

اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی و اقتصادی کشاورزان

دشت بوشکان

حمیده دانشگر^۱، مهرداد باقری^۲، مصطفی مردانی نجف آبادی^{۳*}، فاطمه علیجانی^۲ و غلامرضا یآوری^۴
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

چکیده

برای کاهش اثرات پدیده تغییر اقلیم و بحران کم آبی بر بخش‌های گوناگون اقتصادی بویژه بخش کشاورزی، مدیریت جامع منابع آب ضروری است. هدف این پژوهش، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی و الگوی کشت در محدوده دشت بوشکان از شهرستان دشتستان در استان بوشهر است. در این پژوهش برای بررسی وضعیت هیدرولوژیکی، عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی از مدل WEAP ماژول اقتصادی-زراعی آن MABIA استفاده شد. برای اعمال سناریوی تغییر اقلیم، از داده‌های هواشناسی شبیه سازی شده توسط مدل LARS_WG برای دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۵۰ در قالب دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه کمک گرفته شد. داده‌های مورد نیاز، از راه تکمیل و استخراج پرسشنامه مربوط به ۱۰۰ بهره بردار در سال زراعی ۹۶-۹۷ گردآوری شد. سپس با استفاده از مدل برنامه ریزی ریاضی مثبت، اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت برآورد شد. نتایج نشان داد که با اعمال سناریوهای پژوهش، مقدار آب در دسترس در دوره ۲۰۱۹-۲۰۵۰ به صورت میانگین ۱۴,۴ تا ۱۸,۵ درصد کاهش می‌یابد. با اعمال این تغییرات در مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت مشخص شد که در سناریوی خوش‌بینانه، سطح زیر کشت و سود ناخالص به ترتیب ۲۵,۵ و ۴۲,۴۵ درصد و در سناریوی بدبینانه، ۳۸,۶۳ و ۵۵,۲۶ درصد کاهش می‌یابد.

طبقه بندی JEL : C61، Q54، Q15.

واژه‌های کلیدی: استان بوشهر، الگوی کشت، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، مدل LARS-WG، مدل WEAP.

^۱ - دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

^۲ - استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

^۳ - استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

^۴ - دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

* - نویسنده مسئول مقاله m.mardani@asnrukh.ac.ir

پیش‌گفتار

منظور از تغییر اقلیم تغییرات میانگین مقادیر طولانی مدت (چندین دهه) یک پارامتر اقلیمی مانند دما و بارش می‌باشد (Darand, 2015). در واقع این پدیده بر الگوی بارش و دما در آینده تأثیرگذار می‌باشد و در پی آن در آینده رودخانه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی تغییراتی ایجاد نموده و در نتیجه بر تأمین نیاز کشاورزی، شرب و صنعت اثرگذار خواهد بود (Koutroulis *et al.*, 2013). در منطقه خاورمیانه تغییر اقلیم چالشی بزرگ بشمار می‌رود؛ بویژه اگر به افزایش خشکسالی‌های پی در پی و هم‌چنین، به رشد تقاضا برای آب و کمبود آب توجه شود، این چالش ابعادی گسترده به خود می‌گیرد (Khosravi *et al.*, 2010). متأسفانه ایران نیز از این تغییرات مستثنی نبوده و اثرات آن در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور مشاهده شده است. در گزارش سال ۲۰۰۷ هیئت بین دول تغییر اقلیم^۱، اطلاعات ۵ ایستگاه هواشناسی با کمینه ۱۰۰ سال داده در کشور تحلیل شده است که نتایج آن برای همه ایستگاهها افزایش معنی‌دار میانگین دمای سالانه را نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های این هیئت برای ایران تحت سناریو تغییر اقلیم A1 نیز نشان‌دهنده افزایش متوسط درجه حرارت تا ۲ درجه سانتی‌گراد در ۳۰ سال آینده و ۴-۳/۵ درجه سانتی‌گراد تا ۱۰۰ سال آینده خواهد شد (Hosseini *et al.*, 2013). وقوع چنین شرایطی اگرچه بر همه بخش‌های اقتصادی کشور اثر گذار است، اما با توجه به وابستگی بالای محصولات کشاورزی به وضعیت آب و هوایی، شرایط تولید در بخش کشاورزی را با محدودیت‌های اساسی رو به رو می‌سازد. از این رو بررسی اثر تغییر اقلیم بر وضعیت تولید محصولات بخش کشاورزی کشور و رفاه کشاورزان به عنوان قشر آسیب پذیر جامعه از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های متعددی به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر وضعیت کشاورزی وجود دارد. برخی مطالعات برای این منظور از تلفیق سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های آماری و برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده نمودند.

Mozafari *et al.* (2015) ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های سری زمانی و مدل‌های گردش عمومی جو، متغیرهای اقلیمی را در سناریوهای انتشار مورد بررسی قرار دادند. سپس با استفاده از روش تحلیل رگرسیون، اثر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصولات منتخب اراضی پایین دست سد طالقان را مورد بررسی قرار دادند. در مرحله بعد با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مثبت، تغییرات بوجود آمده در تولیدات بخش کشاورزی و سودناخالص کشاورزان را نسبت به سال پایه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۶۰ میانگین دما و بارش به ترتیب ۱/۶۴ تا ۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۰/۹۲- و ۱/۱- میلیمتر تغییر می‌کند و سبب کاهش عملکرد اغلب محصولات کشاورزی می‌شود. هم‌چنین، مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب به مقدار ۲/۱۸ تا ۴/۰۹ درصد و مجموع سود ناخالص کشاورزان به مقدار ۱/۹۳ تا ۳/۷۲ درصد کاهش می‌یابد. مطالعات

Mahmoudi & Parhizgar (2016) و Deylami *et al.* (2019) نیز از روش بالا برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر وضعیت اقتصادی کشاورزان استفاده کرده‌اند. نتایج این مطالعات نشان دادند که تغییر اقلیم موجب بهبود عملکرد محصولات و افزایش سود کشاورزان خواهد شد.

اما با توجه به این که تغییر اقلیم اثر مستقیمی بر وضعیت هیدرولوژیکی و مقدار آب در دسترس و در نتیجه عملکرد محصولات کشاورزی دارد، مطالعات متعددی از مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت کشاورزی استفاده کرده‌اند.

¹ - Intergovernmental Panel on Climate Change

Hosseini *et al.* (2013) در مطالعه‌ای با استفاده از خروجی مدل‌های هواشناسی و مدل شبکه‌های عصبی هیدرولوژیک، توابع واکنش عملکرد محصول-آب و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، اثر تغییر اقلیم را بر مقدار آب در دسترس، عملکرد محصولات کشاورزی و در نتیجه وضعیت اقتصادی کشاورزان حوضه آبریز زاینده رود را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تا نیمه‌های این قرن تغییر اقلیم منجر به کاهش بارش‌ها و افزایش مقدار پارامترهای دمایی حوضه می‌شود که نتیجه مستقیم این تغییرات، کاهش منابع آب به مقدار ۳/۴ و ۸/۱ درصد تا افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ خواهد بود. نتایج مدل اقتصادی نشان می‌دهد که در حالت سناریو بدبینانه تغییر اقلیم، سود کشاورزان در افق ۱۴۵۰ به مقدار ۶۰ درصد کاهش خواهد یافت.

اما مدل WEAP^۱ از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی است که برای شبیه‌سازی و آنالیز سناریوها تغییر اقلیم و تأثیر آن‌ها بر منابع آب حوضه آبریز به صورت یکپارچه بکار می‌رود. این مدل توسط موسسه محیط‌زیست استکهلم^۲ توسعه یافته است (Bagheri *et al.* (2013) و Agarwal *et al.* (2018) از مدل WEAP-MABIA در کنار داده‌های هواشناسی مدل GDFL-ESM2M که با سناریو تغییر اقلیم RCP 4.5 می‌باشد را برای تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی تقاضای آب کشاورزی در حوزه رودخانه آور کشور هندوستان طی دوره تاریخی ۲۰۱۵-۲۰۳۰ استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در دوره تاریخی مورد بررسی الگوی بارش به مقدار زیادی تغییر می‌کند. همچنین، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تغییر الگوی بارش بر مقدار آب در دسترس بخش کشاورزی و در نتیجه عملکرد محصولات این بخش اثرگذار است. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به Ngo *et al.* (2016) و Mehta *et al.* (2013) اشاره کرد.

اما از جمله ایرادات مدل‌های هیدرولوژیکی مانند WEAP این است که با استفاده از این مدل‌ها، نمی‌توان اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت اقتصادی کشاورزان و سود آن‌ها را به صورت کامل بررسی کرد. از سوی دیگر، در این مدل سیستم‌های کشاورزی معمولاً با الگوی کشت ثابت در مناطق گوناگون مشخص می‌شوند و تخصیص آب معمولاً بر اساس اولویت میان بخش‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین، WEAP نمی‌تواند به گونه دقیق چگونگی سازگاری سیستم‌های تولید کشاورزی در برابر تغییرات اقلیم و مقدار آب در دسترس را به خوبی مشخص کند. با توجه به ایرادات WEAP، برخی پژوهش‌ها این مدل را با برنامه‌ریزی ریاضی مزرعه محور تلفیق نموده و از مدل WEAP اقتصادی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی و اقتصادی استفاده نموده‌اند. (Esteve *et al.* (2015) از تلفیق مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی مزرعه محور، WEAP و ماژول MABIA بمنظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و روش‌های انطباق با آن در حوضه رودخانه گوادیانا (پرتغال و اسپانیا) استفاده کردند. در این مطالعه اثر سناریو تغییر اقلیم A2 بر وضعیت هیدرولوژیکی و کشاورزی حوضه گوادیانا تا افق ۲۰۷۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان دادند که تغییر اقلیم موجب افزایش نیاز آبی و کاهش عملکرد محصولات گندم، ذرت، برنج و زیتون خواهد شد. در مطالعه‌ای دیگر Forni *et al.* (2016) از مدل‌سازی هیدرولوژیکی-اقتصادی Economic WEAP برای پیش‌بینی اقدامات اقتصادی کشاورزان در پاسخ به تغییرات آب در دسترس در حوضه آبریز سن خواکین (ایالات متحده) طی دوره تاریخی ۲۰۹۹-۲۰۱۳ استفاده کردند.

در این پژوهش از مدل WEAP و ماژول اقتصادی-زراعی آن MABIA برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی دشت بوشکان، همچنین عملکرد و نیاز آبی محصولات کشاورزی آن استفاده شده است. در

^۱ - Water Evaluation and Planning

^۲ - Stockholm Environment Institute

ادامه بمنظور بررسی دقیق چگونگی سازگاری سیستم‌های تولید کشاورزی در برابر تغییرات اقلیم و کاهش مقدار آب در دسترس از مدل اقتصادی برنامه‌ریزی مثبت استفاده شد.

روش پژوهش

دشت بوشکان یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان بوشهر می‌باشد که به عنوان قطب کشاورزی استان و شهرستان دشتستان بشمار می‌رود. هم اکنون دشت بوشکان دارای شش منطقه کشاورزی بوشکان، امامزاده بده، حاجی آباد، ایلشهر، منصور آباد، شلدان می‌باشد. از مهم‌ترین محصولات کشت شده در این مناطق می‌توان به گندم، گوجه فرنگی، هندوانه و خربزه اشاره نمود. این دشت از نظر اقلیمی، منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک بوده و با توجه به مشکل کم آبی شدید، از سوی وزارت نیرو، به عنوان یکی از دشت ممنوعه استان بوشهر معرفی شده است (Ghobadi et al., 2014).

هیئت بین دول تغییر اقلیم در زمینه بررسی جامع مسئله تغییر اقلیم، تاکنون پنج گزارش منتشر کرده است که این گزارش‌ها مبنای مطالعات تغییر اقلیم را تشکیل می‌دهند (Mansoori et al., 2018). در مدل‌های گزارش چهارم از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است. این هیئت در تدوین گزارش چهارم^۱ ارزیابی خود در مجموع ۴۰ سناریوهای متفاوت^۲ SRES معرفی کرده است. این سناریوها در برگرفته طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد (Dong et al., 2015). سناریوهای اصلی گزارش چهارم شامل موارد B1, B2, A2 و A1B می‌باشند (Kouhestani et al., 2017). معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشند. این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند، استوار می‌باشند (Yaghoubzadeh et al., 2017). در این پژوهش از خروجی‌های یکی از مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو با نام HadCm3 جهت بررسی تغییرات بارندگی و دما تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه A1B و A2 و در محدوده مطالعاتی بوشکان استفاده شده است. برای این منظور از داده‌های روزانه بیشینه و کمینه دما و بارش ایستگاه بوشهر در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. سپس سناریوهای تغییر اقلیم برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۵۰ شبیه‌سازی شده است.

مدل WEAP در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده دوباره، هزینه‌ها و تخصیص) را همگام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و مخازن آب) را لحاظ می‌کند. این مدل از یک روش برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن بیشینه کردن درصد تأمین تقاضای بخش‌های گوناگون با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر محدودیت‌ها است. این مدل در هر گام زمانی، معادله تعادل جرمی آب را برای هر گره و شاخه محاسبه می‌کند. گام‌های زمانی با توجه به بزرگی حوضه می‌تواند کوچک (روزانه یا ده‌روزه) یا بزرگ (ماهانه یا بیش‌تر) در نظر گرفته شود (Shahraki et al., 2018).

در مدل WEAP نیاز کل سیستم به صورت (۱) بدست می‌آید (Sieber & Huber-Lee, 2005).

¹ - Fourth Assessment Report (AR4)

² - Special Report on Emissions Scenarios

$$AD = \sum(TAL \times WUR) \quad (1)$$

که در آن AD نیاز آب سالانه، TAL سطح فعالیت کل که بسته به نوع گره تقاضا متفاوت می‌باشد. سطح فعالیت برای مناطق مسکونی نفر و کشاورزی هکتار باشد و WUR سرانه مصرف آب که واحد آن مترمکعب در سال می‌باشد. رواناب در مدل WEAP با استفاده از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$R = \text{MAX}(0, PAE - ETP) + (P \times (1 - PE)) + ((1 - IF) \times S) \quad (2)$$

در رابطه بالا R رواناب، PAE مقدار بارندگی که مستقیماً تبخیر می‌شود، ETP تبخیر و تعرق پتانسیل، P بارش، PE بارش مؤثر، IF جزء آبیاری و S حجم ذخیره می‌باشد (تمام اجزا بر حسب میلیمتر). همچنین، برای محاسبه مقدار تغذیه آب‌های زیرزمینی از رواناب‌ها و محاسبه آب‌های سطحی از روابط (۳) استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} RTG &= \sum(R \times RTGF) \\ RTS &= \sum(R \times (1 - RTGF)) \end{aligned} \quad (3)$$

در روابط بالا RTG تغذیه آب زیرزمینی (مترمکعب)، $RTGF$ ضریب تغذیه آب زیرزمینی و RTS تغذیه از آب سطحی (مترمکعب) می‌باشد. جریان آب در رودخانه در پایین دست در مدل نیز با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$DO = UI + SI + GFTR - RFTG - E \quad (4)$$

که در آن DO جریان آب در پایین دست، UI جریان آب در بالادست، SI ورود جریان آب سطحی، $GFTR$ تغذیه توسط آب زیرزمینی، $RFTG$ تخلیه به آب زیرزمینی و E تبخیر می‌باشد (تمام اجزاء بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد).

الگوی WEAP دارای ۵ ماژول برای شبیه‌سازی فرآیندهای حوضه مانند تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و آبیاری است که شامل نیازهای آبیاری، بارش رواناب، رطوبت خاک، MABIA و مدل رشد گیاه می‌باشد. ماژول MABIA یک روش شبیه‌سازی روزانه تبخیر-تعرق، برنامه‌ریزی آبیاری، رشد و عملکرد محصول می‌باشد که شامل ماژول‌هایی برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع و ظرفیت آب خاک است. روش MABIA از روش ضرایب گیاهی دوگانه که در مقاله آبیاری زهکشی فائو ۵۶ ارائه شده، استفاده می‌کند (Jabloun & Sahli, 2012).

در این مطالعه بمنظور بررسی اثرات سناریوهای اقلیمی بر تغییر الگوی کشت از مدل اقتصادی PMP استفاده می‌شود. نیاز روزافزون به الگو و شبیه‌سازی توابع رفتاری در شرایط فنی، اقتصادی، سیاسی و زیست محیطی، استفاده از الگوهای PMP که فاقد معایب الگوهای برنامه‌ریزی هنجاری بوده و دارای توانایی کالیبراسیون می‌باشد را

تقویت کرده است (Howitt, 2005). یک مدل PMP شامل سه مرحله می‌باشد. در مرحله نخست، یک مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی (LP) با تابع بیشینه‌سازی سود کشاورزان منطقه و محدودیت‌های کالیبراسیون به همراه محدودیت‌های منابع با هدف برآورد قیمت‌های سایه‌ای سطح زیرکشت محصولات، تشکیل می‌شود. در مرحله نخست، با فرض بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای، الگوی اولیه به صورت مدل (۵) تصریح می‌گردد. این الگو با استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون مقادیر سال پایه را باز تولید می‌کند (Arfini et al., 2003 and Roham et al., 2003):

$$\text{Max}Z = p'x - c'x$$

s.t :

$$Ax \leq b \quad [\lambda] \quad (۵)$$

$$x \leq \bar{x} + \varepsilon \quad [\rho]$$

$$x \geq 0$$

در این الگو، Z ارزش تابع هدف، ρ ماتریس $(n \times l)$ قیمت‌های مشاهده شده محصولات، x ماتریس $(n \times l)$ سطوح فعالیت‌های تولیدی، c ماتریس $(n \times l)$ از هزینه متغیر هر واحد از فعالیت، A ماتریس $(m \times n)$ ضرایب فنی در محدودیت‌های منابع، b ماتریس $(m \times l)$ مقادیر منابع در دسترس و \bar{x} ماتریس $(n \times l)$ از سطوح مشاهده شده فعالیت‌های تولید می‌باشد. مقدار ε مرتبط با محدودیت‌های کالیبراسیون (مجموعه محدودیت دوم)، سبب تمایز این محدودیت‌ها از محدودیت‌های فیزیکی منابع (مجموعه محدودیت نخست) می‌شود. دو مجموعه محدودیت یاد شده منجر به تولید دو مجموعه از مقادیر دوگان خواهد شد. λ ، ارزش سایه‌ای دوگان مرتبط با محدودیت فیزیکی منابع و بردار عناصر ρ شامل مقادیر دوگان مربوط به مجموعه محدودیت کالیبراسیون است. در مرحله دوم، مقادیر دوگان بدست آمده از مرحله نخست برای برآورد پارامترهای تابع هدف غیرخطی بکار می‌روند؛ به گونه‌ای که سطوح فعالیت مشاهده شده در دوره پایه به وسیله الگوی غیرخطی یاد شده و بدون استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون بازتولید شود. فرض می‌شود تابع هزینه چند محصولی دارای شکل تابعی درجه دوم، مشابه رابطه (۶) باشد (Howitt, 1995):

$$C^v(x) = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \quad (۶)$$

که در آن d' بردار $(n \times l)$ از پارامترهای جزء خطی تابع هزینه، Q ماتریس نیمه معین مثبت با ابعاد $(n \times n)$ از پارامترهای جزء درجه دوم تابع هزینه می‌باشد (Howitt, 1995). براساس رابطه (۷) بردار هزینه نهایی (MC^v) مربوط به تابع هزینه بالا برابر با مجموع بردار هزینه c و بردار هزینه نهایی تفاضلی ρ می‌باشد (Paris & Howitt, 1998).

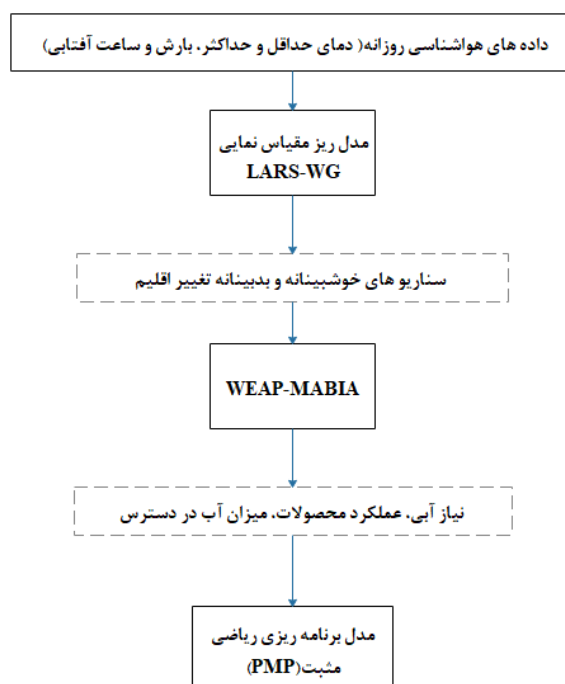
$$MC^v = \nabla C^v(x)'_{x_0} = d + Q_{x_0} = c + \rho \quad (۷)$$

در گام سوم، تابع هزینه غیر خطی برآورده شده در مرحله پیش در تابع هدف مسئله مورد استفاده قرار می‌گیرد و تابع هدف غیر خطی یاد شده در یک مسأله برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئله اولیه به استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون، ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی به صورت مدل (۸) بکار می‌رود:

$$\begin{aligned} \text{Maximize } Z &= p'x - d'x - \frac{1}{2}x'Qx \\ \text{st : } Ax &\leq b \quad [\lambda] \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

در رابطه (۸) بردار d' و ماتریس Q پارامترهای کالیبره شده تابع هدف غیر خطی را نشان می‌دهند. اکنون مدل غیرخطی کالیبره شده بالا به گونه صحیح سطوح فعالیت‌های مشاهده شده در وضعیت پایه و مقادیر دوگان محدودیت‌های منابع را باز تولید می‌کند و جهت شبیه‌سازی تغییرات در پارامترهای مورد نظر آماده می‌باشد. مدل مرحله سوم در مقایسه با مدل مرحله نخست فاقد محدودیت‌های کالیبراسیون بوده و تابع هدف آن نیز غیرخطی می‌باشد.

شکل ۱ چارچوب مفهومی روش به کار گرفته در این مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، هدف از انجام این مطالعه ابتدا شبیه‌سازی وضعیت هیدرولوژیکی دشت بوشکان در حالت تغییر اقلیم است. برای این منظور ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم در مدل LARS-WG شبیه‌سازی شده‌اند. سپس این سناریوها وارد مدل WEAP شده و اثرات آنها بر آب در دسترس هر منطقه، نیاز آبی و عملکرد محصولات مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت و درآمد کشاورزان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مثبت در دشت بوشکان مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱- چارچوب مفهومی مدل بررسی اثر تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی و کشاورزی دشت بوشکان

Fig. 1- Conceptual framework of the model to study the effect of climate change on the hydrological and agricultural situation of Bushkan plain

بمنظور انجام این مطالعه، آمار و اطلاعات از منابع گوناگونی گردآوری شده است. داده‌هایی مانند مقدار تغذیه سالانه و ظرفیت آبخوان دشت بوشکان از اداره آب منطقه‌ای استان بوشهر گردآوری سپس بمنظور شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه از نرم افزار WEAP استفاده شد. داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه و بارش از اداره کل هواشناسی استان بوشهر برای دوره پایه ۲۰۱۸-۱۹۸۰ گردآوری و سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از نرم افزار LARS-WG 5 ایجاد شدند. همچنین، داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل اقتصادی برنامه‌ریزی مثبت، از راه مصاحبه حضوری با کشاورزان دشت بوشکان و تکمیل پرسش‌نامه در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ بدست آمد. براین اساس، ابتدا حجم نمونه با استفاده از روش کوکران تعیین شده و تعداد ۱۰۰ پرسش‌نامه از راه نمونه‌گیری تصادفی گردآوری شد. در نهایت، بمنظور اجرای مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت از نرم افزار GAMS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مدل LARS-WG نشان دادند که با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم A2 و A1B، میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی بارش و دمای کمینه و بیشینه در دوره ۲۰۱۹-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه به صورت جدول ۱ تغییر می‌کنند.

جدول ۱- اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی

Table 1 - The effect of climate change scenarios on meteorological variables

سناریوهای تغییر اقلیم Climate change scenarios				دوره پایه Basic course	متغیر اقلیمی Climate variable
A2		A1B			
اختلاف Difference	میانگین Average	اختلاف Difference	میانگین Average	میانگین Average	
-15.61	251.18	-10.17	256.62	266.79	بارش (میلیمتر) Rainfall(mm)
1.2	22.02	0.52	21.34	20.82	دمای کمینه (درجه سانتیگراد) Min temperature(c)
1.14	31.19	0.46	30.51	30.05	دمای بیشینه (درجه سانتیگراد) Max temperature(c)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

براساس جدول ۱، میانگین بارش سالانه درحوضه بوشکان برابر ۲۶۶/۷۹ میلی متر می‌باشد. همچنین، میانگین دمای کمینه و بیشینه در دوره پایه به ترتیب برابر ۲۰/۸۲ و ۳۰/۰۵ درجه سانتی‌گراد است. براساس نتایج سناریو A1B، تا افق ۲۰۵۰ مقدار بارش در دشت بوشکان به مقدار ۱۰/۱۷ میلی متر کاهش می‌یابد و دمای کمینه ۰/۵۲ و دمای بیشینه ۰/۴۶ افزایش می‌یابند. از سوی دیگر، با اعمال سناریو A2 مقدار بارش در افق ۲۰۵۰ به مقدار ۱۵/۶۱ میلی متر کاهش می‌یابد. همچنین، دمای کمینه و بیشینه به مقدار ۱/۲ و ۱/۱۴ درجه افزایش می‌یابد. نتایج بالا بیانگر تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه در افق ۲۰۵۰ می‌باشد.

با اعمال سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه A1B و A2 در مدل WEAP، مقدار تغییر آب در دسترس دشت بوشکان در دوره شبیه‌سازی ۲۰۱۹-۲۰۵۰ مشخص شد. براین اساس میانگین درصد تغییر آب در دسترس در دوره مورد بررسی برای مناطق گوناگون دشت بوشکان در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم مقدار آب در دسترس مناطق گوناگون کاهش می‌یابد. بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر بر مقدار آب در دسترس مربوط به نواحی کشاورزی شلدان و بوشکان می‌باشد. براساس نتایج در حالت اعمال سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه مقدار آب در دسترس شلدان به ترتیب به مقدار ۲۰/۷۱ و ۲۶/۸۱ درصد و در منطقه بوشکان به مقدار ۸/۵۲ و

۱۴/۸۴ درصد کاهش یافته است. در نهایت، نتایج نشان می‌دهند که سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه تغییر اقلیم به صورت میانگین، موجب کاهش مقدار آب در دسترس دشت بوشکان به مقدار ۱۴/۴۴ و ۱۸/۵۶ درصد خواهد شد.

جدول ۲- درصد تغییر مقدار آب در دسترس در نواحی کشاورزی دشت بوشکان

Table 2- Percentage change in the amount of water available in agricultural areas of Bushkan plain

میانگین درصد تغییر آب در دسترس		حالت پایه Basic mode	ناحیه کشاورزی Agricultural area
Average percentage of available water change			
سناریو بدبینانه (A2) Pessimistic scenario	سناریو خوش‌بینانه (A1B) Optimistic scenario		
-10.84	-8.52	18.1	بوشکان Bushkan
-18.69	-14.45	4.4	امامزاده بده Imamzadehbedeh
-18.69	-14.45	0.41	حاجی آباد Hajiabad
-15.22	-12.11	6.5	ایلشهر Ilshahr
-21.15	-16.45	0.72	منصور آباد Mansour Abad
-26.81	-20.71	3	شلدان Sholdan
-18.56	-14.44	-	میانگین Average

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

همان‌گونه که گفته شد، ماژول اقتصادی - زراعی MABIA اثر کاهش آب در دسترس مناطق گوناگون دشت بوشکان بر نیاز آبی و عملکرد محصولات گوناگون کشت شده را محاسبه می‌کند. نتایج این مدل برای دشت بوشکان در جدول ۳ ارائه شده است. با مشاهده جدول مشخص می‌شود که با اعمال سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه تغییر اقلیم، میانگین نیاز آبی تمامی محصولات کشاورزی دشت بوشکان در دوره تاریخی ۲۰۱۹-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. اعمال این سناریوها در میان محصولات کشت زمستانه، بیش‌ترین تأثیر را بر نیاز آبی گندم دارد. بر این اساس با اعمال این سناریو، میانگین نیاز آبی محصول گندم در طی دوره شبیه‌سازی به مقدار ۸/۵۸ و ۱۰/۲۱ درصد افزایش می‌یابد. در میان محصولات تابستانه نیز نیاز آبی محصول خربزه بیش‌ترین درصد افزایش نیاز آبی را دارا می‌باشد. افزایش نیاز آبی از یک سو و کاهش آب در دسترس از سوی دیگر، موجب کاهش عملکرد محصولات

کشاورزی گوناگون می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که میانگین عملکرد بیش‌تر محصولات کاهش می‌یابد. بیش‌ترین کاهش عملکرد در هر دوسناریو مربوط به محصول گندم با ۱۱/۹۷ و ۱۵/۳۶ درصد می‌باشد. اما با وجود افزایش نیاز آبی، عملکرد محصول کلزا در هیچ کدام از سناریوهای تغییر اقلیم تغییر نمی‌کند.

جدول ۳- تأثیر سناریوهای اقلیمی بر نیاز آبی و عملکرد محصولات در محدوده مطالعاتی بوشکان
Table 3 - The effect of climatic scenarios on water requirement and crop yield in Bushkan study area

سناریو بدبینانه (A2) Pessimistic scenario (A2)		سناریو خوش‌بینانه (A1B) Pessimistic Scenario(A1B)		حالت پایه Current state		محصول product	نوبت کشت Cultivation time
تغییر عملکرد Change Yield	تغییر نیاز آبی change in water requirement	تغییر عملکرد Change Yield	تغییر نیاز آبی Change in water requirement	نیاز آبی(مترمکعب) water requirement	عملکرد(تن در هکتار) Yield		
-15.36	10.21	-11.97	8.58	3018	4	گندم Wheat	کشت زمستانه Winter planting
-14.54	9.42	-9.64	6.03	3018	3	جو Barley	
.	6.18	.	5.06	3000	2.5	کلزا Canola	
-2.24	7.11	-1.31	6.24	5720	31	گوجه فرنگی tomato	کشت تابستانه Summer planting
-12.22	13.64	-9.21	10.35	4200	1	کنجد Sesame	
-14.48	17.21	-10.69	14.33	5130	30	هندوانه Watermelon	
-3.67	12.23	-3.17	10.85	6540	27	بادمجان Eggplant	
-14.1	12.2	-9.91	11.8	4700	25	خربزه Melon	
-6.42	10.36	-5.61	8.14	4140	25	خیار Cucumber	

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

در این مطالعه بمنظور اجرای مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت ابتدا با استفاده از روش میانه مزارع، برای هر منطقه در دشت بوشکان، یک کشاورز نمونه انتخاب شد. سپس برای هر کدام از مزارع نماینده یک مدل برنامه‌ریزی مثبت اجرا شد. در جدول ۴ سطح زیرکشت محصولات هر کدام از کشاورزان نماینده در مناطق گوناگون دشت بوشکان ارائه شده است. تمامی محصولات به صورت آبی کشت می‌شوند و محصولات دیم مورد بررسی قرار نگرفته است. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، گندم با ۷۴/۵ هکتار بیش‌ترین سطح زیرکشت را در میان تمامی محصولات دارد. گوجه فرنگی و خربزه با ۲۲/۵ و ۲۰ هکتار در رتبه بعدی قرار می‌گیرند، اما محصولات بادمجان و خیار فقط

توسط کشاورز نماینده منطقه بوشکان کشت می‌شود. محصول جو نیز فقط توسط کشاورز نماینده منطقه ایلشهر مورد کشت قرار می‌گیرد.

جدول ۴- سطح زیر کشت کشاورزان نماینده منتخب در محدوده مطالعاتی بوشکان

Table 4 - Cultivation area of selected farmers in Bushkan study area (hr)

مجموع Totale	شلدان Sholdan	منصور آباد Mansour Abad	ایلشهر Ilshahr	حاجی آباد Hajiabad	امامزاده بده Imamzadehbedeh	بوشکان Bushkan	محصول product	نوبت کشت Cultivation time
74.5	8	25	8	11.5	10	12	گندم Wheat	کشت
3	-	-	3	-	-	-	جو Barley	زمستانه Winter planting
10	5	-	2	-	2	1	کلزا Canola	
22.5	2	6	5	3.5	2	4	گوجه فرنگی tomato	
6	1	-	1	-	1	3	کنجد Sesame	
18	1	6	1	4	2	4	هندوانه Watermelon	کشت تابستانه Summer planting
3	-	-	-	-	-	3	بادمجان Eggplant	
20	2	5	2	2.5	5.5	3	خریزه Melon	
1	-	-	-	-	-	1	خیار Cucumber	
158	19	42	22	21.5	22.5	31	مجموع Totale	

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

در مرحله بعد، بمنظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر الگوی کشت و درآمد کشاورزان نماینده مناطق گوناگون دشت بوشکان، نتایج جداول ۱ و ۲ در قالب دو سناریو تغییر اقلیم وارد مدل برنامه‌ریزی مثبت شد. نتایج در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج اعمال سناریوهای تغییر اقلیم نشان می‌دهند که کاهش دسترسی به منابع آب، موجب ایجاد تغییرات گسترده‌ای در الگوی کشت کشاورزان نماینده مناطق گوناگون دشت بوشکان شده است. به گونه‌ای که با اعمال هر دو

سناریو مجموع سطح زیرکشت کشاورزان نماینده مناطق شش گانه کاهش یافته است. در میان مناطق گوناگون بیشترین کاهش سطح زیرکشت مربوط به کشاورزان منطقه شلدان می‌باشد. با اعمال سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه سطح زیرکشت کشاورز نماینده منطقه شلدان به ترتیب به مقدار $2/28$ و $6/45$ درصد کاهش می‌یابد، اما با بررسی جدول مشاهده می‌شود که با اعمال سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه سطح زیرکشت کشاورز نماینده منطقه بوشکان به ترتیب به مقدار $3/7$ و $38/7$ درصد تغییر می‌کند، که کمترین کاهش در میان کشاورزان مناطق گوناگون است. دلیل این موضوع تغییرات کم‌تر مقدار آب در دسترس این منطقه در هر دوسناریو نسبت به سایر مناطق کم‌تر می‌باشد.

نتایج سناریو خوش‌بینانه برای کشاورز منطقه بوشکان نشان می‌دهد که در میان محصولات کشت نخست، سطح زیرکشت گندم و گوجه فرنگی به ترتیب به مقدار ۹ و $7/75$ درصد کاهش می‌یابد، اما سطح زیرکشت کلزا با وجود کاهش آب در دسترس افزایش می‌یابد. دلیل افزایش سطح زیرکشت کلزا این است که براساس جدول ۳، تغییر اقلیم تأثیر کمی بر نیاز آبی این محصول گذاشته و عملکرد آن را اصلاً تغییر نمی‌دهد، اما در کشت تابستانه، دو محصول هندوانه و خربزه با $25/9$ و ۸ درصد بیش‌ترین تغییر را متحمل شده‌اند. سطح زیرکشت محصول خیار که فقط توسط کشاورز نماینده منطقه بوشکان کشت می‌شود، به مقدار ۶ درصد کاهش می‌یابد.

نتایج سناریو بدبینانه در مورد منطقه بوشکان نشان می‌دهد که به دلیل کاهش بیش‌تر آب در دسترس و در نتیجه عملکرد محصولات، سطح زیرکشت بیش‌تر محصولات به مقدار بیش‌تری کاهش می‌یابد. در میان محصولات کشت نخست، سطح زیرکشت گندم نسبت به سناریو خوش‌بینانه تغییر بیش‌تری کرده است. بر این اساس مقدار کاهش سطح زیرکشت این محصول از ۹ به $5/12$ درصد می‌رسد. در میان محصولات کشت تابستانه، سطح زیرکشت محصول خیار در هر دو سناریو یکسان می‌باشد. دلیل این موضوع تأثیر تقریباً یکسان هر دو سناریو بر نیاز آبی و عملکرد این محصول است.

نتایج مربوط به کشاورز منطقه امام زاده بده نشان می‌دهد که در اثر اعمال سناریو خوش‌بینانه، با توجه به کاهش $8/34$ درصدی سطح زیرکشت محصول گندم، محصول گوجه فرنگی جانشین گندم می‌شود. زیرا با افزایش نیاز آبی گندم و کاهش عملکرد آن بر اثر تغییر اقلیم، کاشت این محصول سود آوری کم‌تری خواهد داشت، اما در مورد محصولات کشت دوم، از آنجا که که نیاز آبی کنبج، هندوانه و خربزه به مقدار بیش‌تری نسبت به محصولات کشت زمستانه افزایش می‌یابند، در نتیجه میانگین کاهش عملکرد این محصولات بیش‌تر می‌باشد. در سناریو بدبینانه، ضمن کاهش شدیدتر سطح زیرکشت محصول گندم، دو محصول کلزا و گوجه فرنگی با افزایش سطح زیرکشت مواجه هستند. این موضوع هم به کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش بازده برنامه‌ای محصول گندم مربوط است. در مورد گوجه فرنگی مقدار افزایش کم‌تر از سناریو خوش‌بینانه می‌باشد زیرا در حالت اجرای این سناریو مقدار آب در دسترس کم‌تر از حالت قبل بوده و با توجه به نیاز آبی بالای این محصول امکان افزایش سطح زیرکشت آن وجود ندارد. وضعیت محصولات تابستانه نیز به نسبت سناریو خوش‌بینانه بدتر می‌باشد.

با بررسی نتایج کشاورز نماینده منطقه حاجی آباد مشاهده می‌شود که اعمال سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه بیش‌ترین تأثیر را بر محصولات گندم و هندوانه و کم‌ترین تأثیر بر محصول گوجه فرنگی دارد. همچنین، با توجه به کاهش مقدار آب در دسترس به مقدار $45/14$ و $69/18$ در حالت اعمال این دو سناریو، سطح زیرکشت کشاورز به ترتیب $5/24$ و ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. نتایج کشاورز نماینده منصور آباد نیز تقریباً مشابه نتایج حاجی آباد می‌باشد. با این تفاوت که به دلیل اثر بیش‌تر تغییر اقلیم بر مقدار آب در دسترس این منطقه، سطح زیرکشت محصولات به جز گندم به مقدار بیش‌تری نسبت به کشاورز نماینده حاجی آباد کاهش یافته است.

در میان مناطق گوناگون محصول جو فقط در منطقه ایلشهر کشت می‌شود. نتایج مربوط به کشاورز نماینده این منطقه نشان می‌دهد که بر اثر اعمال سناریو خوش‌بینانه سطح زیرکشت این محصول به مقدار ۲۶/۶ درصد کاهش و در حالت سناریو بدبینانه، این محصول به صورت کامل از الگوی کشت حذف شده است. محصول جو در حالت پایه نسبت به محصولات گندم، کلزا و گوجه فرنگی بازده برنامه‌ای کم‌تری دارد. حال با اعمال سناریو بدبینانه تغییر اقلیم و کاهش ۱۴/۵ درصدی عملکرد جو، بازده برنامه‌ای این محصول نسبت به گذشته کاهش یافته و محصول از الگوی کشت حذف شده است. در حالت سناریو بدبینانه محصول کلزا که تغییر اقلیم کم‌ترین تأثیر را بر نیاز آبی و عملکرد آن گذاشته و با این حال، نیاز آبی کم‌تری نسبت به گوجه فرنگی دارد، جانشین جو شده است. در نتیجه سطح زیرکشت محصول کلزا نسبت به حالت پایه ۵۹ درصد افزایش یافته است.

با توجه به این که تغییر اقلیم موجب کاهش آب در دسترس منطقه شلدان به مقدار بالایی نسبت به سایر مناطق می‌شود، اعمال هر دو سناریو برای کشاورز این منطقه موجب کاهش بسیار شدیدتر سطح زیرکشت محصولات می‌شود. به گونه‌ای که اعمال سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب موجب کاهش ۵۹ درصدی و حذف محصول گندم از الگوی کشت می‌شود. در مقابل، این دو سناریو موجب افزایش سطح زیرکشت محصول کلزا به مقدار ۱۹ و ۳۶ درصد شده است. این موضوع با توجه به سطح زیرکشت ۵ هکتاری محصول کلزا درحالت پایه، تا حدودی اثر تغییر اقلیم را بر سود این کشاورز خنثی می‌نماید.

در نهایت با بررسی تغییرات سطح زیرکشت محصولات گوناگون در ستون آخر جداول ۵ و ۶ مشخص شد که اعمال سناریو خوش‌بینانه، بیش‌ترین تأثیر را بر سطح زیرکشت محصولات گندم و هندوانه دارد، اما به دلیل اینکه در حالت سناریو بدبینانه، محصول جو به صورت کامل از الگوی کشت کشاورز نماینده منطقه ایلشهر حذف شده است، می‌توان نتیجه گرفت که اعمال این سناریو بیش‌ترین تأثیر را بر سطح زیرکشت این محصول دارد و محصولات گندم و هندوانه در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

جدول ۵ - تغییر الگوی کشت تحت سناریوی تغییر اقلیم خوش‌بینانه (هکتار)

Table 5 - Changing the cropping pattern under the optimistic climate change scenario (ha)

حاجی آباد Hajiabad		امامزاده بده Imamzadehbedeh		بوشکان Bushkan		محصول product
درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	
-31.04	7.93	-34.8	6.52	-9	10.92	گندم Wheat
-	-	-	-	-	-	جو Barley
-	-	-4.5	1.91	2	1.02	کلزا Canola
-4.87	3.33	10.5	2.21	-7.75	3.69	گوجه فرنگی tomato
-	-	-35	0.65	-5.33	2.84	کنجد

-26.75	2.93	-31	1.38	-9.25	3.63	Sesame هندوانه
-	-	-	-	-3	2.91	Watermelon بادمجان
-18.4	2.04	-23.63	4.2	-8	2.76	Eggplant خریزه
-	-	-	-	-6	0.94	Melon خیار
-24.51	16.23	-25.02	16.87	-7.38	28.71	Cucumber مجموع Totale

ادامه جدول ۵ - تغییر الگوی کشت تحت سناریوی تغییر اقلیم خوش بینانه (هکتار)

Table 5 Continue- Changing the cropping pattern under the optimistic climate change scenario (ha)

مجموع Total		شلدان Sholdan		منصور آباد Mansour Abad		ایلشهر Ilshahr		محصول product
درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	
-28.76	53.07	-59	3.28	-25.6	18.6	-27.25	5.82	گندم Wheat
-26.66	2.2	-	-	-	-	-26.66	2.2	جو Barley
11	11.1	19.2	5.96	-	-	10.5	2.21	کلزا Canola
-4.62	21.46	-8	1.84	-7.83	5.53	-2.8	4.86	گوجه فرنگی tomato
-16.8	4.99	-33	0.67	-	-	-17	0.83	کنجد Sesame
-26.83	13.17	-43	0.57	-33.8	3.97	-31	0.69	هندوانه Watermelon
-3	2.91	-	-	-	-	-	-	بادمجان Eggplant
-23.6	15.28	-34	1.32	-31.4	3.43	-23.5	1.53	خریزه Melon
-6	0.94	-	-	-	-	-	-	خیار Cucumber
-20.62	125.12	-28.21	13.64	-24.92	31.53	-17.54	18.14	مجموع Totale

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

جدول ۶- تغییر الگوی کشت تحت سناریوی تغییر اقلیم بدبینانه (هکتار)

Table 6- Changing the cropping pattern under the pessimistic climate change scenario (ha)

حاجی آباد Hajiabad		امامزاده بده Imamzadehbedeh		بوشکان Bushkan		محصول product
درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	
-44.52	6.38	-46.6	5.34	-12.5	10.5	گندم Wheat
-	-	-	-	-	-	جو Barley
-	-	18.5	2.37	12	1.12	کلزا Canola
-8.57	3.2	3.5	2.07	-10.25	3.59	گوجه فرنگی tomato
-	-	-44	0.56	-6.33	2.81	کنجد Sesame
-30	2.8	-49	1.02	-15	3.4	هندوانه Watermelon
-	-	-	-	-5.33	2.84	بادمجان Eggplant
-27.6	1.81	-39.27	3.34	-13	2.61	خریزه Melon
-	-	-	-	-6	0.94	خیار Cucumber
-34	14.19	-34.66	14.7	-10.29	27.81	مجموع T0tal

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

ادامه جدول ۶- تغییر الگوی کشت تحت سناریوی تغییر اقلیم بدبینانه (هکتار)

Table 6 Continue- Changing the cropping pattern under the pessimistic climate change scenario (ha)

مجموع Total		شلدان Sholdan		منصور آباد Mansour Abad		ایلشهر Ilshahr		محصول product
درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	درصد تغییر	سطح کشت	
-44.32	41.48	-100	0	-39.32	15.17	-48.87	4.09	گندم Wheat
-100	0	-	-	-	-	-100	0	جو Barley
34.7	13.47	36	6.8	-	-	59	3.18	کلزا Canola
-6.97	20.93	-12.5	1.75	-11.33	5.32	0	5	گوجه فرنگی tomato
-23	4.62	-52	0.48	-	-	-23	0.77	کنجد Sesame
-34.65	11.76	-59	0.41	-41.63	3.50	-37	0.63	هندوانه Watermelon
-5.33	2.84	-	-	-	-	-	-	بادمجان Eggplant
-34.2	13.11	-55	0.9	-37	3.15	-32.5	1.35	خربزه Melon
-6	0.94	-	-	-	-	-	-	خیار Cucumber
-30.88	109.20	-45.57	10.34	-35.37	27.14	-31.72	15.02	مجموع Total

ماخذ: یافته‌های پژوهش

Source: research Findinds

در نهایت، جدول ۷ مقدار سود در مناطق گوناگون در شرایط کنونی و سناریوهای گوناگون را نشان می‌دهد. با بررسی جدول مشاهده می‌شود که درحالت پایه، کشاورزان نماینده مناطق منصور آباد و حاجی آباد به ترتیب با ۲۰۸/۹۰ و ۸۸/۹۶ میلیون تومان بالاترین و پایین‌ترین مقدار سود را در میان مناطق گوناگون اختیار دارند، اما نتایج نشان می‌دهند که اعمال سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه در تمامی مناطق منجر به انتخاب الگوی کشتی شده است که موجب کاهش سود شده و همچنین، مقدار کاهش در حالت سناریو بدبینانه بیش‌تر می‌باشد. این موضوع با توجه به کاهش آب در دسترس، کاهش عملکرد محصولات و در نتیجه کاهش سطح زیرکشت آنها قابل انتظار می‌باشد. در حالت سناریو خوش‌بینانه بیش‌ترین کاهش سود مربوط به کشاورز نماینده شلدان می‌باشد. این موضوع با توجه به کاهش ۲۰ درصدی مقدار آب در دسترس در این منطقه قابل توجیه می‌باشد. در واقع کاهش بیش‌تر آب در دسترس شلدان نسبت به سایر

مناطق، موجب کاهش بیش تر سود کشاورز نماینده در این منطقه شده است، اما در حالت اعمال سناریو بد بینانه، سود کشاورز نماینده منطقه منصور آباد با ۶۵ درصد کاهش، از بیش ترین کاهش برخوردار می باشد.

جدول ۷- مقدار سود تحت سناریوهای گوناگون (میلیون تومان)

Table 7 - Profit amount under different scenarios (million Tomans)

درصد تغییر Percentage Change	سناریو بد بینانه Pessimistic Scenario	درصد تغییر Percentage Change	سناریو خوش بینانه Optimistic Scenario	شرایط فعلی Current Conditions	منطقه Area
-45	89.41	-34	107.29	162.57	بوشکان Bushkan
-60	47.05	-41	69.40	117.64	امامزاده بده Imamzadehbedeh
-59	36.47	-48	65.25	88.96	حاجی آباد Hajiabad
-49.37	58.41	-35.01	74.97	115.37	ایلشهر Ilshahr
-65.48	72.11	-51.82	100.82	208.90	منصور آباد Mansour Abad
-58.42	38.79	-54.68	42.28	93.30	شلدان Sholdan

ماخذ: یافته های پژوهش

Source: research Findinds

نتیجه گیری و پیشنهادها

تغییر اقلیم یکی از مهم ترین مسائل زیست محیطی جهان است. تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی باعث گسترش خشکسالی ها، تغییر در توزیع بارش باران و کاهش منابع آب در طول زمان می شود. با افزایش دما، نیاز گیاهان به آب بیش تر شده و بهره برداری از منابع آب افزایش می یابد. افزون بر این، کاهش نزولات آسمانی و عدم تغذیه صحیح آبخوان ها و سفره های آب زیرزمینی از دیگر عواملی هستند که منجر به بهره برداری بیش از حد منابع آب شده است. از آن جا که آب محدود کننده ترین نهاده بخش کشاورزی می باشد، بررسی پیامدهای این اثرات می تواند برای آینده بخش کشاورزی هر کشوری مفید باشد. براین اساس هدف اصلی این مطالعه تحلیل پیامدهای دو سناریو تغییر اقلیم خوش بینانه و بد بینانه بر سطح زیرکشت محصولات گوناگون و سود کشاورزان در دشت بوشکان استان بوشهر در دوره ۲۰۱۹-۲۰۵۰ می باشد. نتایج مدل LARS-WG نشان می دهد که با اعمال هر دو سناریو، مقدار بارندگی کاهش یافته و دمای کمینه و بیشینه افزایش می یابد. که این وضعیت در مورد سناریو A2 به مراتب شدیدتر از سناریو A1B می باشد. با اعمال نتایج این دو سناریو در مدل WEAP، مقدار آب در دسترس مناطق گوناگون دشت بوشکان طی

دوره شبیه‌سازی به صورت میانگین به مقدار ۱۴/۴ و ۱۸/۵ درصد کاهش می‌یابد. این نتایج با مطالعات حسینی و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد.

هم‌چنین، نتایج مدل WEAP نشان می‌دهد که اعمال سناریوهای تغییر اقلیم موجب افزایش نیاز آبی و کاهش عملکرد اکثر محصولات کشاورزی در دشت بوشکان خواهد شد. این موضوع در مطالعه (Esteve *et al.* (2015) و Hosseini *et al.* (2013) مشاهده می‌شود. اما در میان محصولات گوناگون بیش‌ترین کاهش عملکرد مربوط به محصول گندم و هندوانه می‌باشد. از سوی دیگر، نتایج نشان دادند که تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصول کلزا ناچیز بوده و عملکرد این محصول نیز تغییر نخواهد کرد.

در نهایت، نتایج مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نشان می‌دهند که با اعمال هر دو سناریو مجموع سطح زیرکشت مناطق شش گانه کاهش یافته است. مقدار کاهش سطح زیرکشت در سناریو بدبینانه بیش‌تر می‌باشد. در میان کشاورزان نماینده مناطق گوناگون، کشاورز منطقه شلدان با کاهش سطح زیرکشت به مقدار ۲۸/۲ و ۴۵/۶ درصد آسیب پذیرترین منطقه نسبت به تغییر اقلیم می‌باشد. هم‌چنین، نتایج مدل برنامه‌ریزی مثبت نشان می‌دهد که اعمال سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه، موجب کاهش سود کشاورزان در تمامی مناطق خواهد شد. نتایج مطالعات Hosseini *et al.* (2013) و Mozafari *et al.* (2015) نیز بیانگر این موضوع است که تغییر اقلیم موجب کاهش سود کشاورزان خواهد شد.

اما براساس نتایج بدست آمده در این مطالعه پیشنهادهای زیر مطرح می‌گردد:

۱- با توجه به کاهش آب در دسترس در دشت بوشکان و در نتیجه کاهش عملکرد محصولات گندم، جو و هندوانه نسبت به سایر محصولات پیشنهاد می‌شود کشاورزان دشت بوشکان از سیستم‌های نوین آبیاری بمنظور آبیاری این محصولات استفاده کنند تا ضمن جلوگیری از هدر رفتن آب، از کاهش عملکرد این محصولات جلوگیری شود.

۲- با توجه به عدم تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی و عملکرد محصول کلزا از یک سو و تأثیر زیاد این پدیده بر محصولات گندم و جو از سوی دیگر، می‌توان بمنظور مقابله با اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و سود کشاورزان دشت بوشکان، محصول کلزا را به عنوان کشت جایگزین محصولات گندم و جو به کشاورزان منطقه پیشنهاد نمود.

۳- در این مطالعه اثرات سناریوهای گوناگون تغییر اقلیم بر منابع آب و الگوی کشت در دشت بوشکان با استفاده از مدل WEAP و ماژول اقتصادی-زراعی MABIA مورد بررسی قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود که با استفاده از این مدل اثرات انواع اقدام‌های تطبیقی مانند تغییر تاریخ کشت محصولات، استفاده از فناوری‌های نوین و روش‌های کم آبیاری بر سطح زیرکشت محصولات گوناگون و سود کشاورزان در منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

- Agarwal, S., Patil, J. P., Goyal, V. C., & Singh, A. (2018). Assessment of Water Supply-Demand Using Water Evaluation and Planning (WEAP) Model for Ur River Watershed, Madhya Pradesh, India. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 1-12.
- Arfini, F., Donati, M., & Paris, Q. (2003). A National PMP Model for Policy Evaluation in Agriculture Using Micro Data and Administrative Information. Paper Presented at the international conference Agricultural Policy Reform and The WTO: Where are we headin Capri, Italy.

- Bagheri Harouni, M., & Marid, S. (2013). Comparison of WEAP and MIKE BASIN models in water resources allocation (Case study: Talvar River). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 1, 151-168. (In Persian)
- Deylami, A., Joolaie, R., Rezaee, A., & Keramatzadeh, A. (2019). Investigating the effects of climate change on yield, gross profit and cropping pattern of Gorgan city. *Journal of Agricultural Economics*, 13 (2): 137-160. (In Persian)
- Darand, M. (2015). Assessing and recognizing climate change in Iran in recent decades. *Watershed Management Association*, Year 9, No. 30: 1-15. (In Persian)
- Dong, W., Liu, Z., Liao, H., Tang, Q., & Li, X. E. (2015). New climate and socio-economic scenarios for assessing global human health challenges due to heat risk. *Climatic Change*, 130(4), 505-518.
- Esteve, P., Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., & 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.
- Forni, L. G., Medellín-Azuara, J., Tansey, M., Young, C., Purkey, D., & Howitt, R. (2016). Integrating complex economic and hydrologic planning models: An application for drought under climate change analysis. *Water Resources and Economics*, 16, 15-27.
- Ghobadi, A., Habibnejad Roshan, M., Rashidpour, M., & Abbasi, A. (2014). Evaluation of Quantitative and Qualitative Changes in Groundwater Using Geostatistics (Case Study: Bushkan Plain, Bushehr Province). Thesis for obtaining a master's degree in natural resources engineering (watershed management), Haraz Higher Education Institute. (In Persian)
- Howitt, R. E. (1995). A calibration method for agricultural economic production models. *Journal of agricultural economics*, 46(2), 147-159.
- Howitt, R. E. (2005). *Agricultural and environmental policy models: calibration, estimation and optimization* Davis: University of California. Davis.
- Hosseini, S., Nazari, M. & Iraqi Nejad, Sh. (2013). Investigating the effect of climate change on the agricultural sector with emphasis on the role of implementing adaptation strategies in this sector. *Iranian Agricultural Economics and Development Research*, 44 (1): 1-16. (In Persian)
- Jabloun, M., & Sahli, A. (2012). WEAP-MABIA tutorial: a collection of stand-alone chapters to aid in learning the WEAP-MABIA module. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover, Germany.
- Kouhestani, Sh., Islamian, S., & Besalatpour, A. (2017). The Effect of Climate change on the Zayandeh-Rud River Basin's temperature using a Bayesian machine learning Soft Computing Technique. *Journal of Soil and Water Sciences*, 21(1): 203-2016. (In Persian)
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., Daliakopoulos, I. N., & Jacob, D. (2013). Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete Island, Greece. *Journal of hydrology*, 479, 146-158.
- Khosravi, M., Ismail Nejad, M. & Nazaripour, H. (2010). Climate change and its impact on water resources in the Middle East. Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World. Zahedan. (In Persian)

- Mansoori, A., Aminnejad, B., & Vahamdi, H. (2018). Investigation the effect of climate change on Inflow runoff into the Karun 4 dam based on IPCC's fourth and fifth report. *Journal of Soil and Water Sciences*, 22 (2):345-359. (In Persian)
- Mahmoudi, A., & Parhizkari, A. (2016). Economic Analysis of the Climate Change Impacts on Products Yield, Cropping Pattern and Farmer's Gross Margin (Case Study: Qazvin Plain). *Journal of Economic Growth and Development Research*.1 (2): 25-40. (In Persian)
- Mozafari, M., Parhizkari, A., Hosseini Khodadadi, M., & Parhizkari, R. (2015). Economic Analysis of the Effects of Climate Change Due to Greenhouse Gas Emissions on Agricultural Production and Available Water Resources (Case Study: Downstream Lands of Taleghan Dam). *Journal of Agricultural Economics and Development*. 29 (1): 68-85. (In Persian)
- Mehta, V. K., Haden, V. R., Joyce, B. A., Purkey, D. R., & Jackson, L. E. (2013). Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. *Agricultural water management*, 117, 70-82.
- Ngo, L. A., Masih, I., Jiang, Y., & Douven, W. (2018). Impact of reservoir operation and climate change on the hydrological regime of the Sesan and Srepok Rivers in the Lower Mekong Basin. *Climatic change*, 149(1), 107-119.
- Paris, Q., & Howitt R.E. (1998). An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics*. 80 (1): 124-138.
- Roham, O., & Dabbert, S. (2003) Integrating Agri-Environmental Programs into Regional production Models: an Extension of Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*. 85(1):254-265.
- Shahraki, J., Sardar Shahraki, A., & Hashemi Monfared, A. (2018). Economic impact assessment of water resources management scenarios in Pishin catchment. *Agricultural Economics Research*: 59- 84. (In Persian)
- Sieber, J., Swartz, C., & Huber-Lee, A. H. (2005). Water evaluation and planning system (WEAP): User guide. Stockholm Environment Institute, Boston.
- Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., Ramezani, Y., & Pourreza Beelandi, M. (2017). An uncertainty analysis of general circulation models for estimation of soil moisture affected by climate change. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48 (5): 1109-1119. (In Persian)

