



Forecasting the Drought Conditions under the Influence of Climate Change and Investigating the Net Irrigation Requirement in Selected Rurals of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Provinces

Ashraf Asadi^{1*}, Arsalan Biniyaz², Arash Jael³ and Sirous Shakeri⁴

Article history:

Submitted: 3 September 2023

Revised: 19 March 2024

Accepted: 12 August 2024

Available Onlin: 12 August 2024

How to cite this article:

Asadi, A., Biniyaz, A., Jael, A., and Shakeri, S. 2025. Forecasting the Drought Conditions under the Influence of Climate Change and Investigating the Net Irrigation Requirement in Selected Rurals of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Provinces, *Rural Development Strategies*, 12(1): 158-181.
DOI: 10.22048/rdsj.2025.414629.2130

Abstract

Climate change, especially changing precipitation patterns, is a challenging reality that affects different sectors of society, including the agricultural sector, which is highly dependent on the weather. This study aimed to predict drought conditions in future periods and compare current water consumption patterns and net water demand of 10 crops in five villages of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. To model climate change, daily data of minimum temperature, maximum temperature, precipitation, and sunny hours during the period (1986-2022) of the Yasuj and Gachsaran stations were collected from the provincial meteorological organization. Based on these data, the current water consumption pattern was estimated and net water demand of these products was calculated according to the climate of the province. To study drought and change rainfall patterns, three general circulation models that simulate precipitation well in most regions of the country were simulated by the LARS-WG model, then the drought profile was calculated using the ZimaSPI graphic function in MATLAB software. The results of monthly and annual precipitation patterns showed that precipitation in the studied area increases in the coming years. The results of the monthly precipitation distribution analysis reveal a decline in winter precipitation, alongside an increase in rainfall during spring and early autumn—periods when much of the precipitation manifests as runoff or floods, limiting its usability. The analysis of the drought index further indicates a rise in drought persistence and a higher frequency of mild droughts. Based on these findings, the irrigation requirements for five villages were assessed across a range of crops, including rainfed and irrigated wheat and barley, corn, forage maize, watermelon, potato, onion, alfalfa, clover, and rice. Four scenarios including an unchanged level of access to water and a reduction of water quota of 10, 20, and 30 percent were used to investigate farmers' behavior. The study of changing water availability scenarios showed that the net water requirement was significantly lower compared to the water consumption pattern. The highest difference

1 - Assistant Professor, Department of Geography, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

2 - Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

3 - Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

4 - Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

(*-Corresponding Email: ashraf-asadi@pnu.ac.ir)



was observed in water requirement and amount of water consumed with 298% per rice and the lowest difference in water requirement and water use in clover (13%). Given the changes in water availability in the province due to climate change and recurring droughts, the adoption of more efficient irrigation systems—along with soil condition sensors to determine the optimal timing and amount of irrigation based on crop type—can significantly help farmers reduce water consumption in their fields.

Keywords: Kohgiluyeh and Boyer Ahmed province, Climate Change, Drought, Rural, Net Irrigation Requirement

مقاله پژوهشی

پیش‌یابی شرایط خشکسالی دوره های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم و بررسی نیاز خالص آبی در روستاهای منتخب استان کهگیلویه و بویر احمد

اشرف اسدی^{۱*}، ارسلان بی‌نیاز^۲، آرش جاعل^۳ و سیروس شاکری^۴

تاریخ دریافت: ۱۲ شهریور ۱۴۰۲

تاریخ بازنگری: ۲۹ اسفند ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۲ مرداد ۱۴۰۳

چکیده

تغییر اقلیم به ویژه تغییر الگوهای بارش یک واقعیت چالش برانگیز است که بخش‌های مختلف جامعه از جمله بخش کشاورزی را که به شدت به منابع طبیعی و چگونگی آب وهوا وابسته است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف این پژوهش پیش‌یابی شرایط خشکسالی در دوره‌های آبی و مقایسه الگوی فعلی مصرف آب و نیاز خالص آبی ۱۰ محصول زراعی در پنج روستای استان کهگیلویه و بویر احمد است. بدین منظور جهت مدل‌سازی تغییر اقلیم داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی در طول دوره (۲۰۲۲-۱۹۸۶) - ایستگاه‌های یاسوج و گچساران از سازمان هواشناسی استان اخذ گردید. بر اساس این داده‌ها الگوی فعلی مصرف آب برآورد و نیاز خالص آبی این محصولات با توجه به شرایط آب و هوایی استان محاسبه شد. جهت بررسی خشکسالی و تغییر الگوهای بارش ۳ مدل گردش عمومی که به خوبی بارش را در بیشتر مناطق کشور شبیه‌سازی می‌نمایند توسط مدل LARS-WG شبیه‌سازی شد. سپس نمایه خشکسالی با استفاده از تابع گرافیکی ZimaSPI در نرم افزار MATLAB محاسبه گردید. نتایج بررسی الگوهای بارش ماهانه و سالانه نشان داد که میزان بارش در منطقه مورد مطالعه در سال‌های آبی افزایش می‌یابد اما نکته مهم تغییر الگوی زمانی توزیع بارش در طول سال می‌باشد. نتایج توزیع بارش ماهانه گویای کاهش بارش زمستان و افزایش بارش‌ها در بهار و ابتدای پاییز است، که غالباً به صورت سیلاب از دسترس خارج می‌گردد. بررسی نمایه خشکسالی نیز گویای افزایش تداوم خشکسالی‌ها و رخداد بیشتر خشکسالی‌های ملایم است. با توجه به نتایج بررسی بارش و خشکسالی نیاز خالص آبیاری در ۵ روستا و در محصولات زراعی گندم دیم و آبی، جو دیم و آبی، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه-ای، هندوانه، سیب زمینی، پیاز، یونجه، شیدر و شلتوک مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی رفتار کشاورزان نیز از چهار سناریو شامل سطح بدون تغییر دسترسی به آب و کاهش سهمیه آب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی استفاده شد. بررسی سناریوهای تغییر دسترسی به آب نشان داد نیاز خالص آبی در مقایسه با الگوی مصرف آب به مراتب پایین‌تر بود. بیش‌ترین اختلاف در نیاز آبی و میزان آب مصرفی با ۲۹۸ درصد در شلتوک و کمترین اختلاف در نیاز آبی و میزان آب مصرفی در شیدر با اختلاف ۱۳ درصد مشاهده شد. با توجه به تغییر متاثر شدن استان از تغییر اقلیم و خشکسالی‌های پیش‌رو، استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمدتر و حس‌گرهای کنترل‌کننده شرایط خاک جهت تعیین زمان و مقدار آبیاری بر اساس نوع محصول می‌تواند به کاهش میزان آب مصرفی کشاورزان در مزارع کمک کرد.

کلمات کلیدی: استان کهگیلویه و بویر احمد، تغییر اقلیم، خشکسالی، روستا، نیاز خالص آبی.

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۴- دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*-نویسنده مسئول: ashraf-asadi@pnu.ac.ir

مقدمه

اقلیم یا آب و هوا بیانگر شرایط متوسط درازمدت عوامل جوی در یک محل معین، صرف نظر از لحظه وقوع آن‌ها می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که آب و هوا مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که وضعیت جوی یک منطقه را مشخص کرده و بر موجودات و محیط زیست آن منطقه تأثیر می‌گذارد. آب و هوا در طول هزاران و میلیون‌ها سال گذشته دگرگونی‌های بنیادی داشته است. دگرگونی‌های آب و هوا هم در قالب نوسانات کوتاه مدت و هم تغییرات بلند مدت نمایان می‌شود. آثار برج مانده در محیط چنین دگرگونی‌های اقلیمی را به اثبات رسانده است. یکی از مباحث بسیار مهم و جالب توجه که ذهن بسیاری از کاوشگران و محققان را به خود جلب نموده است، بحث تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین می‌باشد. تغییر اقلیم، تغییر معنی‌دار متوسط داده‌های هواشناسی در طی یک دوره‌ی زمانی معین است که علل وقوع آن به عوامل کیهانی، زمینی و انسانی نسبت داده می‌شود (عزیزی، ۱۳۸۳).

در دهه‌های اخیر، نقش علل انسانی در تغییر نوسانات اقلیمی در برخی مناطق کره زمین بیش از گذشته خود را نشان داده است. تغییر اقلیم بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط زیست اطراف ما همچون اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری، حمل و نقل، بهداشت و سلامت مؤثر است. پژوهش‌های انجام شده در جهان به طور عمده بیانگر افزایش تدریجی متوسط دما است. دمای زمین از سال ۱۸۸۰ به طور متوسط ۰/۰۸ درجه سانتیگراد در هر دهه یا در مجموع حدود ۱/۱۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. سرعت افزایش دمای زمین از سال ۱۹۸۱ به بعد بیش از دو برابر (۰/۱۸ درجه سانتیگراد در هر دهه) سریع‌تر شده است. ۱۰ مورد از گرم‌ترین سال‌های ثبت شده همگی از

سال ۲۰۱۰ به بعد اتفاق افتاده است (لیندسی و لوان، ۲۰۲۴). در ایران افزایش میانگین دمای ماهانه در بیشتر نقاط کشور مشاهده شده است (رفعتی و کریمی، ۱۳۹۷). محققان مهم‌ترین عامل گرم شدن کره زمین و افزایش دمای متوسط جهانی را مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای دانسته‌اند. از میان همه عناصر آب و هوایی، تغییرات دما و بارش بسیار محسوس‌تر است. بر هم خوردن اندکی از تعادل اقلیم جهان موجب شده متوسط درجه حرارت کره زمین، تمایل به روند افزایشی را نشان دهد. آشکارسازی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های کشور گویای روند افزایشی دمای کمینه در تمام فصول به ویژه پاییز و زمستان و کاهش یافتن تغییرات شبانه‌روزی دما است. کاهش بارش در بهار، تابستان و زمستان در جنوب غرب آسیا در نیم سده گذشته مشهود بوده است (حسینی، ۱۳۹۷). جنوب غرب کشور علاوه بر افزایش دما، شاهد کاهش رطوبت و کاهش روزهای ابری و افزایش سرعت باد نیز بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹).

بر اثر تنوع نیازهای بشری و ارتقای سطح رفاه، سرانه مصرف آب روز به روز در حال افزایش است. طی یک صد سال اخیر تقاضای جهانی برای آب بیش از ۶ برابر شده، در حالی که جمعیت جهان ۳ برابر شده است (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹). از طرف دیگر، آب شیرین قابل بهره‌برداری اغلب در بخش‌های غیر شرب مصرف می‌شود و طبق آمار سازمان ملل ۷۰ درصد در بخش کشاورزی، ۲۲ درصد در صنعت و ۸ درصد در شرب و مصارف خانگی و بهداشت مصرف می‌گردد. تغییرات آب و هوایی به طور عمده از طریق تغییر در میانگین بارش و دما و همچنین با ایجاد رویدادهای شدیدی مانند سیل و خشکسالی-های طولانی مدت می‌تواند تأثیرات متعددی بر کشاورزی و زندگی روستاییان داشته باشد. مطالعات نشان داده است که

نقش مؤثر و تعیین کننده‌ای در مدیریت بهتر و افزایش بهره‌وری آب دارد (شهرکی و همکاران، ۱۳۹۷). این عوامل سبب ایجاد انگیزه برای حفاظت و صرفه‌جویی این نهاده می‌شود و باعث می‌شود تا مصرف کنندگان آب را به عنوان یک نهاده رایگان و در دسترس تلقی نکنند (لاتیناپولوس^۲، ۲۰۰۸؛ اسپلمن^۳ و همکاران، ۲۰۰۹). بررسی‌های انجام شده در رابطه با نیاز خالص آبی نشان می‌دهد که با تغییر میزان بارندگی و تغییر دما و رطوبت، نیاز خالص آبی تغییر می‌یابد. مدلسازی روند بارش و تغییرات دمایی در یک بازه ۸۰ ساله نشان می‌دهد که با افزایش ۴ میلی‌متر بارندگی و افزایش ۰/۲ درجه سانتیگراد دما میزان نیاز خالص آبی ۰/۹ درصد کاهش می‌یابد (تاکیمت^۴، ۲۰۱۷). بخش‌های وسیعی از کشور ایران در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک قرار دارد. سازمان هواشناسی کشور در سال ۱۴۰۲ متوسط میزان بارندگی سالانه در کشور را ۲۱۳/۶ میلی‌متر اعلام نمود (سازمان هواشناسی کشور)، که تقریباً یک چهارم متوسط بارش جهانی است. رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی، سوء مدیریت منابع آب زیرزمینی و تلاش‌های دولت برای خودکفایی مواد غذایی، عوامل کلیدی مرتبط با مشکلات کمبود آب در کشور است (نیکومرام و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به اهمیت پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن در بخش کشاورزی دانشمندان زیادی در ایران و سایر کشورها به آن‌ها پرداخته‌اند. شرقی و همکاران (۱۳۹۵) شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم و سیاست انتقال آب از بخش کشاورزی به صنعت بر منابع آبی و تأثیر آن بر تولیدات باغی دشت یزد اردکان، یارمحمدی و همکاران (۱۳۹۶) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق و نیاز آبی گندم در بجنورد با مدل گردش عمومی HadCM3 و مدل LARS-WG، مهرآذر و همکاران (۱۳۹۷) بررسی اثرات تغییر

مناطق کمتر توسعه یافته و به طور خاص کشاورزان این مناطق، می‌توانند با شدت بسیار زیادی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته و از این مسئله آسیب ببینند. چرا که آن‌ها دارای سرمایه اجتماعی و اقتصادی لازم برای استراتژی‌های انطباقی مانند دسترسی به روش‌های آبیاری مدرن و کشت محصولات مقاوم در برابر خشکسالی نیستند. تغییرات اقلیم با کاهش در دسترسی به منابع آب، منجر به کاهش تولید محصول شده و درآمد کشاورزان را کاهش داده است. این اثرات نامطلوب تغییرات آب و هوایی، بر تولید محصولات کشاورزی می‌تواند منجر به بروز فقر شدید و گسترش نا امنی غذایی در جهان گردد (کیانی قلعه سرد و همکاران، ۱۳۹۸). قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهان باعث شده همواره با کم آبی و خشکسالی-های متناوب مواجه باشد. در پی کاهش شدید بارندگی و بدنبال آن خشکسالی‌های بوجود آمده، میزان بارندگی و منابع آب در دسترس کاهش یافته است. بررسی شاخص‌هایی مانند افزایش دما و کاهش بارندگی در ایران نشان داده است که، طی چند دهه اخیر، اثرات تغییرات اقلیم به شکل محسوس وجود داشته است. استفاده منطقی و بهینه از منابع آب و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای پایداری این منبع، به یک موضوع مهم و استراتژیک در اکثر کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۶). اهمیت این مسأله به اندازه‌ای است که کارشناسان و خبرگان این حوزه، رفاه و آسایش جمعی در آینده نزدیک را در گرو حل مشکل کم آبی و بهره‌برداری بهینه و پایدار منابع آبی تلقی می‌کنند. این در حالی است که ذخیره منابع موجود آب برای آبیاری کشاورزی رو به کاهش است (متنا^۱ و همکاران، ۲۰۰۹).

مسئله اصلی در مدیریت کلان آب ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا است. همانند هر کالای دیگری، قیمت‌گذاری مناسب آب

2 - Latinopoulos
3 - Speelman
4 - Tukimat

1 - Maneta

تأثیر تغییرات آب و هوایی بر نیاز آبی آینده (NIWR) برای محصولات کلیدی قلمرو مصر علیا مانند نیشکر، سیب‌زمینی، یونجه، لوبیا خشک، گندم، پنبه، ذرت و گوجه‌فرنگی در پنج سناریو مختلف برای نیازهای آبیاری آتی بررسی کرد. نتایج نشان داد که در مجموع نمایه مورد نظر برای همه محصولات به ترتیب ۷/۷ و ۹/۷ درصد تحت سناریوی انتشار گلخانه‌ای RCP 8.5 برای دوره‌های ۲۰۲۳-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. سوارز^۳ و همکاران (۲۰۲۳) اثر تغییر اقلیم در منطقه مدیترانه را بر نیاز خالص آبیاری محصول ذرت ارزیابی نموده و بر اقدامات سازگاری تأکید کردند.

آنچه که از بررسی این پژوهش‌ها حاصل شد انتخاب مدل گردش عمومی مناسب برای پیش‌یابی بارش، نمایه مناسب جهت خشکسالی و محاسبه و شبیه‌سازی نیاز آبی محصولات زراعی بود. بدین جهت در این پژوهش ابتدا ۳ مدل گردش عمومی که با ضرایب مناسب بارش در ایران را ریز مقیاس نمای می‌کرد انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. سپس با توجه به محاسبه ضرایب این مدل‌ها، مدل گردش عمومی-MRI CGCM3 جهت تولید داده‌های بارش انتخاب گردید و تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 و به کمک مدل LARS-WG سری زمانی بارش روزانه در ایستگاه‌های منتخب شامل یاسوج و گچساران به عنوان نماینده اقلیم سرد و گرم استان برای دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۱۰۰) تولید شد. دلیل انتخاب این دو ایستگاه طول دوره آماری مطلوب جهت ارزیابی‌های اقلیمی است. تغییرات بارش و خشکسالی با استفاده از تابع گرافیکی ZimaSPI به صورت دوره‌های ۱ الی ۴۸ ماهه در نرم افزار MATLAB محاسبه گردید. پس با توجه به پیش‌بینی نتایج خشکسالی، الگوی فعلی آبیاری و نیاز خالص آبی ۱۰ محصول زراعی مقایسه و بررسی گردید.

اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با مدل AOGCM، اکبری و همکاران (۱۳۹۸) اثرات تغییر اقلیم و خشکسالی روی ریسک درآمدی و الگوی کشت زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین با مدل گردش عمومی HadCM3، شعبانعلی فمی و همکاران (۱۳۹۸) بکارگیری راهبردهای مدیریت آب توسط کشاورزان کوچک مقیاس در شرایط خشکسالی در مناطق روستایی اصفهان، قلعه نوی و همکاران (۱۳۹۸) تحلیل و پیش‌بینی تغییرات خشک‌سالی، تبخیر-تعرق و آب سبز در حوضه دریاچه ارومیه تحت شرایط تغییر اقلیم با نرم افزار SDSM، جهانگیر و همکاران (۱۳۹۹) پیش‌بینی وضعیت خشکسالی در شیراز برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG و مدل گردش عمومی HadCM3، میرزایی و زیبایی (۱۳۹۹) بررسی استراتژی‌های تطبیقی برای مدیریت منابع کشاورزی تحت تغییر اقلیم در حوضه آبریز رودخانه هلیل رود با مدل هیدرولوژیکی WEAP، پرهیزکاری و همکاران (۱۴۰۰) ارزیابی آثار بالقوه استقرار بازار آب محلی در شرایط رویارویی با خشکسالی و کم‌آبی در استان تهران، شیوخ و همکاران (۱۴۰۰) اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی در ورامین با مدل گردش عمومی HadGEM، نادریان فر و حیدری قرائی (۱۴۰۰) اثرات خشکسالی بر روی عملکرد گندم آبی و دیم در منطقه بجنورد با نمایه SPI، سیاسر و سالاری (۱۴۰۲) پیش‌بینی احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکوف در روستاهای استان سیستان و بلوچستان، ناصری و رستگاری‌پور (۱۴۰۲) تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی پسته به عنوان محصولی راهبردی در مناطق روستایی، کریمی^۱ و همکاران (۲۰۱۹) تحلیل و پیش‌یابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نمایه SPI و مدل ARIMA در حوضه رودخانه کرخه پرداخته‌اند. گابر^۲ (۲۰۲۳)

1 - Karimi

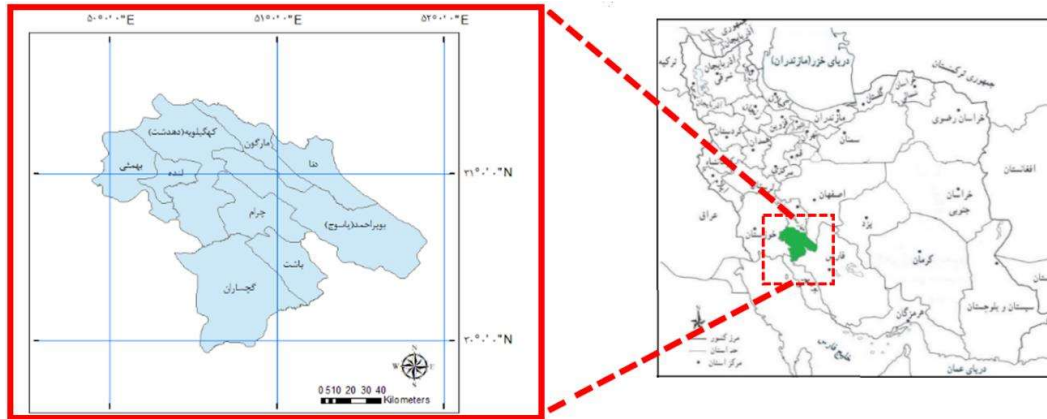
2 - Gabr

مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش پیش‌یابی شرایط خشکسالی در دوره‌های آبی و مقایسه الگوی فعلی مصرف آب و نیاز خالص آبی ۱۰ محصول زراعی شامل گندم دیم و آبی، جو دیم و آبی، ذرت دانه-ای، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، سیب زمینی، پیاز، یونجه، شبدر و شلتوک در پنج روستای استان کهگیلویه و بویراحمد است. بدین جهت ابتدا تغییرات بارش بر اساس ۳ مدل گردش عمومی مدلسازی و پیش‌یابی شد و بر اساس آن نمایه خشکسالی بر اساس نتایج مدل محاسبه گردید سپس نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی مورد نظر ارزیابی شد. استان کهگیلویه و بویراحمد با مساحتی حدود ۱۵۵۰۵ کیلومتر مربع و موقعیتی بین ۲۹ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان که در جنوب غرب کشور واقع شده است و مرکز آن شهر یاسوج است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع استان از سطح دریا به ترتیب برابر با ۴۴۰۹ متر (قله دنا) و ۴۱۰ متر (ناحیه بی بی جان آباد) می‌باشد. تغییرات شدید ارتفاع در مساحتی به وسعت محدود استان، تنوع و گوناگونی نسبتاً زیادی را در شرایط اقلیمی و وضعیت آب و هوایی استان پدید آورده است (شکل ۲). ضریب توپوگرافی در استان بسیار بالا بوده و شرایط طبیعی به نحوی است که در امتداد حرکت از شمال شرقی به جنوب غربی استان میزان ارتفاعات و رطوبت هوا کاهش و در مقابل بر شدت درجه حرارت و خشکی هوا اضافه می‌گردد. تغییرات ارتفاع و نیز اختلاف دما و میزان بارندگی دو ناحیه اقلیمی کاملاً متمایز سردسیری و گرمسیری را در استان به وجود آورده است. ارتفاع متوسط ناحیه سردسیری استان بیش از ۲۰۰۰ متر و مساحت آن نزدیک به ۶۵۰۰ کیلومتر مربع است. بارندگی‌های این ناحیه از

ماه‌های اولیه پاییز آغاز و تا ماه‌های اولیه بهار نیز ادامه دارد و بیشتر بارندگی‌ها به صورت برف است. دمای هوا به طور متوسط بین ۱۳- تا ۳۹ درجه سانتیگراد نوسان دارد. مساحت ناحیه گرمسیری استان با وسعتی نزدیک به ۹۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب و غرب استان قرار گرفته است. متوسط ارتفاع این ناحیه حدود ۹۰۰ متر است. در این ناحیه بادهای گرم خوزستان وزیده و آب و هوای نسبتاً گرم و نیمه خشک را باعث می‌شود. حداکثر دمای هوا در این ناحیه در ماه‌های گرم سال حتی به ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و حداقل دمای آن در ماه‌های سرد سال در حدود ۱/۲ درجه سانتیگراد است. بارندگی‌های ناحیه گرمسیر به مراتب کمتر از ناحیه سردسیر است و بارش‌های آن معمولاً از ماه آبان آغاز و تا پایان اردیبهشت ادامه دارد (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰).

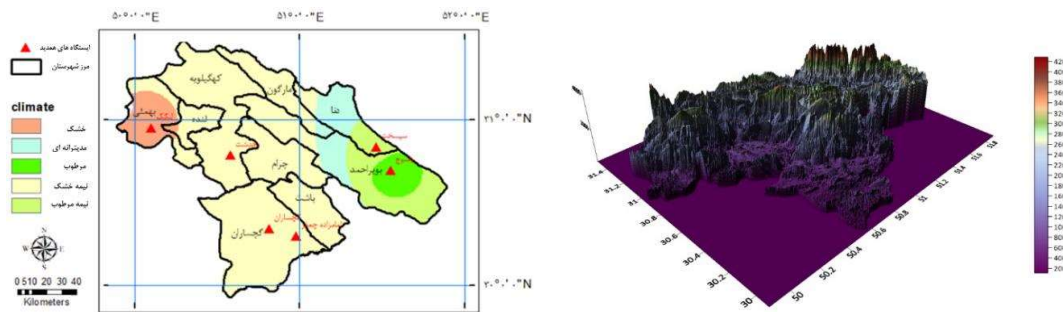
بر اساس آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۹ استان کهگیلویه و بویراحمد، دارای نه شهرستان (بویراحمد، کهگیلویه، گچساران، دنا، بهمئی، باشت، چرام، لنده، مارگون)، ۲۲ بخش، ۱۸ شهر، ۵۰ دهستان و ۲۴۴۸ آبادی (روستا) است. جمعیت کل استان در سال ۱۳۹۵ برابر با ۷۱۳۰۵۲ نفر است که تعداد ۳۹۷۴۶۱ نفر (۵۵/۷ درصد) در نقاط شهری و ۳۱۵۵۹۱ نفر (۴۴/۳ درصد) در نقاط روستایی ساکن هستند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ۱۶۸۲۵۷ هکتار جمع کل مساحت زمین‌های کشاورزی استان است که از این مقدار ۵۰۷۵۳ هکتار کشت آبی و ۱۱۷۵۰۴ هکتار زراعت دیم است. در سال ۱۴۰۰ به گزارش اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، مساحت جنگل‌های استان حدود ۸۷۴ هزار هکتار (۶ درصد جنگل‌های کشور) است. در این سال ۹ مورد آتش‌سوزی در سطح حدود ۱۶۳ هکتار از جنگل‌ها و مراتع استان رخ داده است.



مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

شکل ۱- نقشه استان کهگیلویه و بویر احمد و موقعیت آن در ایران

Figure 1-The Map of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province and location in Iran



مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

شکل ۲- نمای سه بعدی از توپوگرافی و نقشه پهنه بندی اقلیمی استان کهگیلویه و بویر احمد بر اساس نمایه ی طبقه بندی دومارتن

Figure 2- The 3D view of the topography and climatic regionalization map of Kohgiluyeh and Boyer Ahmed provinces based on Dumarten's classification index

داده‌ها

در استان کهگیلویه و بویر احمد ۶ ایستگاه هواشناسی هم‌دید وجود دارد که فقط ایستگاه‌های یاسوج و گچساران طول دوره آماری بیش از ۳۰ سال دارند و برای بررسی‌های اقلیمی مناسب هستند. بنابراین مقادیر سری زمانی روزانه بیشینه و کمینه دما، ساعت آفتابی و بارندگی این دو ایستگاه طی دوره ۱۹۸۷ الی ۲۰۲۲ جهت پیش‌یابی و ریزمقیاس‌نمایی از اداره کل هواشناسی استان برای بررسی تغییرات بارش و خشکسالی و مقایسه با دوره آبی اخذ گردید (جدول ۱). ایستگاه یاسوج به عنوان نماینده منطقه سردسیر استان و ایستگاه گچساران به عنوان نماینده منطقه گرمسیر انتخاب شد.

تولید سناریوهای اقلیمی دوره‌های آبی

مدل توصیف یا قیاسی است که برای درک بهتر پدیده‌هایی که امکان دیدن آن‌ها وجود ندارد استفاده می‌شود. در مدل‌های گردش عمومی (GCM) همه عوامل اقلیمی تأثیر گذار در شرایط جو منظور می‌شود. این مدل‌ها ابزارهای پیشرفته‌ای برای ارزیابی اثرات و مطالعات تغییرات آب و هوا هستند اما هیچگاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند زیرا عملکرد آن‌ها در شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی به طور قابل توجهی در مناطق مختلف متفاوت است بنابراین نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند.

جدول ۱- میانگین متغیرهای هواشناسی در ایستگاه‌های یاسوج و گچساران طی دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۲۲

Table 1-Mean of meteorological variables in Yasouj and Gachsaran stations during the base period 1987-2022

متغیر	ماه											
	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اگوست	نوامبر	دسامبر
دمای کمینه	یاسوج	-۲	-۰/۳	۳	۷	۱۱	۱۶	۱۹	۱۸	۱۴	۹	۴
	گچساران	-۲/۳	-۳/۹	۰	۷/۸	۱۴/۱	۱۵/۲	۱۵/۶	۱۸/۴	۱۷/۵	۱۳/۳	۷/۵
دمای بیشینه	یاسوج	۹	۱۱	۱۵	۲۰	۲۷	۳۲	۳۵	۳۴	۳۰	۲۴	۱۶
	گچساران	۱۳/۸	۱۷/۴	۲۲	۲۹/۸	۳۶/۷	۳۹/۸	۳۸/۶	۳۸/۷	۳۷/۹	۳۱/۶	۲۲/۲
بارندگی	یاسوج	۱۵۰	۱۳۷	۱۴۷	۷۱	۱۶	۰/۸	۳/۲	۲/۶	۰/۸	۱۳	۹۴
	گچساران	۹۶	۵۵	۵۸	۲۱	۳/۳	۰	۳/۳	۶	۱	۱۱	۷۹
ساعت آفتابی	یاسوج	۱۹۸	۱۹۴	۲۲۶	۲۴۲	۳۱۸	۳۵۸	۳۴۰	۳۳۴	۳۱۴	۲۸۶	۲۱۴
	گچساران	۱۶۷	۲۱۶	۱۵۱	۲۵۶	۳۴۰	۳۶۴	۳۳۳	۳۵۰	۳۳۲	۳۰۷	۲۲۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

جهان در سال ۲۱۰۰ حدود ۱۲ میلیارد نفر و بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و همچنین مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم در نظر گرفته شده است. در سناریوی RCP 4.5 میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP 2.6 تخمین زده شده است اما در دیگر پارامترهای مؤثر در تغییرات اقلیمی (مانند نرخ استفاده از انرژی‌های نو، رشد تکنولوژی و غیره)، نسبت به سناریوی RCP 2.6 ضعیف تر در نظر گرفته شده است، در نتیجه سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت این سناریو در واداشتهای تابشی بیش از آن است. به دلیل اهمیت دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ بیشتر مدل‌ها این دو سناریوی را پیش‌یابی می‌کنند. در این پژوهش جهت انتخاب مدل گردش عمومی مناسب که بتواند داده‌های بارش را به خوبی پیش‌یابی کند با استفاده از پژوهش عباسیان^۱ و همکاران (۲۰۱۹) که ۳۷ مدل گردش عمومی گزارش پنجم هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم (CMIP5) را از جهت بارش و دمای ایران رتبه‌بندی نموده‌اند استفاده گردید. بر اساس پژوهش ایشان ۳ مدل گردش عمومی برتر جهت پیش‌یابی بارش در ایران مدل‌های CMCC-CM، HadGEM2-ES و MRI-

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. سناریوهایی RCPs در سال ۲۰۱۰ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیأت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی جهت ردیابی تغییرات اقلیمی مطرح گردید. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. این سناریوها تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی هستند. واداشت تابشی تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد. این عامل که می‌تواند مهم‌ترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هر یک از عوامل طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. سناریوی خانواده RCP شامل ۴ خط سیر کلیدی است که عبارتند از: ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ که بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایطی می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد. به طور مثال در سناریوی RCP 8.5 میزان جمعیت

MRI-CGCM3 عملکرد بهتری دارد. بنابراین برای ادامه کار بارش طی سال‌های آتی تا پایان ۲۱۰۰ به صورت روزانه توسط این مدل پیش‌یابی شد و سپس برای برآورد خشکسالی در دهه-های آتی مورد استفاده قرار گرفت. مدل MRI-CGCM3 توسط سازمان هواشناسی ژاپن تهیه و از دو مؤلفه گردش کلی جوی و اقیانوسی تشکیل شده است. قدرت تفکیک افقی این مدل حدود ۱۲۰ کیلومتر با ۴۸ لایه قائم می‌باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۵).

CGCM3 می‌باشد (جدول ۲). در این پژوهش نیز در استان کهگیلویه و بویراحمد بارش با همین ۳ مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌ها در جدول ۳ آورده شده است. نتایج ضرایب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2) ریشه میانگین مربعات خطا به میلی متر (RMSE) و ضریب استاندارد یا نرمال ریشه میانگین مربعات خطا به درصد (NRMSE) بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده بارش در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که برآورد بارش در مدل

جدول ۲- مدل‌های ارزیابی اقلیمی CMIP5 مورد استفاده در این پژوهش

Table 2- CMIP5 climate assessment models used in this research

نام مدل	مرکز تولید مدل	قدرت تفکیک افقی مدل (طول جغرافیایی × عرض جغرافیایی)
CMCC-CM	مرکز اروپایی مدیریتانه‌ای تغییرات آب و هوایی، ایتالیا	$0.7484^\circ \times 0.775^\circ$
HadGEM2-ES	مرکز تحقیقات هواشناسی هدلی، انگلستان	$1/25^\circ \times 1/25^\circ$
MRI-CGCM3	موسسه تحقیقات هواشناسی، ژاپن	$1/125^\circ \times 1/2148^\circ$

جدول ۳- مقایسه ضرایب R , R^2 , RMSE, NRMSE مدل ۳ GCM برای پیش‌یابی بارش ایستگاه‌های یاسوج و گچساران

Table 3- Comparison of coefficients R, R2, RMSE, NRMSE of 3 GCM models for prediction the precipitation of Yasouj and Gachsaran stations

نام مدل GCM	R	R ²	RMSE	%NRMSE	رتبه مدل
CMCC-CM	۰/۹۴	۰/۸۹	۲۲/۴	۱۴	۲
HadGEM2-ES	۰/۹۳	۰/۸۶	۲۷/۶	۱۸	۳
MRI-CGCM3	۰/۹۸	۰/۹۶	۱۴/۵	۹	۱
CMCC-CM	۰/۹۱	۰/۸۲	۲۷/۸	۲۸	۲
HadGEM2-ES	۰/۹۰	۰/۸۱	۳۷/۹	۳۸	۳
MRI-CGCM3	۰/۹۵	۰/۹۰	۱۹/۳	۱۹	۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

نمایه ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بلند مدت بارندگی برازش می‌شود که معمولاً برای این کار توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود. سپس تابع توزیع تجمعی با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد. شدت و تداوم خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک را می‌توان توسط این نمایه برآورد کرد. برای محاسبه خشکسالی در دوره پایه و دوره‌های آتی تحت هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از نرم افزار ZimaSPI و با بهره‌گیری از تابع گرافیکی توزیع گاما در نرم افزار MATLAB بهره گرفته شد و خشکسالی‌ها به صورت

محاسبه خشکسالی

خشکسالی به طور کمی بر اساس یک آستانه، معمولاً ۱- در نظر گرفته می‌شود. نمایه بارش استاندارد شده SPI (Standardized Precipitation Index) جهت تعیین دوره-های خشکسالی و ارزیابی شدت آن توسط مک کی^۱ و همکاران (۱۹۹۳) تدوین شد. این نمایه برای هر منطقه بر اساس بارندگی‌های بلند مدت آن محاسبه می‌شود. برای محاسبه این

دوره‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه به دست آمد. سپس نتایج محاسبات خشکسالی به صورت کیفی طبقه بندی گردید.

محاسبه نیاز خالص آبیاری

برای تعیین مقدار نیاز خالص آبیاری گیاهان یک منطقه، تعیین مقدار بخیر و تعرق گیاه مرجع و به تبع آن تعیین تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر با دخالت دادن ضریب گیاهی و همچنین تعیین مقدار باران مؤثر برای هر یک از گیاهان الگوی کشت یک منطقه ضروری می‌باشد. از جمله اقدامات مسئولین بخش کشاورزی در زمینه تعیین نیاز آبیاری زراعی و باغی ایران، تولید نرم افزار نسبتاً جامع با نام NETWAT است که تحت عنوان سند ملی آبیاری کشور شناخته شده و به طور گسترده‌ای توسط

کارشناسان بخش کشاورزی و منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سند در سال ۱۳۷۸ بر اساس مطالعات متخصصین وزارت کشاورزی کشور به روش توصیه شده توسط سازمان فائو تهیه شد و کماکان اطلاعات موجود در آن جهت انجام برنامه ریزی آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تهیه این سند از دوره آماری ۵۲ ساله ۱۳۷۴-۱۳۴۹ برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه بهره گرفته شده است (براتی و همکاران، ۱۳۹۷). جهت محاسبه نیاز خالص آبیاری ۱۰ محصول گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه ای، ذرت علوفه، هندوانه، سیب زمینی، پیاز، یونجه، شبدر و شلتوک جهت مقایسه نیاز خالص آبیاری و آب مصرفی توسط کشاورزان از نرم افزار NETWAT استفاده شد. نتایج آن برای محصولات مورد نظر در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- نیاز خالص آبی (مترمکعب در هکتار) محصولات زراعی در اقلیم کهگیلویه و بویر احمد
Table 4- Net Irrigation Requirement ($m^2 10^4$) of crops in Kohgiluyeh and Boyer Ahmed province
مصرف آب (مترمکعب در هکتار)

نوع محصول	نیاز خالص آبی	الگوی فعلی	اختلاف (درصد)
گندم آبی	۳۴۶۰	۵۸۶۰	+۶۹
جو آبی	۲۷۷۰	۵۹۱۲	+۱۱۳
ذرت دانه ای	۵۲۵۰	۶۷۲۳	+۲۸
ذرت علوفه ای	۵۰۹۰	۶۵۴۰	+۲۸
هندوانه	۵۳۷۰	۱۰۳۶۵	+۹۳
سیب زمینی	۷۳۲۰	۱۷۴۵۰	+۱۳۸
پیاز	۷۲۰۰	۱۱۶۵۳	+۶۲
یونجه	۸۲۴۰	۱۵۵۸۰	+۸۹
شبدر	۶۲۹۰	۷۰۸۱	+۱۳
شلتوک	۸۶۲۰	۳۴۳۱۵	+۲۹۸

مدل ریاضی پژوهش

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات موجود، فارغ از این که به چه میزان کمیاب هستند استفاده می‌کند. این روش در وضعیتی که داده‌های سری زمانی اندکی در دسترس است به ویژه در تحلیل‌های منطقه‌ای و بخشی کشورهای در حال توسعه و

تحلیل اقتصادی زیست محیطی مفید می‌باشد (هنری^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). در پژوهش‌های انجام شده در زمینه سیاست‌های آب سه روش برنامه ریزی ریاضی هنجاری، اقتصادی و مثبت استفاده می‌گردد. از بین آن‌ها روش برنامه-

لازم هر هکتار، TL_{ijm} کل نیروی کار موجود منطقه، k_{ij} میزان ساعت کمباین مورد نیاز هر هکتار، t_{ij} میزان ساعت تراکتور مورد نیاز هر هکتار، Tt_{ij} کل ساعت بهره‌برداری از تراکتور قابل دسترس منطقه، Tk_{ij} کل ساعت بهره‌برداری از کمباین، I_{ij} هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی مورد نیاز هر هکتار، TI_{ij} کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی قابل دسترس منطقه، f_{ij} میزان کود فسفات مورد نیاز هر هکتار، Tf_{ij} میزان کل کود فسفات قابل دسترس محصولات منطقه، o_{ij} میزان کود ازت (نیترژن) مورد نیاز هر هکتار و To_{ij} میزان کل کود ازت (نیترژن) قابل دسترس محصولات منطقه می‌باشد. مهم‌ترین محدودیت‌های تولید که براساس بررسی‌های اولیه در منطقه مورد مطالعه وجود داشته شامل محدودیت زمین، آب، نیروی کار، کود شیمیایی، ماشین‌آلات کشاورزی و سرمایه بوده است.

در این پژوهش برای بررسی رفتار کشاورزان در رابطه با میزان آب مصرف شده، تعداد ۳۰۰ پرسشنامه تهیه گردید که از بین آن‌ها ۸۰ پرسشنامه که توسط کشاورزان ۵ روستا در دشت-های بزرگ کشاورزی استان قرار داشتند و عمدتاً از آب زیرزمینی جهت آبیاری استفاده می‌کنند جهت شبیه‌سازی تغییرات مربوط به کاهش دسترسی آب توزیع و تکمیل گردید. علت انتخاب آب زیرزمینی جهت آبیاری و بررسی سیاست‌های سهمیه‌بندی به این دلیل است اینکه بهره‌برداران آب زیرزمینی عمدتاً دارای پروانه آب هستند و میزان مصرف و استحصال آب راحت‌تر تشخیص داده می‌شود، اما بهره‌برداران آب‌های جاری فاقد این ویژگی هستند. ۵ روستای مورد نظر به دلیل وجود بیش‌ترین بهره‌برداران آب زیرزمینی انتخاب شدند. رویکرد کلی این پژوهش با تأکید بر کاهش مصرف آب با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و زمان مورد بررسی می‌باشد. از آنجایی که میانگین مقدار آب مصرفی محصولات کشاورزی در واحد تولید

ریزی ریاضی مثبت به دلیل باز تولید مدل بر اساس واقعیت و بر اساس رفتار کشاورز بیشتر، واقعیت‌ها را نشان می‌دهد و بهترین و مؤثرترین مدل است. در این پژوهش روش برای تحلیل نتایج سیاست‌های دسترسی به آب از مدل برنامه ریاضی مثبت PMP و برنامه‌ریزی خطی استفاده شده که فرم استاندارد آن در حالت حداکثر سازی به صورت زیر است:

$$\max z = \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (1)$$

$$s.t: \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \quad (3)$$

$$X_j \geq 0$$

در این مدل رابطه ۱ نشان‌دهنده تابع هدف و رابطه‌های ۲ و ۳ بیان‌کننده محدودیت‌های مدل هستند. اولین گام در ساختن مدل متغیرهای تصمیم‌گیری است. متغیرهای تصمیم‌گیری و مورد استفاده مدل پژوهش حاضر به شرح زیر است: متغیر i مربوط به محصولات مختلف قابل کشت در استان که به ترتیب از گندم آبی با نمایه ۱، گندم دیم ۲، ... و سیب زمینی با نمایه ۱۱ می‌باشد. متغیر j نیز بیانگر اراضی شهرستان‌های مورد مطالعه است که به ترتیب شامل کهگیلویه، گچساران، بویراحمد و باشت است. متغیر k نیز بیانگر دوره آبیاری است که به صورت ماهانه و به ترتیب از فروردین تا اسفند در نظر گرفته شده است. متغیر m مربوط به فصول مختلف سال جهت تأمین نیروی کار مورد نیاز فعالیت‌های مختلف می‌باشد که به ترتیب از بهار تا زمستان را شامل می‌شود. بقیه متغیرها نیز در رابطه با محصول am ، در منطقه j ام، در ماه k ام و در فصل m ام به شامل x_{ij} سطح زیر کشت، TI_{ij} کل زمین‌های موجود، Tw کل آب موجود منطقه مورد مطالعه، Tw_{ijk} آب مورد نیاز هر هکتار محصول در منطقه در ماه، Tw_{ijk} کل آب موجود در منطقه در ماه، Tw_k کل آب موجود در منطقه در ماه، L_{ijm} نیروی کار

ریاضی مثبت (PMP) نتایج تحلیل گردید، اطلاعات و نتایج حاصل از تحلیل PMP نشان می‌دهد که این مدل توانسته است مدل پایه را باز تولید کند. به این معنی که مدل مطرح شده می‌تواند، برآزش مناسبی را از داده‌های اعمال شده ارائه دهد که بیانگر اعتبار مدل است. بنابراین این مدل برای شبیه‌سازی سیاست‌های اعمال شده مناسب می‌باشد. جدول ۵ سطح زیر کشت پایه (الگوی فعلی) و نتایج مدل PMP را نشان می‌دهد.

محصولات و استفاده از سطح نیاز خالص آب مورد نیاز را می‌توان با کم کردن میزان مصرف آب کشاورزی تعیین کرد. با هدف مقایسه سیاست‌های سهمیه بندی آب در ۴ سناریو شامل بدون تغییر دسترسی به آب (بدون سیاست کاهش)، کاهش ۱۰ درصدی، کاهش ۲۰ درصدی و کاهش ۳۰ درصدی دسترسی به آب بررسی و مقایسه گردید. جهت تحلیل سیاست‌های موردنظر سهمیه بندی به عنوان سناریوهای آزمایشی مورد توجه در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند و با الگوی برنامه‌ریزی

جدول ۵- مقایسه سطح زیر کشت پایه (الگوی پایه) و نتایج مدل PMP، بر حسب هکتار

Table 5- Comparison of the basic cultivated area (basic model) and the results of the PMP model ($m^2 \cdot 10^4$)

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	نتایج تحلیل PMP
گندم دیم	۷۸۴۵۰	۷۸۴۵۴
گندم آبی	۲۸۵۳۰	۲۸۴۹۷
ذرت دانه ای	۱۹۲۱	۱۹۱۹
ذرت علوفه ای	۲۸۹/۷	۲۹۱/۲
هندوانه	۹۸۴	۹۸۴
سیب زمینی	۵۵	۵۵
پیاز	۳۸	۳۸/۶
یونجه	۸۴۳	۸۴۷
شیدر	۲۱۴	۲۱۴
شلوک	۵۷۰۰	۵۷۰۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

نتایج و بحث

تغییرات بارش سالانه و ماهانه در دوره‌های آتی

جهت بررسی چگونگی تغییرات بارش در سال‌های آتی به عنوان یک عامل مؤثر در تغییر اقلیم، خشکسالی و کشاورزی، بارش پیش‌یابی شده توسط مدل طی ۴ دوره ۲۰ ساله به صورت سالانه و ماهانه مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر بارندگی سالانه در جدول ۶ قرار داده شده است. همانگونه که این جدول نشان می‌دهد در کل دوره در هر دو ایستگاه و تحت هر دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 مقدار بارش سالانه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. البته مقدار بارش تحت سناریوی RCP 8.5 افزایش بیشتری خواهد داشت. در پژوهشی که توسط فاخر نسب

و همکاران صورت گرفته است میزان بارش در دوره‌های مرطوب در سال‌های آتی در استان روند کاهشی از خود نشان می‌دهد (فاخر نسب و همکاران، ۱۳۹۹). اگر چه در برخی پژوهش‌های دیگر به طور کلی اشاره شده است که میزان بارش در جنوب غرب ایران در دوره‌های آتی با روند افزایشی مواجه می‌گردد (کلانکی و همکاران، ۱۴۰۱). به طور کلی آنچه در بحث تغییرات بارش علاوه بر میزان آن اهمیت دارد تغییرات در توزیع فصلی آن است. علت اختلاف نتایج ناشی از متغیرهای به کار رفته در هر مدل، ساختار مدل‌های گردش عمومی، مقدار قدرت تفکیک افقی مدل‌های شبیه سازی و عدم قطعیت آن‌ها می‌باشد.

جدول ۶- تغییرات بارندگی سالانه ایستگاه‌های یاسوج و گچساران به میلی متر
Table 6- Annual precipitation changes in Yasouj and Gachsaran stations in mm

گچساران		یاسوج		میزان بارندگی سالانه
۴۳۲		۷۹۰		دوره پایه
RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	
۵۵۷	۵۴۹	۸۲۸	۸۶۱	۲۰۲۱-۲۰۴۰
۶۵۸	۶۳۷	۹۳۳	۹۰۰	۲۰۴۱-۲۰۶۰
۶۱۲	۴۹۳	۸۴۳	۷۶۷	۲۰۶۱-۲۰۸۰
۶۷۴	۶۴۰	۱۰۴۵	۱۰۱۳	۲۰۸۱-۲۱۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

و دسامبر برابر با آبان و آذر مقدار بارش افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. اما نکته قابل توجه کاهش بارش در زمستان به ویژه ماه‌های ژانویه و دسامبر است. در واقع این جدول تغییر الگوی توزیع بارش را نمایان می‌کند. افزایش بارش‌ها در بهار اگرچه برای بخش کشاورزی و کشت دیم مفید است اما معمولاً بارش‌های این زمان از سال منجر به وقوع سیلاب و افزایش مخاطرات ناشی از آن می‌گردد.

جهت چگونگی و توزیع این افزایش بارش در طی سال‌های آتی تغییرات ماهانه بارش نیز بررسی گردید. نتایج آن برای هر دو ایستگاه و هر دو سناریو طی دوره‌های ۲۰ ساله در جدول‌های ۷ و ۸ قرار داده شده است. در ایستگاه یاسوج که به عنوان نماینده بخش سردسیر استان انتخاب شده بود، افزایش بارش در بهار و پاییز دیده می‌شود (جدول ۷). البته شدت و تقویت بارش‌ها به جز دو دهه آخر در پاییز شدت بیشتری دارد. ماه‌های نوامبر

جدول ۷- تغییرات اختلاف بارش ماهانه ایستگاه یاسوج به میلی متر
Table 7- Variations of monthly precipitation difference in Yasouj station in mm

نوع تغییرات	۲۱۰۰-۲۰۸۱		۲۰۶۱-۲۰۴۰		۲۰۴۱-۲۰۲۱		۲۰۲۱-۲۰۰۰		بارندگی دوره پایه	ماه	فصل
	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5			
-	۳۹	۱۴	-۵	-۲۳	۴	-۶.۵	-۱۲	۰	۱۵۰	ژانویه	زمستان
--	۱۱۶	۱۰۸	-۱۸	-۲۶	۰/۴	-۲	-۱۴	-۲۲	۱۲۷	فوریه	
+	۶۶	۷۵	-۳	۵.۵	۲۹	۳۹	۹	-۳	۱۴۷	مارس	
+	۳۳	۴۶	۱۴	۱۲	۲۷	۳۰	۱۸	۱۸	۷۱	آوریل	بهار
+	۱۳	۱۶	۱۱	۶	۱۱	۱۰	۹	۱۱	۱۶	می	
	۱	۰/۸	۰	-۰/۴	-۰/۳	۰	-۰/۳	-۰/۳	۰.۸	ژوئن	
-	-۳	-۳	-۲/۵	-۳	-۳	-۳	-۳	-۳	۳	جولای	تابستان
	-۰/۲	۰/۷	۰	-۱	۰/۷	۰/۵	-۰/۲	۰.۸	۳	آگوست	
-	-۷	-۷	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۲	۰.۸	سپتامبر	
+	۱.۲	-۱	۱۱	۷	۱۵	۱۴	۱۳	۱۵	۱۳	اکتبر	پاییز
++	-۱۳	-۱۸	۲۱	۱	۲۸	۲۰	۱۵	۲۶	۹۴	نوامبر	
++	۰/۹	-۱۵	۲۵	-۳/۴	۳۱	۷	۳	۲۷	۱۵۵	دسامبر	

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

در ایستگاه گچساران به عنوان ایستگاه منتخب بخش گرمسیر الگوی تغییر بارش تقریباً شبیه به ایستگاه یاسوج است اما تغییرات شدت و مقدار بیشتری دارد. افزایش بارش بهاری بیشتر شده است اما افزایش بارش پاییز به ویژه ماه‌های نوامبر و

دسامبر قابل توجه‌تر است. بارش زمستانه فقط در ژانویه نمود کاهشی دارد که البته مقدار آن قابل توجه است (جدول ۸). تفاوت این دو ایستگاه کاهش بارش تابستان در یاسوج و افزایش بارش تابستانه در گچساران است.

جدول ۸- تغییرات بارش ماهانه ایستگاه گچساران به میلی متر
Table 8- Variations of monthly precipitation difference in Gachsaran station in mm

نوع تغییرات	۲۰۸۱-۲۱۰۰		۲۰۸۰-۲۰۶۱		۲۰۶۰-۲۰۴۱		۲۰۴۰-۲۰۲۱		بارندگی دوره پایه	ماه	فصل
	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5			
--	۷	-۳	-۸	-۲۰	-۱	-۹	-۱۲	-۱۱	۹۶	ژانویه	زمستان
+	۲۹	۲۸	۹	۱	۲۱	۱۵	۱۱	۴	۵۲	فوریه	
++	۳۳	۳۴	۶	۷	۲۳	۲۳	۱۰	۳	۶۱	مارس	
++	۲۷	۲۸	۱۵	۱۴	۲۲	۲۳	۱۷	۱۸	۲۲	آوریل	
+	۴	۳	۳	۲	۳	۳	۳	۴	۴	می	بهار
---	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ژوئن	
+	۲	۳	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۰/۵	جولای	
---	-۱/۵	۰/۸	-۰/۱۵	-۲	۲	۱	-۱	۰/۷	۴	اگوست	تابستان
+	۵	۲	۳	۱	۴	۳	۲	۲	۱	سپتامبر	
++	۲۱	۱۵	۲۲	۶	۲۰	۲۳	۱۵	۹	۱۲	اکتبر	
+++	۶۱	۵۵	۷۰	۱۹	۶۸	۷۵	۴۴	۳۶	۷۷	نوامبر	پاییز
+++	۵۶	۴۴	۶۰	۳۴	۶۳	۴۹	۳۷	۵۱	۱۰۰	دسامبر	

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

بررسی وضعیت خشکسالی

در این پژوهش برای محاسبه این نمایه از تابع گرافیکی توزیع گاما ZimaSPI توسط نرم افزار متلب طی دوره‌های ۱ الی ۴۸ ماهه استفاده شد. در اینجا به دلیل کاهش حجم مطالب فقط نتایج SPI ۱۲ ماهه به شکل نمودار و جدول آورده شده است. شکل‌های ۳ و ۴ نمودار SPI ۱۲ ماهه و جدول ۹ طبقه بندی خشکسالی هر دو ایستگاه یاسوج و گچساران تحت هر دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 و برای دوره پایه جهت مقایسه در جدول نشان می‌دهد. در ایستگاه یاسوج در داده‌های مشاهداتی و طی دوره پایه ترسالی خیلی شدید مشاهده نمی‌شود. اما طی سال‌های آتی ترسالی‌های خیلی شدید افزایش و ترسالی شدید و ملایم کاهش خواهد یافت. خشکسالی ملایم و

شدید نیز افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. به طور کل در ایستگاه یاسوج فرین‌های مثبت و منفی بارش تغییرات قابل توجهی دارند. در ایستگاه گچساران که منتخب منطقه گرمسیر استان است، همانگونه که نتایج نشان می‌دهد (جدول ۹) فراوانی و شدت خشکسالی‌ها در طی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. اگرچه از نظر مقدار بارش، بیشتر شرایط نرمال تجربه خواهد شد اما برخلاف کاهش ترسالی‌های شدید، ترسالی‌های خیلی شدید افزایش می‌یابد. افزایش خشکسالی‌های ملایم و ترسالی‌های خیلی شدید نکته قابل توجه نتایج مدل است. با مقایسه نمودارهای هر دو ایستگاه تداوم خشکسالی‌ها در دهه‌های آتی آشکار می‌شود. اگر چه در ایستگاه گچساران مدت این تداوم بیشتر است. در هر دو ایستگاه تداوم و شدت خشکسالی‌ها در

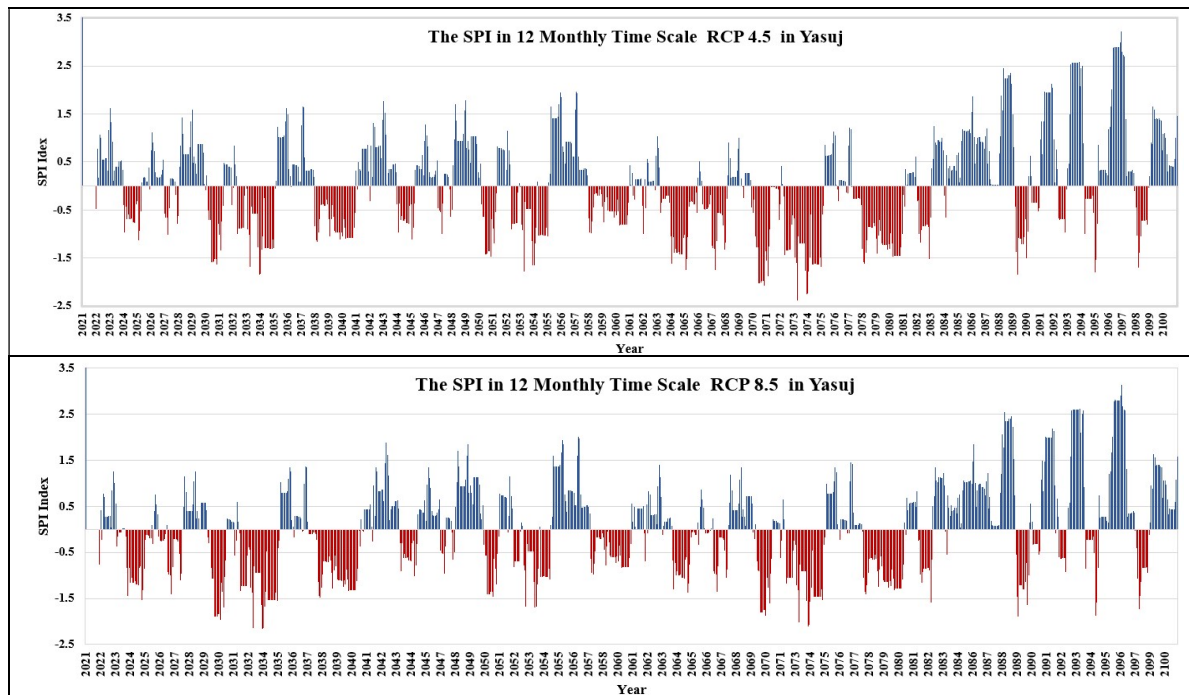
سناریوی RCP 4.5 بیش از سناریوی RCP 8.5 است. در پژوهش‌هایی که بر جنوب غرب ایران انجام شده نیز تأکید بر کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه است (الوانکار و همکاران، ۱۳۹۵)، اگر چه قائمی و همکاران نیز به افزایش شدت و کاهش طول دوره و کاهش فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در مقایسه با دوره پایه اشاره می‌کنند (قائمی و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول ۹- توصیف کیفی و طبقه بندی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI ۱۲ ماهه به درصد

Table 9- Qualitative description and classification of drought and wet year based on 12-month SPI index in %

دوره آتی		دوره پایه	دوره آتی		دوره پایه	SPI	طبقه بندی
RCP 8.5	RCP 4.5		RCP 8.5	RCP 4.5			
۴	۴	۱/۷	۴/۵	۳/۸	--	بزرگتر یا مساوی ۲	ترسالی خیلی شدید
۳/۶	۴/۲	۵/۷	۲/۳	۳/۳	۷/۴	۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱۰/۲	۸/۹	۹	۹/۱	۸/۴	۱۴	۱ تا ۱/۹۹	ترسالی ملایم
۶۴	۶۴/۲	۶۴	۶۴/۶	۶۵/۱	۶۲	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
۱۴/۲	۱۴	۸/۸	۱۴	۱۳/۴	۸/۳	۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی ملایم
۳	۳/۵	۹/۳	۴/۸	۵	۴/۳	-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
۱	۱/۲	۱/۷	۰/۷	۱	۴	کوچکتر یا مساوی -۲	خشکسالی خیلی شدید

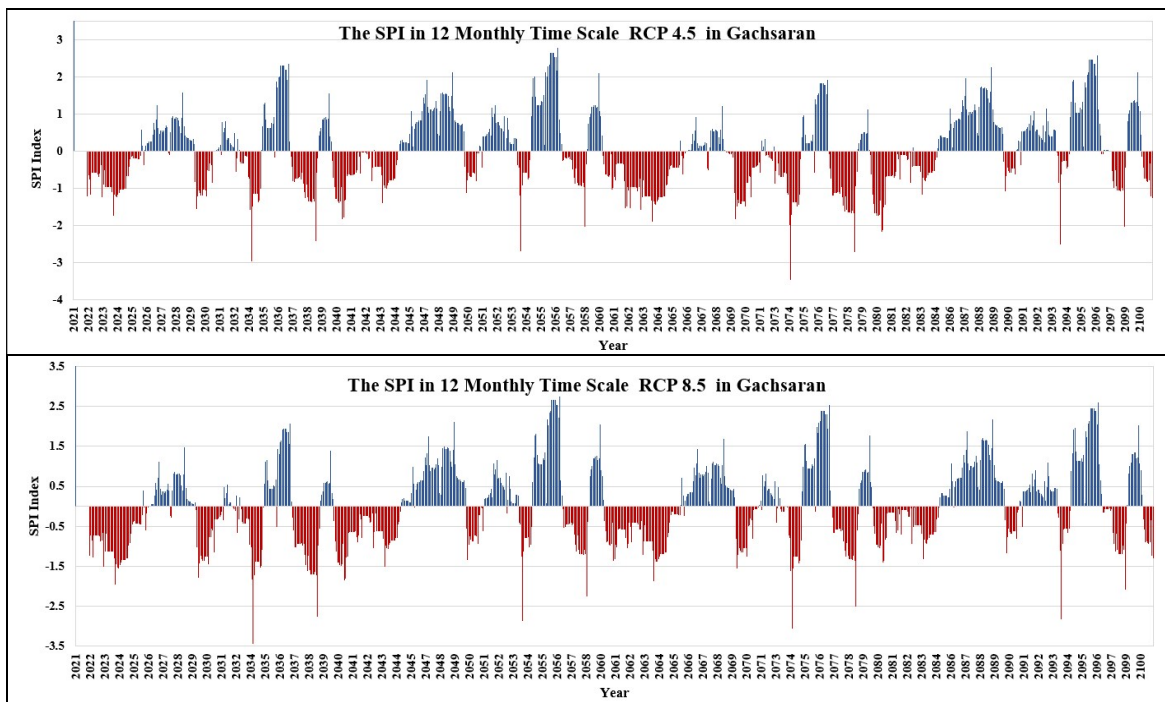
مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲



منبع: نگارندگان

شکل ۳- نمودار نمایه SPI ۱۲ ماهه تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 در ایستگاه یاسوج

Figure 3- 12-month SPI index under two scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 at Yasouj station



مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

شکل ۴ - نمودار نمایه SPI ۱۲ ماهه تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 در ایستگاه گچساران

Figure 3- 12-month SPI index under two scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 at Gachsaran station

جهت حل این مشکلات استفاده کمتر و بهینه سازی الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی است. بنابراین مدیریت عرضه و تقاضای آب و بهره‌گیری از ابزارهای مدیریتی همسو، از قبیل قیمت گذاری آب و سیاست‌های متناسب در بخش کشاورزی می‌تواند از جمله عوامل جلوگیری کننده از اتلاف منابع به شمار رود. در سراسر ایران و بالطبع در استان کهگیلویه و بویراحمد قیمت‌گذاری آب وجود ندارد و هزینه تمام شده آب تنها مربوط به هزینه‌های ثابت اولیه احداث چاه و سیستم آبیاری می‌باشد و منبع آب جهت آبیاری بیشتر از آب زیرزمینی است. با توجه به اینکه لزوماً از کنتورهای آب استفاده نمی‌شود و از آنجایی که آبیاری کشاورزان بیشتر مبتنی بر زمان می‌باشد، تا حجم آب خروجی، بنابراین کشاورزان داده‌های مربوط به آب و هوا و بارندگی را چندان در نظر نمی‌گیرند. با توجه به خشکسالی‌های پیش رو طی دهه‌های آتی، این بخش از پژوهش با هدف

بررسی نیاز خالص آبیاری و عملکرد کشاورزان

کشور ایران در بخش نیمه خشک کره زمین قرار دارد و با دارا بودن ۱ درصد از مساحت کره زمین تنها ۰/۳۶ درصد از کل منابع آب تجدید پذیر را دریافت می‌کند (میرئی و فرشی، ۱۳۸۲). بنابراین خشکی و کمبود آب در ایران یک واقعیت اقلیمی است. در ایران میانگین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی برای دوره‌های آماری ۵۰ ساله و ۷ ساله به ترتیب حداکثر ۵۲ و ۷۱ درصد آب تجدید پذیر را شامل می‌گردد (عباسی و عباسی، ۱۳۹۹)، در حالی که بازده آبیاری در اکثر زراعت‌ها بیش از ۳۰ درصد نیست. در بعضی نقاط کشور استفاده بی‌رویه و بیش از حد از آب‌های زیرزمینی خطر انهدام آب‌های زیرزمینی را به وجود آورده است. استان کهگیلویه و بویر احمد نیز از این قاعده مستثنی نیست و این در حالی است که در این استان کشاورزی نقش مهمی در اقتصاد و معیشت مردم دارد. مهم‌ترین راهکار

۴۱۰۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافت که نشان دهنده کاهش ۳۱ درصدی آب مصرفی می‌باشد. در حالی که نیاز خالص آبی گندم (با توجه به تأخیر تعرق گیاهی و بارندگی مؤثر سالانه در منطقه) ۳۴۶۰ مترمکعب در هر هکتار می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که در سطوح کاهش دسترسی به میزان ۳۰ درصد نیز، آب مصرف شده بیش از کل احتیاجات خالص گیاه می‌باشد. در کشت جو آبی مقدار مصرف آب آبیاری در سناریوهای با کاهش ۳۰ درصدی دسترسی به ۴۱۳۰ مترمکعب در هکتار رسید که با توجه به اینکه نیاز آبی گیاه برای رشد با در نظر گرفتن باران مؤثر در حدود ۲۷۷۰ می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با اعمال سناریو با کاهش دسترسی ۳۰ درصد آب، مقدار آب مصرفی در این شرایط نیز بیش از ۴۹ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد. احتیاجات خالص آب آبیاری در یونجه و سیب زمینی ۸۲۴۰ و ۷۳۲۰ مترمکعب در هکتار برآورده شده است با این وجود مقدار آب مصرفی در یونجه در سناریو ۳۰ درصد کاهش سهمیه به ۱۱۳۴۰ مترمکعب در هکتار رسید که با توجه به نیاز آبی خالص گیاه نزدیک به ۳۸ درصد افزایش مصرف را نشان می‌دهد. میزان مصرف آب به ازای هر هکتار سیب زمینی، معادل ۱۲۴۳۰ مترمکعب برآورد شده است که با توجه به احتیاجات خالص این گیاه مقدار آب مصرفی بیش از ۷۰ درصد برآورد شده است. رویکرد کلی این پژوهش با تأکید بر کاهش مصرف آب با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و زمان مورد بررسی می‌باشد. از آنجایی که میانگین مقدار آب مصرفی محصولات کشاورزی در واحد تولید محصولات و استفاده از سطح نیاز خالص آب مورد نیاز را می‌توان با کم کردن میزان مصرف آب کشاورزی تعیین کرد. بنابراین جهت شبیه‌سازی شرایط منطقه در حالت کم آبی و خشکسالی میزان دسترسی به آب تا ۳۰ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که نیاز خالص آبی در مقایسه با الگوی مصرف آب به مراتب پایین‌تر بود. در منطقه مورد بررسی کشاورزان بدون توجه به میزان بارندگی و بدون در نظر گرفتن نیاز آبی

مقایسه الگوی فعلی و بررسی نیاز خالص آبی ۱۰ محصول زراعی شامل گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، هندوانه، سیب زمینی، پیاز، یونجه، شبدر و شلتوک در استان انجام شده است. چهار سناریوی محدودیت دسترسی شامل سطح بدون تغییر دسترسی و سطوح کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی دسترسی به آب شبیه‌سازی شد.

الگوی سالانه نیاز آبی گیاه در منطقه و نیز مصرف فعلی آب در جدول ۴ آورده شده است. آب مصرفی در مزارع گندم ۵۸۶۰، در مزارع جو آبی ۵۹۱۲، ذرت دانه‌ای ۶۷۲۳، ذرت علوفه‌ای ۶۵۴۰، هندوانه ۱۰۳۶۵، سیب‌زمینی ۱۷۴۵۰، پیاز ۱۱۶۵۳، یونجه ۱۵۵۸۰، شبدر ۴۷۲۰، شلتوک ۳۴۳۱۵ متر مکعب در هر هکتار برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد که برای تمام محصولات مورد بررسی میزان آب مصرف شده بیش از نیاز خالص آبی است. اختلاف نیاز آبی و میزان آب مصرفی در محصول شلتوک معادل ۲۹۸ درصد (۳۴۳۱۵ به ۸۶۲۰ مترمکعب در هکتار) بود. به این معنا که با توجه به دمای هوا و میانگین بارش، میزان آب مصرفی در مزارع شلتوک ۲۹۸ درصد بالاتر از نیاز خالص آبی شلتوک بود. نیاز خالص آبی سیب زمینی معادل ۷۳۲۰ متر مکعب در هر هکتار است در حالی که میزان آب مصرفی در مزارع سیب زمینی معادل ۱۷۴۵۰ متر مکعب در هر هکتار بود و نشان دهنده مصرف مازاد ۱۲۸ درصدی در مقایسه با نیاز خالص آبی این محصول می‌باشد. میزان آب مصرفی گیاه شبدر در مقایسه با نیاز خالص آبی آن اختلاف ۱۳ درصدی را نشان داد که نزدیک‌ترین فاصله آب مصرفی و آب مورد نیاز در بین محصولات مورد پژوهش می‌باشد. جدول ۱۰ نتایج مربوط به تأثیر سناریوهای مختلف مورد بررسی بر میزان مصرف آب محصولات مختلف را نشان می‌دهد. سناریوهای استفاده شده در این پژوهش شامل کاهش سطح دسترسی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی آب بودند. نتایج نشان داد کاهش ۳۰ درصدی سهمیه آب آبیاری محصول گندم آبی، میزان آب مصرفی از ۵۸۶۰ به

کنترل شود. عواملی مانند فرهنگ‌سازی دولت در بخش مصرف آب (سعادت و ذاکری، ۱۳۹۱) و ارائه سوبسیدهایی (اسماعیل نیا و وصفی اسفستانی، ۱۳۹۴) در بخش کشاورزی برای اقبال عمومی مؤثر است. سن کشاورزان با مصرف آب آبیاری رابطه مثبتی دارد به این معنی که با افزایش سن کشاورزان، میزان مصرف مازاد آب نیز افزایش پیدا می‌کند (بی‌نیاز و همکاران، ۱۴۰۰)، از طرفی اقبال کم جوانان به کار کشاورزی نیاز به ارائه مشوق‌ها و سوبسیدهایی برای این بخش را امری اجتناب‌ناپذیر نشان می‌دهد.

محصول زراعی اقدام به آبیاری می‌کنند. در چند دهه اخیر کشور با کمبود بارش و خشکسالی گسترده مواجه بوده است اما روند مصرف آب تاکنون اصلاح نشده است. با توجه به فشار فزاینده- ای که بر منابع آبی منطقه وارد می‌شود (مصرف نزدیک به ۳ برابر نیاز خالص) و با توجه به خشکسالی‌های مداوم چند ساله اخیر و خشکسالی‌های پیش رو، سطح آب منطقه به شدت کاهش خواهد یافت و در آینده نزدیک شاهد مشکلاتی به مراتب بیشتر و بزرگتر خواهیم بود. برخی از فعالیت‌های مشابه نشان دادند که علاوه بر ایجاد شرایط مؤثر در کوتاه مدت و مقطعی، به شرایط و عوامل دیگری نیاز است تا میزان مصرف آب در بلند مدت

جدول ۱۰- نتایج سناریوهای دسترسی مداوم و کاهش سطح دسترسی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی آب

Table 10- Results of scenarios of continuous availability and reduction of 10, 20 and 30% water availability levels

آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)				نوع محصول
۳۰- درصد	۲۰- درصد	۱۰- درصد	دسترسی مداوم	
۴۱۰۰	۵۰۱۰	۵۲۲۰	۵۸۶۰	گندم آبی
۴۱۳۰	۴۸۱۴	۵۳۰۵	۵۹۱۲	جو آبی
۴۸۱۲	۵۴۹۰	۶۶۲۰	۶۷۲۳	ذرت دانه ای
۶۱۵۸	۶۳۰۰	۶۴۱۰	۶۵۴۰	ذرت علوفه ای
۵۲۱۰	۷۶۸۰	۹۳۲۰	۱۰۳۶۵	هندوانه
۱۲۴۳۰	۱۴۱۳۰	۱۵۸۱۰	۱۷۴۵۰	سیب زمینی
۸۲۴۰	۹۳۲۷	۱۰۴۷۱	۱۱۶۵۳	پیاز
۱۱۳۴۰	۱۲۷۲۰	۱۴۱۳۰	۱۵۵۸۰	یونجه
۳۱۹۴	۳۸۶۰	۴۳۸۰	۴۷۲۰	شیر
۲۴۴۱۰	۲۷۷۵۰	۳۱۱۶۵	۳۴۳۱۵	شلتوک

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲

بنابراین نیاز است تا در پژوهش‌های آتی علاوه بر بررسی الگوهای مصرف و تأثیر آن بر کشاورزی، ابعاد اجتماعی کم آبی و خشکسالی نیز مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نامنی منابع آبی برای نیازهای بشر از جمله تولید مواد غذایی و تولید برق با انرژی آبی و بهداشت تهدیدی جدی است

اگرچه پژوهش‌های انجام شده در رابطه با الگوی مصرف آب بیشتر، به لزوم قیمت گذاری و محدودیت دسترسی می‌پردازد و پیامدهای کم آبی را تشریح می‌نماید با این وجود به نظر می‌رسد کم آبی پیامدهای اجتماعی بیشتری را در پی دارد که از جمله می‌توان به مهاجرت به حاشیه شهرها (میرشکاران، ۱۳۹۹)، کاهش منابع آبی و تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی (درودیان و درودیان، ۱۳۹۶)، ایجاد مشاغل کاذب، افزایش اعتیاد، نابسامانی‌های اجتماعی و بیماری‌های ناشی از آن را نام برد.

به افزایش سیلاب گردد. از طرفی با افزایش بارش بهار علفزارها در زیر چتر تنک جنگل‌های زاگرس رشد بیشتری خواهند داشت که پس از خشک شدن در تابستان منجر به افزایش آتش‌سوزی‌های گسترده در جنگل‌ها، مراتع و روستاها می‌گردد. افزایش بارش بهار، گسترش آفات کشاورزی را نیز به دنبال دارد. یکی از نکات قابل توجه در کاهش بارش زمستان، کاهش روزهای برفی، کاهش حجم برف و در پی آن کاهش ذخایر آبی است. با توجه به خشکسالی‌های پیش رو و مصارف مازاد بر نیاز خالص آبیاری گیاه توسط کشاورزان باید تمهیداتی در این خصوص انجام شود. تمهیداتی مانند در نظر گرفتن مشوق‌هایی برای جلوگیری از انجام کشت تابستانه محصولات پرآب بر، جلب همکاری کشاورزان قبل از وقوع خشکسالی، آگاهی‌بخشی به کشاورزان در مورد وضعیت وخیم منابع آب، اجرای برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی، حمایت از صادرات محصولاتی که تولید آنها نیاز به آب کمتری دارد، تأکید بر به‌کارگیری تدابیر لازم برای تولید در محیط‌های کنترل شده گلخانه‌ای، تأمین بذور کم‌آب‌بر، اصلاح تاریخ کشت محصولات، ترویج و معرفی گیاهان جایگزین در مناطق مناسب با گیاهان پرآب می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش اثرات خشکسالی داشته باشد.

و در مناطقی که خشکسالی‌ها، طولانی و شدید می‌شود، خسارات اقتصادی، تبعات اجتماعی همچون کاهش درآمد و معیشت کشاورزان و روستاییان، افزایش فقر و به تبع آن مهاجرت‌های گسترده و افزایش ناهنجاری‌های اجتماعی، افزایش فرین‌های آب و هوایی و هیدرولوژیکی، کاهش رطوبت خاک و افزایش توفان‌های گرد و غبار از جمله اثرات این پدیده است. خشکسالی و کمبود آب در ایران سابقه دیرینه‌ای دارد. با توجه به اینکه دانشمندان اظهار کردند که هدف حفظ گرمایش زمین در سطح ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به سطوح قبل از صنعتی شدن فراتر از دسترس است، شواهدی از بحران در همه جا مشاهده می‌شود و بحران اقلیمی دیگر یک هشدار نیست و در حال وقوع است. پژوهش حاضر در بخش خشکسالی بیانگر افزایش رویداد خشکسالی‌های ملایم و تداوم آن‌ها در استان کهگیلویه و بویر احمد است. اگر چه ترسالی‌ها نیز افزایش می‌یابد. بررسی چگونگی توزیع بارش در ماه‌های مختلف و فصول سال بیانگر افزایش بارش در پاییز و بهار و کاهش آن در زمستان است. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که افزایش بارش پاییز در جنوب غرب ایران معمولاً همراه با رویداد ال‌نینو است. با افزایش گرمایش جهانی، افزایش یافتن فراوانی وقوع و شدت یافتن ال‌نینو دور از انتظار نیست. اما افزایش بارش‌ها در اواخر زمستان و ابتدای بهار که بیشتر بارش به شکل مایع می‌بارد می‌تواند منجر

منابع

الوانکار، س. ر.، نظری، ف.، و فتاحی، ا. (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی و دوره بازگشت خشکسالی‌های ایران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۲)، ۱۲۰-۹۹.
<http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jsah.3.2.99>
 بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر.، بیاتانی، ف. و فهیمی نژاد، ا. (۱۳۹۵). کارایی روش‌های پس‌پردازش آماری در بهبود

اسماعیل نیا، ع. ا. و وصفی اسفستانی، ش. (۱۳۹۴). بررسی اثرات اصلاح قیمت حامل‌های انرژی بر تولید و قیمت در بخش کشاورزی. مجله اقتصاد مالی، ۹(۳۲)، ۴۵-۶۴.
 اکبری، م.، نجفی علمدارلو، ح.، و موسوی، س. ح. (۱۳۹۸). اثرات تغییر اقلیم و خشکسالی روی ریسک درآمدی و الگوی کشت زراعی در شبکه آبیاری دشت قزوین. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۲)، ۲۸۲-۲۶۵.

- ۱۶۶-۱۵۱.
- <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.49.151>
- وزارت راه و شهرسازی، سازمان هواشناسی کشور. (۱۴۰۲).
خبرنامه ۳۳ هواشناسی کشاورزی.
دورودیان، ح. و دورودیان، غ. (۱۳۹۶). پیامدهای اجتماعی و بوم
شناختی تغییر بی رویه کاربری اراضی کشاورزی. مدیریت
اراضی، ۲ (۲) ۵، ۸۱-۹۷.
<https://doi.org/10.22092/lmj.2018.115849>
رفعتی، س. و کریمی، م. (۱۳۹۷). بررسی همگنی داده‌های
اقلیمی و روند تغییر دما، فیزیک زمین و فضا، ۴۴ (۱)، ۱۹۹-
۲۱۴.
<https://doi.org/10.22059/jesphys.2017.61674>
سعادت، ف. و ذاکری، ز. (۱۳۹۱). مطالعه تنش آبی در ایران از
منظر زیرساخت‌های فرهنگی. مهندسی فرهنگی، ۶۵ (۶)
۱۴۶-۱۶۱.
- سیاسر، ه. سالاری، ا. (۱۴۰۲). پیش بینی احتمال وقوع
خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکوف (مطالعه موردی
روستاهای استان سیستان و بلوچستان). فصلنامه راهبردهای
توسعه روستایی، ۱۰ (۳)، ۳۸۷-۴۰۲.
<https://doi.org/10.22048/rdsj.2023.352852.2042>
شرقی، ط.، کلانتری، خ.، اسدی، ع. و جمعه پور، م. (۱۳۹۵).
شبیه سازی اثرات توامان تغییرات اقلیمی و سیاست انتقال
آب از بخش کشاورزی به صنعت بر تولیدات باغی (مورد
استان یزد). تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی
ایران، ۴۷ (۴)، ۸۶۳-۸۵۱.
<https://doi.org/10.22059/ijaedr.2016.61332>
شهرکی، ج.، رهنما، ع. و خاکسار آستانه، ح. (۱۳۹۷). مدیریت
تقاضای آب با رویکرد اقتصادی در شمال استان سیستان و
بلوچستان. اکو هیدرولوژی، ۵ (۳)، ۱۰۴۹-۱۰۳۷.
<https://doi.org/10.22059/ije.2018.248647.797>
شعبانعلی فمی، ح.، محمدزاده نصیرآبادی، م.، سواری، م.، معتقد،
پیش بینی ماهانه بارش مدل MRI-CGCM3 در خراسان
رضوی، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲ (۲)، ۹۲-۸۳.
باقری، ا.، نیکویی، ع.، خداداد کاشی، ف. و شوکت فدایی، م.
(۱۳۹۶). ارزیابی سیاست قیمت گذاری آب بر پایداری و
حفظ آبخوان: مطالعه آبخوان مهیار شمالی در حوضه زاینده
رود. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۱ (۲)، ۱۲۰-۱۰۵.
براتی، خ.، عابدی کویایی، ج.، درویشی، ا.، آذری، آ. و یوسفی، ع.
(۱۳۹۷). برآورد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت
دشت کرمانشاه و مقایسه آن با داده‌های سند ملی آب.
پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۴)، ۵۵۳-۵۴۳.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2019.118523>
بی‌نیاز، ا.، احمدپور برازجانی، م.، ضیایی، س. و محمدی، ح.،
(۱۴۰۰). اثرات بالقوه قیمت گذاری و سهمیه‌بندی آب بر
بهره‌وری آب و مصرف نهاده‌های کشاورزی در استان
کهگیلویه و بویراحمد. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک
و آب)، ۳۵ (۱)، ۸۹-۱۰۶.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2021.352382.834>
پرهیزکاری، ا.، یآوری، غ.، محمودی، ا. و بخشی خانیکی، غ.
(۱۴۰۰). ارزیابی آثار بالقوه استقرار بازار آب محلی در شرایط
رویاری با خشکسالی و کم آبی در استان تهران. تحقیقات
منابع آب ایران، ۱۷ (۴)، ۲۱۰-۱۹۲.
<https://doi.org/10.17352347.1400.174.12.9>
جهانگیر م. ح.، جهانپناه، م. و ابوالقاسمی، م. (۱۳۹۹). پیش بینی
وضعیت خشکسالی برای دوره های آتی با استفاده از مدل
LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز). محیط
زیست و مهندسی آب، ۶ (۱)، ۸۲-۶۹.
<https://doi.org/10.22034/jewe.2020.215515.134>
- 3
حسینی، م. ح. (۱۳۹۷). واکاوی روند بارش جنوب غرب آسیا در
نیم سده گذشته، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۴۹،

- مناطق خشک، ۹(۷۳) ۳۵-۶۰.
- کلانکی، م.، رضانی اعتدالی، ه. و فن اوول، پ. (۱۴۰۱). ارزیابی مؤلفه‌های اقلیمی آینده از شمال تا جنوب غرب ایـران، اکوهی—درولوژی، ۹(۲)، ۳۷۳-۳۸۶. <https://doi.org/10.22059/ije.2022.340627.1621>
- کیانی قلعه سرد، س.، شهرکی، ج.، اکبری، ا. و سردار شهرکی، ع. (۱۳۹۸). اثر تغییرات اقلیمی بر تولید بخش کشاورزی ایران: مطالعه موردی محصول گندم، پژوهش‌های کاربردی زراعت—، ۳۲(۴)، ۱۲۷-۱۰۹. <https://doi.org/10.22092/aj.2019.123143.1337>
- مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰، سالنامه آماری استان کهگیلویه و بویراحمد.
- مهرآذر، آ.، مساح بوانی، ع. ر.، مشعل، م. و رحیمی خوب، ح. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با تأکید بر عدم قطعیت مدل های AOGCM گزارش ارزیابی پنجم IPCC. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۱(۳)، ۵۹-۴۵. <https://doi.org/10.22055/jise.2018.13747>
- میرزایی، ع. و زیبایی، م. (۱۳۹۹). بررسی اثرات استراتژی‌های تطبیقی برای مدیریت منابع آب کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه آبریز هلیل رود. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۴(۴)، ۴۱۹-۳۹۷.
- میرشکاران، ی. (۱۳۹۹). اثر تغییرات آب و هوایی بر پیامدهای امنیتی-انتظامی بحران منابع آب با تأکید بر هیدروپولیتیک مناطق مرزی. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۱(۲)، ۷۹-۷۹. <https://doi.org/10.30488/ccr.2020.111127.98>
- میرئی، م. ح. س. و فرشی، ع. ا. (۱۳۸۲). چگونگی مصرف و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.
- نادریان فر، م. و حیدری قرائی، ا. (۱۴۰۰). بررسی اثرات خشکسالی بر روی عملکرد گندم آبی و دیم در منطقه م.، بقایی، م. و افشاری، س. (۱۳۹۸). بکارگیری راهبردهای مدیریت آب توسط کشاورزان کوچک مقیاس در شرایط خشکسالی در مناطق روستایی استان اصفهان. فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۶(۳)، ۲۷۸-۲۶۵. <https://doi.org/10.22048/rdsj.2020.206263.1823>
- شیوخی سوغانلو، س.، موسوی بایگی، م.، ترابی، ب. و رائینی سرجاز، م. (۱۴۰۰). ارزیابی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی (مطالعه موردی: ورامین). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۹(۲)، ۲۸-۱۵. <https://doi.org/10.22125/agmj.2021.297373.1121>
- عباسی، ع.، کوهی، م.، جوانشیری، ز.، ملبوسی، ش.، حبیبی نوخندان، م.، بابائیان، ا. و فلامرزی، ی. (۱۳۹۹). آشکارسازی و به روز رسانی تغییر اقلیم در ایستگاه‌های کشور (دوره ۲۰۱۷-۱۹۵۸). پژوهش‌های اقلیم شناسی، ۴۲، ۱۵۳-۱۳۷.
- عباسی، ن.، و عباسی، ع. (۱۳۹۹). سیمای منابع و مصارف آب ایران. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، تهران.
- عزیزی، ق.، (۱۳۸۳). تغییر اقلیم. انتشارات قومس، تهران، ۱۲۳.
- فاخر نسب، ا.، علیجانی، ب. و اسدیان، خ. (۱۳۹۹). آشکارسازی تغییرات دمای هوا و بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل MIROC5، جغرافیای طبیعی، ۱۲(۵۰)، ۳۵-۱۵.
- قائمی، ع.، هاشمی مفرد، س. آ.، بحرپیما، ع. ا. محمودی، پ. و ذونعمت کرمانی، م. (۱۴۰۱). تغییرات مکانی - زمانی ویژگی‌های خشکسالی پیش بینی شده ایران تحت سناریوهای تغییر اقلیم هواشناسی و علوم جو، ۵(۱)، ۸۰-۶۸. <https://doi.org/10.22034/jmas.2023.390166.11>
- 99
- قلعه نوی، م. ا.، بابایی پهنه کلایی، س. ف.، درزی نفت چالی، ع. و جاویدی صباغیان، ر. (۱۳۹۸). تحلیل و پیش بینی تغییرات خشکسالی، تبخیر - تعرق و آب سبز در حوضه دریاچه ارومیه تحت شرایط تغییر اقلیم. مطالعات جغرافیایی

- agriculture and environmental policy analysis: review and practice, In: Weintraub, A., Bjorndal, T., Epstein, R., & Romero, c. (Eds). Management of Natural Resources: A Handbook of Operations Research Models, Algorithms, and Implementations. Kluwer Management Science.
- <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>.
- Karimi, M., Melesse, A.M., Khosravi, K.H., Mamuye, M., & Zhang, J. (2019). Analysis and prediction of meteorological drought using SPI index and ARIMA model in the Karkheh River Basin, Iran. *Extreme Hydrology and Climate Variability*, 26, 343-353. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00026-9>
- Latinopoulos, D., & Y. Mylopoulos. (2005). Optimal allocation of land and water resources in irrigated agriculture by means of Goal Programming: Application in Loudias River basin. *Global Nest Journal*, 7, 264-273. <https://doi.org/10.30955/gnj.000345>
- Maneta M. P., Torres M., Wallender W., Vosit S., Howitt R., Rodrigues L., Bassoi L., & Panday, S. (2009). A spatially distributed hydro economic model to assess the effects of drought on land use, farm profit and agricultural employment. *Water Resources Research*, 45(11), 11412. <https://doi.org/10.1029/2008WR007534>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Boston, MA: American Meteorological Society. (17(22), pp. 179-183).
- Mizyed, N. (2009). Impacts of Climate Change on Water Resources Availability and Agricultural Water Demand in the West Bank. *Water Resour*
- بجنورد. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۳(۱)، ۱۷۶-۱۶۳.
- <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.290842.1096>
- ناصری، م. و رستگاری پور، ف. (۱۴۰۲). تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی پسته به عنوان محصولی راهبردی در مناطق روستایی. فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۱۰(۲)، ۱۱۸-۱۰۳.
- <https://doi.org/10.22048/rdsj.2022.347139.2030>
- نیکومرام، ه.، رهنمای رودپشتی، ف.، و بیات، ع. (۱۳۸۸). بررسی دلایل کمبود پژوهش‌های تجربی انجام شده در حوزه حسابداری مدیریت در ایران. حسابداری مدیریت، ۲(۲۲)، ۸۳-۱۰۴.
- یارمحمدی، س.، ذاکری نیا، م.، قرابنی، خ. و سلطانی، ا. (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر - تعرق و نیاز آبی گندم در منطقه بجنورد. مهندسی منابع آب، ۱۰(۴)، ۱۰۹-۹۷.
- <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1396.10.35.8.0>
- Abbasian, M.S., Moghim, S., & Abrishamchi, A. (2019). Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 1465-1483. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0112-z>
- Gabr, M.E. (2023). Impact of climatic changes on future irrigation water requirement in the Middle East and North Africa's region: a case study of upper Egypt. *Applied Water Science*, (13(158), pp1-14). <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01961-y>
- Henry de Frahan, B., Buysse, J., Polome, P., Harmigine, O., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G., & Van Meensel, J. (2007). Positive mathematical Programming for

- Agricultural water management, 96(11): 1560-1566.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.014>
- Tukimat ,N.N.A., Harun,S., & Shahid,SH.(2017).Modeling Irrigation Water Demand in a Tropical Paddy Cultivated Area in the Context of Climate Change. *Journal of Water Resources Planning and Management*,143(7).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000753](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000753)
- Manage ,23, 2015–2029.
<https://doi.org/10.1007/s11269-008-9367-0>
- Soares, D., Paço, T.A., & Rolim, J. (2023). Assessing Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements under Mediterranean Conditions A Review of the Methodological Approaches Focusing on Maize Crop. *Agronomy*, 13(117) pp1-16.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13010117>
- Speelman, S., Buysse, J. Farolfi, S. Frija , A. Haese, M. D & Haese, L.D. (2009). Estimating the impacts of water pricing on smallholder irrigators in North West Province, South Africa.