

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی در شهرستان مرودشت

رسول افشارتبار<sup>۱</sup>، سید ابوالقاسم مرتضوی<sup>۲\*</sup>، صادق خلیلیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

چکیده

هدف مطالعه حاضر، بررسی اثرات سناریوهای اقلیمی بر شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی، مقدار آب در دسترس، تغییرات الگوی کشت و سود کشاورزان در شهرستان مرودشت است. بدین منظور از رهیافت واکنش آب - عملکرد و الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) استفاده شد. همچنین برای شبیه‌سازی اقلیم منطقه، از داده‌های روزانه و ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریوهای تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۸۰ استفاده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین کاهش عملکرد در محصولات گوجه‌فرنگی، گندم و برنج و بیشترین افزایش عملکرد نیز در محصولات یونجه و جو پیش‌بینی می‌شود. نتایج پژوهش نشان داد که تغییر اقلیم با فرض ثبات مصرف آب باعث کاهش درآمد ناخالص زارعین می‌شود؛ اما با فرض سازگاری مصرف آب و ثبات عملکرد، درآمد در برخی سناریوها مثبت و حتی کاهش آن نسبت به حالت قبل کمتر است. در نتیجه انطباق عملکرد، منجر به تغییر الگوی کشت توسط زارعین خواهد شد. نتایج این مطالعه بیانگر این است که الگوی کشت به سمت محصولاتی که حساسیت کمتری نسبت به کم آبیاری دارند و در عین حال عملکرد قابل توجهی دارند، تغییر می‌یابد که تضمین‌کننده سودآوری کشاورزان است. بهینه‌سازی روش‌های مدیریتی و استفاده از ارقام با نیاز آبی کمتر و سازگار با تغییرات اقلیمی در بخش کشاورزی شهرستان مرودشت، به‌عنوان راهکارهای مقابله با اثرات تغییر اقلیم توصیه می‌شود؛ همچنین افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۱۰ درصد در هر ۲۰ سال، نسبت به سال پایه تا حد بسیار زیادی میزان کاهش درآمد زارعین را کاهش داده و از کاهش سطح زیر کشت جلوگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، تغییر اقلیم، مدل LARS-WG، مرودشت، واکنش آب - عملکرد

مقدمه

ترتیب برابر با ۳۴۳ و ۲۶۸ میلیارد دلار بوده است. حدود ۹۵ درصد از این خسارت‌ها وابسته به وقایع مربوط به تغییرات اقلیمی است (Podlaha et al., 2022). درحالی‌که افزایش تدریجی دما و دی‌اکسید کربن ممکن است در برخی مناطق منجر به شرایط مطلوب‌تری برای کشاورزی گردد و منجر به افزایش عملکرد در برخی محصولات می‌شود، در برخی مناطق دیگر، منجر به خشکسالی و محدودیت در تولید محصولات می‌شود. به‌طور کلی پیش‌بینی می‌شود که دلیل تغییرات آب‌وهوایی، تولید محصولات در بسیاری از مناطق جهان طی قرن بیست‌ویک کاهش یابد. شواهد از وقوع پدیده تغییر اقلیم در ایران خبر می‌دهد. بارش‌های ناگهانی و سیل‌آسا، تغییر الگوی بارش کشور، خشک‌سالی، ایجاد پدیده‌های گردوغبار، کاهش فراوانی برف در کشور و افزایش متوسط دمای برخی شهرها در سال‌های اخیر، از بارزترین نشانه‌های دگرگونی اقلیمی در ایران است که به گفته اقلیم‌شناسان، تکرار و تداوم آن‌ها، نشان‌دهنده وقوع قطعی پدیده تغییر اقلیم در ایران است (پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۶). استان فارس پس از خوزستان به‌عنوان دومین استان تولید کننده

تغییر اقلیم را می‌توان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی دوران اخیر دانست که نشان‌دهنده تغییرات غیرمعمول در اقلیم درونی اتمسفر زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت‌های مختلف کره زمین است که تهدیدی جدی برای محیط زیست به شمار می‌رود. از سال ۱۹۷۵ به‌طور متوسط در هر دهه میانگین دمای کره زمین ۰/۱۵ تا ۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (NASA, 2020). بر اساس گزارش مرکز خدمات ریسک مالی (AON<sup>۴</sup>) خسارت ناشی از بلایای طبیعی جهانی در سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰ به

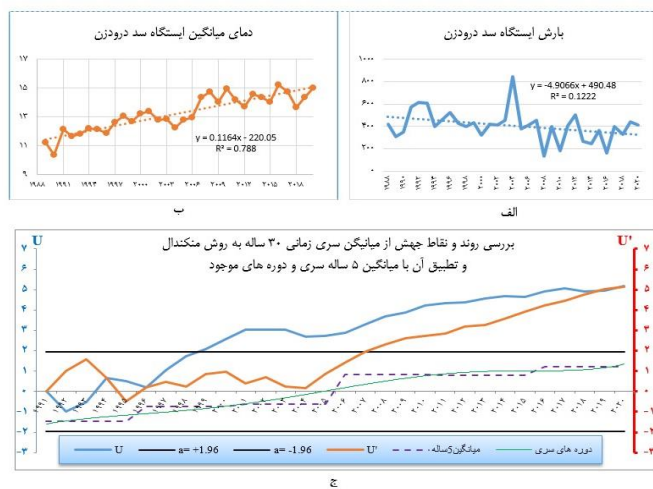
۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
(\*) نویسنده مسئول: (Email: samortazavi@modares.ac.ir)  
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.1.4.8  
۴- AON یک شرکت خدمات مالی چندملیتی مستقر در لندن است که در زمینه ارائه خدمات مدیریت ریسک، سرمایه‌گذاری و مشاوره استراتژی فعالیت می‌نماید.

سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ تغییر یافته است و بیشترین تغییرات در بارش‌های زمستانی است که حدود ۴۵ درصد کاهش یافته است و در طی این مدت در طی سه دهه، دمای میانگین، حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹). ادامه این تغییرات می‌تواند سبب تغییر الگوی کشت و تغییرات در عملکرد تولید محصولات زراعی به ویژه گندم و ذرت علوفه‌ای شود؛ بنابراین ضروری است که واکنش منطقه مورد مطالعه نسبت به تغییرات اقلیمی مورد سنجش قرار گیرد.

گوهر و کسمان با استفاده از داده‌های بارش، بودجه مزرعه و ویژگی‌های آبخوان و با روش بهینه‌سازی غیرخطی پویا به بررسی هم‌زمان تغییر اقلیم، دسترسی به منابع آب و رفاه اجتماعی پرداختند. جهت انجام این کار ابتدا با روش PMP شبیه‌سازی انجام شد و سپس اثرات رفاهی تکنولوژی‌های مختلف آبیاری و سازگاری آن‌ها در چهار حالت آب و هوایی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات اقلیم سبب به خطر افتادن امنیت غذایی در آینده خواهد شد، رفاه برخی از تولیدکنندگان افزایش می‌یابد و رفاه مصرف‌کنندگان با کاهش جدی روبرو خواهد شد که سبب کاهش رفاه کل جامعه خواهد شد (Gohar and Cashman, 2016).

محصولات زراعی است و حدود ۸ درصد از کل تولیدات کشور در این استان است. شهرستان مرودشت با دارا بودن متوسط ۹۲ هزار هکتار زمین زراعی، حدود ۱۳ درصد از اراضی استان فارس را به خود اختصاص داده است و در رده نخست قرار دارد. به‌طور متوسط شهرستان مرودشت بیش از ۱۷ درصد تولیدات زراعی استان را شامل می‌شود که نشان دهنده جایگاه ویژه آن در استان است. سطح زیر کشت محصولات زراعی شهرستان مرودشت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ حدود ۸۰ هزار هکتار است که در این تحقیق بیش از ۷۶ هزار هکتار (۹۵ درصد اراضی زیر کشت) در تحقیق وارد شده است. حدود ۹۸ درصد اراضی شهرستان مرودشت به‌صورت آبی کشت می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق از اراضی دیم صرف‌نظر شده است. مهم‌ترین محصولات در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب سطح زیر کشت عبارتند از گندم با ۵۰ درصد، برنج با ۱۹ درصد و جو با ۱۱ درصد. (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۷).

روند تغییرات اقلیمی در مرودشت در طی سه دهه گذشته ایستگاه سینوپتیک درودزن نشان می‌دهد (شکل ۱) که اقلیم کلی منطقه از مدیترانه‌ای در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ به اقلیم نیمه خشک ملایم طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ و سپس به اقلیم نیمه خشک طی



شکل ۱- (الف) میزان بارش؛ (ب) دمای میانگین و (ج) بررسی روند و نقاط جهش از میانگین سری زمانی ۳۰ ساله

غفاری و همکاران با استفاده از یک مدل اقلیمی - اقتصادی و به روش PMP رابطه بین کشاورزی و اقلیم را در طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۰ پیش‌بینی کرده‌اند و با توجه به افزایش ارزش نسبی آب در صورت وقوع خشک‌سالی، همه سناریوها نشان دهنده تغییر الگوی کشت منطقه دیواندره از محصولات پرمصرف آب با ارزش اقتصادی کمتر (مانند هندوانه) به محصولات کم مصرف و گران‌تر (مانند عدس) است (Ghaffari et al., 2022).

شایان مهر و همکاران با استفاده از یک مدل اقلیمی -

فراگسو و نوئم با مطالعه موردی در دو منطقه کشاورزی در جنوب پرتغال، اثرات تغییرات آب و هوایی بر عملکرد محصول و نیازهای آبیاری را با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود و باعث کاهش جزئی نیاز آبیاری می‌شود که می‌تواند باعث افزایش سطح آبی شود. با این حال، اثرات مثبتی بر روی مناطق روستایی در زمینه اشتغال و سرمایه‌گذاری انتظار نمی‌رود (Fragoso and Noéme, 2018).

گلخانه‌ای تحت سناریوهای مورد بررسی، میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی دما و بارش به ترتیب ۱/۶۴ تا ۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۰/۹۲- تا ۱/۱- میلی‌متر تغییر می‌کند و سبب کاهش عملکرد اغلب محصولات منتخب اراضی پایین دست سد طالقان می‌شود. همچنین، مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب ۲/۱۸ تا ۴/۰۹ درصد، مجموع آب مصرفی ۱/۶۷ تا ۵/۱۸ درصد و مجموع سود ناخالص کشاورزان ۱/۹۳ تا ۳/۷۲ درصد کاهش و ارزش اقتصادی آب ۴/۲۷ تا ۱۳/۶ درصد نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد. پیش بهار و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) و میزان نهاده‌های مصرفی (بذر و کود) بر عملکرد ذرت دانه‌ای را با استفاده از روش ریکاردین و روش اقتصادسنجی فضایی، در سه اقلیم گرم، معتدل و سرد کشور را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدت نوسانات تغییرات اقلیمی در هر سه اقلیم به اندازه‌ای بوده است که به‌عنوان عامل‌های ریسک سیستماتیک شناسایی شوند. در اقلیم گرم، گرمای بیش از حد در فصل کشت و نبود گرمای کافی در فصل رشد از عامل‌های مهم کاهش عملکرد ذرت هستند و در اقلیم معتدل، گرمای بیش از حد در فصل رشد و فصل برداشت عوامل ریسک سیستماتیک به حساب می‌آیند. همچنین در اقلیم سرد، گرما در فصل رشد و در فصل گل دهی و فصل برداشت محصول عامل تأثیرگذار محسوب می‌شوند.

با توجه به مطالعات پیشین، در برخی از تحقیقات برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی محصولات زراعی از مدل‌های اقتصادسنجی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال برخی محققین تنها پارامترهای اقلیمی را در مدل خود وارد می‌کنند یعنی مقدار عملکرد در واحد سطح را تابعی درجه دوم از دما و بارش برآورد می‌کنند. برخی دیگر علاوه بر پارامترهای اقلیمی، نهاده‌های کشاورزی (بذر، کود، سم و ...) را نیز به منظور پیش‌بینی وارد مدل‌های اقتصادسنجی می‌کنند. اگرچه هر دوی این موارد تا حدی می‌تواند برازش مناسبی را در حالت پایه توضیح دهد؛ اما از نظر فنی در حالات حدی توانایی بازسازی نتایج واقعی را نخواهد داشت، به همین منظور در این پژوهش از مدل واکنش - عملکرد استفاده شده است. توان روش برنامه ریزی اثباتی برای شبیه سازی سال پایه کاملاً اثبات شده است و در این تحقیق نیز به عنوان شبیه ساز از آن استفاده خواهد شد. از آنجایی که اثرات تغییر اقلیم مثبت یا منفی بودن آن به طور مطلق به اثبات نرسیده است بنابراین نیازمند بررسی در بخش‌های اقتصادی و مناطق جغرافیایی مختلف است. کشاورزی یکی از بخش‌های مهمی است که در اثر تغییرات اقلیمی می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. با توجه به نامشخص بودن آثار تغییر اقلیم بر روی کشاورزی، این پژوهش به دنبال پیش‌بینی تغییرات اقلیم و سپس شبیه‌سازی اثرات آن بر زراعت محصولات آبی در شهرستان مرودشت است. در ادامه روش تحقیق انتخابی شرح داده می‌شود و سپس نتایج تحقیق و نتیجه‌گیری‌های سیاستی شرح داده

هیدرولوژیکی-اقتصادی یکپارچه، تأثیر تغییرات آب و هوایی آینده بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی در دشت مشهد را مورد ارزیابی قرار دادند که یافته‌های مربوط به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی نشان می‌دهد که پیش‌بینی می‌شود حداقل و بیشینه دما به ترتیب حدود ۵/۸۸ درصد و ۶/۰۵ درصد افزایش و میزان بارش تقریباً ۳۰/۶۸ درصد کاهش یابد. همچنین در سناریوهای مختلف آب و هوایی حدود ۱۳.۷۹-۱۵.۴۵ درصد در دسترس بودن آب کاهش می‌یابد و در اکثر موارد تولید محصول در پاسخ به سناریوهای اقلیمی کاهش خواهد یافت (Shayanmehr et al., 2022).

اسدی و همکاران با استفاده از روش PMP به بررسی تأثیر سیاست‌های عرضه محور و تقاضامحور بر بخش کشاورزی دشت دهگلان در کردستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال سیاست‌های کاهش آب آبیاری، الگوی کشت به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و بیشتر به سمت محصولاتی سوق داده می‌شود که بازدهی اقتصادی بیشتری (سیب‌زمینی، خیار و پیاز) نسبت به مصرف آب ایجاد می‌کنند. همچنین با افزایش محدودیت منابع آب، بازده اقتصادی آب افزایش یافته که این امر بیانگر افزایش ارزش کمیابی منابع آب و واکنش تولیدکنندگان بخش کشاورزی برای تخصیص آب به محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر در شرایط کمبود منابع آب است (Asaadi et al., 2019).

سلطانی و موسوی (۱۳۹۴) در تحقیق خود به اثرات کم‌آبیاری و راهبردهای بهینه‌ی جهت سازگاری با تغییرپذیری اقلیم در دشت بهار همدان پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی ناشی از آن، از طریق کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و نیز کاهش بیلان آب‌های زیرزمینی، دارای آثار منفی بر الگوی کشت منطقه است و از طریق اعمال سیاست ۵ درصد کم‌آبیاری بهینه در کشت محصولات آبرو و نیز استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری، جبران زیان مذکور امکان‌پذیر خواهد بود. در پژوهشی دیگر، محمودی و پرهیزگاری (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات منتخب و سود ناخالص کشاورزان دشت قزوین را مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، اثر سناریوی یک درجه افزایش دما و یک میلی‌متر کاهش بارش بر عملکرد محصولات عمده کشاورزی تجزیه و تحلیل شد. نتایج تحلیل‌های رگرسیونی نشان داد که طی دوره مورد مطالعه، دمای هوا روند افزایشی و بارش روند کاهشی تقریباً محسوسی دارد. همچنین نتایج تحلیل رگرسیونی نشان داد که تغییرات دما و بارش اثر معنی‌داری بر عملکرد محصولات منتخب دشت قزوین دارد.

مظفری و همکاران (۱۳۹۴) با بهره‌گیری از داده‌های سری زمانی و مدل‌های گردش عمومی (GCM) اثرات گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای انتشار A<sub>1</sub>B، A<sub>2</sub>، B<sub>1</sub> را مورد ارزیابی قرار دادند نتایج نشان داد، با انتشار گازهای

می‌شوند.

دوم بارش سالانه برازش داده شده است. جهت دستیابی به مدل تجربی ابتدا تبخیر منطقه بر روی متغیرهای دمایی رگرس شد و این تابع به عنوان جایگزینی برای دما در مدل رواناب وارد شد؛ در نتیجه مدل نهایی بارش - رواناب تابعی از بارش و تبخیر است. سپس برای شبیه سازی دبی آب زیرزمینی، بر دو مقدار رواناب سال گذشته و مقدار تبخیر سال جاری رگرس شده است.

### تابع واکنش آب - عملکرد<sup>۲</sup>.

عملکرد در واحد سطح محصولات زراعی آبی افزون بر اینکه تحت تأثیر مقدار بارش‌ها و تبخیر و تعرق در طول دوره رشد است، به مقدار بسیار زیادی تابعی از راهبرد زارعین که در عمل در رابطه با میزان آبیاری محصولات در مقابل مقدار تغییر در سطوح زیر کشت اتخاذ می‌کنند، بستگی دارد. این رفتار زارعین ناشی از این حقیقت است که آن‌ها در اغلب موارد به ویژه زمانی که محدودیت منابع شدیدتر باشد، در رابطه با تخصیص منابع آب به محصولات، هدف حداکثر سازی سود (و نه حداکثر سازی عملکرد) را تعقیب می‌کنند (Doyle, 1990; Santos, 1998). در برآورد تابع واکنش اقلیمی عملکرد هر یک از محصولات زراعی آبی، متغیر مقدار آب آبیاری شده به کشت هر محصول یک عامل مهم و تعیین کننده است. در بسیاری از موارد و از جمله در ایران، اطلاعاتی در خصوص این متغیر وجود ندارد. بر این اساس استفاده از توابع رگرسیونی در این جهت محدودکننده است؛ بنابراین در این پژوهش، به جای برآورد روابط مستقیم بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصولات آبی از توابع واکنش آب - عملکرد پیشنهاد شده توسط فائو استفاده شده است. در این تابع که توسط Doorenbos and Kassam در سال ۱۹۷۹ توسعه یافته، واکنش عملکرد هر محصول با استفاده از رابطه بین عملکرد نسبی ( $Y^a/Y^m$ ) و تبخیر و تعرق نسبی ( $ET^a / ET^m$ ) برآورد می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌ها از این تابع برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات مختلف در نقاط مختلف دنیا برای تحلیل سناریوهای مختلف مدیریت آبیاری (Evans et al., Dağdelen et al., 2006)؛ (Rodrigues and Periera, 2009)؛ (Orgaz et al., 1992)؛ (Rodrigues and Periera, 2009)؛ (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۷) استفاده شده است. شواهد زیادی وجود دارد، مبنی بر اینکه در شرایط خشک‌سالی و محدودیت منابع آب، زارعین کم‌آبیاری را به‌عنوان یک راهبرد تطبیقی بکار می‌گیرند (Rodrigues and Periera, 2009). در این رابطه، کاهش در عملکرد و تبخیر و تعرق نسبی برای محصولات آبی با مدل استوارت<sup>۳</sup> به‌صورت رابطه (۱) کمی شده است:

### مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، این پژوهش در سه حوزه اقلیم، هیدرولوژی و اقتصاد کشاورزی انجام شده است. به همین سبب از داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کل کشور طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ مربوط به ایستگاه هواشناسی سد درودزن، داده‌های زراعی وزارت جهاد کشاورزی از ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۸، داده‌های هیدرولوژی آب منطقه‌ای طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ و همچنین پرسشنامه از زارعین به تعداد ۱۶۷ عدد که به روش خوشه‌ای تکمیل شدند، استفاده شده است. با توجه به اینکه پرسشنامه‌های این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ تکمیل شده است، این سال به عنوان سال پایه این تحقیق در نظر گرفته شده است.

### مدل LARS-WG

متداول‌ترین روش برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است. این مدل‌ها با استفاده از سناریوهای تأییدشده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، قادر به ایجاد سری‌های زمانی بلندمدت پارامترهای اقلیمی به‌صورت روزانه هستند. مدل‌های گردش عمومی جو، قابل استفاده در مقیاس کوچک‌تر نیستند؛ لذا نیازمند به ریزمقیاس نمایی هستند. LARS-WG مدلی است که خروجی مدل‌های GCM را ریزمقیاس می‌کند (نصیری و یارمرادی ۱۳۹۶: ۱۸). (Okkan and Kirdemir, 2018). جدیدترین سناریوهای منتشرشده IPCC در گزارش ارزیابی پنجم (AR5) آمده است. سناریوهای جدید RCP<sup>۱</sup> نماینده خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای هستند. RCP دارای چهار خط سیر کلیدی به نام‌های RCP2.6 (سناریو خوش‌بینانه)، RCP4.5 (سناریو متوسط)، RCP6 و RCP8.5 (سناریو بدبینانه) است که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (صادقی و آزادجلودارلو ۱۳۹۷؛ سلمانی و مجرد، ۱۳۹۸). در این پژوهش برای تولید مقادیر بارش روزانه، تابش و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به کار گرفته شده است.

### مدل هیدرولوژیک

در این پژوهش، روابط هیدرولوژیک در سطح منطقه مورد مطالعه، به‌صورت سالانه برآورد شده است. بدین طریق که حجم رواناب سالانه به عنوان متغیر وابسته بر روی مقادیر درجه حرارت و درجه

2 -Yield response factor

3- Stewart model

1- Representative Concentration Pathway (RCP)

$$Ra = \frac{24(60)G_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cos\left(2\pi \frac{n}{365}\right) \right] \times [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (۴)$$

در رابطه (۳)، ET شدت تبخیر و تعرق، Ra تابش فرازمینی ماهانه، T میانگین دمای متوسط ماهانه Tmin و Tmax نیز به ترتیب میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه می‌باشند در رابطه (۴) نیز،  $G_{sc}$  بیانگر ثابت خورشیدی معادل ۱۳۷۰ وات بر مترمربع (۱/۹۶ لانگلی در دقیقه)، n شماره روز که بر مبنای اول ژانویه، محاسبه می‌شود.  $\delta$  زاویه میل خورشید که بنا بر حرکت لحظه‌ای زمین در هر روز، عرض جغرافیایی برای متغیر است.  $\varphi$  عرض جغرافیایی محل و  $\omega_s$  زاویه ساعتی غروب خورشید که با توجه به فصل تابش و عرض جغرافیایی متغیر هست (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۱). این محاسبات بر اساس میانگین ماهانه برای هر ایستگاه سینوپتیک در سال پایه و همچنین برای دوره‌های آبی متغیرهای اقلیمی محاسبه شده است. برای محاسبه بارش مؤثر در هر ایستگاه سینوپتیک در سال پایه و همچنین سناریوهای اقلیمی آبی از روابط زیر استفاده می‌شود (FAO, 1979):

$$PR_{eff} = (PR \times (125 - 0.2 \times 3 \times PR)) \text{ for } PR \leq \frac{250}{3} \quad (۵)$$

$$PR_{eff} = \left(\frac{250}{3} + 0.1 \times PR\right) \text{ for } PR > \frac{250}{3} \quad (۶)$$

در معادلات فوق،  $PR_{eff}$  مقدار بارش مؤثر و RP مقدار کل بارش‌ها در دوره رشد محصول است. برای ماه‌هایی که مقدار کل بارش‌ها کمتر یا مساوی  $\frac{250}{3}$  میلی‌متر باشد، مقدار باران مؤثر از رابطه (۵) و برای ماه‌هایی که مقدار بارش بیشتر از  $\frac{250}{3}$  میلی‌متر است، مقدار آن از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

#### الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی

در شبیه‌سازی اثرات اقتصادی تغییر اقلیم بر زیر بخش زراعی، هدف مقایسه نتایج الگو برای متغیرهای این بخش در شرایط پایه (که از آن به شرایط مرجع<sup>۳</sup> تعبیر می‌شود) و مقدار این متغیرها تحت سناریوهای تحلیل سیاستی تغییرات است. برای معتبر بودن چنین تحلیلی، الگوی تجربی باید قادر به بازسازی سطوح مشاهده شده در سال پایه تا بیشترین حد ممکن باشد. الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP<sup>۴</sup>) برای غلبه بر ویژگی دستوری بودن، توسط Howitt (۱۹۹۵) معرفی شد. در این الگو، بر خلاف الگوهای دستوری، برخی از پارامترها برای بازسازی شرایط مرجع به گونه‌ای تعدیل می‌شوند که برای همه فعالیت‌های موجود در سال پایه، هزینه نهایی برابر با درآمد

$$\frac{Y^a}{Y^m} = (1 - K_y) + K_y \left(\frac{ET^a}{ET^m}\right) \quad (۱)$$

در رابطه (۱)،  $Y^a$  مقدار عملکرد واقعی،  $Y^m$  مقدار عملکرد پتانسیل،  $K_y$  ضریب واکنش عملکرد محصول به آب و  $ET^a$  و  $ET^m$  به ترتیب مقادیر تبخیر و تعرق واقعی (حاصل جمع بارش مؤثر بعلاوه آب آبیاری) و پتانسیل در طی دوره رشد هر گیاه است. در این رابطه، هر چه  $ET^a$  به  $ET^m$  نزدیک‌تر می‌شود، نرخ افزایش عملکرد نسبی کاهش می‌یابد. بر این اساس منحنی عملکرد نسبی دارای دو ناحیه است. در ناحیه اول که همواره  $ET^a < ET^m$  است شکل منحنی عملکرد نسبی به طور تقریب خطی است که به آن ناحیه کم‌آبیاری<sup>۱</sup> گفته می‌شود. ناحیه دوم که ناحیه بیش‌آبیاری<sup>۲</sup> است با شروع از محل تغییر شیب منحنی عملکرد نسبی که بیانگر نرخ کاهنده افزایش در عملکرد (به دلیل اثر منفی وجود آب مازاد در ناحیه ریشه) است متمایز می‌شود.

استفاده از این رابطه برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی افزون بر اینکه مستلزم در دست بودن مقادیر  $K_y$  و عملکرد پتانسیل هر یک از محصولات است، لازم است مقادیر بارش مؤثر و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در طول ماه‌های سال برای افق‌های آینده و تحت سناریوهای تغییر اقلیم شبیه‌سازی شوند. با توجه به اینکه تاکنون ضرایب  $K_y$  توسط تحقیقات داخلی برای همه محصولات و مناطق کشور کالیبره نشده است، اطلاعات مورد نظر در این زمینه از نتایج تحقیقات (Doorenbos and Kassam, 1979) برای طیف گسترده‌ای از محصولات (۲۶ محصول) ارائه و برای تعمیم به مناطق مختلف دنیا نیز پیشنهاد شده، استفاده گردیده است.

حداکثر تبخیر و تعرق محصول ( $ET^m$ ) همان نیاز خالص آبی گیاه است و به شرایطی اطلاق می‌شود که آب کافی و بدون محدودیت برای رشد محصول موجود باشد (فائو، ۱۹۷۹). حداکثر تبخیر و تعرق محصول ( $ET^m$ ) از تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) و از طریق رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$ET^m = k_c \times ET_0 \quad (۲)$$

ضریب گیاهی یک مقدار ثابت است که در دستورالعمل نرم‌افزار Crop Wat فائو برای تک‌تک محصولات محاسبه شده است اما در این پژوهش با استفاده از نمودارهای نرم‌افزار OPTIWAT محاسبه شده است؛ همچنین برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع از روش Hargreaves and Samani (1985) استفاده شد که نیاز کمی به داده‌های اقلیمی دارد و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$ET = 0.0023(Ra)(T + 17.8)\sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (۳)$$

3- Reference situation

4- Positive Mathematical Programming

1- Under Irrigation Zone

2- Over Irrigation Zone

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq Tland \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i \leq SW \quad (9)$$

$$x_i \leq \bar{x}_i + \varepsilon \quad (10)$$

$$x_i \geq 0 \quad (11)$$

در مدل فوق، رابطه (۷) تابع هدف غیرخطی مدل PMP را نشان می‌دهد که شامل سه بخش تابع تولید محصولات، تابع هزینه غیرخطی برای نهاده زمین و تابع هزینه خطی برای سایر نهاده‌ها به جز زمین است. جهت برآورد تابع هزینه غیرخطی به روش حداکثر آنتروپی عمل شده است. در روابط فوق،  $Y_i$  تابع تولید محصول  $i$ ،  $c_{ij}$  قیمت یا هزینه نهاده  $j$  برای تولید محصول  $i$ ،  $x_i$  مقادیر فعالیت‌های تولیدی،  $\bar{x}_i$  بیانگر مقدار مشاهده شده از فعالیت تولیدی در سال پایه و  $a_i$  میزان تغییرات عملکرد است که در اثر تغییر در قیمت محصول، هزینه آب و میزان آب در دسترس حاصل می‌شود. روابط (۸) محدودیت سطح زیر کشت لحاظ شده در مدل برای تولید محصولات منتخب زراعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که مجموع اراضی تخصیص داده شده به محصول  $i$  نباید از کل زمین‌های اختصاص یافته جهت کشت محصولات مختلف بیشتر باشد. رابطه (۹) بیانگر محدودیت مربوط به نهاده آب آبیاری است که در آن  $w_i$  میزان آب ناخالص استفاده شده برای تولید محصول  $i$  است. در این تحقیق بر اساس آماره موجود مقدار راندمان آبیاری ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است. رابطه (۱۰) بیانگر وجود محدودیت‌های کالیبراسیون در کنار محدودیت منابع یک برنامه‌ریزی خطی است که سبب می‌گردد، جواب بهینه به دست آمده دقیقاً با سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه برابر گردد. علاوه بر این،  $Tland$  و  $SW$  به ترتیب مقدار کل زمین‌های اختصاص یافته به محصولات مدنظر و کل آب سطحی و زیرزمینی قابل دسترس به فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است. جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات از بسته نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 استفاده شد.

با توجه به اینکه این تحقیق شامل دو بخش اصلی هیدرولوژی و اقتصادی است و اثرات همزمان آن‌ها را بررسی می‌نماید؛ بنابراین با یک مدل هیدرو - اقتصادی روبرو هستیم که علاوه بر جریان‌ات آب در منطقه مورد مطالعه، اثرات اقلیمی (دما و بارش) را مدل‌سازی نموده و تأثیر آن بر رفتار کشاورزان درباره الگوی کشت و میزان عملکرد آن‌ها را نیز شبیه‌سازی می‌نماید. الگوریتم کلی پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.

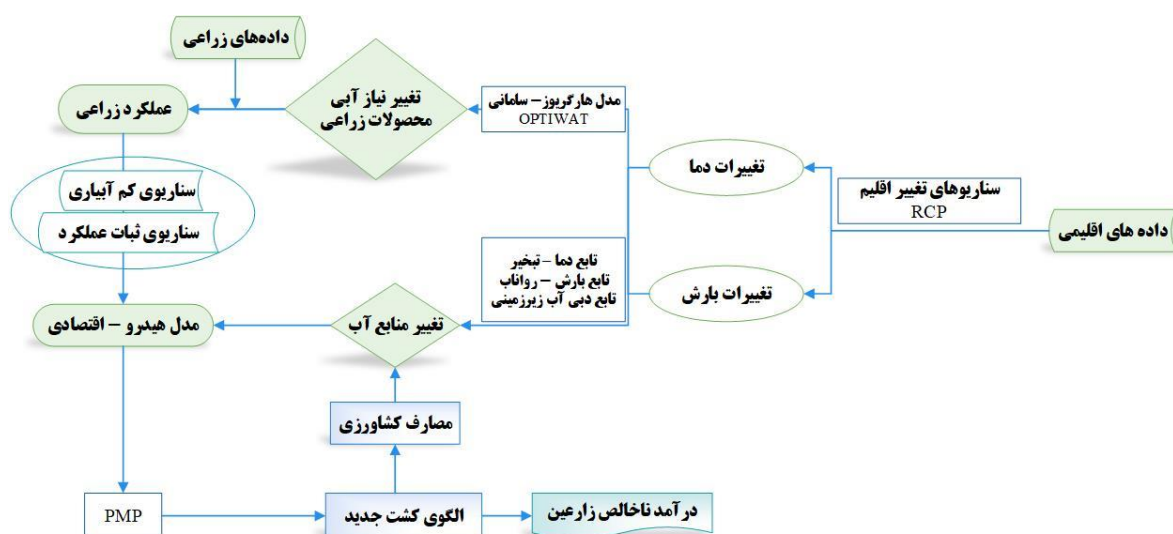
نهایی شود. در روش PMP به دلیل کالیبراسیون و وجود تابع هزینه غیرخطی در تابع هدف، دو اشکال موجود در روش هنجاری، یعنی مشکل بازتولید وضعیت پایه و رفتار انتقال وجود ندارد.

ایده کلی روش PMP استفاده از محتوای اطلاعات موجود در متغیرهای دوگان یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی (که به وسیله قیود کالیبراسیون به سطوح فعالیت مشاهده شده محدود شده)، برای تصریح یک تابع هدف غیرخطی به گونه‌ای است که سطوح فعالیت مشاهده شده، به وسیله حل همان الگوی برنامه‌ریزی اولیه اما بدون وجود قیود واسنجی بازتولید شود (Heckelei and Britz, 2000). بر این اساس اجرای عملی روش PMP شامل سه مرحله است: در اولین گام، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی یا غیرخطی معمول تصریح می‌شود با این تفاوت که به مجموعه قیود مربوط به منابع محدود-کننده تولید، یک مجموعه قیود واسنجی افزوده می‌شود تا سطوح جواب‌های بهینه الگو را دقیقاً به سطوح مشاهده شده در سال پایه محدود کند. در مرحله دوم، از اطلاعات دوگان به دست آمده در مرحله اول، برای برآورد بخش غیرخطی تابع هزینه استفاده می‌شود. در نهایت در مرحله سوم، این توابع هزینه غیرخطی جایگزین هزینه-های حسابداری فعالیت‌ها در تابع هدف شده و الگو با حذف محدودیت‌های مربوط به کالیبراسیون اجرا می‌شود. این مرحله به معنی تصریح کامل الگوی کالیبره شده است.

یک روش جایگزین انعطاف‌پذیر که به طور گسترده به منظور برآورد ضرایب نهاده و ستانده در مزرعه بکار می‌رود، رویکرد حداکثر آنتروپی (بیشینه بی‌نظمی) است. با توجه به اینکه اکثر مسائل اقتصاد کشاورزی ill-posted هستند یعنی تعداد پارامترهای تخمینی از تعداد مشاهدات ( $n$ ) بیشتر هستند و یک درجه آزادی منفی در مدل ایجاد می‌کنند. رهیافت حداکثر آنتروپی جهت حل مدل‌های ill-posted و تخمین پارامترهای تابع تولید غیرخطی و حل مشکل درجه آزادی منفی PMP بکار می‌رود. مدل‌های محصولات زراعی اقتصادی، الگوی ساده شده دنیای واقعی می‌باشند که تا حد ممکن روابط بین متغیرها را نشان می‌دهند و هدف آن‌ها، آزمون فرضیات تحقیق در مورد این متغیرها است. در واقعیت محدودیت‌های زیادی در بخش تولیدات کشاورزی وجود دارد. در این پژوهش به محدودیت منابع آب، محدودیت زمین دیم و آبی و نیز محدودیت‌های کالیبراسیون پرداخته شده است. مدل تجربی نهایی مدل PMP به صورت روابط (۷) تا (۱۱) نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \text{GM} = \sum_{i=1}^n a_i P_i Y_i - \\ & \sum_{j \neq Land}^m \sum_{i=1}^n (c_{ij} x_{ij}) - \\ & \sum_{j=Land}^m \sum_{i=1}^n (c_{i,Land} x_{ij} - \frac{1}{2} \beta_{ij} x_{i,Land}^2) \end{aligned} \quad (7)$$

۱ یعنی تعداد پارامترهای مدل بیشتر از تعداد معادلات است (به ازای هر محصول یک معادله)



شکل ۲- الگوریتم کلی کار مطالعات اثرات اقتصادی تغییر اقلیم بر زراعت محصولات آبی (منبع: یافته‌های تحقیق)

## نتایج و بحث

۲۰۶۰-۲۰۴۱) است که به تبع با بارش بالاتری که دارد بر عواملی مانند تبخیر و تعرق غلبه کرده و بیشترین درصد تغییرات آب در دسترس را به خود اختصاص داده است. کمترین درصد تغییرات آب در دسترس در سناریوی RCP8.5 و دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ است که به علت افزایش حداقل و حداکثر دما است که به علت روند افزایشی تبخیر و تعرق بالقوه در این سناریو است.

نتایج افزایش دمای حداقل و حداکثر همسو با نتایج تحقیقات معزز و همکاران (۱۳۹۹)، عزیز و داوودی (۱۳۹۸)، حسینی و همکاران (۱۳۹۲) و سیاری و همکاران (۱۳۹۰) بود که آن‌ها نیز پیش‌بینی کرده‌اند در آینده همگام با تغییرات اقلیمی میانگین دمای کشور افزایش خواهد یافت. پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر روی درصد بارش در استان فارس و، منطبق با تحقیقات دیهیم فرد و همکاران (۱۳۸۹)، جهانگیر و همکاران (۱۳۹۹) و عباسی و همکاران (۱۳۸۹) پیش‌بینی کردند که درصد بارش در مناطق جنوبی کشور و از جمله استان فارس افزایشی است، آنچه از مقایسه نتایج سناریوهای جدول (۱) روشن می‌شود، این است که در نتایج هر سه سناریو در رابطه با جهت تغییرات بارش (اغلب کاهش) و درجه حرارت (افزایش) توافق وجود دارد اما پیش‌بینی‌های سناریو RCP2.6 از منظر زیست‌محیطی وضعیتی خوش‌بینانه‌تر و در مقابل RCP8.5 وضعیتی بدبینانه از آینده سد درودزن ارائه کرده‌اند. این به معنی انتظار تغییرات شدیدتر در عملکرد محصولات و مقدار تقاضای آب کشاورزی (نیاز آبی) در مقایسه با سناریو RCP2.6 است. به وجود آمدن دوره‌های گرمایی احتمالاً در آینده بیشتر می‌شوند و چالش بزرگی برای کشاورزی به حساب می‌آیند. موج‌های گرما می‌تواند باعث ایجاد تنش گرمایی در گیاهان شوند و تأثیر منفی بر تولید مواد غذایی بگذارند. دوره‌های

با به کارگیری مقادیر سری زمانی روزانه حداکثر و حداقل دما، ساعت تابش خورشیدی و بارندگی برای سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۸، سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS و WG با سه سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۲۰ شبیه‌سازی گردید. شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی در شرایط تغییر اقلیم شامل شبیه‌سازی الگوی عملکرد واکنش آب، تغییر الگوی کشت با فرض ثابت ماندن مصرف آب (سازگاری عملکرد) و تغییر الگوی کشت با فرض سازگاری مصرف آب و ثبات عملکرد بود.

### شبیه‌سازی تغییر اقلیم

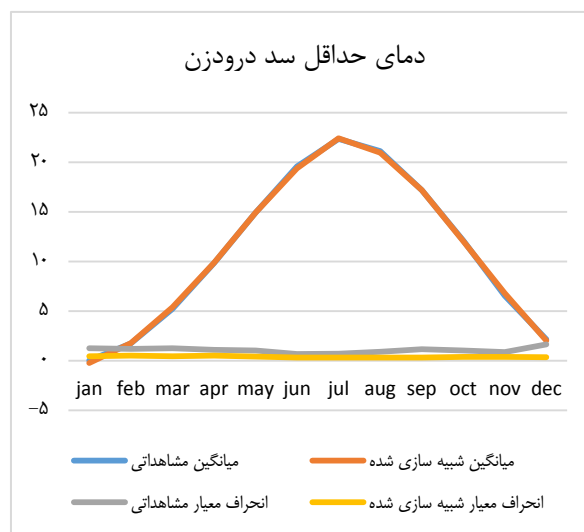
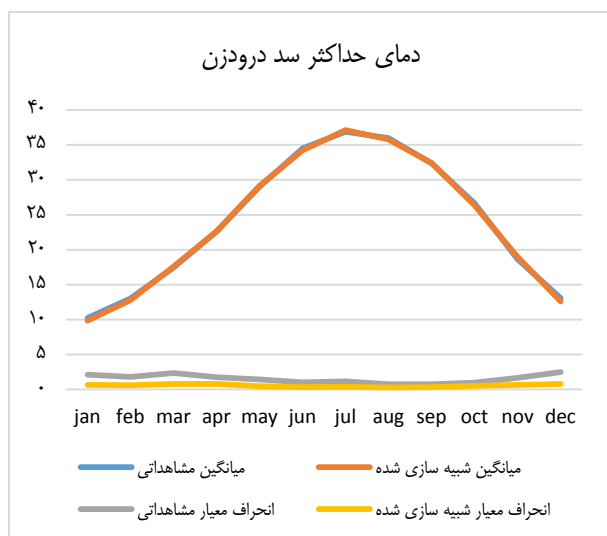
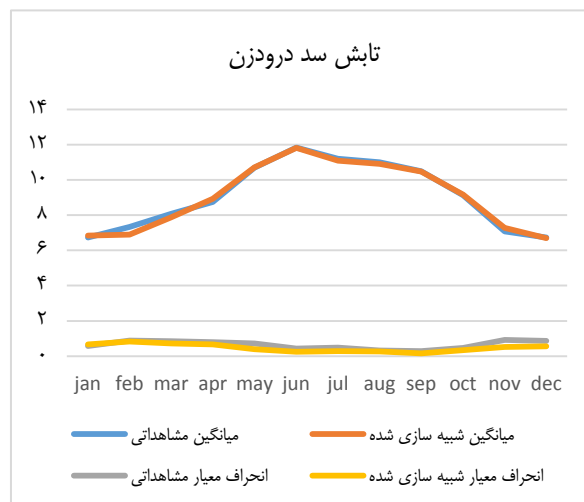
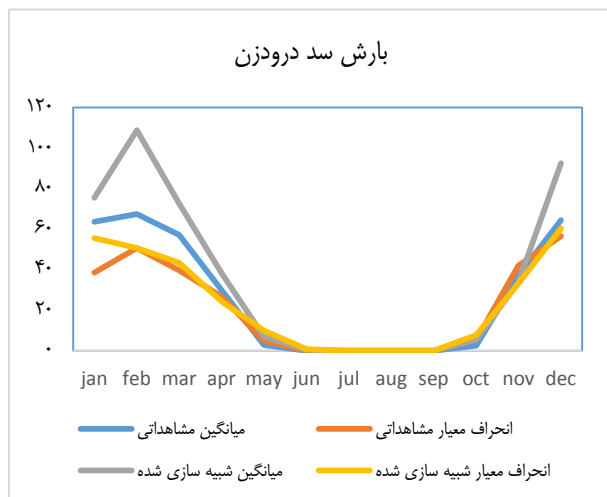
همان‌گونه که در نمودارهای شکل (۳) مشاهده می‌شود، مقادیر مشاهداتی پارامترهای اقلیمی به غیر از بارش در دوره‌ی مورد بررسی و مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل LARS-WG فاقد اختلاف معنی‌دار هستند که این نتیجه بیانگر عملکرد صحیح و توانمندی این مدل در شبیه‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته ایستگاه هواشناسی سد درودزن است. نتایج اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای دما، بارش و درصد تغییرات آب در دسترس در هر سه سناریو طی افق ۲۰۸۰ در جدول (۱) بیان شده است که حاکی از افزایش دمای حداقل و حداکثر و افزایش بارش است. در سناریو خوش‌بینانه RCP2.6 درصد تغییرات آب در دسترس مثبت و در دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 این شاخص منفی، با این استثنا که در دوره آتی ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و در سناریو RCP4.5 شاخص درصد تغییرات آب در دسترس مثبت است، در واقع بیشترین درصد بارش با ۴۴/۳ در این دوره (RCP4.5) و دوره آتی

کشت شبیه‌سازی شده (هکتار) است. اختلاف قابل اغماض بین این مقادیر نشان داد که کالیبراسیون مدل به‌خوبی انجام‌شده و مدل توانسته است به‌خوبی با داده‌های سال مینا تطبیق یابد و مدل پایه بازتولید شود.

شدید دمایی بالا اگر در زمان گلدهی گیاهان اتفاق بیفتد برای تولید محصولات کشاورزی مضر است و ممکن است دانه‌ای در محصولات تشکیل نشود.

### شبیه‌سازی سطح زیر کشت و عملکرد

جدول (۲) بیانگر سطح زیر کشت حالت پایه (هکتار) و سطح زیر



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده پارامترهای اقلیمی در ایستگاه سد درودزن

جدول ۱- تغییرات پارامترهای هواشناسی و درصد تغییرات آب در دسترس در سناریوهای اقلیمی در ایستگاه سد درودزن

سناریوی RCP8.5			سناریوی RCP4.5			سناریوی RCP2.6			متغیر اقلیمی
۲۰۶۰-۸۰	۲۰۴۱-۶۰	۲۰۲۰-۴۰	۲۰۶۰-۸۰	۲۰۴۱-۶۰	۲۰۲۰-۴۰	۲۰۶۰-۸۰	۲۰۴۱-۶۰	۲۰۲۰-۴۰	
۵/۱	۳/۱	۲/۱	۳/۱	۲/۵	۲/۱	۱/۹	۱/۵	۱/۸	تغییر دمای حداقل (°C)
۵/۱	۳/۵	۲/۲	۳/۱	۲/۴	۲/۲	۱/۸	۱/۵	۱/۶	تغییر دمای حداکثر (°C)
۱۴/۰	۱۵/۴	۳/۰	۲/۳	۴۴/۳	۱۳/۲	۱۵/۶	۱۵/۴	۱۸/۵	بارش (درصد)
-۲۳	-۱۶	-۱۲	-۱۰	۱۷	-۸	۸	۷	۱۱	درصد تغییرات آب در دسترس

منبع: یافته‌های تحقیق



جدول ۲- درصد اختلاف سطح زیر کشت پایه و حالت شبیه‌سازی شده محصولات عمده شهرستان مرودشت در روش PMP

محصول	سطح زیر کشت حالت پایه (هکتار)	سطح زیر کشت شبیه‌سازی شده (هکتار)	درصد اختلاف
برنج	۱۴۴۶۲	۱۳۷۹۰	-۴/۰
جو	۸۱۹۰	۸۷۷۵	۷/۰
چغندرقد	۳۱۶۵	۳۱۷۶	۰/۳
ذرت علوفه‌ای	۷۰۱۱	۶۸۱۱	-۲/۸
گندم	۳۷۹۰۶	۳۸۱۸۸	۰/۸
گوجه‌فرنگی	۳۵۵۰	۳۳۹۹	-۴/۳
یونجه	۱۹۴۸	۱۹۹۸	۲/۶
مجموع	۷۶۱۳۲	۷۶۱۳۷	۰/۰

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- نتایج شبیه‌سازی الگوی عملکرد واکنش آب در محصولات عمده شهرستان مرودشت

محصول	عملکرد حالت پایه (کیلوگرم)	عملکرد شبیه‌سازی شده (کیلوگرم)	درصد اختلاف	حداکثر عملکرد (Y <sub>max</sub> )	ضریب حساسیت گیاهی به آبیاری (KY)
برنج	۵۱۵۳	۴۹۴۳	-۴/۱	۵۷۲۱	۱
جو	۲۸۸۵	۳۰۰۶	۴/۲	۴۴۸۴	۱/۰۵
چغندرقد	۵۸۴۱۳	۵۸۵۰۸	۰/۲	۸۲۱۴۲	۱
ذرت علوفه‌ای	۶۵۶۵۸	۶۴۸۳۳	-۱/۳	۸۶۲۷۶	۰/۹
گندم	۵۲۷۳	۵۰۵۴	-۴/۲	۶۱۸۲	۱/۰۵
گوجه‌فرنگی	۵۸۰۲۸	۵۴۹۴۶	-۵/۳	۷۰۹۸۰	۱/۰۵
یونجه	۱۰۵۰۲	۱۰۹۵۴	۴/۳	۱۳۲۷۳	۱/۱

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول (۴) نتایج درصد تغییر الگوی کشت با فرض ثابت ماندن مصرف آب تحت سناریوی سازگاری عملکرد نشان داده شده است. در این سیاست تطبیقی، تغییرات منابع آب که در جدول (۱) گزارش شده است را وارد مدل کرده و مصرف آب در تمام سناریوهای اقلیمی آتی ثابت فرض می‌شود؛ بنابراین کاهش و یا افزایش مقدار تبخیر و تعرق هر گیاه تعیین‌کننده عملکرد هر محصول در هر شهرستان است بر اساس نتایج با فرض ثابت ماندن مقدار مصرف آب، عملکرد تمام محصولات به دلیل افزایش درجه حرارت کاهش خواهد یافت. مقدار تغییر عملکرد هر محصول وابسته به ضریب حساسیت گیاهی است که در جدول (۳) مطرح شد. بیشترین افزایش سطح زیر کشت متعلق به محصول جو در ۲۰ ساله اول است که در هر سه سناریوی اقلیمی افزایش را نشان داد. این افزایش به دلیل سازگاری این محصول نسبت به تغییرات اقلیمی و تأمین تبخیر و تعرق مورد نیاز گیاه است. اثر کل تغییرات اقلیمی در کل شهرستان در تمام سناریوها منفی است. کمترین تأثیر منفی بر سود ناخالص کل شهرستان در سناریوی RCP2.6 و در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۲۰ است که مقدار آن ۶/۶- است. بیشترین اثر منفی در سناریوی RCP8.5 در دوره آتی ۸۰-۲۰۶۰ است که سود ناخالص نسبت به حالت پایه حدود ۴۴ درصد کاهش می‌یابد.

جدول (۳) نشان دهنده نتایج شبیه‌سازی الگوی عملکرد واکنش آب در محصولات عمده شهرستان مرودشت است. مقایسه عملکرد حالت پایه و عملکرد شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که اختلاف کمتر از ۶ درصد است و این الگو به خوبی می‌تواند جهت شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی بکار گرفته شود. در این جدول همچنین ضرایب حساسیت گیاهی به آبیاری مشاهده می‌شود که هرچه بیشتر باشد حساسیت گیاه به کم آبیاری بیشتر است بنابراین یونجه در بین محصولات مختلف حساس‌ترین محصول به مقدار تبخیر و تعرق است. محصول ذرت علوفه‌ای نیز با عدد ۰/۹ کمترین واکنش را نسبت به تبخیر و تعرق خواهد داشت به این معنا که اگر مقدار آب آبیاری ۱۰ درصد کاهش یابد مقدار عملکرد این محصول ۹ درصد کاهش خواهد یافت.

### شبیه‌سازی تغییر الگوی کشت

پس از شبیه‌سازی حالت پایه برای مدل بایستی شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده را مدل‌سازی نمود. در این مرحله سه متغیر مورد بررسی قرار می‌گیرد: ۱- تغییر در مقدار منابع آب در دسترس گیاه و ۲- تغییر در مقدار عملکرد محصول و ۳- تغییر در میزان مصرف آب توسط کشاورز و سایر موارد همچون قیمت و مقدار مصرف نهاده‌ها به صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- نتایج درصد تغییر الگوی کشت با فرض ثابت ماندن مصرف آب (سازگاری عملکرد)

محصول	سناریوی RCP2.6			سناریوی RCP4.5			سناریوی RCP8.5		
	-۴۰	-۶۰	-۸۰	-۴۰	-۶۰	-۸۰	-۴۰	-۶۰	-۸۰
	۲۰۲۰	۲۰۴۱	۲۰۶۰	۲۰۲۰	۲۰۴۱	۲۰۶۰	۲۰۲۰	۲۰۴۱	۲۰۶۰
برنج	-۳/۴۵	-۸/۴۹	-۱۰/۴۱	-۳/۵۷	-۶/۳۵	-۱۴/۶۹	-۳/۵۷	-۹/۱۷	-۱۸/۰۹
جو	۷/۲۱	-۳/۲۸	-۱۳/۳۰	۷/۳۲	۹/۴۳	-۱۷/۳۲	۷/۳۲	-۸/۱۲	-۳۱/۱۷
چغندرقد	۰/۶۷	-۷/۴۳	-۱۱/۲۱	۰/۴۳	-۲/۳۶	-۱۵/۷۲	۰/۳۳	-۷/۷۷	-۲۰/۵۵
ذرت علوفه‌ای	۳/۹۸	-۹/۰۱	-۱۲/۴۱	-۲/۳۵	-۵/۲۳	-۱۵/۳۱	-۲/۸۵	-۹/۶۶	-۲۰/۱۳
گندم	۰/۶۶	-۷/۵۷	-۱۳/۵۳	۰/۴۹	۲/۱۲	-۱۷/۲۷	۰/۷۴	-۱۱/۹۱	-۲۷/۰۲
گوجه‌فرنگی	۳/۷۴	-۷/۷۷	-۸/۹۴	-۴/۴۳	-۶/۶۴	-۱۳/۴۸	-۴/۲۷	-۹/۳۲	-۱۶/۷۹
یونجه	۲/۵۱	-۹/۸۳	-۱۶/۱۳	۲/۱۴	۰/۹۱	-۲۰/۷۲	۲/۵۶	-۱۰/۵۶	-۲۸/۷۱
مجموع سطح زیر کشت (درصد)	۰/۰۱	-۷/۳۷	-۱۲/۸۸	۰/۰۱	۰/۰۱	-۱۶/۲۲	۰/۰۱	-۱۰/۳۰	-۲۴/۰۹
سود ناخالص	-۶/۶	-۱۸/۶	-۲۱/۲	-۸/۲	-۱۰/۹	-۳۳/۳	-۷/۲	-۲۶/۰	-۴۳/۸

منبع: یافته‌های تحقیق

سوم سطح زیر کشت به ترتیب ۲۰ و ۳۶ درصد کاهش خواهد یافت که در تمام حالات کمتر از اعداد جدول (۴) است.

### نتیجه‌گیری

شناخت آثار سوء پدیده تغییرات اقلیمی امری اجتناب‌ناپذیر است، ولی مهم‌تر از آن، آگاهی‌بخشی به وارثان زمین، برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در راستای کاهش آسیب‌پذیری، کنترل روند تخریب محیط‌زیست و بازسازی آسیب‌های واردشده به طبیعت است. در پژوهش حاضر، در قالب یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، اثرات سیاست‌های تغییر اقلیم بر الگوی کشت و مؤلفه‌های اقتصادی در شهرستان مرودشت بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تا انتهای دوره ۲۰۸۰ درجه حرارت ۱/۵ تا ۵/۱ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت، همچنین درصد تغییرات آب در دسترس نیز در دو سناریو کاهش خواهد یافت. با این وجود میزان عملکرد محصولات مورد بررسی به دلیل افزایش تبخیر و تعرق کاهش خواهد یافت. وقوع چنین تغییرات اقلیمی به ویژه افزایش دما منجر به افزایش تقاضا برای مقدار آب از جانب مصرف‌کنندگان صنعت و شرب خواهد شد بنابراین تنها بخشی که باید مصرف خود را کاهش دهد قطعاً بخش کشاورزی است و با اهمیت یافتن ملاحظات زیست‌محیطی در آینده فشار دوجندانی را بر بخش کشاورزی وارد خواهد شد. در چنین شرایطی، به‌کارگیری راهبردهای تغییر الگوی کشت برای کاهش خسارت‌های ناشی از کمبود منابع آب اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. بدون شک به کار گرفتن تمهیدات مناسب می‌تواند مواجهه‌شدن با عواقب ناشی از تغییرات اقلیم را تا حد زیادی کاهش دهد. استفاده و انتخاب

جدول (۵) نتایج تغییر الگوی کشت با فرض سازگاری مصرف آب و ثبات عملکرد نشان داده شده است. این سناریو نشان می‌دهد، برای دستیابی به عملکرد هر محصول در آینده به اندازه سال پایه، بایستی مقدار مصرف آب افزایش یابد، این سناریو را سناریوی سازگاری مصرف آب و ثبات عملکرد می‌نامیم. در این سناریو تمام عملکردها مشابه سال پایه است و مقدار تغییرات منابع آب در هر سناریوی اقلیمی از جدول (۱) استخراج و در مدل وارد شده است. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که در سناریوهایی که مقدار آب در دسترس افزایش یابد سطح زیر کشت محصولات آب بر که درآمد ناخالص بالاتری دارند افزایش خواهد یافت. نتایج این جدول همچنین نشان می‌دهد محصولات آبی که ضریب حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات آب دارند در نتیجه مقدار سطح زیر کشت آن‌ها بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت به عنوان مثال بیشترین تغییر در سطح زیر کشت متعلق به جو و یونجه است. جو به دلیل آنکه حاشیه سود کمتری نسبت به گندم به عنوان یک جانشین مشابه دارد با کاهش بیشتری در سطح زیر کشت روبرو خواهد شد و یونجه نیز به دلیل مقدار مصرف بالای آب به دلیل ضریب حساسیت کمتر از یک ( $K_{y=0.9}$ ) به مقدار بیشتری از الگوی کشت خارج خواهد شد. از سوی دیگر محصول گوجه‌فرنگی به دلیل حساسیت کمتر نسبت به تغییرات آب و حاشیه سود مناسبی که ایجاد می‌کند کمترین کاهش در عملکرد را خواهد داشت. محصول برنج پس از گوجه‌فرنگی کمترین کاهش در عملکرد را خواهد داشت. در این سناریو در حالت خوش‌بینانه حداکثر ۲۰ درصد سطح زیر کشت محصولات کاهش خواهد یافت و مقدار سود زارعین حدود ۱۳ درصد کاهش خواهد یافت. در حالت بدبینانه نیز به ترتیب  $+۰/۶$ ،  $-۱۳/۲$  و  $-۲۳/۶$  مقدار سود ناخالص کاهش خواهد یافت و در ۲۰ ساله دوم و

به‌کارگیری راهبردهای کم‌آبیاری، جهت رفع نیاز آبی گیاهان با حداقل میزان مصرف آب، در دهه‌های آتی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

محصولات سازگار با شرایط نامناسب از قبیل کم‌آبی و گرما می‌تواند تأثیر مثبت بر درآمد کشاورزان داشته باشد. با توجه به تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی بر نیاز آبی گیاهان و منابع آبی در شهرستان مرودشت

جدول ۵- نتایج درصد تغییر الگوی کشت با فرض سازگاری مصرف آب و ثبات عملکرد

محصول	سناریوی RCP2.6			سناریوی RCP4.5			سناریوی RCP8.5		
	-۸۰	-۶۰	-۴۰	-۸۰	-۶۰	-۴۰	-۸۰	-۶۰	-۴۰
	۲۰۶۰	۲۰۴۱	۲۰۲۰	۲۰۶۰	۲۰۴۱	۲۰۲۰	۲۰۶۰	۲۰۴۱	۲۰۲۰
برنج	-۹/۷۱	-۷/۴۳	۱/۰۴	-۱۳/۳۴	۱/۰۴	۱/۰۴	-۱۷/۵۵	-۹/۷۶	۱/۰۴
جو	-۳۷/۳۰	-۲۸/۰۷	-۲/۰۲	-۵۰/۴۲	-۲/۰۲	-۲/۰۲	-۶۹/۷۰	-۳۸/۷۳	-۲/۰۲
چغندرقد	-۱۸/۲۹	-۱۴/۰۲	۲/۰۳	-۲۵/۱۰	۲/۰۳	۲/۰۳	-۳۳/۰۸	-۴۸/۱۸	۲/۰۳
ذرت علوفه‌ای	-۱۴/۱۵	-۱۰/۷۶	۰/۴۱	-۱۹/۱۵	۰/۴۱	۰/۴۱	-۲۵/۵۳	-۱۴/۲۳	۰/۴۱
گندم	-۲۱/۸۲	-۱۶/۴۸	-۰/۳۹	-۲۹/۵۹	-۰/۳۹	-۰/۳۹	-۴۰/۵۱	-۲۲/۵۸	-۰/۳۹
گوجه‌فرنگی	-۶/۳۹	-۴/۸۷	۰/۲۹	-۸/۷۳	۰/۲۹	۰/۲۹	-۱۱/۶۲	-۶/۴۹	۰/۲۹
یونجه	-۲۸/۰۸	-۲۱/۴۵	۳/۲۸	-۳۸/۳۰	۳/۲۸	۳/۲۸	-۵۱/۰۹	-۲۸/۴۵	۳/۲۸
مجموع سطح زیر کشت (درصد)	-۱۹/۵۰	-۱۴/۷۶	۰/۰۱	-۲۶/۴۸	۰/۰۱	۰/۰۱	-۳۶/۰۲	-۲۰/۰۶	۰/۰۱
سود ناخالص	-۱۲/۹	-۹/۸	۰/۶	-۱۷/۶	۰/۶	۰/۶	-۲۳/۶	-۱۳/۲	۰/۶

منبع: یافته‌های تحقیق

### منابع

اسعدی، م.ع.، خلیلیان، ص. و موسوی، س. ح. ۱۳۹۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت با تأکید بر راهبرد کم‌آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین). تحقیقات منابع آب ایران. Available at: ۱۴(۵):۱-۱۴.

[http://www.iwrr.ir/article\\_63785.html](http://www.iwrr.ir/article_63785.html)

آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

پژوهشکده اقلیم‌شناسی. ۱۳۹۶. آشکارسازی، ارزیابی اثرات و چشم‌انداز تغییر اقلیم در ایران طی قرن بیست و یکم.

پیش بهار، ا. دار پرینان، س. و قهرمان زاده، م. ۱۳۹۴. بررسی آثار تغییرات اقلیمی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران: کاربرد رهیافت اقتصادسنجی فضایی با داده‌های پانلی. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۷(۲):۱۰۶-۸۳.

جهانگیر، م.ح.، جهان‌پناه، م. و ابوالقاسمی، م. ۱۳۹۹. پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز). محیط زیست و مهندسی آب. ۱(۱):۸۲-۶۹.

حسینی، س.ص.، نظری، م.ر. و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۲. بررسی اثر

با توجه به سناریوهای بررسی شده در این تحقیق، سیاست سازگاری مصرف آب کارایی بیشتری در جلوگیری از کاهش درآمد کشاورزان دارد همچنین با توجه به تغییرات عملکرد محصولات زراعی منطقه در سناریوهای اقلیمی بیان شده، میزان بهبود متوسط بهره‌وری محصولات زراعی شهرستان مرودشت، جهت جبران زیان ناشی از تغییرات آب و هوایی ضروری است. اگرچه در برخی موارد در سناریوهای تغییرات اقلیمی اثرات مثبتی مشاهده شده است اما ممکن است این اثرات توانمندی‌های لازم جهت جبران زیان ناشی از افزایش دما بر عملکرد محصولات کشاورزی را نداشته باشند و بنابراین در اثر تغییرات اقلیمی یاد شده، بخش کشاورزی شهرستان مرودشت در سال‌های آتی با زیان اقتصادی روبه‌رو خواهد شد و الگوی کشت به سمت محصولاتی سوق می‌یابد که حساسیت کمتری نسبت به کم‌آبیاری دارند و همچنین عملکرد قابل توجهی دارند و تضمین کننده سودآوری کشاورزان است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در سال‌های آتی جهت انطباق و سازگاری با تغییرات اقلیمی، ارقام پربازده و سازگار با شرایط اقلیمی در بخش کشاورزی شهرستان مرودشت مورد استفاده قرار گیرند. همچنین با افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۱۰ درصد در هر ۲۰ سال نسبت به سال پایه می‌تواند تا حد بسیار زیادی میزان کاهش درآمد زارعین را کاهش داده و از کاهش سطح زیر کشت جلوگیری کند.

محمودی، ا. و پرهیزگاری، ا. ۱۳۹۴. تحلیل اقتصادی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات، الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان (مطالعه موردی: دشت قزوین). رشد و توسعه اقتصاد روستایی و کشاورزی. ۱(۲): ۲۵-۴۰.

مظفری، م.، پرهیزگاری، ا.، حسینی خدادادی، م. و پرهیزگاری، ر. ۱۳۹۴. تحلیل اقتصادی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر تولیدات بخش کشاورزی و منابع آب در دسترس (مطالعه موردی: اراضی پایین دست سد طالقان). اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۱(۱): ۶۸-۸۵.

معززی، ف.، یآوری، غ.، موسوی س.ح. و باقری، م. ۱۳۹۹. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی دشت همدان-بهار با تأکید بر بهره‌وری آب و امنیت غذایی. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی جلد ۴۳(۴): ۳۲۳-۳۰۵.

نصیری، ب. و یارمرادی، ز. ۱۳۹۶. پیش بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از مدل HADCM3. اطلاعات جغرافیایی. ۲۶(۱۰۱): ۱۵۴-۱۴۳.

Available from:  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=358276>

Asaadi, M.A., Mortazavi, S.A., Zamani, O., Najafi, G.H., Yusaf, T. and Hoseini, S.S. 2019. The impacts of water pricing and non-pricing policies on sustainable water resources management: A case of Ghorveh plain at Kurdistan province, Iran. *Energies*, 12(14): 2667. <https://doi.org/10.3390/en12142667>

Dağdelen, N., Yılmaz, E., Sezgin, F. and Gürbüz, T. 2006 Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agric Water Manag.* 82(1):63-85.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome, Italy.

Doyle, C.J. 1990. Application of systems theory to farm planning and control: modelling resource allocation. In: Jones, J.G.W., Street, P.R. (Eds.), *Systems Theory Applied to Agriculture and the Food*

Evans, E. M., Lee, D. R., Boisvert, R. N., Arce, B., Steenhuis, T. S., Praño, M. and Poats, S. V. 2003. Achieving efficiency and equity in irrigation management: an optimization model of the El Angel watershed, Carchi, Ecuador. *Agricultural Systems*, 77(1): 1-22.

Fragoso, R. and Noéme, C. 2018. Economic effects of climate change on the Mediterranean's irrigated agriculture. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 9(2): 118-138.

تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با تأکید بر نقش به‌کارگیری راهبردهای تطبیق در این بخش. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۱(۴): ۱-۱۶.

دیهیم فرد، ر.، عینی نرگسه، ح. و حقیقت، م. ۱۳۹۴. پهنه بندی وقوع خشک سالی در استان فارس تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم با استفاده از شاخص بارش استاندارد. بوم شناسی کشاورزی. ۷(۴): ۵۲۸-۵۴۶.

سازمان هواشناسی کشور. [www.irimo.ir](http://www.irimo.ir).

سلطانی، ش.، و موسوی، س. ح. ۱۳۹۴. کم‌آب‌یاری و بهبود فناوری آبیاری؛ راهبردهای بهینه‌ی سازگاری با تغییرپذیری اقلیم. اقتصاد کشاورزی. ۹(۴): ۱۴۹-۱۲۱.

سلمانی، ا. و مجرد، ف. ۱۳۹۸. رابطه متغیرهای آب و هوایی با مصرف برق و پیش بینی تقاضای برق با مدل‌های گردش عمومی جو در غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۵۱(۲): ۳۱۵-۳۰۱.

سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، فریدحسینی، ع. و حسامی کرمانی، م. ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3)، (CGCM2) در پیش بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود).

آب و خاک. ۲۵(۴): ۹۲۵-۹۱۲. Available from:  
[https://jsw.um.ac.ir/article\\_35223.html](https://jsw.um.ac.ir/article_35223.html)

صادقی، ا. و آزادجلودارلو، ک. ۱۳۹۷. پیش بینی دمای هوا و روند تغییرات آن در دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: زنجان) کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز. Available from:  
<https://civilica.com/doc/775595>

طاوسی، ت.، منصوری دانشور، م. و موقری، ع. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی شدت خشکی در ایران با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز-سامانی بر مبنای توپوگرافی رقومی DEM. جغرافیا و پایداری محیط. ۲(۳): ۱۱۰-۹۵. Available from:  
[https://ges.razi.ac.ir/article\\_181.html](https://ges.razi.ac.ir/article_181.html)

عباسی، ف.، بابائیان، ا.، گلی‌مختاری، ل. و ملبوسی، ش. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل SCENGEN-M. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۲. ۱۱۰-۹۱. [https://jphgr.ut.ac.ir/article\\_21580.html](https://jphgr.ut.ac.ir/article_21580.html)

عزیزی، ق. و داوودی، م. ۱۳۹۸. تغییرات اقلیمی ایران در دوره هولوسن. فصلنامه کوانترنری ایران. ۵(۱): ۲۵-۱. <http://journal.iranqua.ir/article-fa.html>

1962-0

- Orgaz, F., Mateos, L. and Fereres, E. 1992. Season Length and Cultivar Determine the Optimum Evapotranspiration Deficit in Cotton. *AGRONOMY JOURNAL*. 84(4): 700-706
- Paris, Q. and Howitt, R.E. 1998. An Analysis of Ill-Posed Production problems using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80:124-138.
- Podlaha, A., Bowen, S., Lörinc, M. and et al. 2022. Weather, climate and catastrophe insight: 2021 annual report. AON plc. 103 p. <https://www.aon.com/weather-climate-catastrophe/index.html>
- Rodrigues, G.C., Luis, S. and Pereira, L, S. 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems engineering*, 103: 536-551.
- Santos, F.L. 1998. Evaluation of alternative irrigation technologies based upon applied water and simulated yields. *Journal of Agricultural Engineering Resources* 69, 73-83.
- Shayanmehr, S., Porhajašová, J.I., Babošová, M., Sabouhi Sabouni, M., Mohammadi, H., Rastegari Henneberry, S. and et al. 2022. The Impacts of Climate Change on Water Resources and Crop Production in an Arid Region. *Agriculture [Internet]*. 12(7). Available from: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/7/1056>.
- Ghaffari, A., Nasser, M. and Pasebani Someeh, A. 2021. Assessing the Economic Effects of Drought Using Positive Mathematical Planning Model Under Climate Change Scenarios. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4128951> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4128951>.
- Gohar A.A. and Cashman A. 2016. A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. *Agric Syst [Internet]*;147:51-64. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2016.05.008>
- Hargreaves G, Samani Z. 1985. Reference Crop Evapotranspiration From Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. .
- Heckelei, T. and Britz, W. 2000. Positive mathematical programming with multiple data points: a cross-sectional estimation procedure. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*. 57: 27-50.
- Howitt, R.E. 1995. Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*. 2: 329-342.
- NASA. 2020. Earth Observatory. Goddard Space Flight Centre United States. Available online: [www.earthobservatory.nasa.gov](http://www.earthobservatory.nasa.gov)(accessed on 15 May 2020).
- Okkan, U. and Kirdemir, U. 2018. Investigation of the Behavior of an Agricultural-Operated Dam Reservoir Under RCP Scenarios of AR5-IPCC. *Water Resource Management*. 32(8):2847-66. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11269-018->

## Evaluation Climate Change Impact on the Production of Agricultural Products in Marvdasht City

R. Afshartabar<sup>1</sup>, S.A. Mortazavi<sup>2\*</sup>, S. Khalilian<sup>3</sup>

Recived: Oct.03, 2022

Accepted: Nov.09, 2022

### Abstract

The aim of the present study is to investigate the effects of climate scenarios on the simulation of crop yields, available water, changes in cropping patterns, and farmers' profit in Marvdasht City. For this purpose, the Water-Yield Response approach and the positive mathematical programming model (PMP) were used. Also, daily data and LARS-WG model under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in the future period of 2020-2080 have been used to simulate the climate of the region. Based on the results, the greatest decrease in yield is tomato, wheat, and rice products, and the greatest increase in yield is predicted in alfalfa and barley products. The results of the research showed that climate change, assuming the constancy of water consumption, causes a decrease in the gross income of farmers, But assuming stability of water consumption and constancy of yield, the income in some scenarios is positive, and even its reduction is less than the previous state. As a result of yield adaptation, it will lead to the change of cultivation patterns by farmers. The results of this study indicate that the cultivation pattern is changing towards crops that are less sensitive to lack of irrigation and at the same time have a significant yield, which guarantees the profitability of farmers. Optimizing management methods and using cultivars with less water requirement and adapted to climate changes in the agricultural sector of Marvdasht city are recommended as solutions to deal with the effects of climate change; Also, increasing the efficiency of water consumption by 10% in every 20 years, compared to the base year, greatly reduces the decrease in farmers' income and prevents the reduction of cultivated area.

**Key words:** Climate Change, LARS-WG Model, Marvdasht, Positive Mathematical Programming (PMP), Water-Yield Response.

---

1- PH. D Candidate, Department of Agricultural Economics of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran  
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran  
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran  
(\*- Corresponding Author Email: samortazavi@modares.ac.ir)