Archive of SID.ir

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴ شماره ۱ / بهار ۱۴۰۳/ صفحات ۳۰۴-۲۸۷

Evaluation and Simulation of the Water Footprint of Agricultural Products in Climate Change Scenario (Case Study: Kashf Roud Basin)

Elahe Ahani[1], Saman Ziaee [2*], Mohammadi Hamid[3], Mostafa Mardani Najafabadi [4], Abbas Mirzaee[5]

Received: 20 August 2022 Accepted: 28 March 2023
1-PhD Student in Agricultural Economics, Dept. of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2-Asocc. Prof., and Assist. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol city, abol, Iran.
3- Asocc. Prof., of Agricultural Economics Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
4- Assist. Prof., of Agricultural Economics Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
*Corresponding Author Email: samanziaee@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Today, due to the extensive and mutual effects of climate change in various sectors of production, environment and human societies, climate change is considered as one of the most important environmental challenges of the 21st century, which has serious economic consequences. The agricultural sector has experienced the most adverse effects of climate change due to excessive dependence on climate phenomena. In this study, an attempt was made to simulate and evaluate the water footprint of agricultural products under climate change conditions in the Kashf Roud Basin.

Materials and Methods: In this study, WEAP software was used for the integrated assessment of water resources. Also, the MABIA tool available in the WEAP software was used to simulate the effects of climate change for crops such as wheat, barley, alfalfa, tomatoes, cucumbers, onions, and fodder corn. Finally, water and carbon footprints were simulated using WEAP and MABIA model outputs for 2013-2040.

Results: The results of the models of the sixth report under the pessimistic and medium water footprint scenarios showed that the water requirement and crop yields increase and decrease, respectively. The major decrease in yield in the middle scenario was attributed to the products of barley and alfalfa with 25.7 and 25.6 percent, respectively. Also, the highest amount of change in the net water requirement in the pessimistic scenario belonged to potatoes and onions, respectively, equal to 64.8 and 59.37 percent compared to the current conditions. In general, the selected crops had the highest water footprints, respectively, sugar beet, fodder corn, onion, alfalfa, tomato and cucumber with 18, 15, 14, 14, 13 and 12 thousand cubic meters per hectare. The lowest amount of carbon footprint was assigned to wheat, barley, and alfalfa and fodder corn.

Conclusion: The results of the study showed that by applying the climate scenarios, the water footprint of agricultural products will be larger than the green water footprint. This indicated an increase in evaporation and transpiration and a decrease in rainfall at the basin level, and on the other hand, it shows the negative consequences of the climate change phenomenon for the farmers of the region. Therefore, according to the decrease in rainfall and the critical situation of the Kashf Roud Basin, the most important solution is to reduce the water footprint by reducing water consumption and balancing the use of resources with regard to the water potential of the basin.

Keywords: Agricultural Sector, Climate Change, Water Footprint, Carbon Footprint, Climate Scenarios (optimistic, medium, and pessimistic).

DOI: 10.22034/SAPS.2023.10042.2911

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ارزیابی و شبیه سازی ردپای آب محصولات کشاورزی در سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود)

الهه آهنی[۱]، سامان ضیایی[۲*]، حمید محمدی[۲]، مصطفی مردانی نجف آبادی[۳]، عباس میرزایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۸
۱-دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲-دانشیار و استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
*مسئول مکاتبه: Email: samanziaee@gmail.com

چکیده

اهداف: با توجه به اثرات گسترده و متقابل تغییر اقلیم با بخش‌های مختلف تولیدی، زیست‌محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم بعنوان یکی از مهمترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست و یکم یاد می‌شود که پیامدهای جدی اقتصادی به دنبال دارد. بخش کشاورزی به دلیل وابستگی بیش از حد به پدیده‌های اقلیم، بیشترین اثرات نامطلوب ناشی از تغییر اقلیم را تجربه نموده است. در این مطالعه تلاش شد ردپای آب محصولات کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه آبریز کشف رود شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه بمنظور ارزیابی یکپارچه منابع آب از نرم افزار WEAP استفاده شد. همچنین، از ابزار MABIA موجود در نرم‌افزار WEAP جهت شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم برای محصولات زراعی از جمله گندم، جو، یونجه، گوجه‌فرنگی، خیار، پیاز و ذرت‌علوفه‌ای بهره گرفته شد. در نهایت، شبیه‌سازی ردپاهای آب و کربن با استفاده از خروجی‌های مدل WEAP و MABIA برای سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۴۰ انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از خروجی مدل های گزارش ششم تحت سناریوهای انتشار بدبینانه و میانه ردپای آب نشان داد که نیازآبی و عملکرد محصولات به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش عملکرد در سناریو میانه را دو محصول جو و یونجه با ۲۵/۷ و ۲۵/۶ درصد به خود اختصاص دادند. همچنین بیشترین میزان تغییر نیاز خالص آبی متعلق به محصول سیب‌زمینی معادل ۶۴/۸ درصد و پیاز ۵۹/۳۷ درصد در سناریو بدبینانه نسبت به شرایط جاری بود. بطور کلی از محاسبه ردپای آب این نتیجه حاصل شد که بیشترین ردپای آب محصولات منتخب را بترتیب چغندرقند، ذرت‌علوفه-ای، پیاز، یونجه، گوجه‌فرنگی و خیار با ۱۸ ، ۱۵، ۱۴، ۱۴، ۱۳ و ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار دارا بودند. کمترین مقدار ردپای کربن نیز به محصولات گندم، جو، یونجه و ذرت‌علوفه‌ای اختصاص یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان داد با اعمال سناریوهای اقلیم ردپای آب محصولات کشاورزی حجم بیشتری نسبت به ردپای آب سبز خواهد داشت. این امر بیانگر افزایش تبخیروتعرق و کاهش میزان بارندگی در سطح حوضه بود و از سوی دیگر پیامدهای منفی رخداد پدیده تغییر اقلیم را برای کشاورزان منطقه نمایان می‌کند. بنابراین با توجه به کاهش بارندگی و وضعیت بحرانی آبخوان حوضه آبریز کشف رود مهمترین راهکار در جهت کاهش ردپای آب از طریق کاهش مصارف آب و برقرای تعادل در بهره‌برداری از منابع با توجه به پتانسیل‌های آبی حوضه می‌باشد.

واژه های کلیدی: بخش کشاورزی، تغییر اقلیم، ردپای آب، ردپای کربن، سناریوهای انتشار (خوشبینانه، میانه و بدبینانه).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد با افزایش رشد جمعیت و تنوع رژیم‌های غذایی، تقاضای غذا و به دنبال آن تقاضای آب و انرژی برای تولید غذا دچار تغییر و تحول شده است. تأمین آب، غذا و انرژی بدون کاهش منابع طبیعی از جمله چالش‌برانگیزترین مسائل در منطقه آسیا است (هاف ۲۰۱۱). بخش کشاورزی علاوه بر اینکه بعنوان مهمترین بخش تولیدکننده مواد غذایی است، با مصرف ۷۰ درصد از مجموع کل منابع آب شیرین جهان بعنوان بزرگترین مصرف کننده آب در جهان بشمار می‌رود (میرزایی و همکاران ۲۰۱۸).

از جمله 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 است. 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 می‌شود (لیانی و بخشوده ۲۰۲۱).

در کشورهای خشک و نیمه خشک مانند ایران پدیده تغییر اقلیم تأثیرات نامطلوب زیادی بر جامعه به‌خصوص بخش کشاورزی گذاشته و تولیدات کشاورزی و در مجموع امنیت‌غذایی کشور را تحت تأثیر قرار داده است. شرایط اقلیمی ایران بیانگر وابستگی بیش از حد بخش کشاورزی برای تولید موادغذایی به آبیاری است. این وابستگی به حدی است که با وجود سطح نسبتًا یکسان اراضی سالانه زیرکشت دیم و فاریاب کشور، بطور متوسط ۹۰ درصد فرآورده‌های کشاورزی از زراعت آبی حاصل می‌شود (گودرزی ۲۰۲۰). در چنین شرایطی تأثیرات اقلیمی ناشی از پدیده خشکسالی و ترسالی می‌تواند تأثیرات منفی یا مثبت زیادی بر تولید محصولات کشاورزی و امنیت‌غذایی ایران برجای گذارد. در واقع کشاورزان مهمترین گروهی هستند که به دلیل نوسانات دمایی حاصل از تغییر اقلیم، بیشترین خسارت را در جریان تولید محصولات کشاورزی متحمل می‌شوند (نیک‌مهر و زیبایی ۲۰۲۰).

وقوع تغییرات اقلیم حتی به‌صورت جزئی نیز می‌تواند بر تمام ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی اثرات چشم‌گیر و قابل توجهی داشته باشد. همچنین به دلیل اینکه بخش کشاورزی یکی از مهمترین بخش‌های تولیدی و اقتصادی بسیاری از کشورها محسوب می‌شود، این تغییرات سبب دگرگونی در ساختار اقتصادی و الگوی تجارب آن‌ها نیز گردیده است (صالحی کمرودی و شاکری بستان آباد ۲۰۱۹). این بخش علاوه بر جنبه اقتصادی از نظر فیزیکی نیز از اثرات تغییر عوامل اقلیمی همچون درجه حرارت و بارندگی آسیب‌پذیر متأثر شده است.

براساس پیش‌بینی‌های جهانی تا سال ۲۰۵۰ مسئله مدیریت منابع آب بعنوان اصلی‌ترین موضوع مورد بحث در کشورهای مختلف جهان خواهد بود. کشور ایران نیز براساس پیش‌بینی‌های انجام شده تا سال ۲۰۲۵ به لیست کشورهایی که با وضعیت کمبود آب مواجه‌اند، افزوده خواهد شد. همچنین تقاضا برای دسترسی به منابع در دهه‌های اخیر در اثر افزایش رشد جمعیت و مهاجرت، توسعه اقتصادی، تجارت بین‌المللی، شهرنشینی، تغییرات فرهنگی، تکنولوژیکی و تغییرات اقلیمی افزایش شدیدی خواهد داشت. با توجه به کاهش منابع تجدیدناپذیر و افزایش تنش‌آبی در جهان، امنیت غذایی جامعه با توجه به افزایش رشد جمعیت یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌روی بشر می‌باشد (هاف ۲۰۱۱).

وضعیت موجود منابع آب در ایران و روند گرایش حاکم بر آن به‌خوبی ضرورت مدیریت تقاضا و تعدیل مصرف آب را نشان می‌دهد. در این راستا محاسبه ردپای آب زمینه لازم را برای شناسایی جریان‌های آب مجازی و اصلاح سیاست‌های تجاری فراهم می‌سازد. واژه ردپای آب بخشی از یک مفهوم وسیع‌تر و مشتمل بر ردپاهای اکولوژیکی، کربن و آب است که در دهه‌های گذشته در علوم محیط‌زیستی توسعه یافت (اشک تراب

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

و بخشوده ۲۰۲۱). در ردپای اکولوژیکی، استفاده از زمین و طبیعت (هکتار)، ردپای کربن، مقدار گازهای گلخانه‌ای تولید شده (معادل دی‌اکسید کربن به تن) و در ردپای آب، انواع آب مصرفی (مترمکعب در سال) مورد توجه می‌باشد (کاسولانی و همکاران ۲۰۱۶). شایان ذکر است ردپاهای اکولوژیکی، کربن و آب، در حالت‌های کلی معیارهای کمی هستند که بیانگر توجه به محیط‌زیست یا فشار وارد بر محیط‌زیست را از سوی انسان می‌باشند. در همین راستا ردپای آب، بیانگر توجه انسان به منابع محدود آب شیرین در جهان است. بنابراین می‌تواند پایه‌ای را برای ارزیابی اثرات محصول و خدمات بر سیستم‌های آب شیرین و ایجاد استراتژی‌هایی برای کاهش این اثرات، فراهم سازد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۹).

با توجه به اینکه تغییر اقلیم اثر مستقیمی بر منابع آبی، وضعیت هیدرولوژیک و عملکرد محصولات کشاورزی دارد، مطالعات متعددی در داخل و خارج مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

لی و همکاران (۲۰۱۹) از مدل هیدرولوژیکی WEAP و ماژول زراعی آن MABIA برای بررسی اثرات تغییر اقیم بر عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی بهره گرفتند. دئوبانجار و همکاران (۲۰۱۷) در راستای بررسی اثرات تغییر اقلیم و تعیین الگوی کشت محصولات کشاورزی و ولیر و وئن برون (۲۰۱۸) معیارهای برنامه‌ریزی چندهدفه و تصادفی را مورد بررسی قرار دادند.

استیو و همکاران (۲۰۱۵) از تلفیق مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی مزرعه‌محور WEAP و ماژول MABIA به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و روش‌های انطباق با آن در حوضه رودخانه گوادیانا (پرتغال و اسپانیا) بهره گرفتند. فورنی و همکاران (۲۰۱۶) از مدل‌سازی هیدرولوژیکی- اقتصادی WEAP برای پیش‌بینی اقدامات اقتصادی کشاورزان در پاسخ به تغییرات آب در دسترس در حوضه آبریز سن خواکین (ایالت متحده) طی دوره تاریخی ۲۰۱۳-۲۰۹۹ استفاده نمودند.

نیک‌مهر و زیبایی (۲۰۲۰) با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی اقتصادی، مدل WEAP و ماژول MABIA به ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم و سناریو تطبیقی بهبود راندمان آبیاری بر وضعیت کشاورزی زیرحوضه کرخه جنوبی پرداختند. لیانی و همکاران (۲۰۲۱) اثرات تغییر شرایط آب‌وهوایی بر بخش-کشاورزی حوضه آبریز رودخانه خیرآباد را با استفاده از مدل WEAP و ماژول زراعی آن MABIA همچنین دانشگر و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد و نیازآبی محصولات زراعی را در سناریوهای مختلف اقلیم مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعات انجام شده در راستای مدیریت منابع آب محصولات زراعی با استفاده از مفهوم ردپای آب، خلیلی و همکاران (۲۰۱۹) طی مطالعه‌ای محاسبه ردپای آب محصولات زراعی استان قم نشان دادند که سهم ردپای آب محصولات مورد بررسی بیشتر از مقادیر ردپاهای آب سبز و خاکستری برآورد شد. اشک تراب و بخشوده (۲۰۲۱) حسابداری ردپای آب محصولات زراعی اصلی در استان فارس را برآورد کردند. ولایت‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) انتشار ردپای کربن و ارتباط آن با مصرف انرژی با مصرف انرژی در میدان نفتی یادآوران استان خوزستان با هدف حفاظت محیط‌زیست را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده، مطالعه حاضر با دیدگاهی متفاوت از سایر مطالعات به بررسی اثرات تغییر شرایط آب و هوایی بر بخش کشاورزی حوضه آبریز کشف رود پرداخته است. در ادامه جهت مدیریت بهتر منابع آب در بین محصولات زراعی حوضه آبریز کشف رود، به ارزیابی ردپای آب؛ محاسبه آب مصرف شده در فرآیند تولید محصول، ردپاهای آب آبی (نیاز خالص آبی یا حجم آبی که مستقیم در تولید محصول استفاده می‌شود) و آب سبز؛ به سهم آب حاصل از بارندگی و در نهایت ردپای کربن (میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای) پرداخته شد.

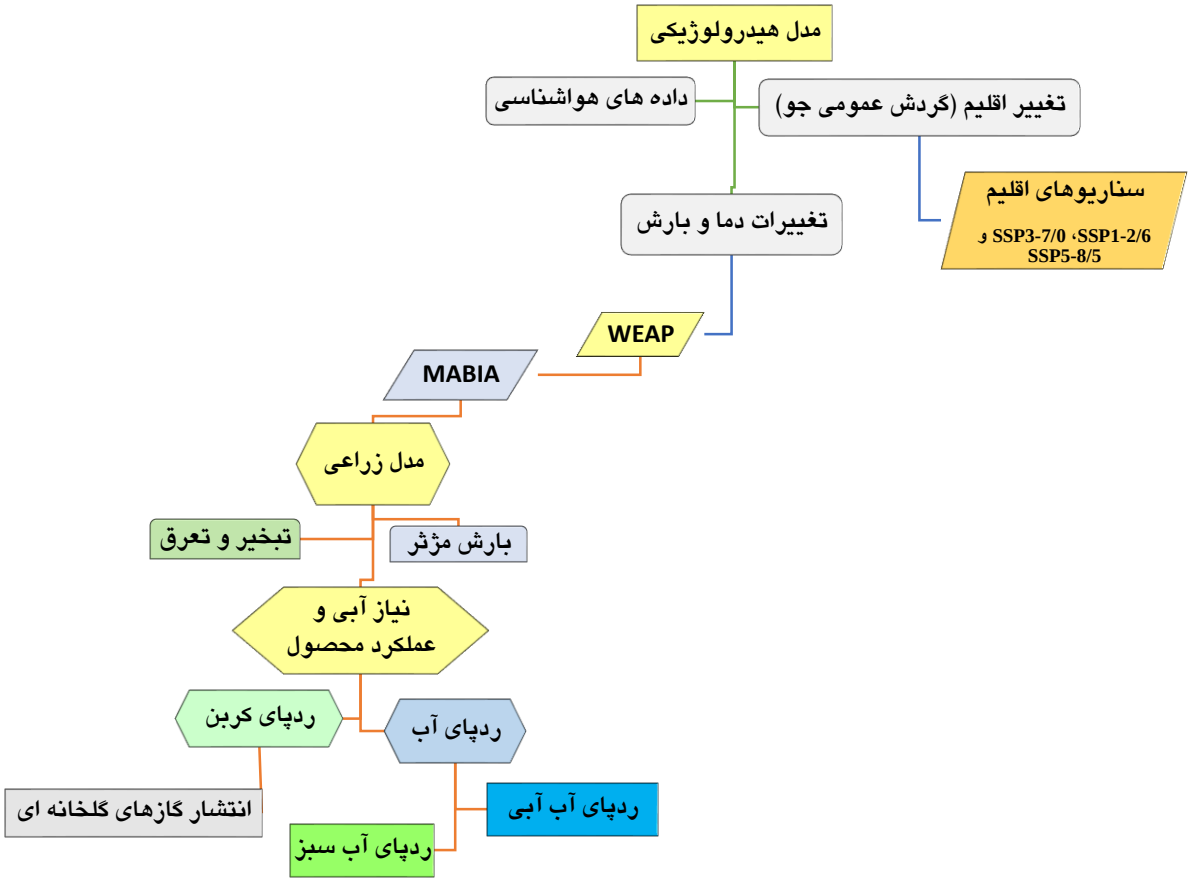
مواد و روش‌ها

چارچوب مفهومی مدل ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت محصولات کشاورزی در حوضه آبریز

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کشف رود استان خراسان رضوی در شکل ۱ نشان داده شد. به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان دما و بارش در سطح حوضه از ترکیب وزنی چهار مدل AOGCM از پروژه مدل‌های جفت شده فاز ششم CMIP6بهره گرفته شد. سناریوهای SSP گروه جدیدی از سناریوهای انتشار ناشی از مدلهای گزارش ششم اقلیم و درواقع تلفیقی از سناریوهای اقتصادی - اجتماعی با در نظر گرفتن میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی گزارش پنجم (RCP) می‌باشد. این سناریوها تحت سه سناریو SSP1-2/6، SSP3-7/0 و SSP5-8/5 بترتیب (خوشبینانه، میانه و بدبینانه) مورد بررسی قرار گرفتند (سرابی و همکاران ۲۰۲۰).



شکل ۱- چارچوب مدل‌سازی

بررسی اثرات تغییر شرایط آب و هوایی بر میزان عملکرد و نیازآبی محصولات زراعی و در نهایت محاسبه ردپای آب در تولید محصول طی سه گام ارزیابی و شبیه‌سازی شد.

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 نیاز در این بخش از گزارش‌های سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی (برای برخی از متغیرها از جمله حداکثر و حداقل دما و بارش، رطوبت، سرعت باد، جریان‌هایی ورودی آب، حجم آب ذخیره شده در سد کارده بصورت سری‌زمانی 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) در سال زراعی ۹۷-۹۸ جمع‌آوری گردید.

Archive of SID.ir

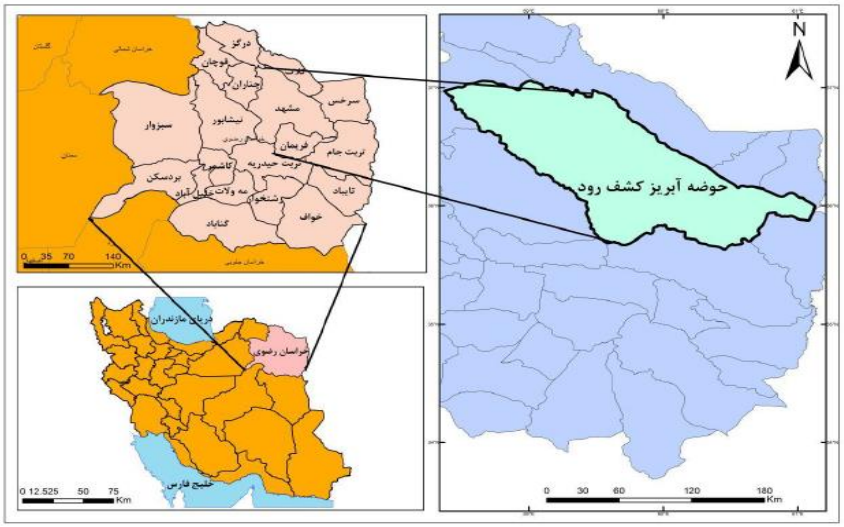
Archive of SID.ir

گام دوم؛ از مدل کالیبره شده برای ارزیابی اثرات سناریوهای اقلیمی بر میزان عملکرد و نیازآبی محصولات بهره گرفته شد.

گام سوم؛ با استفاده از نتایج مربوط به نیازآبی و عملکرد در سناریوهای مختلف اقلیم؛ ردپاهای آب‌آبی، آب سبز، و اجزاء ردپای آب و در نهایت ردپای کربن محاسبه شد.

حوضه آبریز کشف رود واقع در ضلع غربی حوضه قره‌قوم در شمال استان خراسان رضوی با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی در حدفاصل ارتفاعات بینالود در جنوب غرب و غرب و ارتفاعات کپه داغ (هزار مسجد) در شرق و شمال شرق، در محدوده‌ای به طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه شمالی واقع شد. .مهمترین رودخانه این حوضه کشف رود می‌باشد. طول تقریبی این رودخانه ۱۷۴ کیلومتر، دارای آورد متوسط سالانه ۲۸/۸ میلیون متر مکعب در محل ایستگاه اولنگاسدی واقع در خروجی حوضه آبریز و پس از طی مسافتی معادل ۳۰۰ کیلومتر در محلی به نام پل خاتون در شرق حوضه آبریز قره‌قوم به هریرود می‌ریزد. در شکل ۲ حوضه آبریز کشف رود بعنوان حوضه انتخابی برای پژوهش حاضر نشان داده شد.

براساس آخرین مطالعات بیلان منابع آب (۱۳۹۹-۱۳۶۴) میانگین بارش ۳۰ ساله در سطح حوضه آبریز معادل ۲۷۴/۲۷۰۲ میلی‌متر برآورد شد. همچنین متوسط درجه حرارت سالانه از بخش‌های شمالی و جنوبی به سمت مرکز دشت افزایش یافت. متوسط سالانه درجه حرارت روزانه در ارتفاعات حوضه ۱۰/۳ و در دشت ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید (مطالعات به‌هنگام‌سازی بیلان منابع آب حوزه آبریز قره‌قوم ۲۰۱۵).



شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز کشف رود

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و ارزیابی سناریوهای تغییراقلیم (Cimp6)[1]

در ادامه برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب WEAP بهره گرفته شد. مدل WEAP از جمله مهمترین ابزارها برای برنامه‌ریزی منابع آب است که بر اصل توازن آب استوار است و زیرحوضه‌های مختلف، گره‌های تقاضای آب، زیرساخت‌ها، جریان‌های آب و کانال‌های انتقال آب را با یکدیگر مرتبط می‌کند. مدل WEAP مؤلفه‌هایی از چرخه هیدرولوژیکی را به‌وسیله شبیه‌سازی فرآیندهای

[1]Coupled Intercomparison Model Project Phase 6

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بارش- رواناب در سطح حوضه و با استفاده از سری‌های زمانی داده‌های آب و هوایی محاسبه می‌کند. بنابراین هر واحد زیرحوضه به کلاس‌های کاربری زمین مختلف تقسیم‌بندی و توازن آب تحت شرایط آب و هوایی آن زیرحوضه محاسبه می‌شود. در این مدل برای هر واحد کشاورزی توابع تجربی جهت توصیف و شبیه‌سازی تبخیر و تعرق، رواناب و جریان‌های سطحی، تغییر در رطوبت خاک، روند جریان جاری به رودخانه و نفوذ عمقی به آب زیرزمینی بکار گرفته شد.

مدل MABIA

MABIA یکی از ماژول‌های موجود در مدل WEAP است که برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک مانند تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و آبیاری بکار گرفته می‌شود. این روش توسط جبلون و سهلی[1] در مؤسسه ملی کشاورزی تونس ارائه گردید. در مطالعه انجام شده با استفاده از اطلاعات مختلف زراعی، هیدرولوژیکی و هواشناسی، عملکرد و نیاز آبی محصولات زراعی شبیه‌سازی شد. فرآیند کار این ماژول شامل مراحل زیر است:

۱- محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان

در ماژول MABIA تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از مدل فائو- پنمن- مانتیث توسط آلن و همکاران[2] برآورد گردید. برای محاسبه تبخیر و تعرق اطلاعات هواشناسی از جمله دمای حداکثر و حداقل، رطوبت‌نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد در ارتفاع دومتری و ساعات آفتابی روزانه مورد نیاز است.

۲- محاسبه ظرفیت آب در دسترس

به‌منظور محاسبه ظرفیت آب در دسترس، باید داده‌های مربوط به ظرفیت نگهداری آب خاک در نقطه اشباع، ظرفیت مزرعه و پژمردگی در دسترس باشد، اما ظرفیت آب خاک در نقاط مذکور با توجه به نوع بافت خاک منطقه متفاوت می‌باشد.

۳- تخمین میزان آب‌آبیاری

برای تخمین میزان آب‌آبیاری مورد نیاز محصولات کشاورزی هر منطقه اطلاعات مربوط به برنامه زمان بندی آبیاری و عمق آبیاری در مدل دخیل می‌باشد.

۴- شبیه‌سازی عملکرد محصولات

در ماژول MABIA شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی براساس فرمول (۱) محاسبه گردید.

$$1-\frac{Y_a}{Y_m}=K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_c}\right) \quad \text{(فرمول ۱)}$$

براساس رابطه ۱، Y_a عملکرد واقعی محصول، Y_m عملکرد حداکثر، K_y فاکتور واکنش- عملکرد، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و ET_c تبخیر و تعرق در شرایط مشابه واقعی ولی بدون محدودیت آبی بود.

داده‌های مورد نیاز مطالعه از طریق بررسی نشریه‌ها، گزارشات و سالنامه‌های آماری کشاورزی سال ۱۳۹۹-۹۸ و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و از طریق شرکت‌های مهندسین مشاور (به دلیل تکمیل بودن اطلاعات) مربوطه گردآوری گردید. همچنین بعضی پارامترهای مربوط به بارش مؤثر، نیاز ناخالص آبی گیاه، ضرایب گیاهی، بافت خاک، تبخیر و تعرق گیاه نیز از طریق **نرم‌افزارهای نت وات[3] و کراپ وات[4] برآورد گردید.**

روش MABIA موجود در نرم‌افزار WEAP ابزاری مناسب جهت شبیه‌سازی این گونه متغیرها می‌باشد. مزیت اصلی WEAP در رویکرد یکپارچه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها بود. در معادلات WEAP مسائل مربوط به نیاز (الگوی مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص) همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ می‌شود.

همچنین در نرم‌افزار WEAP از ابزار PEST به‌منظور اعتبارسنجی مدل بهره گرفته شد. این ابزار به

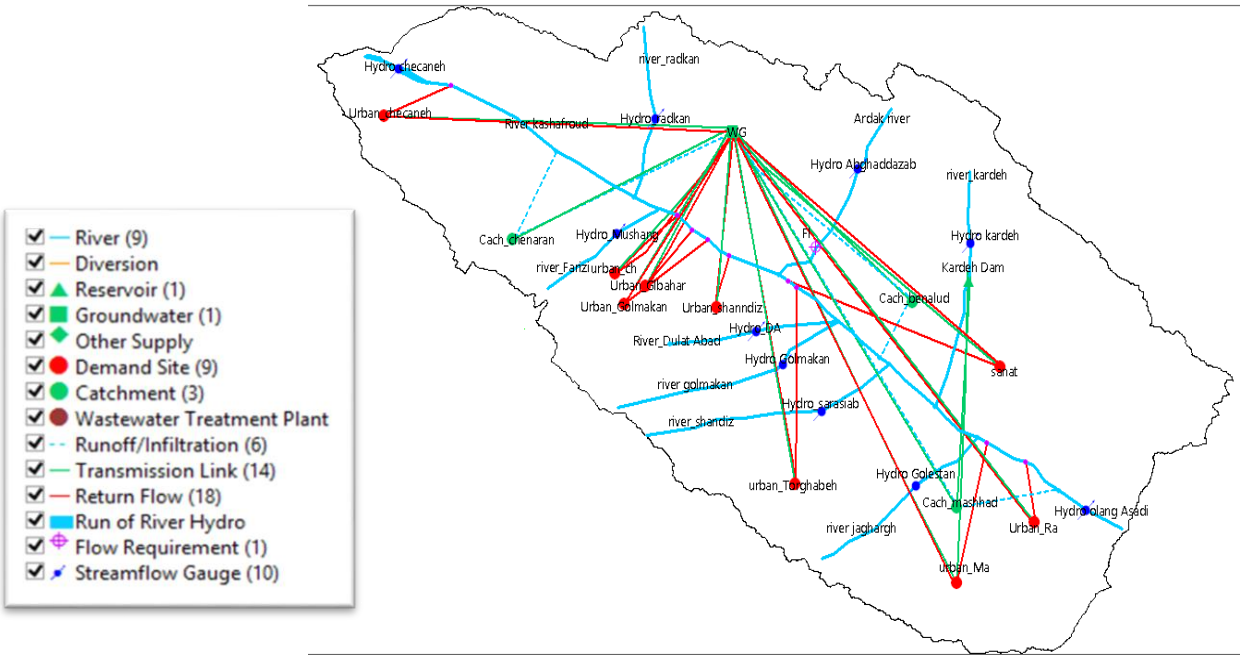
[1] Jabloun and Sahli.
[2] Allen et al
[3] NetWat
[4] CropWat

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کاربر این امکان را داد که به‌طور خودکار فرآیند خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی و اصلاح پارامترهای مدل در جهت افزایش دقت کالیبراسیون مدل را مورد ارزیابی قرار دهد (رضایی زمان و همکاران ۲۰۱۴).

شماتیک سیستم منابع آب بخشی از حوضه آبریز کشف رود با سه گره تقاضای بخش کشاورزی، یک گره تقاضای بخش صنعت و ۹ گره تقاضای شهری در شکل ۳ نشان داده شد.



شکل۳- شماتیک سیستم منابع آب حوضه آبریز کشف رود

شبیه‌سازی پارامترهای حوضه تحت سناریوهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۰ صورت گرفته است. به‌منظور کالیبره کردن مدل طراحی شده در نرم‌افزار، از داده‌های هیدرولوژی و کشاورزی حوضه آبریز کشف رود طی سال‌های ۲۰۱۳- ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفت. پس از مدل‌سازی منابع آب در نرم‌افزار ویپ، به‌منظور تعریف سناریوهای تغییر اقلیم در نرم‌افزار WEAP، از نتایج شبیه‌سازی تغییر اقلیم با استفاده از ترکیب وزنی چهار مدل AOGCM از پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم CMIP6 سه سناریو SSP1-2/6(خوشبینانه)، SSP3-7/0 (میانه) و SSP5-8/5 (بدبینانه) برای دوره جاری (۱۹۹۳- ۲۰۱۲) و دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۲۱) بهره گرفته شد.

شایان ذکر است که خروجی‌های مدل‌های فاز ششم تغییر اقلیم به تازگی منتشر و در دسترس محققین قرار گرفت. در این گزارش تأثیر فعالیت‌های انسانی بر وضعیت فعلی آب‌وهوا و چگونگی تأثیرگذاری آب‌وهوای آینده بر مناطق مختلف در سراسر جهان تشریح گردید. در یافته‌های گزارش ششم به ارائهٔ درک درستی از وضعیت آب‌وهوای فعلی و آینده پرداخته می‌شود و عملاً آنچه را برای محدود کردن پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی در کرهٔ زمین لازم است، توصیف می‌کند. سناریوهای انتشار آلاینده‌ها در آینده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ با سطوح مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، تصویر واضحی مبنی بر اینکه چگونه تغییرات آب‌وهوایی در قرن حاضر تحت تأثیر نفوذ انسان قرار دارد ادامه خواهد یافت. در هر پنج سناریوی انتشار آلاینده‌های منتشر شده از سوی هیئت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوای (IPCC) [1] دمای سطح جهان تا اواسط قرن افزایش می‌یابد. در این فاز از تلفیق واداشت

[1] International Climate Change Pattnership

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

گازهای گلخانه‌ای و خط سیرهای اجتماعی- اقتصادی در سناریوها استفاده شد. بنابراین در مطالعه حاضر تغییرات آینده دما و بارش در حوضه آبریز کشف رود با بهره‌گیری از نتایج برونداد مدل‌های فاز ششم انجام گرفت.

محاسبه اجزای ردپای آب[1] و انرژی

ردپاهای آب سبز و آب‌آبی برای محصولات زراعی حوضه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی با استفاده از مطالعات عباسی و رمضانی (۲۰۱۴؛ هاکسترا و چاپاگین ۲۰۰۸؛ اشک‌تراب و بخشوده ۲۰۲۱) محاسبه گردید. بنابراین حجم مصرف آب‌آبی ($CWU_{blue,Irr}$) و آب سبز $CWU_{green,Irr}$ بترتیب براساس روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید.

$$CWU_{blue,Irr} = IR = 10 * IE * GI \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$CWU_{green,Irr} = 10 * P_{eff} = 10 * (ET_c - IR) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

براساس رابطه ۲، نیاز خالص آبیاری (IR برحسب میلی‌متر) از حاصل‌ضرب نیاز ناخالص آبیاری در راندمان متوسط آبیاری (IE) در منطقه محاسبه گردید و در نهایت نیاز ناخالص آبیاری (GI برحسب میلی‌متر) می‌باشد. همچنین در رابطه۳، P_{eff} بارندگی مؤثر با استفاده از نرم‌افزار NETWAT برآورد گردید، ET_c تبخیر و تعرق در شرایط مشابه واقعی اما بدون محدودیت آبی است. قابل ذکر است ردپاهای آب سبز و آب آبی برحسب مترمکعب بر تن نیز از تقسیم آب مصرفی سبز و آبی بر مقدار محصول تولیدی محاسبه گردید.

ردپای کربن[2]

ردپای کربن بعنوان یکی از تأثیرات عمده زیست‌محیطی در مطالعات مختلف معرفی گردید. در واقع ردپای کربن مقیاسی از مقدار کل خروجی دی‌اکسید کربن و متان حاصل از جمعیت یک بخش یا فعالیت تولیدی با در نظر گرفتن همه منابع و ذخایر در موقعیت زمانی و مکانی آن جمعیت یا فعالیت تولیدی بود. ردپای کربن در این مطالعه با استفاده از مطالعات مولی و همکاران (۲۰۱۹؛ فان و همکاران ۲۰۲۱) از مجموع کربن دی‌اکسید منتشر شده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، کود، سم، الکتریسیته، مصرف رول‌های نایلونی و میزان آبیاری در سطح زیرکشت هر محصول از طریق ضرب در میزان ضریب محتوای کربن از مصرف هر نهاده بخش‌کشاورزی بر میزان عملکرد هر محصول محاسبه گردید. مقدار ردپای کربن در بخش‌کشاورزی براساس رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{Carbon footprint} = \sum_{i=1}^{I} \frac{\begin{pmatrix} Ceuf\ .Fa\sum_{k=1}^{k} A + Cep.Pa\sum_{k=1}^{k} A + \\ Ceaf.Afa\sum_{k=1}^{k} A + Ced.Da\sum_{k=1}^{k} A + \\ Cei.Eia.\theta_i\sum_{k=1}^{k} A \end{pmatrix}}{\sum_{k=1}^{k} Y} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

مطابق رابطه ۴، متغیر Carbon footprint ردپای کربن و پارامترها بترتیب Ceuf هزینه‌های مصرف برق برای فرآوری مواد غذایی هر منطقه (میلیون ریال/ هکتار)، Fa میزان مصرف کود در هکتار هر منطقه (کیلوگرم / هکتار)، A سطح زیرکشت محصولات (هکتار)، Cep ضریب انتشار کربن در استفاده از سموم دفع آفات (کیلوگرم co2/ کیلوگرم)، Pa مقدار مصرف سموم دفع آفات در هکتار هر منطقه (کیلوگرم/ هکتار)، Ceaf ضریب انتشار کربن در استفاده از رول‌های نایلونی کشاورزی (کیلوگرم co2/ کیلوگرم)، Afa مقدار مصرف رول‌های نایلونی کشاورزی (کیلوگرم/ هکتار)، Ced ضریب انتشار کربن در استفاده از سوخت دیزل (کیلوگرم co2/ لیتر)، Da مقدار مصرف سوخت دیزل در هکتار هر منطقه (لیتر/ هکتار)، Cei ضریب انتشار کربن از برق برای آبیاری (کیلوگرم co2/ کیلو وات. ساعت)، Eia مقدار مصرف برق منطقه (کیلو وات . ساعت/ هکتار)، θ_i ضریب تبدیل محدوده آبیاری در سطح زیر کشت هر محصول و Y عملکرد محصولات مورد بررسی بود.

[1] Water footprint

[2] Carbon footprint

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نتایج و بحث

از منظر تغییرات فصلی پیش‌بینی شده، مقدار بارش در فصل بهار در حوضه آبریز برای تمام سناریوها بین ۴/۲۸ تا ۶/۹۵ درصد افزایش و مقدار بارش برای فصول تابستان و پاییز برای تمام سناریوها نیز کاهش یافت. مقدار کاهش برای فصل تابستان بین ۱۰/۶۷ و ۲۱/۸۱ درصد و برای فصل پاییز بین ۱/۳۶ تا ۳/۴ درصد برآورد شد. مقدار بارش در فصل زمستان تنها برای سناریو بدبینانه (SSP5-8/5) یک مقدار افزایشی و در دو سناریو دیگر تغییرات قابل توجهی روی نداد. در تمامی سناریوهای مورد بررسی مقدار میانگین دمای حداقل ماه‌های مختلف نسبت به دوره جاری افزایش یافت. بیشترین مقدار افزایش دما مربوط به ماه سپتامبر (۱/۷۷، ۲/۱۹ و ۲/۱۸ درجه سلسیوس) بترتیب برای سناریوهای خوشبینانه، میانه و بدبینانه (SSP1-2/6، SSP3-7/0 و SSP5-8/5) بود. همچنین میانگین حداقل دمای سالانه (۴/۴۸ درجه سلسیوس) در دوره جاری برای سناریوهای خوشبینانه، میانه و بدبینانه (SSP1-2/6، SSP3-7/0 و SSP5-8/5) بترتیب ۲۲/۲۱، ۲۴/۸۵ و ۲۶/۳۳ درصد افزایش یافت. در ادامه اثرات تغییر دما و بارش تحت سناریو میانه و بدبینانه اقلیمی بر عملکرد و نیازآبی محصولات کشاورزی منتخب در حوضه آبریز با فرض ثابت بودن سایر شرایط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مطابق نتایج (جدول ۱) متوسط عملکرد محصولات زراعی حوضه تحت سناریوهای اقلیمی کاهش یافت. بیشترین کاهش عملکرد در سناریو میانه را محصول جو و یونجه با ۲۵/۷ و ۲۵/۶ درصد دارا بودند. همچنین کمترین کاهش عملکرد در سناریو مذکور بترتیب به محصولات گوجه‌فرنگی، پیاز، گندم، خیار، چغندرقند و ذرت اختصاص یافت. میانگین عملکرد یونجه ۱۰/۳۳ تن در هکتار در سال جاری بود که با تغییر شرایط آب و هوایی (سناریو بدبینانه) به میزان ۸/۵ تن در هکتار کاهش یافت. شایان ذکر است که عملکرد محصول پیاز و سیب‌زمینی در سناریو خوشبینانه (بترتیب ۴۰/۳۸ و ۲۷) تن در هکتار نسبت به حالت جاری (۴۰/۶۴ و ۲۷/۱۳) تن در هکتار کاهش ناچیزی معادل ۰/۶۴ درصد دارد. بنابراین یافته‌ها حاکی از آن بود که الگوی توزیع بارش و دما در طول دوره رشد محصولات مورد بررسی به‌گونه‌ای بود که مقدار بارندگی نیازآبی گیاه را تأمین نموده و مطابق با نتایج مطالعات استیو و همکاران (۲۰۱۵؛ دانشگر و همکاران ۲۰۲۱؛ نیک‌مهر و زیبایی ۲۰۲۰) عملکرد محصولات نیز کاهش چندانی نیافت. بعبارتی دیگر تغییر شرایط اقلیمی بعنوان مهمترین فاکتور در فرآیند تولید محصولات زراعی در سطح حوضه آبریز کشف رود شناخته شد و علاوه بر عملکرد محصولات، درآمد کشاورزان را نیز تحت تأثیر قرار داد.

از دیگر اثرات تغییر شرایط اقلیمی افزایش نیازآبی محصولات بود. نیازآبی محصولات در سناریوهای مختلف و درصد اختلاف آن‌ها نسبت به سال جاری در جدول ۲ نشان داده شد. با اعمال سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه تغییر اقلیم میانگین نیازآبی تمامی محصولات زراعی حوضه آبریز طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۴۰ افزایش یافت. بیشترین تأثیر بر نیازآبی محصولات مورد بررسی در سناریو بدبینانه نسبت به سناریو خوشبینانه و میانه به‌وقوع پیوست.

مطابق نتایج (جدول ۲) بیشترین تأثیر تغییر اقلیم بر نیازخالص آبی به محصولات سیب‌زمینی (معادل ۶۴/۸ درصد) و پیاز (معادل ۵۹/۳۷ درصد) در سناریو بدبینانه اختصاص یافت. مشابه نتایج نیک‌مهر و زیبایی (۲۰۲۰؛ کلبعلی و همکاران ۲۰۲۱؛ مولی و همکاران ۲۰۱۹) نیازآبی محصولات در دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۰ در سناریو بدبینانه و میانه افزایش یافت. افزایش نیازآبی در شرایط تغییر اقلیم از یکسو و کاهش آب در دسترس از سوی دیگر موجب شد بخشی از تقاضای آب مورد نیاز گیاهان تأمین نشده و تنش آبی بین محصولات ایجاد شود. به دنبال افزایش تنش آبی، عملکرد محصولات مختلف نیز در سطح حوضه آبریز نیز کاهش یافت. بنابراین افزایش نیاز خالص آبی محاسبه شده برای هر یک از محصولات زراعی در نتیجه افزایش تغییرات دما در طول دوره رشد محصول و افزایش تبخیر و تعرق تحت شرایط اقلیمی دور از انتظار نیست.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۱- تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر متوسط عملکرد محصولات زراعی حوضه آبریز (تن- هکتار)

محصول	عملکرد در سال شبیه‌سازی	سناریو خوشبینانه (SSP1-2/6)	درصد تغییر	سناریو میانه (SSP3-7/0)	درصد تغییر	سناریو بدبینانه (SSP5-8/5)	درصد تغییر
گندم	۳/۳۳	۳/۲۶	-۱/۸	۳/۲۰	-۴/۲	۳/۰۲	-۹/۳
جو	۳/۰۸	۲/۸۶	-۴/۳۸	۲/۶۶	-۱۳/۴	۲/۲۸	-۲۵/۷
ذرت علوفه‌ای	۴۹/۲۷	۴۷/۷۶	-۳/۰۷	۴۳	-۱۳	۴۱/۸۸	-۱۵
خیار	۲۰/۱۴	۱۹/۰۸	-۵/۲۶	۱۸/۵	-۹	۱۸	-۱۲/۸
پیاز	۴۰/۶۴	۴۰/۳۸	-۰/۶۴	۳۸/۵	-۵/۵	۳۷/۵	-۷/۷
سیب‌زمینی	۲۷/۱۳	۲۷	-۰/۶۴	۲۵/۲	-۷/۱۴	۲۳	-۱۵/۵
چغندرقند	۲۶/۲۴	۲۵/۵۶	-۳	۲۳	-۱۳	۲۲/۷	-۱۳/۵
گوجه فرنگی	۳۳/۵۲	۳۳	-۱/۵۶	۳۳	-۲/۰۸	۳۱/۳	-۶/۶
یونجه	۱۰/۳۳	۱۰	-۷/۲۹	۸/۵	-۱۹	۷/۷	-۲۵/۶

منبع: یافته‌های تحقیق.

مقدار تغییر نیاز خالص آبی عمده محصولات مورد بررسی در حوضه آبریز کشف رود تحت سناریو اقلیمی بدبینانه به دلیل منطبق بودن دوره رشد آن‌ها با فصل بارش بیشتر پیش بینی شد. بطور مثال دوره رشد گندم، جو، چغندرقند و سایر محصولات تقریباً در اکثر نقاط داخل حوضه با سه فصل پاییز، زمستان و بهار که عمده بارش‌های سالانه در آن‌ها روی می‌دهد منطبق بود. لذا کاهش بارش در سناریو اقلیمی بدبینانه بدین مفهوم بود که بخش کمتری از نیاز خالص آبی محصولات مورد بررسی در فصل پاییز از طریق بارش تأمین خواهد شد، بنابراین نیاز به آبیاری بیشتری برای محصولات در سطح حوضه می‌باشد. در اکثر مطالعات مختلف افزایش تقاضای آب‌آبیاری بیش از ۱۰ درصد بعنوان مرز مواجه شدن سیستم کشاورزی با تنش آبی معرفی گردید. لذا با توجه به مبنا قرار دادن این مرز، می‌توان نتیجه گرفت که محصولات زراعی مورد بررسی در حوضه آبریز در شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده برای سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۴۰ با تنش شدید و افزایش نیازآبی مواجه خواهند بود. لذا انجام مطالعات و اقدامات تطبیقی تحت شرایط تغییر اقلیم برای محصولات مورد بررسی در منطقه امری اجتناب‌ناپذیر بود.

جدول ۲- تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر (ردپای آب) محصولات زراعی حوضه آبریز (مترمکعب- هکتار)

محصول	نیازآبی سال شبیه‌سازی	سناریو خوشبینانه (SSP1-2/6)	درصد تغییر	سناریو میانه (SSP3-7/0)	درصد تغییر	سناریو بدبینانه (SSP5-8/5)	درصد تغییر
گندم	۶۱۴۹/۰۱	۶۳۲۰/۶	۲/۷۹	۶۵۷۸/۰۱	۶/۹	۷۴۴۴/۸	۲۱/۰۷
جو	۲۶۸۱	۲۷۸۸/۴	۳/۹	۳۳۷۸/۳۷	۲۵/۹	۳۴۳۲	۲۷/۹
ذرت علوفه‌ای	۱۵۶۸۸	۱۶۴۵۲	۴/۸۶	۲۰۴۳۳/۳۵	۳۰/۲۴	۲۱۰۲۲	۳۳/۹
خیار	۱۲۶۹۹	۱۴۷۸۰/۱	۱۶/۳۸	۱۵۶۶۷	۲۳/۳	۱۶۸۱۴/۴۲	۳۲/۴۰
پیاز	۱۴۰۵۴	۱۷۳۶۶/۰۲	۲۳/۵۶	۲۱۹۳۶/۰۳	۵۶/۰۷	۲۲۴۰۰/۰۳	۵۹/۳۷
سیب‌زمینی	۱۳۱۹۵	۱۹۸۸۵/۸	۵۰/۷	۲۱۰۲۲/۰۳	۵۹/۳۱	۲۱۷۵۰/۰۳	۶۴/۸
چغندرقند	۱۷۵۹۷	۱۹۵۱۴/۸	۱۰/۸	۲۱۰۲۲	۱۹/۴۶	۲۳۷۶۴	۳۵/۰۴
گوجه فرنگی	۱۲۶۴۰	۱۴۴۹۸	۱۴/۷	۱۵۵۳۸	۲۲/۹	۱۸۲۸۰	۴۴/۶
یونجه	۱۳۲۶۹	۱۷۳۶۶	۳۰/۸۷	۲۰۱۹۸/۳	۵۲/۲	۲۰۱۹۸/۳	۵۲/۲

منبع: یافته‌های تحقیق.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

بطور کلی نتایج نشان داد بیشترین تغییر در عملکرد محصول در شرایط اقلیم متعلق به دو محصول یونجه و جو بود. بنابراین ضروری است سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی به بحث تغییر اقلیم و کاهش عملکرد محصولات توجه ویژه‌ای داشته باشند؛ تا علاوه‌بر اتخاذ سیاست‌های مناسب در جهت مدیریت ریسک محصولات، ریسک تولید کشاورزان را نیز کاهش دهند و از سوی دیگر با ارائه سازوکار مناسب و با ارزیابی پیش‌بینی‌های دقیق تغییرات اقلیمی مانع از نوسانات تولید محصولات راهبردی شوند. از جمله سیاست‌های لازم برای توسعه بخش کشاورزی، سیاست حمایتی دولت در جهت افزایش بهره‌وری آب و عملکرد محصولات کشاورزی بود که با اجرای این سیاست علاوه بر جبران کمبود تولید محصولات بر درآمدزایی کشاورزان نیز مؤثر می‌باشد. با در نظر داشتن اینکه بررسی تغییرات اقلیمی موضوع فرامنطقه‌ای است، ضروری است که پروتکل‌های منطقه‌ای و ناحیه‌ای در سطح حوضه‌های آبرزی کشور اجرا گردد تا گروه‌های ذینفع بهتر بتوانند در مقابل تغییرات اقلیمی محافظت شوند و تمهیدات لازم برای جبران نوسانات تولید از طریق افزایش واردات و کاهش صادرات محصول یا در صورت لزوم کشت فراسرزمینی اتخاذ گردد.

در ادامه به‌منظور صرفه‌جویی و جلوگیری از هدررفت آب و افزایش راندمان مصرف آب، اجزاء ردپای آب بطور مثال ردپاهای آب‌آبی و آب سبز برای محصولات مختلف در (جدول ۳) نشان داده شد. همانطور که مشاهده شد مجموع بیشترین ردپای آب با حدود ۱۸ هزار مترمکعب متعلق به هر هکتار محصول چغندرقند بود. بعد از آن ذرت‌علوفه‌ای، پیاز، یونجه، گوجه‌فرنگی و خیار بترتیب با ۱۵، ۱۴، ۱۴، ۱۳ و ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. همچنین ردپای آب برای محصول گندم و جو نیز بترتیب برابر ۷۳۵۹ و ۳۹۱۱ مترمکعب در هکتار برآورد شد. شایان ذکر است در محاسبه ردپای آب، استراتژی تمام آبیاری در نظر گرفته شد و تاکنون تأثیر اتخاذ استراتژی‌های کم‌آبیاری بر ردپای آب محصولات انجام نشده بود.

جدول ۳- شبیه‌سازی اجزا ردپای آب در محصولات منتخب آبی حوضه آبریز در سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۴۰ (مترمکعب بر هکتار)

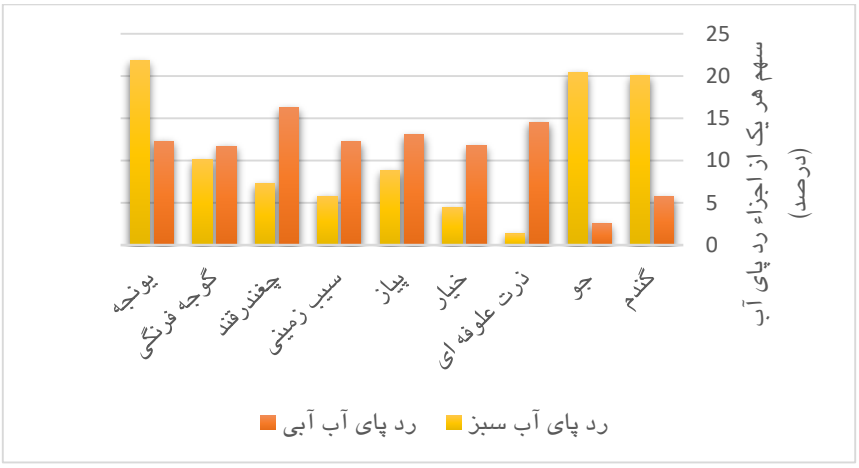
محصول	ردپای آب آبی	ردپای آب سبز	جمع کل
گندم	۶۱۴۹/۰۱	۱۲۱۰	۷۳۵۹/۰۱
جو	۲۶۸۱	۱۲۳۰	۳۹۱۱
ذرت علوفه‌ای	۱۵۶۸۸	۸۰	۱۵۷۶۸
خیار	۱۲۶۹۹	۲۷۰	۱۲۹۶۹
پیاز	۱۴۰۵۴	۵۳۰	۱۴۵۸۴
سیب‌زمینی	۱۳۱۹۵	۳۵۰	۱۳۵۴۵
چغندرقند	۱۷۵۹۷	۴۴۰	۱۸۰۳۷
گوجه فرنگی	۱۲۶۴۰	۶۱۰	۱۳۲۵۰
یونجه	۱۳۲۶۹	۱۳۲۰	۱۴۵۸۹

منبع: یافته‌های تحقیق.

شایان ذکر است که سهم ردپاهای آب سبز و آب‌آبی در تولید هر هکتار از محصولات در حوضه آبریز با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۴۵ درصد محاسبه شد. مطابق (شکل ۴) سهم هر یک از اجزا در ردپای کل محصولات نشان داده شد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۴- سهم هر یک از اجزای ردپای آب محصولات زراعی حوضه آبریز (مترمکعب بر هکتار)

همان‌طور که در (شکل ۴) مشاهده شد، ذرت‌علوفه‌ای کمترین سهم در ردپای آب سبز (۱ درصد) در تولید هر هکتار را به خود اختصاص داد. در صورتی‌که سهم این محصول از ردپای آبی این محصول ۱۴/۵۲ درصد برآورد گردید. همچنین محصولات یونجه، جو، گندم و گوجه‌فرنگی بترتیب ۲۱/۸۵، ۲۰/۳۶، ۲۰/۰۳ و ۱۰/۰۹ درصد بیشترین سهم و مقدار قابل توجه‌ای از ردپای آب سبز را به خود اختصاص دادند. در مقابل سهم ردپای آب‌آبی محصولات ذکر شده بترتیب ۱۲/۳، ۲/۵، ۵/۷ و ۱۱/۷ درصد برآورد شد. مطابق نتایج مطالعات اشکتراب و همکاران (۱۴۰۰) سهم ردپای آب سبز برای محصولات یونجه، جو، گندم و گوجه‌فرنگی بیش از ۲۰ درصد و سهم ردپای آب‌آبی بطور متوسط ۱۲ تا ۱۶ درصد برآورد شد.

اجزا ردپای آب محصولات زراعی حوضه آبریز کشف رود در اراضی آبی در (جدول ۴) ارائه گردید. ردپای آب‌آبی برای محصول گندم معادل ۱۸۴۶/۵ متر مکعب بر تن نسبت به سایر محصولات بیشتر بود. همچنین ردپای آب سبز نیز در محصول جو معادل ۴/ ۳۹۹ متر مکعب و بیشتر از ردپای آب سبز گندم بود. کمترین ردپای آب سبز در محصولات ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی، پیاز، خیار، چغندرقند و گوجه‌فرنگی بترتیب ۱/۷، ۱۳، ۱۳/۰۴، ۱۳/۴، ۱۶/۸ و ۱۸/۲ مترمکعب بر تن محاسبه شد.

براساس آنچه توضیح داده شد، ردپای آب بیانگر میزان آب مصرفی واقعی محصول در سه جزء آبی، سبز و خاکستری بود. به‌منظور ارزیابی دقیق میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی از ردپای آب محصول در سناریوهای مختلف اقلیم بهره گرفته شد. در (جدول ۵) نتایج ارزیابی ردپای آب محصولات زراعی حوضه آبریز کشف رود در سناریوهای (خوشبینانه، میانه و بدبینانه) ارائه شد. نتایج نشان داد محصول یونجه با ۲۶۲۳/۲ مترمکعب بر تن در سناریو بدبینانه بیشترین و ذرت‌علوفه‌ای با ۵۰۲ مترمکعب بر تن کمترین ردپای آب در تولید محصول به خود اختصاص داد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۴- شبیه‌سازی اجزاء ردپای آب در محصولات منتخب حوضه آبریز ۲۰۱۳- ۲۰۴۰ (مترمکعب - تن)

محصول	ردپای آب آبی	ردپای آب سبز	جمع کل
گندم	۱۸۴۶/۵	۳۶۳/۴	۲۲۰۹/۹
جو	۸۷۰/۴	۳۹۹/۴	۱۲۶۹/۸
ذرت علوفه‌ای	۳۱۸/۴	۱/۷	۳۲۰/۱
خیار	۶۳۰/۵	۱۳/۴	۶۴۳/۹
پیاز	۳۴۶	۱۳/۰۴	۳۵۹/۰۴
سیب‌زمینی	۴۸۶/۳	۱۳	۴۹۹/۳
چغندرقند	۶۷۱	۱۶/۸	۶۸۷/۸
گوجه فرنگی	۳۷۷/۰۸	۱۸/۲	۳۹۵/۳
یونجه	۱۲۸۴/۵	۱۲۷/۸	۱۴۱۲/۳

منبع: یافته‌های تحقیق.

مجموع ردپای آب برای محصول گندم در (جدول ۴) برابر ۲۲۰۹/۹ مترمکعب بر تن محاسبه گردید. در صورتی که در جدول ۵ در سناریو بدبینانه مقدار ردپای آب برای گندم معادل ۲۴۶۵/۲ متر مکعب بر تن افزایش یافت. لذا بیشترین سهم آب را در الگوی کشت حوضه آبریز کشف رود در حالت معمول و بدون لحاظ تغییر شرایط اقلیمی را گندم دارا بود. بیشترین مقدار ردپای آب در سناریو اقلیمی بدبینانه علاوه بر گندم در سایر محصولات از جمله یونجه، جو، چغندرقند و سیب‌زمینی بترتیب معادل ۲۶۲۳/۲، ۱۵۰۵/۳، ۱۰۴۶/۹ و ۹۴۵/۷ متر مکعب بر تن برآورد شد. شایان ذکر است، مقدار مقدار ردپای آب محاسباتی یونجه بدون تغییر شرایط اقلیمی (جدول۴) برابر ۱۴۱۲/۳ مترمکعب بر تن و مقدار آن کمتر از محصول گندم برآورد شد، اما با تغییر شرایط اقلیمی و در شرایط بدبینانه مقدار ردپای آب در تولید محصول یونجه بیشتر از گندم بود.

جدول ۵- اثر تغییر اقلیم بر ردپای آب محصولات زراعی (مترمکعب- تن)

	مقدار ردپای آب محصول			
محصول	سال شبیه‌سازی	سناریو خوشبینانه	سناریو میانه	سناریو بدبینانه
گندم	۱۸۴۶/۵	۱۹۳۹	۲۰۵۵/۷	۲۴۶۵/۲
جو	۸۷۰/۴	۹۷۵	۱۲۷۰/۰۶	۱۵۰۵/۳
ذرت علوفه‌ای	۳۱۸/۴	۳۴۴/۵	۴۷۵/۲۰	۵۰۲
خیار	۶۳۰/۵	۷۷۴/۶	۸۴۶/۹	۹۳۴/۱۳
پیاز	۳۴۶	۴۳۰/۰۳	۵۶۹/۸	۵۹۷/۳
سیب‌زمینی	۴۸۶/۳	۷۳۶/۵	۸۳۴/۲	۹۴۵/۷
چغندرقند	۶۷۱	۷۶۳/۵	۹۱۴	۱۰۴۶/۹
گوجه فرنگی	۳۷۷/۰۸	۴۳۹/۳	۴۵۷	۵۸۴/۰۲
یونجه	۱۲۸۴/۵	۱۷۳۶/۶	۲۳۷۶/۳	۲۶۲۳/۲

منبع: یافته‌های تحقیق.

ارزیابی ردپای کربن

با توجه به اینکه بخش انرژی نیز سهم بسزایی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی رتبه اول تولید انرژی را به خود اختصاص داد. براساس گزارش کنوانسیون تغییر اقلیم رتبه ایران در سال ۲۰۱۷ از نظر تولید گاز دی اکسید

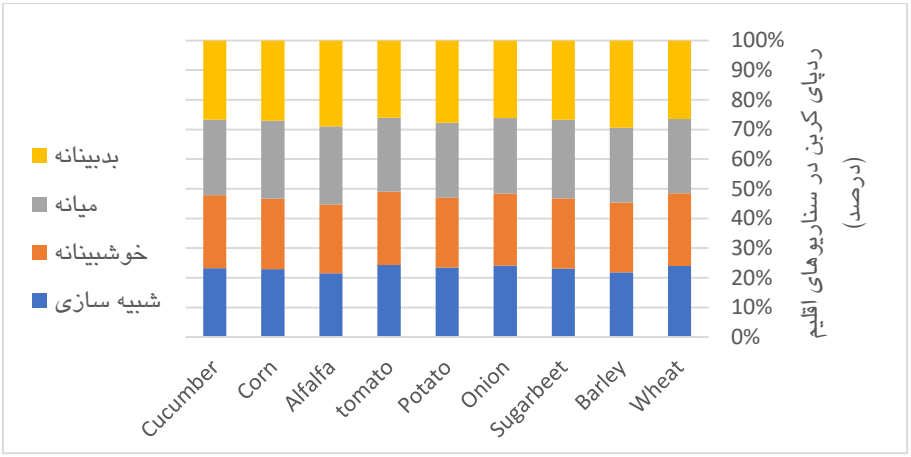
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کربن هفتم دنیا بود. بنابراین با بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن و همچنین کمی کردن میزان انتشار با استفاده از مقدار ردپای کربن می‌توان به کاهش اثرات تغییر اقلیم کمک کرد (ابوالقاسمی و همکاران ۱۳۹۸).

ارزیابی ردپای کربن و کاهش تشعشعات گازهای گلخانه‌ای از جمله مقیاس‌هایی بود که هر تولید کننده یا کشاورز باید آن‌ها را در فعالیت تولیدی مد نظر قرار دهد. براساس شکل ۵، در سناریو میانه بیشترین مقدار ردپای کربن به چغندرقند، پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار و ذرت‌علوفه‌ای و کمترین مقدار آن به محصولات جو، یونجه و سیب‌زمینی تخصیص یافت.

در راستای حداقل‌سازی ردپای انتشار گازهای گلخانه‌ای و آسیب آن بر محیطزیست ضروری است که سطح زیرکشت محصولات کشاورزی که اثرات زیست‌محیطی بالایی دارند بطور مثال چغندرقند، پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار و ذرت‌علوفه‌ای کاسته شود یا بعبارتی کاشت این محصولات با ملاحظات و رعایت حداقل‌های زیست‌محیطی انجام گیرد. در این راستا با توجه به کاهش سطح زیرکشت، توسعه کشت ارگانیک، کشت محصولات گلخانه‌ای با هدف افزایش عملکرد، جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدیریت مصرف بهینه آب، تأمین امنیت غذایی (از طریق کشت فراسرزمینی یا تهیه طرح آمایش سرزمین) در راستای اهداف محیطزیست توصیه گردید. از این طریق میتوان از یک سو علاوه بر رفع عدم تعادل در بازار محصولات، الگوی‌کشت محصولات منطقه را نیز به سمت تولید محصولاتی با اثر محیطزیستی کمتر از جمله گندم، جو، یونجه و ذرت‌علوفه‌ای هدایت کرد. لذا با اصلاح الگوی کشت محصولات با در نظر داشتن اثرات زیستمحیطی علاوه بر افزایش بهره‌وری در مصرف نهاده‌ها، ظرفیت‌های تولید بخش‌کشاورزی را نیز میتوان به حداکثر رساند و در عین حال از آسیب‌ها و پیامدهای مخرب ناشی از تولید محصول جلوگیری بعمل آورد.



شکل ۵- اثرات تغییر اقلیم بر ردپای کربن در بین محصولات زراعی حوضه آبریز کشف رود

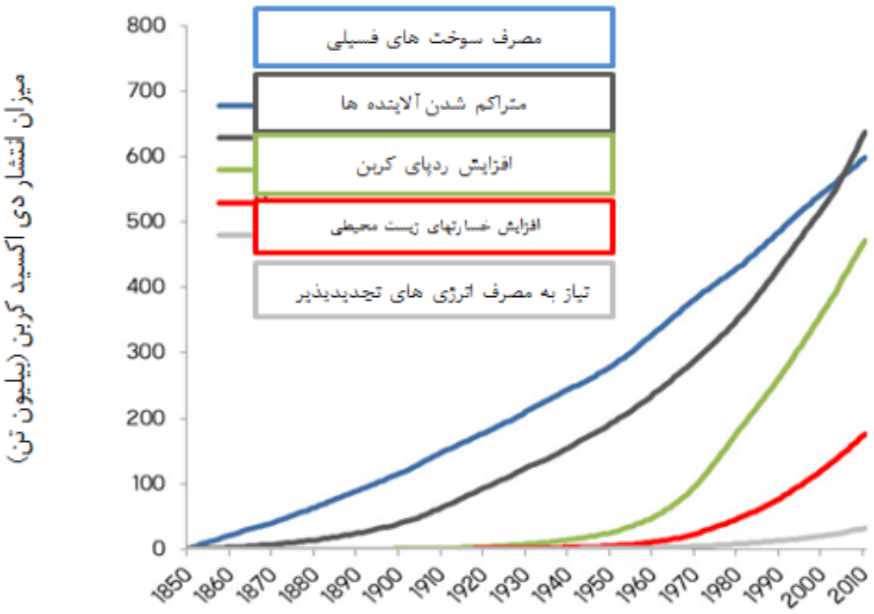
همچنین به‌منظور کنترل انتشار دی‌اکسید کربن در بخش کشاورزی و نقش مهم حامل‌های انرژی در این بخش، بایستی توجه خاصی به میزان و نوع حامل‌های انرژی مصرفی، نوع و میزان مصرف نهاده شود و با بهبود کارایی انرژی در بین محصولات مختلف و همچنین با جایگزینی انرژی‌های پاک به جای سوخت‌های فسیلی در بخش کشاورزی در جهت کاهش و تقلیل میزان انتشار دی‌اکسید کربن تلاش کرد.

رشد توسعه صنعتی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی علاوه بر بروز خسارت‌های زیست‌محیطی، رشد بی‌رویه آلاینده‌ها در محیط زیست را نیز در پی داشته و از طرفی افزایش ردپای کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش روند تغییرات اقلیم را به‌دنبال دارد (عابدی و سلطانی ۱۳۹۶). در صورت ادامه این روند بدون استفاده از انرژی‌های سازگار با اکوسیستم (انرژی‌های تجدیدپذیر) عدم

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پایداری در توازن اکوسیستم ایجاد خواهد شد. مصرف سوخت‌های فسیلی علاوه بر آسیب اکوسیستم باعث بروز پدیده‌های تغییر اقلیم می‌شود (شکل ۶). این روند با استفاده از استراتژی‌های توسعه پایدار از جمله بهره‌وری در جهت بازیافت پسماندها و تشویق صنایع به استفاده از تکنولوژی‌های پاک در جهت حفظ و بقای اکوسیستم و در نهایت در ایجاد توازن زیست بوم امری مفید و مؤثر خواهد بود.



شکل۶- روند مصرف سوخت‌های فسیلی و تأثیر آن بر محیط‌زیست

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مطالعه حاضر اثرات تغییر اقلیم بر میزان عملکرد، نیازآبی محصولات زراعی و ردپاهای آب محصول و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این امر، در گام اول ابتدا حوضه آبریز مورد مطالعه در نرم‌افزار WEAP مدل‌سازی شد. گام دوم از مدل کالیبره شده برای ارزیابی سناریوهای اقلیمی بر میزان عملکرد و نیازآبی محصولات بهره گرفته شد. همچنین به‌منظور مدیریت منابع آب در بین محصولات زراعی مورد بررسی ردپاهای آب و انرژی ارزیابی شد. نتایج نشان داد در سناریو.های تغییر اقلیم نیاز آبی محصولات منتخب افزایش و عملکرد محصولات کاهش یافت. محاسبه اجزاء ردپاهای آب آبی و آب سبز در هکتار محصولات مورد مطالعه نشان داد که بیشترین ردپای آب با حدود ۱۸ هزار مترمکعب متعلق به هر هکتار محصول چغندرقند و بعد از آن ذرت‌علوفه‌ای، پیاز، یونجه، گوجه‌فرنگی و خیار بترتیب معادل ۱۵، ۱۴، ۱۴، ۱۳ و ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار را به خود اختصاص دادند. قابل ذکر است ردپای آب برای محصول گندم و جو بترتیب معادل ۷۳۵۹ و ۳۹۱۱ مترمکعب در هکتار بود.

با توجه به نتایج حاصل از تحقیق پیشنهادات زیر ارائه شده است:

با توجه به مسئله کمبود آب در ایران و حوضه‌های آبریز به‌خصوص در حوضه آبریز کشف رود که یکی از بحرانی‌ترین حوضه‌ها از نظر میزان بارش و منابع آب زیرزمینی معرفی شد، ضرورت توجه به افزایش بهره‌وری آب در این حوضه برای پژوهشگران امری چالش‌برانگیز بود. در این راستا با مدیریت صحیح مصرف آب، راندمان آبیاری، کم‌آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌توان اثرات فاکتورهای اقلیمی و کاهش بارندگی در کشور را جبران نمود و با تغییر الگوی کشت در راستای توسعه حفاظت محیط‌زیست،

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پایداری کشـــاورزی، خودکفایی و حفظ امنیت‌غذایی گام مهمی برداشت.

ردپـای آب محصـــولـات را نیز می‌توان با افزایش بازده محصـول، استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد، کـاهش تبخیر و تعرق، کـاهش هدر رفت کود، اســـتفاده مؤثر از بارش، بهینه‌ســازی کاشـت محصـول و انتخاب محصولات زراعی با عملکرد بیشتر کاهش داد.

تغییرات اقلیمی حاکم بر حوضه آبریز کشف رود منابع آبی این حوضه را بشدت از جنبه عرضه و تقاضا تهدید نموده، بنابراین سیاست‌های اجرایی با هدف جلوگیری از آسیب‌های افزایش دما نظیر توسعه گلخانه‌ها و اقداماتی نظیر مدیریت بهینه منابع آب و انرژی و تخصیص متعادل این منابع از اثرات منفی پدیده‌های اقلیمی بر بخش کشاورزی ممانعت بعمل آورد.

در راستای حداقل‌سازی ردپاهای آب و انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آسیب آن بر محیط‌زیست، بایستی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی که اثرات زیست‌محیطی بالایی دارند، بطور مثال چغندرقند، پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار و ذرت‌علوفه‌ای کاهش یابد. بعبارتی کاشت این محصولات با ملاحظات و رعایت حداقل‌های زیست‌محیطی انجام گیرد. همچنین جایگزینی الگوی‌کشت محصولات به سمت تولید محصولاتی با اثرات زیست محیطی کمتر از جمله گندم، جو، یونجه و ذرت‌علوفه‌ای در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

مطالعه حاضر از پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی اقتصـاد کشـاورزی مصـوب در دانشگاه زابل استخراج شـد. نویســندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشــکر صـــمیمـانـه خود را از حمـایـت‌هـای مـادی و معنوی دانشـــگاه‌های زابل و علوم کشـــاورزی و منابع طبیعی خوزسـتان، همکاری اساتید راهنما و مشاورین همچنین آقایان مهندس حمید عمرانیان (مدیرعامل شرکت مشاور هیـدروتـک توس) و دکتر حمیـد آهنی بخـاطر در اختیار گزاشتن اطلاعات تکمیلی موردنیاز و بسیار زیادی که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

منابع مورد استفاده

Abedi Z and Soltani P. 2016. Reducing the carbon footprint is an effective tool to deal with the unusual effects of climate change (by examining industry, agriculture, and construction separately), the 4th International Conference on Environmental Planning and Management. (In Persian).

Abolghasemi M, Mousavi Reine SM and Yousefi, H. 2018. Carbon footprint and its calculation methods with emphasis on electricity production from fossil and renewable sources, Renewable and New Energy Scientific Quarterly, pages 34-41. (In Persian).

Ashk-Trab N and Zibaee M. 1400. Water footprint accounting of main crops in Fars province, Agricultural Economics Research, Volume 13, Number 1, Pages 207-234. (In Persian).

Ababaei, B and Ramezani Etedali, H. 2017. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agriculture Water Management, 179: 401-411.
(In Persian).

Ababaei, B and Ramezani Etedali, H. 2014. Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. Journal Environmental Process, 1:193-205. (In Persian).

Casolani, N, Pattara C and Liberator L. 2016. Water and Carbon footprint perspective in Italian durum wheat production. Land Use Policy, 58: 394–402.

Daneshgar H, Bagheri M, Mardani Najafabadi M, Alijani F and Yavari F. 1400. The effects of climate change on the hydrological and economic conditions of Bushkan plain farmers. Agricultural Economics Research, 13(2): 259-280. (In Persian).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Dhaubanjar S, Davidsen C and Bauer-Gottwein P.2017. Multi-Objective Optimization for Analysis of Changing Trade-Offs in the Nepalese Water–Energy–Food Nexus with Hydropower Development. Water, 9: 162.

Esteve P, Varela-Ortega C, Blanco-Gutiérrez I and Downing T.E. 2015. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Ecological Economics, 120: 49-58.

Fan Z, Yanpeng C, Qian T, Benard A and Engel X.W. 2021. An optimal modeling approach for reducing carbon footprint in agricultural water-energy-food nexus system, Journal of Cleaner Production 316 (2021) 128325.

Godarzi M. 2019. Familiarity with climate change and its effects on water consumption in agriculture, Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Central Province, Office of Knowledge Network and Extension Media. (In Persian).

Hoff H. 2011. Understanding the NEXUS .Background paper for the Bonn nexus conference: The water, energy, and food security nexus solutions for the green economy. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

Hoekstra AY and Chapagain, AK. 2008. Globalization of Water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Kalbali E, Ziaee S, Najafabadi Mardani M and Zakerinia. 2021. Approaches to adapting to impacts of climate change in northern Iran: The application of a Hydrogy-Economics model. Journal of Cleaner Production, 280: Part 1, 124067.

Khalili T, Sarai Tabrizi M, Babazadeh H and Ramezani H. 2018. Management of water resources of crops in Qom province using the concept of water footprint, Ecohydrological, 6(4): 1109-1119. (In Persian).

Liani Q and Bakhshudeh M. 2021. The effects of climate change on the agricultural sector of the Khairabad river basin: the application of the WEAP model, Agricultural Economic Research Quarterly, 13(4):208-223. (In Persian).

Li M, Fu Q, Singh VP, Liu D and Li T. 2019. Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. Advances in Water Resources, 127: 209-224.

Mirzaei Sh, Mosaedi A and Zarghami, M. 2017. Investigating the importance of the water-energy-food security link in the Zarineh River basin, Iran, the 5th international conference on technology and energy management with the approach of linking energy, water and environment. Tehran. (In Persian).

Nik Mehr S and Sebet M. 2019. Evaluation of the effects of climate change on the hydrological and economic conditions of South Karkheh Basin, Journal of Economics and Agricultural Development, pages 63-79. (In Persian).

Sarabi M, Dasturani MT and Zareen A. 2019. Investigating the effects of future climate change on temperature and precipitation (a case study of Sed Targ watershed), Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences, 3(1): 83-63. (In Persian).

Salehi Kemerodi M and Shakri Bostanabad M. 2018. Investigating the impact of climate change on agricultural production and food security in East Azarbaijan Province, Journal of Environmental Studies, Volume 4, Number 3, and Pages 1801-1809.

Studies on updating the balance of water resources of Qaraqom watershed, 2014.

Wheeler T and von Braun J. 2013. Climate change impacts global food security. Science, 341(6145): 508-13.

Zhang S, Taiebat, M, Liu Y, Qu S, Liang S, and Xu M. 2019. Regional water footprints and interregional virtual water transfers in China. Journal of Cleaner Production, 228, 1401-1412.

Archive of SID.ir