Journal of Agricultural Economics Research

Winter 2021. Vol 13. Issue 4

ISSN (Print): 2008-6407 - ISSN (Online): 2423-7248

Research Paper

Effects of climate change on the agricultural sector in the Kheirabad River Basin

Ghasem Layani [1*], Mohammad Bakhshoodeh [2]

1. Assistant Professor of Rural Development, School of Agriculture, Shahrekord University, Iran
2. Professor of Agricultural Economics, School of Agriculture, Shiraz University, Iran

Received: 2019/6/12
Accepted: 2019/9/18
PP:208-223

Use your device to scan and read the article online

Doi:
10.30495/jae.2021.21701.2030

Keywords:
Climate Change, WEAP, Water requirement, Economic Productivity

Abstract

Introduction: The effect of climate change is essential on the yield, production, and supply of crops and, consequently, food security worldwide and in different countries. Therefore, in this research, the effects of climate change under two average and pessimistic scenarios on pure water requirements and crop yields in the agricultural sector at Kheirabad River Basin were evaluated.

Materials and Methods: In the first step, the catchment area was modeled in the WEAP software and the model was designed to evaluate the effects of climate scenarios.

Findings: The results noted that under the average climate scenario, the crop yields increased and their water requirement decreased. Meanwhile, the highest increase in yield is related to the barley and the shortest is the watermelon. However, with the changing temperature and precipitation conditions based on the pessimistic climate scenario, the crop yield of most products is lower than the base conditions. Also, under these circumstances, the water requirements of crops have also increased, and the change in wheat and barley water requirements are more than other products and are facing increasing water stress. The results revealed that, under the average scenario, the climatic conditions have more effect on the economic productivity index for barley, tomato, and cucumber. The change of the water productivity index for these crops was 25.19%, 24.98%, and 23.80%, respectively. In addition, the results confirmed that by applying the pessimistic climate scenario the water productivity index decrease in comparison with baseline.

Conclusion: This result illustrates the negative consequences of climate change in the study area of the Kheirabad River Basin and for farmers in this area.

Citation: Layani, Gh. & Bakhshoodeh, M. (2021). Effects of climate change on the agricultural sector in the Kheirabad River Basin. Journal of Agricultural Economics Research; 13(4):208-223

***Corresponding author:** Ghasem Layani
Address: Department of Rural Development, School of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
Tell: 09112528146
Email: Ghasem.layani@sku.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Water is essential for people's daily life, agricultural irrigation, fish farming, and manufacturing (10). However, this vital resource is faced with several stresses in quantity and quality. Among the others, climate variability and increasing population growth have resulted in water scarcity in many countries especially in the arid regions (24). The water scarcity problem threatens nearly 80% of the world's population. The increasing gap between supply and demand of water resources can make the water system more vulnerable (17). Therefore, the most challenging issue in water resources system in the world is to achieve a balance between supply and demand (3).

Since the agricultural sector is one of the most important productive and economic sectors in many countries, these changes have led to changes in their economic structure and trade pattern. This sector is both economically and physically vulnerable to climate change such as temperature and rainfall. Therefore, in this study, the effect of climate change on the agricultural sector in the *Khairabad River Basin* is investigated.

Materials and Methods

In this study, the WEAP simulation model was used to evaluate the effects of climate change. WEAP is designed and developed by SEI. WEAP is a computer tool for integrated water resources planning. This tool provides a comprehensive, flexible, and user-friendly framework for policy analysis. The number of professionals adding WEAP to their models, databases, spreadsheets, and other software is growing. WEAP software has been developed with the aim of incorporating integration into an application tool for water resources planning (23).

The *Khairabad River Basin* is part of the Zohreh *Basin*. This *Basin* is rich in terms of surface water (according to available surface water resources), but due to the improper use of soil and water resources and the increasing development of water resources, the water potential of the basin to meet the growing demand has decreased.

Findings

According to the results, the yield of agricultural products will increase due to climate change based on the moderate climate scenario. The highest yield increase is related to barley and the lowest is related to watermelon. The results obtained for pessimistic weather conditions also indicate the fact that the average yield of all crops decreases compared to the conditions before the change of climate variables. The values of net water requirement indicate an increase in this variable for all crops under pessimistic climatic conditions compared to baseline conditions. The increase in net water demand as a result of increased temperature changes during the period of growth and higher evapotranspiration under pessimistic climatic conditions is not unexpected. The amount of change in net water requirement of barley and wheat has been predicted by changing climatic conditions under a pessimistic climate scenario, due to the fact that their growth period coincides with the rainy seasons of the year. In general, the growing season of wheat in most parts of the country corresponds to the three seasons of autumn, winter and spring, in which most of the annual rainfall occurs. Reduction of precipitation in pessimistic climate scenario means that in these conditions less part of the net water requirement of this crop is provided through precipitation, in which case the need for irrigation water will be more.

According to the results, cucumber, tomato, watermelon and rice products have the highest economic productivity in temperate climates. In general, under the mid-climate scenario, the economic productivity index of water resources for all crops has increased compared to the baseline conditions.

In general, the phenomenon of climate change due to rising temperatures and declining rainfall, in addition to the social characteristics of farmers, also affects their economic conditions and leads to a decrease in farmers' income at the farm level.

Discussion

In general, according to the results, to increase the production of agricultural products in the *Khairabad River Basin*, it is suggested that first to improve the yield per unit area and develop the area under cultivation of crops resistant to climate change is a priority. Due to the fact that irrigation efficiency is effective in determining the gross irrigation water needs of

crops and thus calculating the water productivity index, so improving irrigation technology can be effective in modulating the effects of climate change and greater adaptation to drought. It is also recommended to provide farmers with the necessary information about the introduction of new methods of farm irrigation and its benefits.

Conclusion

Finally, according to the findings of the present study, it can be concluded that based on the pessimistic climate scenario, the performance of most products is at a lower level than the baseline scenario. Also, under these conditions, the net water requirement of crops increases and the percentage change of this variable for both barley and wheat crops is more than other crops.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی

زمستان۱۴۰۰.دوره ۱۳. شماره ۴

شاپا چاپی: ۶۴۰۷ -۲۰۰۸ – شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۲۴۸

مقاله پژوهشی

اثرات تغییر شرایط آب و هوایی بر بخش کشاورزی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد: کاربرد مدل WEAP

قاسم لیانی [۱*]، محمد بخشوده [۲]

۱. استادیار، گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲. استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۷

شماره صفحات: ۲۲۳-۲۰۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

Doi:
10.30495/jae.2021.21701.2030

واژه‌های کلیدی:
تغییر اقلیم، WEAP، نیاز خالص آبی، عملکرد، بهره‌وری اقتصادی

چکیده

مقدمه و هدف: با توجه به تأثیرات گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف تولیدی، امروزه از تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست و یکم یاد می‌شود که پیامدهای جدی اقتصادی به دنبال دارد. در این میان اثرپذیری بخش کشاورزی از تغییرات آب و هوایی نسبت به سایر بخش‌های دیگر بیشتر بوده و تولید محصولات کشاورزی به‌طور مستقیم به این تغییرات وابسته اند. در این مطالعه تلاش شد تا اثر تغییر شرایط آب و هوایی بر بخش کشاورزی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه به منظور ارزیابی اثرات تغییرات شرایط آب و هوایی از مدل شبیه‌سازی WEAP استفاده شده است. مدل WEAP یک ابزار برنامه‌ریزی منابع آب است که بر اصل بیلان آب استوار می‌باشد و زیرحوضه‌های مختلف، گره‌های تقاضای آب، زیرساخت‌ها، جریان‌های آب و کانال‌های انتقال آب که همگی با یکدیگر مرتبط هستند را نشان می‌دهد. روش MABIA موجود در نرم افزار WEAP ابزاری مناسب جهت شبیه-سازی اثرات تغییرات اقلیم است می‌باشد. این روش نیازهای آبی و عملکرد محصولات را شبیه‌سازی و به کاربران اجازه می‌دهد که اثرات تغییرات آب و هوایی و آب در دسترس بر رشد محصول را در نظر بگیرند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تحت سناریو اقلیمی میانه میزان عملکرد محصولات افزایش و نیاز خالص آبی آن‌ها کاهش می‌یابد. در این بین بیشترین افزایش عملکرد مربوط به محصول جو و کمترین آن مربوط به محصول هندوانه است. این در حالی است که با تغییر شرایط دما و بارش بر اساس سناریو اقلیمی بدبینانه، عملکرد محصولات مورد مطالعه در سطح پایین‌تری نسبت به شرایط پایه قرار می‌گیرد. همچنین تحت این شرایط نیاز خالص آبی محصولات نیز افزایش یافته و برای دو محصول جو و گندم بیش از سایر محصولات دستخوش تغییر شده است و با تنش افزایش نیاز آبی مواجه می‌باشند. در نهایت نتایج نشان داد که شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب محاسبه شده در شرایط اقلیمی میانه برای محصولات جو، گوجه و خیار بیشترین اثرپذیری را از تغییر شرایط آب و هوایی داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال سناریوی اقلیمی بدبینانه بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی نهاده آب نسبت به سناریو پایه برای تمامی محصولات کاهش می‌یابد که این امر پیامدهای منفی رخداد پدیده تغییر اقلیم را در محدوده مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد و برای کشاورزان این منطقه بازگو می‌کند.

* **نویسنده مسئول:** قاسم لیانی

نشانی: استادیار گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تلفن: ۰۹۱۱۲۵۲۸۱۴۶

پست الکترونیکی: Ghasem.Layani@sku.ac.ir

مقدمه

بخش کشاورزی در اقتصاد ملی و تأمین غذای جامعه نقش حیاتی دارد و در جهت دستیابی به پایداری در این بخش، ضروری است از منابع و ابزارهای تولید در این بخش به بهترین شکل ممکن استفاده گردد تا ضمن کاهش در مصرف این منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان افزایش یابد (۲۰). یکی از مهم‌ترین مسائلی که طی دهه‌های اخیر در بخش کشاورزی نمود یافته و تولید محصولات زراعی را با محدودیت مواجه ساخته است، تغییرات اقلیم می‌باشد. تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی از مهم‌ترین مسائل روز دنیا به شمار می‌روند. با پیشرفت بخش صنعت و مکانیزه شدن امور در قرن نوزدهم و رشد روزافزون فعالیت‌های بشری، تغییرات گوناگونی در زندگی انسان‌ها به وقوع پیوسته است. استفاده بیش‌ازحد از منابع ذخیره‌ای و سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، نفت و گاز سبب شکل‌گیری و تشدید گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین شده است (۴). در این راستا، رشد مداوم جمعیت بر روی کره زمین افزون بر ایجاد تغییرات گسترده در سطح اراضی، جنگل‌ها و منابع ذخیره‌ای، منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری شده و اثرات مخرب و منفی دیگری را هم به همراه داشته است. پدیده تغییر اقلیم یکی از این اثرات است که نقش مهم و بسزایی را در بخش کشاورزی داشته است (۱۳). این پدیده همان‌گونه که تحت تأثیر فعالیت‌های بشر قرار دارد، می‌تواند اثرات مختلفی را بر فعالیت‌های انسانی بر جای گذارد. یکی از تبعات مهم ناشی از تغییر اقلیم طی دوره‌های اخیر در کره زمین، افزایش فشار فعالیت‌های بی‌حدوحصر بشر بر محیط‌زیست است (۱۶).

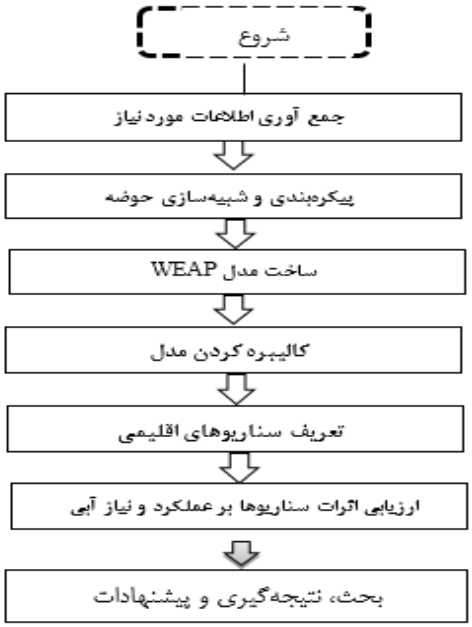
با توجه به تأثیرات گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف تولیدی، عوامل زیست‌محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست و یکم یاد می‌شود که پیامدهای جدی اقتصادی به دنبال دارد (۲۱). تغییر اقلیم منابع آبی هر منطقه را در طول زمان دست‌خوش تغییر قرار می‌دهد. با افزایش دما، نیاز گیاهان به آب بیشتر شده و بهره‌برداری از منابع آب افزایش می‌یابد. علاوه بر این، کاهش نزولات آسمانی و عدم تغذیه صحیح آبخوان‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از دیگر عواملی هستند که منجر به بهره‌برداری بیش از حد منابع آب شده است. پیش‌بینی‌ها در این راستا، حاکی از آن است که تا سال ۲۰۵۰ مسئله مدیریت منابع آب اصلی‌ترین موضوع مورد بحث در کشورهای مختلف جهان خواهد بود. کشور ایران نیز بر اساس پیش-بینی‌های انجام‌شده تا سال ۲۰۲۵ به لیست کشورهایی که با وضعیت کمبود آب مواجه‌اند، اضافه خواهد شد (۱۷).

وقوع تغییرات اقلیم حتی به‌صورت جزئی می‌تواند بر تمام ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی اثرات چشم‌گیر و قابل‌توجهی داشته باشد. در این میان اثرپذیری بخش کشاورزی از تغییرات آب و هوایی نسبت به سایر بخش‌های دیگر بیشتر بوده و تولید محصولات کشاورزی به‌طور مستقیم به این تغییرات وابسته اند. از آنجایی که بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های تولیدی و اقتصادی بسیاری از کشورها محسوب می‌شود این تغییرات سبب دگرگونی در ساختار اقتصادی و الگوی تجارت آن‌ها گردیده است. این بخش هم از نظر اقتصادی و هم از نظر فیزیکی از تغییر عوامل اقلیمی همچون درجه حرارت و بارندگی آسیب‌پذیر است. به علاوه طبیعت نیمه خشک بعضی از کشورها با افزایش کشاورزی روی زمین‌های حاشیه‌ای، خشک‌سالی فراوان و کمیابی منابع آبی با وجود نوسانات فراوان در بارش، این آسیب‌ها را تشدید می‌کند (۸ و ۲۵).

در دهه‌های اخیر بررسی آثار تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و ارزیابی راهکارهای تطبیق و سازگاری به این تغییرات به یکی از موضوعات مورد علاقه اقتصاددانان کشاورزی تبدیل شده است (۱۴، ۱، ۶، ۵ و ۹). اقتصاددانان کشاورزی اغلب تغییرات اقلیم را بر اساس تأثیری که بر درآمد کشاورزان (۷ و ۸) یا تأثیری که بر رفاه و مازاد اقتصادی جامعه دارد (۶) موردبررسی و تحلیل قرار داده اند و به طور عمده به دنبال پاسخگویی به این پرسش‌ها بوده اند که اثر تغییرات پیش بینی شده در اقلیم بر عملکرد، تولید و عرضه محصولات زراعی چگونه است و چه اثری بر امنیت غذایی در سطح جهانی و در کشورهای مختلف خواهد داشت؟ (۲، ۲۷ و ۲۴). بررسی مطالعات حاکی از آن است که با درجات بالایی از اطمینان وقوع تغییر اقلیم با مشخصه افزایش درجه حرارت و تغییر الگوی بارش در مقیاس کلی در آینده امری اجتناب ناپذیر بوده و این موضوع منحصر به یک کشور یا منطقه نیست (۲۷ و ۲۵). همچنین تغییر اقلیم تهدیدی برای تولید مواد غذایی و امنیت غذایی محسوب شده (۲۸ و ۱۱) و پیامدهای آن از دیدگاه ملی، منطقه‌ای و محلی برای اغلب کشورهای خشک و نیمه خشک از جمله ایران موضوعی جدی است (۲۲، ۱۷ و ۱۹) به‌طور کلی بخش کشاورزی از هر دو جنبه فیزیکی و اقتصادی نسبت به تغییر اقلیم بسیار آسیب‌پذیر است (۳). تغییر در عرضه محصولات کشاورزی و به‌ویژه قیمت‌های نسبی آن‌ها در اثر تغییر اقلیم، به تغییر ساختار تخصیص منابع تولید در درون بخش، تغییر مزیت‌های نسبی تولید به نفع یک منطقه و به زیان منطقه‌ای دیگر و حتی تغییر در ساختار اقتصادی و تجاری بسیاری از کشورهایی که در آن‌ها بخش کشاورزی محور فعالیت‌های اقتصادی است منجر خواهد شد (۳ و ۵).

در این مطالعه به منظور ارزیابی اثرات تغییرات شرایط آب و هوایی از مدل شبیه‌سازی WEAP[1] استفاده شده است. WEAP توسط موسسه SEI[2] طراحی و توسعه داده شده است. WEAP ابزاری کامپیوتری برای برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب است. این ابزار چهارچوبی جامع، قابل‌انعطاف و کاربر دوست را برای تحلیل سیاست‌ها فراهم می‌کند. تعداد متخصصانی که WEAP را به جمع مدل‌ها، پایگاه‌های داده، صفحات گسترده و سایر نرم‌افزارهای خود اضافه می‌کنند، رو به افزایش است. نرم‌افزار WEAP با هدف دخیل کردن یکپارچه نگری در یک ابزار کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب توسعه داده شده است (۲۳).

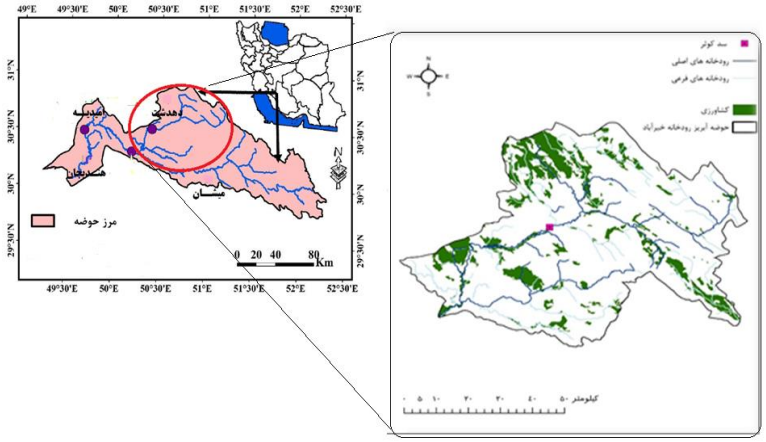
1. Water evaluation and planning system
2. Stockholm Environment Institute's Boston



شکل ۱.ساختار مدل‌سازی

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز رودخانه خیرآباد بخشی از حوضه آبریز زهره می‌باشد. این حوضه آبریز از لحاظ آب‌های سطحی (با توجه به منابع آب سطحی موجود) از غنای خوبی برخوردار است، ولی با توجه بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب‌وخاک و همچنین توسعه روزافزون برداشت از منابع آبی، پتانسیل آبی حوضه جهت تأمین تقاضاهای روزافزون را کاهش داده است. بررسی آمار و ارقام مربوط در این حوضه نشان می‌دهد که میانگین بارش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال ۴۸-۱۳۴۷ به ۴۳۸/۴ میلی‌متر در سال ۹۵-۹۴ رسیده است و میزان رواناب از ۴۱۰ میلیون مترمکعب در سال ۴۸-۱۳۴۷ به ۱۲۵ میلیون مترمکعب کاهش‌یافته است. ماکزیمم رواناب در کل این دوره معادل ۴۱۰ میلیون مترمکعب در سال ۴۸-۱۳۴۷ رخ داده است ولی متوسط رواناب ۵ ساله اخیر به ۱۰۰ میلیون مترمکعب کاهش‌یافته است. نه‌تنها تغییرات اقلیم، جمعیت نیز به‌عنوان عامل مهم تأثیرگذار بر تقاضای آب، به‌طور پیوسته در این حوضه در حال افزایش است. بر اساس آمارهای گزارش شده مرکز آمار ایران از متوسط نرخ رشد سالانه جمعیت استان‌ها در فاصله بین چند سرشماری پیاپی (۱۳۹۰-۱۳۸۵-۱۳۷۵)، استان کهگیلویه و بویراحمد، که بخش قابل‌توجهی از حوضه مورد مطالعه در این استان واقع شده است، جزو استان‌هایی است که با نرخ رشد جمعیت بین ۱/۶ تا ۳ درصد بالاترین نرخ رشد جمعیت را در بین استان‌های کشور دارا بوده است. وقوع خشک‌سالی‌های پیاپی در سال‌های اخیر، کاهش میزان بارندگی، نداشتن الگوی مناسب مصرف و سرانه بالای مصرف آب شرب در شهرهای استان، سبب تشدید تنش آبی و به‌تبع آن کمبود آب و افت فشار آب در شهرهایی همچون یاسوج، مادوان، دیشموک، لنده و باشت شده است.



شکل ۲. موقعیت محدوده مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد

مواد و روش

در این مطالعه اثرات تغییر شرایط آب و هوایی بر میزان عملکرد و نیاز آبی محصولات زراعی و در نتیجه بهره‌وری اقتصادی مصرف نهاده آب مورد ارزیابی قرار گرفت. در گام اول حوضه آبریز مورد مطالعه در نرم‌افزار ویپ مدل‌سازی و اطلاعات کشاورزی، اقلیمی، خاکشناسی و هیدرولوژی منطقه بر حسب نیاز وارد نرم‌افزار شد. اطلاعات مورد نظر در این بخش از مطالعه از گزارش‌های آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان جهاد کشاورزی استان و اداره هواشناسی (برای برخی از متغیرها از جمله حداکثر و حداقل دما و بارش، رطوبت، سرعت باد، جریان‌های ورودی آب، حجم آب ذخیره شده در سد کوثر بصورت سری زمانی روزانه، ماهانه و یا سالانه (برحسب داده‌های موجود و مورد نیاز) و برخی دیگر از متغیرها همچون ضرایب گیاهی، سطح زیرکشت، راندمان، حجم آب تقاضا شده در بخش شهری و صنعتی بصورت نرخ متوسط) جمع‌آوری گردید. در گام دوم از مدل کالیبره شده برای ارزیابی اثرات سناریوهای اقلیمی بر میزان عملکرد و نیاز آبی محصولات بهره گرفته شد. درنهایت پس از استخراج نتایج مربوط به نیاز آبی و عملکرد، روند میزان تولید محصولات و همچنین بهره‌وری اقتصادی نهاده آب (نسبت درآمد حاصل از تولید در هر هکتار به نیاز ناخالص آبی در هر هکتار) برای حوضه آبریز رودخانه خیرآباد محاسبه شد.

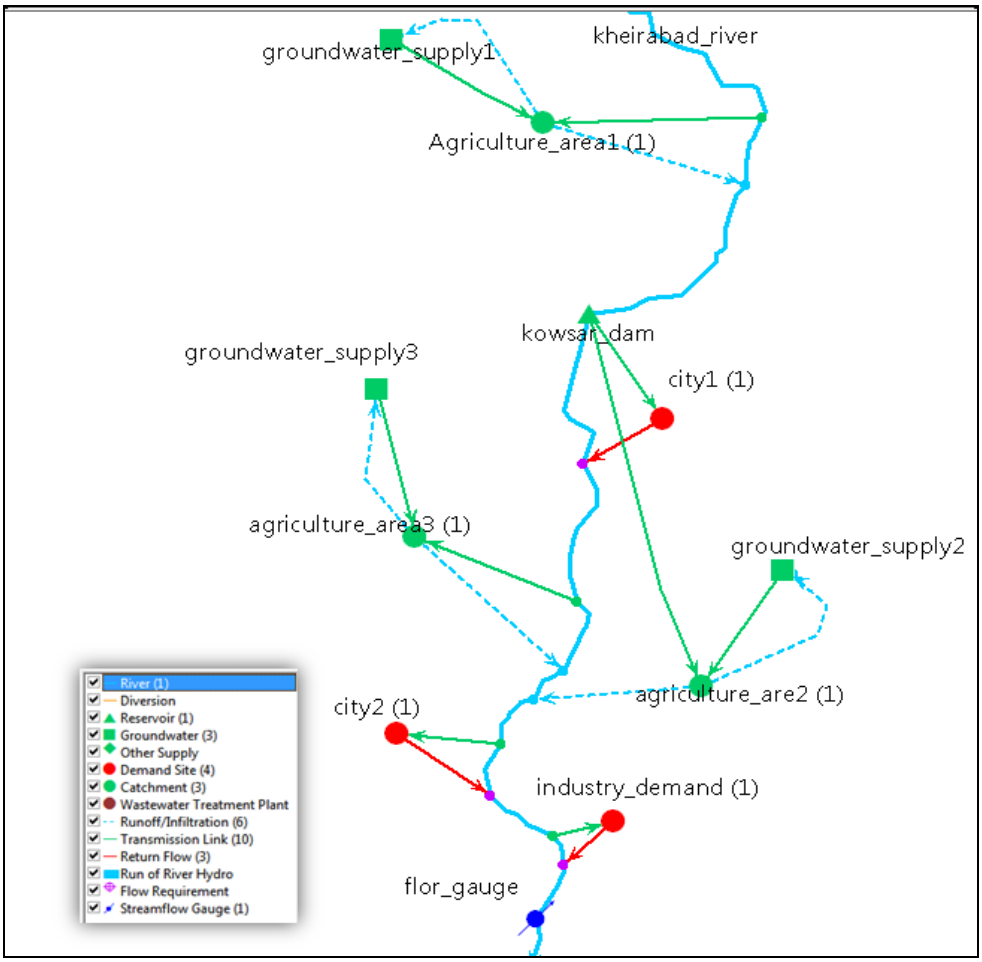
شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در قالب نرم‌افزار WEAP

به‌منظور ارزیابی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد محصولات نیاز است که شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سطح حوضه با استفاده از اطلاعات آب‌وهوایی، خاک، کشت محصولات و جغرافیایی منطقه صورت گیرد. بنابراین، مدل‌سازی یکپارچه سطح حوضه که تنها پیوند اجزای هیدرولوژیکی را در نظر گرفته، نمی‌تواند مؤثر باشد. درنتیجه، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بایستی در نرم‌افزارهای مرتبط با آن صورت گیرد که در این مطالعه از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) بهره گرفته شد. مدل WEAP یک ابزار برنامه‌ریزی منابع آب است که بر اصل توازن آب استوار است و زیرحوضه‌های مختلف، گره‌های تقاضای آب، زیرساخت‌ها، جریان‌های آب و کانال‌های انتقال آب که همگی با یکدیگر مرتبط هستند را نشان می‌دهد (۲۸). مدل WEAP مؤلفه‌هایی از چرخه‌ی هیدرولوژیکی را به‌وسیله‌ی شبیه‌سازی فرایندهای بارش–رواناب[1]در سطح حوضه و با استفاده ازسری‌های زمانی داده‌های آب‌وهوایی محاسبه می‌کند. هر واحد زیر حوضه به کلاس‌های کاربری زمین مختلف تقسیم‌بندی و توازن آب تحت شرایط آب‌وهوایی آن زیر حوضه محاسبه می‌شود. در این مدل برای هر واحد کشاورزی توابع تجربی جهت توصیف و شبیه‌سازی تبخیر و تعرق، رواناب و جریان-های سطحی، تغییر در رطوبت خاک، روند جریان پایه به رودخانه و نفوذ عمقی به آب زیرزمینی بکار گرفته می‌شود (۲۳) و روش MABIA موجود در نرم‌افزار WEAP ابزاری مناسب جهت شبیه-سازی این‌گونه متغیرها می‌باشد. مزیت اصلی WEAP در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن، در راستای سیاست‌ها است. WEAP در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان-های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ کرده است.

در نرم‌افزار WEAP از ابزاری به نام PEST به منظور اعتبارسنجی مدل بهره گرفته می‌شود. این ابزار به کاربر این امکان را می‌دهد که به‌طور خودکار فرآیند مقایسه خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی و اصلاح پارامترهای مدل در جهت افزایش دقت کالیبراسیون مدل را انجام دهد.

پیکربندی سیستم منابع آب در زیر حوضه رودخانه خیرآباد در شکل (۳) نشان داده شد. در محدوده مورد مطالعه سه گره تقاضای بخش کشاورزی، دو گروه تقاضای بخش شهری و دو گره تقاضای بخش صنعت در نظر گرفته شد.

1. Rainfall-Runoff



شکل ۳. پیکربندی سیستم منابع آب زیر حوضه رودخانه خیرآباد (نرم‌افزار WEAP)

تقاضا آبی در یک گره تقاضا (DS)، به صورت مجموع تقاضاهای شاخه‌های پایه آن (Br) تعریف می‌شود. شاخه پایه، شاخه‌ای است که زیر آن شاخه‌ای وجود ندارد.

$$AD_{DS} = \sum_{Br} (TAL_{Br} \times WUR_{Br}) \quad (۱)$$

در معادله (۱)، AD تقاضای سالانه، TAL تراز فعالیت کل و WUR نرخ استفاده آب است. تقاضا سالانه، مقدار آب مورد نیاز گره برای استفاده خودش در هر سال را نشان می‌دهد. درحالی‌که نیاز منبع مقدار واقعی نیاز درخواست شده از منابع ذخیره است. نیاز منبع، تقاضا را در نظر گرفته و آن را با میزان استفاده مجدد در داخل گره، استراتژی‌های مدیریتی برای کاهش تقاضا و اتلاف‌های داخلی، تنظیم می‌کند. بنابراین طبق معادله زیر داریم:

$$MSR_{DS,m} = \frac{MSR_{DS,m} \times (1 - RR_{DS}) \times (1 - DSMS_{DS})}{1 - LR_{DS}} \quad (۲)$$

MSR، نیاز سالانه منبع، MSR تقاضای سالانه، RR نرخ استفاده مجدد، DSMS، ذخیره سالانه در گره تقاضا و LR نرخ تلفات است.

در این مرحله جریان‌های ورودی به گره‌ها و اتصالات در سیستم و خروجی از آن‌ها برای هر سال در نظر گرفته شده، محاسبه می‌شود که شامل محاسبه آب‌های برداشت شده از منابع ذخیره برای تأمین تقاضاها نیز هست. برای آنکه با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعریف شده، حداکثر مقدار نیازها تأمین شود، از یک برنامه خطی (LP) استفاده می‌شود. اگر SD گره تقاضا و Scr منبع تغذیه باشد، خواهیم داشت:

$$I = \sum_{rcS} TLO_{Src,DS} \quad (۳)$$

که در آن I ورودی و TLO جریان خروجی خط انتقال هستند.

معادلات حاکم بر جریان خط انتقال، به صورت معادلات (۴) تعریف شده‌اند:

$$\begin{aligned} TLI_{Src,DS} &= TLI_{Src,DS} - TLL_{Src,DS} \\ TLL_{Src,DS} &= (TLLfs_{Src,DS} + TLLtG_{Src,DS}) \times TLI_{Src,DS} \\ TLI_{Src,DS} &\le MFV_{Src,DS} \\ TLO_{Src,DS} &\le MFP_{Scr,DS} \times SR_{Scr,DS} \end{aligned} \quad (۴)$$

در این معادلات، اندیس DS و Src، نشانگر جریان از منبع به گره تقاضا است. TLO خروجی از خط انتقال، TLI ورودی خط انتقال، TLL اتلاف آب در خط انتقال، TLLfs اتلاف آب خط انتقال از سیستم، TLLtG اتلاف آب خط انتقال که به آب زیرزمینی می‌رود، MFV حداکثر حجم جریان، MFP حداکثر درصد جریان و SR نیاز منبع هستند.

مقدار آب خروجی از مخزن نیز توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$O_{Rcs} = DO_{Rcs} + \sum_{DS} TLI_{Rcs,DS} \quad (۵)$$

در این رابطه، O جریان خروجی، DO جریان خروجی به پایین دست و TLI جریان خط انتقال از گره تقاضا SD است. این معادله با محدودیت زیر حل می‌شود که در آن SAfR ذخیره موجود برای خروج از مخزن است.

$$O_{Rcs} \le SAfR_{Rcs} \quad (۶)$$

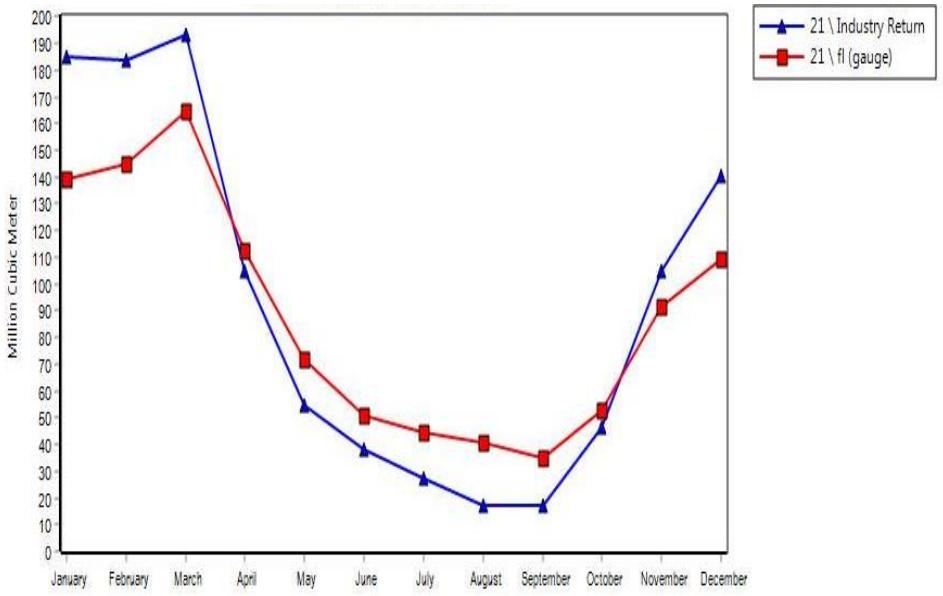
علاوه بر این، روش MABIA یک شبیه‌سازی روزانه از تعرق، تبخیر، نیازمندی‌های آبیاری و برنامه‌ریزی، رشد محصول و بازده آن و همچنین شامل واحدهایی برای تخمین تبخیر و تعرق و ظرفیت آب خاک است. این مدل با نرم‌افزار MABIA در INAT برآورد شد. در این مطالعه شبیه‌سازی اثرات تغییرات شرایط آب و هوایی تحت سناریوهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۸–۲۰۳۰ صورت گرفته است. به منظور کالیبره کردن مدل طراحی‌شده در نرم‌افزار نیز از داده‌های هیدرولوژی و کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد طی سال‌های ۲۰۱۵–۲۰۱۰ استفاده شده است. پس از مدل‌سازی سیستم منابع آب در نرم‌افزار ویپ، به منظور تعریف سناریوهای تغییر اقلیم، از نتایج شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم گروه تخصصی مطالعات تغییر اقلیم (۱۰)، بر اساس خروجی ۱۵ مدل گردش عمومی جو استفاده شده است. معمولاً شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای مختلفی همچون A1، A2، B2 و A1B موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال سناریو A1 بر اساس تأکید بر جنبه‌های اقتصادی و نوع تکنولوژی مورد استفاده در ۲۱ و افزایش دما بین ۱/۴ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تعریف می‌شود. در سناریوی A2 به توسعه اقتصادی منطقه محور تأکید شده است به نحوی که جهان به صورت ناهمگون با رشد جمعیت و رشد اقتصادی منطقه‌ای روبرو است و کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند. در سناریوی B2 تأکید بر استفاده از انرژی‌های پاک و توسعه پایدار محیط‌زیست می‌باشد. در این سناریو تأکید بر توسعه اقتصادی متوسط است و تأکید بر راه‌حل‌های محلی به جاری در نظر داشتن راه‌حل‌های جهانی برای ثبات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌باشد. سناریو A1B، یکی از سناریوهای تغییر اقلیم از خانواده A1 است و بر اساس آن عقیده بر این است که در آینده، میزان سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین در کنار آن‌ها از سوخت غیر فسیلی نیز استفاده می‌گردد. این سناریو اقلیمی تحت عنوان سناریو اقلیمی میانه شناخته شده است. علاوه بر سناریو اقلیمی میانه، در این مطالعه سناریو بدبینانه اقلیمی نیز موردبررسی قرار گرفت.

جدول ۱. تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای اقلیمی

متغیر	شرایط نرمال	میانگین درصد تغییر سالانه تا سال ۲۰۳۰	
		سناریو بدبینانه اقلیمی	سناریو میانه اقلیمی
بارش	۴۹۰ میلی‌متر	۹/۳- درصد	۸/۸ درصد
دما	۱۵/۹ درجه سانتیگراد	۱ درصد	۰/۶ درصد

نتایج و بحث

در این مطالعه از داده‌های مشاهداتی حجم آب در ایستگاه هیدرومتری فلور (گیج) و اطلاعات جریان بازگشتی آب در آخرین گره تقاضا جهت بررسی دقت شبیه‌سازی و فرآیند کالیبراسیون استفاده شد. مقایسه حجم آب خروجی شبیه‌سازی شده از آخرین گره تقاضای در مدل طراحی‌شده با داده‌های مشاهداتی حجم آب ورودی به ایستگاه هیدرومتری فلور (گیج) طی سال‌های ۲۰۱۵–۲۰۱۰ نشان می‌دهد که کالیبراسیون مدل با دقت خوبی صورت گرفته و روند جریان خروجی از گره تقاضای بالادست و جریان‌های ورودی به ایستگاه هیدرومتری مشابه یکدیگر می‌باشند.



شکل ٤.مقایسه داده‌های حجم آب شبیه‌سازی شده در آخرین گره تقاضا و آخرین گیج در مدل

در ادامه اثرات تغییر دما و بارش تحت سناریو میانه و بدبینانه اقلیمی بر عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی منتخب، با فرض ثابت بودن سایر شرایط، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. نتایج مورد نظر در جداول (۲) الی (۵) ارائه شد. بر اساس نتایج جدول (۲)، عملکرد محصولات کشاورزی براثر تغییر شرایط آب و هوایی بر اساس سناریو اقلیمی میانه افزایش می‌یابد. بیشترین میزان افزایش عملکرد مربوط به محصول جو و کمترین آن مربوط به محصول هندوانه است. به‌طور جزئی‌تر پس از تغییر متغیرهای اقلیمی عملکرد این دو محصول به ترتیب معادل ۲۲/۸۰ درصد و ۰/۳۸ درصد نسبت به قبل از تغییر شرایط آب و هوایی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج به دست آمده برای شرایط آب و هوایی بدبینانه نیز گویای این حقیقت است که میانگین عملکرد تمامی محصولات نسبت به شرایط قبل از تغییر متغیرهای اقلیمی کاهش می‌یابد. در این بین بیشترین و کمترین کاهش در عملکرد به ترتیب مربوط به جو و گندم است که به ترتیب با تغییرات ۸ درصدی و ۰/۳۲ درصدی در عملکرد روبرو می‌باشند. این نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم یک عامل مهم در فرآیند تولید محصولات در سطح حوضه آبریز رودخانه خیرآباد است و بر عملکرد محصولات کشاورزی و درنتیجه درآمد کشاورزان اثرگذار خواهد بود.

جدول۲. اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر متوسط عملکرد
محصول- ارقام: تن در هکتار

محصول	عملکرد شرایط پایه	اقلیم میانه	درصد تغییر	اقلیم بد بینانه	درصد تغییر
گندم	۲/۹۳	۳/۰۲	+۳/۲۱	۲/۹۲	-۰/۳۲
جو	۲/۲۸	۲/۸۰	+۲۲/۸۰	۲/۱۰	-۸/۰۲
برنج	۴/۴۴	۴/۶۴	+۴/۶۹	۴/۴۰	-۰/۸۳
ذرت	۶/۳۳	۶/۳۹	+۰/۹۳	۶/۲۸	-۰/۸۲
لوبیا	۱/۶۶	۱/۶۹	+۱/۷۳	۱/۶۳	-۱/۶۶
کلزا	۱/۱۳	۱/۱۵	+۱/۹۹	۱/۰۸	-۴/۰۴
خیار	۳۳/۲۱	۳۸/۸۲	+۱۶/۹۱	۳۲/۹۹	-۰/۶۴
گوجه	۲۴/۲۶	۲۷/۰۲	+۱۱/۳۸	۲۳/۵۲	-۳/۰۴
هندوانه	۳۸/۸۷	۳۹/۰۲	+۰/۳۸	۳۸/۰۸	-۲/۰۱

منبع. یافته‌های مطالعه

به‌منظور تحلیل بیشتر، بر اساس جدول (۲)، میانگین عملکرد گندم در شرایط پایه معادل ۲/۹۳ تن در هکتار است. این میزان پس از تغییر شرایط دما و بارش تحت سناریو اقلیمی میانه، افزایش ۳/۲۸ درصدی را تجربه می‌کند. تحت سناریو اقلیمی بدبینانه نیز متوسط عملکرد گندم در طول دوره شبیه‌سازی معادل ۲/۹۲ تن در هکتار برآورد شده است. همچنین میانگین عملکرد جو و ذرت پس از تغییر دما و بارش در طول دوره ۱۴۱۰-۱۳۹۸ تحت سناریو اقلیمی میانه به ترتیب معادل ۲/۸۰ تن در هکتار و ۶/۳۹ تن در هکتار برآورد شده است. این مقادیر برای سناریو بدبینانه اقلیمی معادل ۲/۱۰ تن در هکتار و ۶/۲۸ تن در هکتار به دست آمده است.

پس از اعمال سناریو اقلیمی بدبینانه متوسط عملکرد محصول لوبیا با ۱/۶ درصد کاهش به ۱/۶۳ تن می‌رسد. این میزان در سناریو اقلیمی میانه معادل ۱/۶۹ تن در هکتار برآورده شده است. عملکرد محصول کلزا نیز قبل از تغییر در دما و بارش معادل ۱/۱۳ تن در هکتار می‌باشد. این میزان با در نظر گرفتن سناریو اقلیمی میانه و بدبینانه به ترتیب معادل ۱/۱۵ تن در هکتار و ۱/۰۸ تن در هکتار محاسبه شده است. کاهش عملکرد این محصول ناشی از تغییر شرایط آب و هوایی تحت سناریو اقلیمی بدبینانه معادل ۴/۲۱ درصد است. درنهایت مطابق جدول (۲) میانگین عملکرد خیار، گوجه و هندوانه در شرایط اقلیمی میانه به ترتیب معادل ۳۸/۸۱ تن در هکتار، ۲۶/۹۴ تن در هکتار و ۳۸/۹۶ تن در هکتار به دست آمده است. با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی بدبینانه دما و بارش، متوسط عملکرد این محصولات به ترتیب با کاهش ۰/۶۹ درصد، ۳/۱۶ درصد و ۲/۱۵ درصد روبرو هستند.

در جدول (۳) روند تغییرات میزان تولید محصولات منتخب در نتیجه تغییر عملکرد در طی دوره شبیه‌سازی ارائه شده است.

در ادامه نتایج شبیه‌سازی نیاز خالص آبی محصولات در جدول (۴) گزارش شده است. مقادیر نیاز خالص آبی به دست آمده حاکی از افزایش این متغیر برای تمامی محصولات تحت شرایط اقلیمی بدبینانه نسبت به شرایط پایه است. افزایش نیاز خالص آبی درنتیجه افزایش تغییرات دما در دوره رشد و تبخیر و تعرق بالاتر تحت شرایط اقلیمی بدبینانه دور از انتظار نیست. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین تغییر در نیاز خالص آبی محصولات کشاورزی درنتیجه اعمال سناریو اقلیمی بدبینانه مربوط به محصول جو و پس‌ازآن مربوط به محصول گندم است. نیاز خالص آبی این دو محصول نسبت به شرایط پایه به ترتیب معادل ۲۲/۲۶ درصد و ۱۱/۶۸ درصد افزایش خواهد یافت. مقدار تغییر نیاز خالص آبی جو و گندم با تغییر شرایط آب و هوایی تحت سناریو اقلیمی بدبینانه، با توجه به منطبق بودن دوره رشد آن‌ها با فصول بارش سال، بیشتر پیش‌بینی‌شده است. به‌طورکلی دوره رشد گندم تقریباً در اکثر نقاط کشور منطبق با سه فصل پاییز، زمستان و بهار است که بخش عمده‌ای بارش‌های سالانه در آن‌ها اتفاق می‌افتد. کاهش بارش در شرایط سناریو اقلیمی بدبینانه بدین معناست که در این شرایط بخش کمتری از نیاز خالص آبی این محصول از طریق بارش تأمین‌شده که در این صورت نیاز آب آبیاری بیشتری خواهد بود. در مطالعات مختلف افزایش تقاضای آب آبیاری بیش از ۱۰ درصد به‌عنوان مرز مواجه شدن سیستم‌های کشاورزی با تنش معرفی شده است. چنانچه این مرز در این مطالعه مبنا قرار داده شود محصولات جو و گندم در حوضه آبریز موردمطالعه در شرایط آب و هوایی بدبینانه با تنش افزایش نیاز آبی مواجه می‌باشند. لذا انجام مطالعات و اقدامات تطبیقی با تغییر اقلیم برای این محصولات اجتناب‌ناپذیر است.

جدول ٤. اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر متوسط نیاز آبی محصول- ارقام: مترمکعب

محصول	نیاز آبی شرایط پایه	اقلیم میانه	درصد تغییر	اقلیم بد بینانه	درصد تغییر
گندم	۴۱۲۳	۴۰۹۹	-۰/۵۹	۴۶۰۴	+۱۱/۶۸
جو	۳۵۱۶	۳۴۴۹	-۱/۹۲	۴۲۹۹	+۲۲/۲۶
برنج	۱۱۸۶۲	۱۱۳۱۹	-۴/۵۸	۱۱۹۸۹	+۱/۰۷
ذرت	۶۶۶۴	۶۶۵۷	-۰/۱۱	۶۸۱۵	+۲/۲۵
لوبیا	۷۱۹۳	۷۰۸۷	-۱/۴۷	۷۶۳۸	+۶/۱۹
کلزا	۴۶۰۲	۴۴۶۶	-۲/۹۵	۴۸۸۶	+۶/۱۸
خیار	۸۹۸۹	۸۴۸۹	-۵/۵۶	۹۰۲۰	+۰/۳۴
گوجه	۹۷۰۸	۸۶۵۲	-۱۰/۸۸	۹۷۶۸	+۰/۶۲
هندوانه	۷۶۹۴	۷۶۳۶	-۰/۷۶	۷۷۹۸	+۱/۳۵

منبع. یافته‌های مطالعه

جدول۳. تغییرات تولید محصولات کشاورزی در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شرایط اقلیمی	تولید (هزار تن)					
			۲۰۱۸	۲۰۲۰	۲۰۲۲	۲۰۲۴	۲۰۲۶	۲۰۲۸	۲۰۳۰
گندم	۲۲۱۸۳	میانه	۶۷/۹۰۷	۶۸/۲۴۱	۶۷/۱۰۸	۶۵/۸۹۱	۶۶/۱۵۷	۶۸/۴۱۵	۶۶/۵۴۱
		بدبینانه	۶۳/۲۰۶	۶۵/۹۹۲	۶۵/۶۲۷	۶۴/۸۲۲	۶۳/۷۴۴	۶۶/۰۰۸	۶۴/۷۹۷
ذرت	۲۶۵۰	میانه	۲۰/۳۱۴	۱۶/۳۷۶	۱۷/۱۸۷	۱۵/۳۹۷	۱۷/۱۷۴	۲۰/۴۲۲	۱۶/۸۴۰
		بدبینانه	۲۰/۰۱۴	۱۶/۷۶۴	۱۶/۷۴۴	۱۵/۰۴۰	۱۶/۹۲۱	۲۰/۰۹۰	۱۶/۶۸۴
جو	۱۲۱۲	میانه	۳/۳۸۲	۳/۳۹۶	۳/۲۵۴	۳/۱۱۵	۳/۴۵۵	۳/۳۵۷	۳/۳۹۲
		بدبینانه	۲/۴۸۷	۲/۵۵۹	۲/۵۵۰	۲/۵۱۱	۲/۲۹۹	۲/۶۱۶	۲/۵۳۱
برنج	۲۶۹۹	میانه	۱۳/۳۳۵	۱۲/۴۲۱	۱۲/۵۳۵	۱۲/۴۶۵	۱۲/۶۲۵	۱۳/۴۶۱	۱۲/۶۰۶
		بدبینانه	۱۲/۴۹۲	۱۱/۹۶۰	۱۲/۱۲۰	۱۱/۸۲۶	۱۱/۹۳۹	۱۲/۷۹۶	۱۱/۹۵۹
لوبیا	۱۷۵	میانه	۰/۳۸۹	۰/۲۸۱	۰/۲۹۰	۰/۲۷۲	۰/۳۰۰	۰/۳۸۹	۰/۲۹۵
		بدبینانه	۰/۳۷۴	۰/۳۰۲	۰/۲۸۵	۰/۲۶۱	۰/۲۹۱	۰/۳۷۵	۰/۲۸۷
کلزا	۳۹۴	میانه	۰/۴۴۱	۰/۴۲۹	۰/۴۶۲	۰/۴۶۹	۰/۴۳۴	۰/۴۵۱	۰/۴۵۲
		بدبینانه	۰/۴۳۰	۰/۳۹۴	۰/۴۱۱	۰/۴۴۷	۰/۴۲۸	۰/۴۳۷	۰/۴۳۶
گوجه	۱۱۱	میانه	۳/۰۲۱	۲/۹۵۶	۳/۰۶۵	۲/۸۱۹	۲/۹۱۵	۳/۴۶۴	۳/۱۲۴
		بدبینانه	۲/۶۰۳	۲/۶۱۳	۲/۹۷۶	۲/۵۰۷	۲/۵۷۲	۳/۰۰۵	۲/۶۶۶
خیار	۱۴۷	میانه	۵/۸۲۵	۵/۷۸۰	۵/۸۵۴	۵/۳۶۳	۵/۷۹۱	۶/۰۵۵	۵/۷۵۰
		بدبینانه	۴/۸۶۹	۴/۸۶۷	۵/۱۵۸	۴/۷۰۹	۴/۹۳۷	۵/۱۵۸	۴/۹۰۱
هندوانه	۹۳۰	میانه	۳۷/۱۱۴	۳۶/۷۴۸	۳۷/۱۹۱	۳۲/۷۱۳	۳۷/۱۹۸	۴۰/۹۹۱	۳۷/۰۷۵
		بدبینانه	۳۶/۰۰۶	۳۵/۰۵۳	۳۸/۸۷۱	۳۴/۰۴۶	۳۶/۲۴۱	۳۹/۱۳۹	۳۶/۰۲۳

منبع. یافته‌های مطالعه

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین متوسط نیاز خالص آبی طی دوره مورد مطالعه مربوط به دو محصول برنج و گوجه می‌باشد. بطوری که میانگین نیاز خالص آبی این دو محصول تحت شرایط اقلیمی میانه به ترتیب معادل ۱۱۳۱۹مترمکعب و ۸۶۵۲ مترمکعب برآورد شده است که نسبت به شرایط پایه به ترتیب معادل ۴/۵۸ درصد و ۱۰/۸۸ درصد در سطح پایین‌تری قرار دارد. در شرایط اقلیمی بدبینانه نیز میانگین نیاز خالص آبی برنج و گوجه در منطقه مورد مطالعه معادل ۱۱۹۸۹ مترمکعب و ۹۷۶۸ مترمکعب محاسبه شده است. بر اساس جدول (۴)، بهبود شرایط آب و هوایی در سناریو اقلیمی میانه منجر به کاهش ۲/۹۵ درصد نیاز خالص آبی کلزا و کاهش ۱/۴۷ درصدی نیاز خالص آبی لوبیا شده است. این در حالی است که با استمرار شرایط خشکسالی در حوضه مورد مطالعه، با فرض ثابت بودن سایر شرایط، میانگین نیاز خالص آبی این دو محصول به ترتیب معادل ۶/۱۹ درصد و ۶/۱۸ درصد رشد داشته است. عملکرد این دو محصول نسبت به تغییر شرایط آب و هوایی از حساسیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است.

در ادامه با توجه به تغییرات نیاز آبی و عملکرد محصولات کشاورزی در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی، شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی مصرف آب برای محصولات منتخب محاسبه‌شده است. همان‌طور که در جدول (۵) ملاحظه می‌شود، محصولات خیار، گوجه، هندوانه و برنج بالاترین بهره‌وری اقتصادی را در شرایط اقلیمی میانه دارا می‌باشند. بطورکلی تحت سناریو اقلیمی میانه آب و هوایی شاخص بهره‌وری اقتصادی منابع آب برای تمامی محصولات، در مقایسه با شرایط پایه، افزایش یافته است. با بهبود شرایط بارندگی در این سناریو عملکرد محصولات از یک سو افزایش یافته و از سوی دیگر نیاز آبی آن‌ها نیز با کاهش همراه است.

در بین محصولات مورد بررسی بهره‌وری اقتصادی آب برای محصول گندم در شرایط اقلیمی میانه معادل ۴۸۸۱ ریال بازای هر مترمکعب و بهره‌وری فیزیکی آن ۰/۳۳۲ کیلوگرم بازای هر مترمکعب محاسبه شده است. بهبود شرایط آب و هوایی منجر به افزایش ۳/۸۲ درصدی بهره‌وری آب در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد می‌گردد. در گروه غلات به دلیل افزایش قابل توجه عملکرد محصول جو در این سناریو، شاخص بهره‌وری آب این محصول نیز رشد قابل توجه ۲۵/۱۹ درصدی را تجربه کرده است. به طور جزئی تر شاخص بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی این محصول در شرایط اقلیمی میانه به ترتیب معادل ۴۲۴۹/۵ ریال بازای هر مترمکعب و ۰/۳۶۵ مترمکعب بازای هر مترمکعب بدست آمده است. همچنین درصد تغییر در بهره‌وری آب برای محصولات برنج و ذرت در نتیجه بهبود شرایط آب و هوایی به ترتیب معادل ۹/۷۲ درصد و ۱/۰۳ درصد پیش‌بینی شده است. این در حالی است که تحت شرایط خشکسالی با کاهش میزان بارندگی و افزایش دما در حوضه مورد مطالعه این شاخص برای دو محصول مورد نظر به ترتیب با کاهش ۱/۸۸ درصد و ۳/۰۲ درصد روبرو است. به عبارت دیگر پس از اعمال سناریو اقلیمی بدبینانه، با کاهش میزان بارندگی و افزایش دما در حوضه موردبررسی و در نتیجه افزایش نیاز

آبی محصولات و کاهش عملکرد آن‌ها نسبت به شرایط پایه، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در سطح پایین‌تری نسبت به شرایط پایه قرار می‌گیرد. در بین محصولات مورد مطالعه، در سناریو اقلیمی بدبینانه بیشترین کاهش در شاخص محاسبه‌شده برای محصولات جو، کلزا و لوبیا به دست آمده است. به طور جزئی‌تر شاخص بهره‌وری فیزیکی این محصولات به ترتیب معادل ۰/۲۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب، ۰/۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۰۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است. همچنین شاخص بهره‌وری اقتصادی این محصولات در شرایط اقلیمی بدبینانه معادل ۲۵۵۳/۶ ریال، ۳۳۱۵/۴ ریال و ۳۰۸۱/۱ ریال بر کیلوگرم می‌باشد. بطوری استمرار شرایط خشکسالی در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد به ترتیب منجر به کاهش ۲۴/۷۷ درصد، ۹/۶۲ درصد و ۷/۳۹ درصد در شاخص بهره‌وری آب این محصولات شده است.

جدول (۵)- تغییرات بهره‌وری اقتصاد منابع آب در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی

محصول	بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط اقلیمی میانه (ریال/مترمکعب)	بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اقلیمی میانه (کیلو/مترمکعب)	درصد تغییر نسبت به سناریو پایه	بهره‌وری اقتصادی آب در شرایط اقلیمی بدبینانه (ریال/مترمکعب)	بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اقلیمی بدبینانه (کیلو/مترمکعب)	درصد تغییر نسبت به سناریو پایه
گندم	۴۸۸۱/۰	۰/۳۳۲	۳/۸۲	۴۱۹۶/۹	۰/۲۸۶	-۱۰/۷۳
جو	۴۲۴۹/۵	۰/۳۶۵	۲۵/۱۹	۲۵۵۳/۶	۰/۲۱۹	-۲۴/۷۷
برنج	۷۴۵۲/۱	۰/۱۸۵	۹/۷۲	۶۶۶۴/۰	۰/۱۶۵	-۱/۸۸
ذرت	۵۲۹۹/۷	۰/۴۳۲	۱/۰۳	۵۰۸۷/۱	۰/۴۱۵	-۳/۰۲
لوبیا	۳۴۳۵/۱	۰/۱۰۷	۳/۲۵	۳۰۸۱/۱	۰/۰۹۶	-۷/۳۹
کلزا	۳۸۵۵/۶	۰/۱۱۶	۵/۱۰	۳۳۱۵/۴	۰/۱۰۰	-۹/۶۲
خیار	۱۱۸۵۲/۳	۲/۰۵۸	۲۳/۸۰	۹۴۷۹/۴	۱/۶۴۶	-۰/۹۹
گوجه	۷۴۰۷/۲	۱/۴۰۵	۲۴/۹۸	۵۷۱۱/۲	۱/۰۸۴	-۳/۶۴
هندوانه	۷۶۰۶/۶	۲/۳۰۰	۱/۱۴	۷۲۷۰/۶	۲/۱۹۸	-۳/۳۳

منبع. یافته‌های مطالعه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

وقوع تغییرات اقلیم حتی به‌صورت جزئی می‌تواند بر تمام ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی اثرات چشم‌گیر و قابل‌توجهی داشته باشد. در این میان اثرپذیری بخش کشاورزی از تغییرات آب و هوایی نسبت به سایر بخش‌های دیگر بیشتر بوده و تولید محصولات کشاورزی به‌طور مستقیم به این تغییرات وابسته‌اند. از آنجایی که بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های تولیدی و اقتصادی بسیاری از کشورها محسوب می‌شود این تغییرات سبب دگرگونی در ساختار اقتصادی و الگوی تجارت آن‌ها گردیده است. این بخش هم از نظر اقتصادی و هم از نظر فیزیکی از تغییر عوامل اقلیمی همچون درجه حرارت و بارندگی آسیب‌پذیر است. به علاوه طبیعت نیمه خشک بعضی از کشورها با افزایش کشاورزی روی زمین‌های حاشیه‌ای، خشک‌سالی فراوان و کمیابی منابع آبی با وجود نوسانات فراوان در بارش، این آسیب‌ها را تشدید می‌کند. در این مطالعه اثرات تغییر شرایط آب و هوایی بر میزان عملکرد و نیاز آبی محصولات زراعی و در نتیجه بهره‌وری اقتصادی مصرف نهاده آب در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد مورد ارزیابی قرار گرفت. در گام اول حوضه آبریز مورد مطالعه در نرم‌افزار WEAP مدل‌سازی و در گام دوم از مدل کالیبره شده برای ارزیابی اثرات سناریوهای اقلیمی بر میزان عملکرد و نیاز آبی محصولات بهره گرفته شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تغییر اقلیم به صورت محسوس بر عملکرد محصولات منتخب زراعی در منطقه مورد مطالعه اثرگذار است. در واقع، این تغییرات مؤثر به نحوی می‌باشند که تحت سناریو اقلیمی میانه میزان عملکرد محصولات افزایش و نیاز خالص آبی کاهش می‌یابند. این در حالی است که با تغییر شرایط دما و بارش بر اساس سناریو اقلیمی بدبینانه، عملکرد اکثر محصولات در سطح پایین‌تری نسبت به سناریو پایه قرار می‌گیرد. همچنین تحت این شرایط نیاز خالص آبی محصولات نیز افزایش می‌یابد و درصد تغییرات این متغیر برای دو محصول جو و گندم بیش از سایر محصولات است. نتایج به دست آمده در این بخش از مطالعه حاضر در راستای نتایج تحقیق محمودی و پرهیزکار (۱۳) می‌باشد. افزون بر یافته‌های فوق، نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال سناریوی اقلیمی بدبینانه بهره‌وری اقتصادی نهاده آب نسبت به سناریو پایه برای تمامی محصولات کاهش می‌یابد که این امر پیامدهای منفی رخداد پدیده تغییر اقلیم را در محدوده مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد و برای کشاورزان این منطقه بازگو می‌کند. کاهش بهره‌وری اقتصادی از یک سو به کاهش درآمد ناشی از تولید و افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی پس از اعمال سناریو اقلیمی بدبینانه مربوط است. به‌طورکلی پدیده تغییر اقلیم ناشی از افزایش دما و کاهش بارش علاوه بر ویژگی‌های اجتماعی کشاورزان، شرایط اقتصادی آن‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش درآمد کشاورزان در سطح مزارع می‌شود. همچنین یافته‌های این تحقیق هم‌سو با نتایج تحقیق مؤمنی و زیبایی (۱۵) و خالقی و همکاران (۱۱) می‌باشد. به‌طورکلی، با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق و نابهنگامی تغییرات اقلیمی در برنامه‌ریزی برای افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد، پیشنهاد می‌شود که ابتدا به عامل بهبود عملکرد در واحد سطح

پرداخته شود و توسعه سطح زیر کشت محصولاتی نسبت به تغییرات اقلیم مقاوم‌تر هستند در اولویت قرار گیرد. با توجه به اینکه راندمان آبیاری در تعیین نیازناخالص آب آبیاری محصولات و در نتیجه محاسبه شاخص بهره‌وری آب موثر است، لذا بهبود تکنولوژی آبیاری می‌تواند در تعدیل اثرات تغییرات اقلیم و انطباق بیشتر با خشکسالی موثر واقع شود. باتوجه به این که اطلاعات اندک غالب کشاورزان در مورد روش‌های جدید آبیاری مزارع یکی از دلایل اصلی عدم کاربرد آن توسط آنان تلقی می‌شود، توصیه می‌شود اطلاعات موردنیاز در مورد معرفی روش‌های جدید آبیاری مزارع و مزایای آن در اختیار کشاورزان قرار گیرد. با اعطای وام و کمک-های بلاعوض و برگزاری دوره‌های آموزشی، زمینه به کارگیری روش‌های جدید آبیاری توسط کشاورزانی که فاقد بضاعت مالی کافی برای تأمین هزینه‌های اجرای روش‌ها هستند، فراهم شود.

References

1. Adams RM, Fleming RA, Chang CC, McCarl BA, Rosenzweig C. A reassessment of the economic effects of global climate change on US agriculture. Climatic change. 1995 Jun;30(2):147-67. https://link.springer.com/article/10.1007/BF01091839
2. Alcamo J, Dronin N, Endejan M, Golubev G, Kirilenko A. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. Global Environmental Change. 2007 Aug 1;17(3-4):429-44. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378007000064
3. Arshad M, Amjath-Babu TS, Krupnik TJ, Aravindakshan S, Abbas A, Kächele H, Müller K. Climate variability and yield risk in South Asia's rice–wheat systems: emerging evidence from Pakistan. Paddy and Water Environment. 2017 Apr 1;15(2):249-61. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10333-016-0544-0
4. Bates B, Kundzewicz Z, Wu S. Climate Change and Water; Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat: Geneva, Switzerland, 2008. https://www.mdpi.com/2077-1312/9/2/205
5. Berry PM, Rounsevell MD, Harrison PA, Audsley E. Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. Environmental science & policy. 2006 Apr 1;9(2):189-204. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146290110500153X
6. Chang CC. The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. Agricultural Economics. 2002 May;27(1):51-64. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-0862.2002.tb00104.x
7. Deressa T, Hassan R, Poonyth D. Measuring the impact of climate change on South African agriculture: The case of sugarcane growing regions. Agrekon. 2005 Dec 1;44(4):524-42. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03031853.2005.9523726
8. Gbetibouo GA, Hassan RM. Measuring the
9. economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach. Global and Planetary change. 2005 Jul 1;47(2-4):143-52. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818104001948
10. Henseler M, Wirsig A, Herrmann S, Krimly T, Dabbert S. Modeling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity-based non-linear programming approach. Agricultural Systems. 2009 Apr 1;100(1-3):31-42. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X08001339
11. Hosseini S.S, And Nazari M. Assessing the economic vulnerability of the country's agricultural sector to climate change. Third National Climate Change Report to be submitted to the Secretariat of the UNFCCC Convention. 2015; 144-1. www.climate-change.ir
12. Khaleghi SA. The effects of climate change on agricultural production and Iranian economy. Journal of Agricultural Economics Researches. 2015;7(1). https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153123638
13. Liu C, Lu M, Cui J, Li B, Fang C. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta- analysis. Global change biology. 2014 May;20(5):1366-81. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.12517
14. Mahmoodi A, Parhizkari A. Economic analysis of the climate change impacts on products yield, cropping pattern and farmer's gross margin (case study: Qazvin plain). Quarterly Journal of

Economic Growth and Development Research. 2016 Feb 20;5(17 (3)):40-25. http://egdr.journals.pnu.ac.ir/article_4673.html?lang=en

15. Mendelsohn R, Nordhaus WD, Shaw D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. The American economic review. 1994 Sep 1:753-71. https://www.jstor.org/stable/2118029
16. Momeni S, Zibaei M. The potential impacts of climate change on the agricultural sector of Fars province. Agricultural Economics and Development. 2013 Nov 22;27(3):169-79. https://iranjournals.nlai.ir/bitstream/handle/123456789/827255
17. Najafpure B. The Role of Climate in Environmental Planning and Management (With The Emphasis On Iran). 2007; 116-126. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=197724
18. Parhikari A. Determining the economic value of irrigation water and farmers' response to precious and non-price policies in Qazvin province. University of Zabol. 2012. https://iranjournals.nlai.ir/handle/123456789/5438
19. Parhizkari A, Mozafari M.M, Parhizkari R, Parhizkari M. Management of exploitation and optimal allocation of water resources to determine the agro-economic plan of the optimal cultivation pattern in Rudbar Alamut region. Journal of Agriculture and Natural Resources. 2015; (1): 1-19. https://iranjournals.nlai.ir/handle/123456789/5438
20. Pishbahar E, Darparnian S. Factors Creating Systematic Risk for Rainfed Wheat Production in Iran, Using Spatial Econometric Appro ach. 2018 1-20. http://hdl.handle.net/123456789/3846
21. Rahmani M, Jami AA, Shahidi A, Hadizadeh AM. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (Triticum aestivum L.) and barley (Hordeum vulgare L Case study: Birjand plain). 2015 7(4): 443-460. https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=547055
22. Reidsma P, Lansink AO, Ewert F. Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2009 Jan;14(1):35-59. https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-008-9149-2
23. Rezaee Zaman M, Morid S, Delavar M. Evaluation of the effects of climate change on hydro climatology variables of Siminehroud basin. Journal of Water and Soil, 2014 27 (6): 1247-1259. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=439848
24. Sieber J. WEAP water evaluation and planning system. 2006. https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2006/all/397/
25. Tao F, Hayashi Y, Zhang Z, Sakamoto T, Yokozawa M. Global warming, rice production, and water use in China: developing a probabilistic assessment. Agricultural and forest meteorology. 2008 Jan 7;148(1):94-110. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192307002535
26. Travis J, Ybbert L, and Daniel A. Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. Food policy. 2012 Feb 1;37(1):114-23. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306919211001345
27. Xiong W, Conway D, Xu YL, Jiang J, Li Y, Calsamiglia-Mendlewicz S, Lin ED, Hui J. Future cereal production in China: Modelling the interaction of climate change, water availability and socio-economic scenarios. The Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture–Phase II Final Report. https://ueaeprints.uea.ac.uk/id/eprint/33659/1/Future-cereal-production-Interaction.pdf
28. Yan M, Cheng K, Luo T, Yan Y, Pan G, Rees RM. Carbon footprint of grain crop production in China–based on farm survey data. Journal of Cleaner Production. 2015 Oct 1; 104:130-8. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261500606X
29. Yates D, Sieber J, Purkey D, Huber-Lee A. WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. Water International. 2005 Dec 1;30(4):487-500. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508060508691893