Nazari, B, 2017, Assessment of development and improvement policies of pressurized and surface irrigation systems using system Dynamics; case study Aras basin. *Journal of Irrigation and Water Engineering, 7*(27), pp.75-92. (In Persian).

25- Mojerloo, F., Fazloula, R. and Emadi, A.R., 2019. Application of the IHACRES model to assess the effects of climate change on the discharge of Tajan watershed. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13*(1), pp. 129-141. (In Persian).

26- Multsch, s., Elshamy, M.E., Batarseh, s., Seid, A.H., Frede, H.G. and Breuer, L., 2017. Improving irrigation efficiency will be insufficient to meet future water demand in the Nile Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 12*(1), pp.315-330.

27- Nasseri, A., Abbasi, F. and Akbari, M., 2017. Estimating Agricultural Water Consumption by Analyzing Water Balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 18*(68), pp.17-32.

28- Rafiee, M.R., Moazed, H., Ghaemi, A.A. and Boroomandnasab, S., 2015. FAO-56 Method for Estimating Evapotranspiration and Crop Coefficients of Eggplant in Greenhouse and Outdoor Conditions. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 39*(2), pp.59-77. (In Persian).

29- Sepaskhah, A.R., Fooladmand, H.R. 2004. A computer model for desing of microcatchment water harvesting system for rain-fed vineyard. *Agricultural Water Management, 64*(3), pp.213-232.

30- Shaltout, M.E.S. and Tobol, K.M., 2018. Global climate models: the case of Egypt. *Alexandria Research Center for Adaptation to Climate Change (ARCA), 6*(1), pp.1-27.

31- Sivakumar, M.V.K., Das, H.P. and Brunini, O., 2005. Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. *Climatic Change, 70*(1), pp.31–72.

32- Stancalie, G., Marica, A. and Toulios, L., 2010. Using earth observation data and CROPWAT model to estimate the actual crop evapotranspiration. *Physics and Chemistry of the Earth, 35*(2), pp.25–30.

33- Surendran, U., Sushanth, C.M., Mammen, G. and Joseph, E.J., 2015. Modelling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water resource management: A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala, India. *Aquatic Procedia, 4*(1), pp.1211- 1219.

34- Wilby, R.L. and Dawson, C.W., 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales,* 94p.

35- Zand-Parsa, S.h., Mahmoudian Shooshtari, M. and Majnooni-Heris, A., 2015. Measurements of standard maize evapotranspiration using water balance method and Variable Root Depth in an Arid and Semi-Arid Region. *Water and Soil Science, 25*(1), pp.169-181.(In Persian).

36- Zeinoddini, S., Anvari, S. and Zahmatkesh, Z., 2019. Application of simulation-optimization approaches to assess the effect of climate and management scenarios on a water resource system. *Iran-Water Resources Research, 14*(5), pp.295-310. (In Persian).