

بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با تأکید بر نقش به کارگیری راهبردهای تطبیق در این بخش

سیدصفدر حسینی^{۱*}، محمدرضا نظری^۲ و شهاب عراقی نژاد^۳

۱. استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران

۲. دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی

۳. دکتری مهندسی منابع آب و استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۱۰ - تاریخ تصویب: ۹۱/۰۸/۰۳)

چکیده

بخش کشاورزی یکی از اصلی‌ترین بخش‌های متأثر از تغییر اقلیم است. اگرچه به تازگی در کشور مطالعاتی درباره شناخت ماهیت و میزان آثاری که این پدیده بر متغیرهای فیزیکی منابع آب و بخش کشاورزی دارد انجام شده است، با این حال زوایای اقتصادی این پدیده و راهکارهای بالقوه مقابله با آن کمتر مورد بررسی تجربی قرار گرفته است. نوآوری پژوهش حاضر الگوسازی رفتار اقتصادی واقعی ذی‌نفعان بخش کشاورزی و تلفیق آن با راه‌گزینه‌های تغییر اقلیم و سناریوهای اقتصادی-اجتماعی حوضه آبریز زاینده‌رود است. دستیابی به اهداف پژوهش از طریق ایجاد ارتباط و اجرای مدل‌های مولد هواشناسی، شبکه‌های عصبی هیدرولوژیک، توابع واکنش عملکرد محصول-آب و الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت تعقیب شده است. نتایج نشان داد که تا نیمه‌های قرن حاضر تغییر اقلیم به کاهش بارش‌ها و افزایش مقدار پارامترهای دمایی حوضه منجر می‌شود که نتیجه مستقیم این تغییرات کاهش منابع آب سطحی حوضه به ترتیب در حدود ۳/۴ و ۸/۱ درصد تا افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ خواهد بود. نتایج الگوی اقتصادی نشان داد که در بدترین حالت (به کار نگرفتن راهکارهای تطبیق) پیامد این تغییرات برای بخش کشاورزی حوضه کاهش حدود ۱۸ و ۳۲ درصد در سود ناخالص به ترتیب تا ۳۰ و ۶۰ سال آینده خواهد بود. در عین حال، با کاربست دو راهکار تطبیقی (بدون هزینه) تغییر الگوی کشت و انتخاب استراتژی مناسب کم‌آبیاری در کشت هر محصول امکان مناسبی در این بخش برای مقابله با این شرایط و کاهش آثار آن تا ۲/۷ و ۱۰ درصد سود ناخالص وجود دارد. بر این اساس، تدوین سند راهبردی آبیاری و الگوی کشت منطقه‌ای سازگار با روندهای اقتصادی-اجتماعی و اقلیمی بر پایه واحد حوضه‌های آبریز کشور پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: استراتژی تطبیق، بخش کشاورزی، تغییر اقلیم، زاینده‌رود.

مقدمه

با توجه به آثار گسترده و متقابل اقلیم با بخش‌های مختلف تولیدی، عوامل زیست‌محیطی و جوامع انسانی، امروزه از تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن بیست و یکم یاد می‌شود که پیامدهای جدی اقتصادی به‌دنبال دارد (Reidsma & et al, 2009). اگرچه بخش‌های مختلف اقتصادی اعم از کشاورزی، جنگلداری، آب، صنعت، گردشگری، انرژی و حتی بازارهای مالی و بیمه از تغییرات اقلیم متأثرند (Tol & et al, 2004؛ Hope, 2005؛ Kemfert, 2007)، اما در این میان بخش کشاورزی وابسته‌ترین بخش به اقلیم است و اقلیم تعیین‌کننده اصلی مکان، منابع تولید و بهره‌وری فعالیت‌های کشاورزی است (Reilly, 1999). افزون بر این، بخش کشاورزی سهم بالایی در اقتصاد کشورهای در حال توسعه دارد و از ارتباطات گسترده‌ای با دیگر بخش‌های اقتصادی برخوردار است؛ ضمن اینکه خود یکی از منابع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای است. مجموعه این ویژگی‌ها بخش کشاورزی را به محور اصلی بحث‌های سیاستی و پروژه‌های تحقیقاتی انجام‌شده در سطح جهانی و ملی در بسیاری از کشورها تبدیل کرده‌است (Chang, 2002).

بنابراین ضرورت، در دهه‌های اخیر بررسی آثار اقتصادی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و ارزیابی راهکارهای تطبیق و سازگاری با این تغییرات به یکی از موضوعات مورد علاقه اقتصاددانان کشاورزی نیز تبدیل شده‌است. اقتصاددانان کشاورزی اغلب تغییرات اقلیم را بر اساس تأثیری که بر درآمد کشاورزان (Dinar et al, 1996؛ Mendelsohn & et al, 1998؛ Deressa & Gbetibouo & Hassan, 2005؛ Hassan, 2005) یا بر رفاه و مازاد اقتصادی این بخش (Ilkay, 2004؛ Chang, 2002؛ Adams & et al, 1990) دارد مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند و به‌طور عمده به‌دنبال پاسخگویی به این پرسش‌ها بوده‌اند: اثر تغییرات پیش‌بینی‌شده در اقلیم بر عملکرد، تولید و عرضه محصولات کشاورزی چگونه است و چه اثری بر امنیت غذایی در سطح جهانی و کشورهای مختلف دارد؟ (Darwin & et al, 1998؛ Schlenker & Roberts, 2006؛ Reddy & et al, 2000؛ Tao & et al, 2008) واکنش بازار جهانی کالاهای غذایی به این تغییرات چگونه است؟ (Rosenzweig & et al, 1995؛ Fisher & et al, 2002). تغییر بلندمدت در پارامترهای اقلیمی چگونه سودآوری و درآمد کشاورزان را تحت تأثیر قرار

می‌دهد و راهبردهای تطبیق با این شرایط و راه‌های کاهش آثار آن در سطح مزرعه چیست؟ (Mendelsohn et al, 1996؛ Kan, 2007؛ Molua, 2009) و در نهایت، در صورت وقوع این رخداد آثار آن بر بازار داخلی کالاهای کشاورزی چیست و پیامدهای رفاهی و توزیع درآمدی آن برای مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان بخش کشاورزی چه خواهد بود؟ (Adams & et al, 1990؛ Chang, 2002؛ Ilkay, 2004).

ایران در پهنه‌بندی اقلیمی دنیا جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (IPCC, 2007). شواهد داده‌های تاریخی هواشناسی و نیز پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته از وضعیت اقلیم کشور، همانند دیگر نقاط دنیا، نشان‌دهنده وقوع پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر و ادامه این روند در آینده است. در گزارش سال ۲۰۰۷ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، اطلاعات ۵ ایستگاه هواشناسی با حداقل ۱۰۰ سال داده در کشور تحلیل شده است که نتایج آن برای همه ایستگاه‌ها افزایش معنی‌دار میانگین دمای سالانه را نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های IPCC برای ایران تحت سناریوی تغییر اقلیم A1 نیز نشان‌دهنده افزایش متوسط درجه حرارت تا ۲ درجه سانتی‌گراد در ۳۰ سال آینده و ۳/۵ الی ۴ درجه سانتی‌گراد تا ۱۰۰ سال آینده است که در این صورت بارندگی نیز افت محسوسی خواهد داشت؛ ضمن اینکه افزایش درجه حرارت به افزایش قابل توجه سطح تبخیر و تعرق سالانه (هم‌اکنون در اغلب مناطق ایران از میزان بارندگی سالانه به مراتب بیشتر است) منجر خواهد شد. IPCC این مسئله را چالشی جدی برای مناطق خشک و کم‌باران از جمله ایران می‌داند و پیامد منفی آن را این‌گونه پیش‌بینی می‌کند که تولید محصول استراتژیک غلات در ایران تا ۳۰ سال آینده به مقدار ۳۰ درصد نسبت به سطح تولید فعلی کاهش می‌یابد (IPCC, 2007).

بر اساس ارزیابی‌های طرح توانمندسازی تغییر آب‌وهوا، که زیر نظر کنوانسیون تغییر آب‌وهوای سازمان ملل متحد در ایران صورت گرفته‌است، چنانچه غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰ دو برابر شود، متوسط دمای ایران ۱/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و میانگین بارش کشور حدود ۱۰ درصد (حدود ۲۵ میلی‌متر) کاهش خواهد یافت. مقدار این کاهش در مقایسه با وضعیت نرمال به‌ویژه برای فصل‌های سرد حتی تا ۲۰ درصد نیز پیش‌بینی شده‌است. شواهد فوق حاکی از غلبه شرایط اقلیمی گرم و خشک‌تر بر کشور در دهه‌های آتی نسبت

در پژوهش Salami & et al (2009) که در زمره مطالعات تغییرات اقلیمی (و نه تغییر اقلیم) قرار می‌گیرد، با توجه به هدف خود تنها بر تغییرات بارش سال‌های خشک در مقایسه با سال‌های نرمال پرداخته شده و به تغییرات دمایی (آنچه در شرایط تغییر اقلیم مورد انتظار است) توجه نشده است. مطالعه حاضر نیز که به صورت موردی در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود انجام شده تلاشی است در جهت روشن‌ساختن زوایای ناشناخته و در عین حال پراهمیت این پدیده در بخش کشاورزی که در آن به طور مشخص به نقش دو راهکار تطبیقی (بدون هزینه) تغییر الگوی کشت و انتخاب استراتژی مناسب در کشت هر محصول در مقابله با تغییر اقلیم پرداخته شده است.

معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه زاینده‌رود (حدود ۲۶۰۰۰ کیلومتر مربع) در فلات مرکزی ایران قرار گرفته است و بخش عمده‌ای از حوضه آبریز تالاب گاوخونی را تشکیل می‌دهد. عمده آب رودخانه زاینده‌رود از ارتفاعات کوه‌رنگ تأمین می‌شود و با جهت غربی- شرقی به طول حدود ۳۵۰ کیلومتر تا باتلاق گاوخونی امتداد دارد. اقلیم این حوضه نمونه‌های مختلف آب‌وهوایی از فراخشک تا بسیار مرطوب را دربرمی‌گیرد. میانگین بارندگی سالانه در این حوضه از حدود ۵۰ میلی‌متر در مناطق منتهی‌الیه مناطق کویری جنوب شرقی تا فراتر از ۱۵۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات کوه‌رنگ در غرب حوضه متغیر است. رژیم بارش حوضه مدیترانه‌ای است و حداکثر بارش در فاصله ماه‌های بهمن تا فروردین رخ می‌دهد. این حوضه به دلیل رشد سریع تقاضا با وجود تداوم طرح‌های توسعه منابع آب و همچنین اجرای طرح‌های انتقال آب از خارج حوضه (تونل‌های کوه‌رنگ ۱ و ۲ و تونل چشمه لنگان) همواره با کمبود آب مواجه است و جزء حوضه‌های تحت تنش آبی کشور است. در این حوضه، علائمی چون رقابت بخش‌های مختلف برای دریافت آب و کاهش تولیدات کشاورزی در سال‌های اخیر مشهود است (سالمی و حیدری، ۱۳۸۵). جریان خروجی کمتر از ۵۰ درصد حداقل حقایق زیست محیطی باتلاق گاوخونی نیز حاکی از فشار و تخصیص بیش از حد منابع آب این حوضه در بالادست است. بر اساس پیش‌بینی‌ها، تا زمانی که مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت این حوضه با روند فعلی رشد یابد، تا سال ۱۴۰۰ منابع آب حوضه قادر به تأمین تقاضا برای آب نخواهد بود و با ۱۰ درصد کاهش در منابع آب حوضه دچار تنش آبی

به دوره تاریخی است. وقوع چنین شرایطی اگرچه بر همه بخش‌های اقتصادی کشور اثرگذار است اما چشم‌انداز آن در کنار وضعیت خاص اقلیمی کشور (بارش دریافتی ایران، اقلیم تقریباً گرم، توزیع نامتناسب بارش و فراونی وقوع و شدت بالای خشکسالی) شرایط تولید در بخش کشاورزی را با محدودیت‌های اساسی روبه‌رو می‌سازد؛ چرا که در طرف تقاضا نیز تأمین نیاز آبی بخش‌های شرب و صنعت و حتی حقبه‌های زیست‌محیطی نسبت به بخش کشاورزی در اولویت قرار دارند و زمانی که انتظار می‌رود تعادل منابع و مصارف آب حوضه بر اثر تغییر اقلیم دستخوش تغییر شود، عمده این تغییرات متوجه بخش کشاورزی خواهد بود. بررسی‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اگرچه خوشبختانه در داخل کشور نیز در سال‌های اخیر اهمیت رخداد تغییر اقلیم و آسیب‌پذیری منابع آب و تولیدات کشاورزی شناخته شده و در این راستا مطالعات متعددی در حوزه هواشناسی و هیدرولوژی صورت گرفته اما کمتر به بررسی آثار اقتصادی این پدیده در بخش یا زیربخش‌های کشاورزی کشور پرداخته شده است. این کاستی به‌ویژه در رابطه با نقش راهبردها و پتانسیل‌های موجود در بخش کشاورزی که می‌توان از آن‌ها برای مقابله با تغییر اقلیم و کاهش خسارت ناشی از آن استفاده کرد محسوس‌تر است. از جمله پژوهش‌هایی که به بررسی جنبه‌های اقتصادی تغییر اقلیم در بخش کشاورزی پرداخته‌اند می‌توان به مطالعات Chizari et al (2009) و Vaseghi & Esmaili (2008) اشاره کرد که هر دو به بررسی اثر تغییر اقلیم بر اقتصاد کشت گندم پرداخته‌اند. نتایج Vaseghi & Esmaili (2008) نشان داد که تغییر اقلیم آثار معنی‌دار و غیر خطی بر درآمد خالص هر هکتار کشت گندم در ۱۷ استان کشور دارد به گونه‌ای که پیش‌بینی شده است کاهش بارش‌ها و افزایش دما در کشور تا ۱۰۰ سال آینده به کاهش حدود ۴۱ درصد بازده خالص اراضی زیر کشت این محصول منجر خواهد شد. Salami & et al (2009) نیز در پژوهشی خسارت ناشی از خشکسالی را تنها برای سال زراعی ۱۳۷۸-۷۹ در دو زیر بخش زراعت و باغبانی ایران ۱۰۸۴۰ میلیارد ریال برآورد کرده‌اند که این رقم حدود ۲۵ درصد ارزش افزوده این زیربخش‌ها را تشکیل می‌دهد. افزون بر این، بر اساس نتایج این پژوهش بروز خشکسالی ارزش افزوده دیگر زیربخش‌های کشاورزی و بخش‌های صنعت و خدمات را نیز به ترتیب در حدود ۱۹۶۷، ۳۸۲۴ و ۷۱۰۷ میلیارد ریال و تولید ناخالص داخلی کشور را حدود ۲۳۷۵۷ میلیارد ریال کاهش داده است. شایان ذکر است

دوره پایه و هریک از دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم است. شرح روش‌شناسی مراحل فوق در زیر آمده‌است.

شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی حوضه

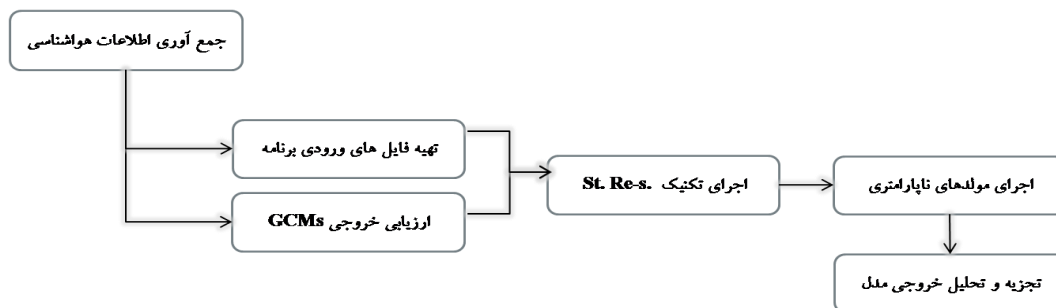
شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز زاینده‌رود در دو ناحیه مکانی حوضه سد زاینده‌رود (واقع در شمال غربی رودخانه زاینده‌رود) و کل حوضه رودخانه انجام شده‌است. با توجه به طول دوره کوتاه اطلاعات در دسترس، متغیرهای هواشناسی در مقیاس روزانه با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی شبیه‌سازی شده‌اند. برای شبیه‌سازی از رهیافت ناپارامتری استفاده شده است که بر پایه دو روش نزدیک‌ترین همسایه (K-Nearest Neighbour) و برآوردگر کرنل چگالی (Kernel Density Estimator) احتمال شرطی است. با توجه به اینکه مولدهای هواشناسی قادر به درج تغییر درازمدت پارامترهای اقلیمی (انحراف از نرمال اقلیمی) در خروجی مدل‌های پیش‌بینی بزرگ‌مقیاس و بر اساس راه‌گزین‌های از پیش تعیین‌شده نیستند، برای اعمال تغییرات لازم در سری مشاهده‌شده از تکنیک با نمونه‌گیری هدفمند استفاده شده‌است.

سری متغیرهای دمای بیشینه، کمینه و بارندگی در حوضه آبریز زاینده‌رود از خروجی شش مدل (GCMs) بزرگ‌مقیاس با مقیاس زمانی ماهانه و توان تفکیک مکانی اندک و نیز هشت راه‌گزین انتشار استفاده کرده‌است. برای حوضه سد زاینده‌رود از خروجی سه مدل بزرگ مقیاس HADCM3، CGCM3T63، BCM2، SR - B1، SR - A1B استفاده شده‌است. اعتبارسنجی نتایج الگوها از طریق نمودار خط نیمساز برای تطابق چشمی پارامترهای دو سری زمانی مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده انجام شده‌است. نتایج خروجی این مرحله برای متغیرهای دمای بیشینه، کمینه و بارندگی پس از اعتبارسنجی به‌عنوان ورودی به مدل‌های شبیه‌ساز دبی جریان رودخانه معرفی شده‌اند. برای تبدیل اطلاعات هواشناسی کوچک‌مقیاس شده (بارش و دما) به جریان رودخانه و شبیه‌سازی روابط درونی و معادلات فیزیکی بارش و رواناب روش مبتنی بر هوش مصنوعی به کار گرفته شده‌است.

خواهدشد. در پروژه تحقیقاتی مؤسسه بین‌المللی IWMI، چالش‌های آتی جدی برای رشد فعالیت‌های اقتصادی این حوضه، به‌ویژه فعالیت‌های بخش کشاورزی که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است، مورد تأکید قرار گرفته‌است. پیش‌بینی می‌شود وقوع تغییر اقلیم به کاهش جریان آب ورودی به رودخانه‌های این حوضه منجر شود؛ برای مثال مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) نشان داده‌اند که منابع آب حوضه بر اثر تغییر اقلیم تا سال ۱۴۲۰ به‌مقدار ۱۰ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت؛ بنابراین ارزیابی اینکه تغییر اقلیم چگونه منابع آب حوضه و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آن (بخش کشاورزی) را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برای تصمیم‌گیری در مورد توسعه منابع آب حوضه (اجرای طرح‌های انتقال آب از خارج حوضه، ساخت سد و...)، سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از سازه‌های موجود و نیز سیاست‌گذاری در خصوص توسعه آتی فعالیت‌های اقتصادی وابسته به منابع آب به‌ویژه توسعه بخش کشاورزی اهمیت شایان توجه دارد.

مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این پژوهش مطالعاتی در سه حوزه اقلیم، هیدرولوژی و اقتصاد کشاورزی انجام شده‌است؛ به این ترتیب که در گام نخست بر اساس خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس گردش عمومی جو (General Circulation Model) اطلاعات اقلیمی بارش و درجه حرارت برای دو دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ (افق ۱۴۲۰) و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (افق ۱۴۵۰) استخراج و با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در حد اطلاعات مکانی محلی شکسته شده است. نتایج خروجی این مرحله پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده حوضه است که اطلاعات ورودی مدل هیدرولوژی بارش-رواناب (مرحله دوم) و مدل‌های شبیه‌ساز عملکرد محصولات زراعی (مرحله سوم) محسوب می‌شوند. در گام آخر، یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) در سطح حوضه آبریز با قابلیت تعیین الگوی بهینه کشت و مقادیر کم آبیاری بهینه در کشت هر محصول توسعه و اجرا شد. خروجی این مرحله شامل سطح و ترکیب کشت محصولات زراعی حوضه، سود ناخالص بخش کشاورزی و نیز مقادیر بهینه آبیاری در کشت هر محصول در طول دوره رشد و به‌صورت فصلی برای



شکل ۱. الگوریتم کلی کار مطالعات هواشناسی تغییر اقلیم در حوضه زاینده رود

بخش‌ها در دوره‌های آتی پیش‌بینی شده‌است: ۱. راه‌گزین خوش‌بینانه optimistic (نرخ رشد جمعیت حوضه آبریز پایین، سطح رشد و توسعه صنعتی حوضه بالا و تغییرات تکنولوژی معنی‌دار)، ۲. راه‌گزین محتاطانه Pessimistic (رشد جمعیت حوضه آبریز بالا، سطح رشد و توسعه صنعتی حوضه پایین و تغییرات تکنولوژی اندک) و ۳. راه‌گزین ترکیبی (درصد رشد جمعیت پایین، درصد رشد توسعه صنعتی پایین و پیشرفت.

سناریوهای اقتصادی-اجتماعی حوضه آبریز انجام یک تحلیل واقع‌بینانه از آثار اقتصادی پدیده تغییر اقلیم نه تنها مستلزم به‌کارگیری سناریوهای تغییر اقلیم است، بلکه نیاز است تا تغییرات محتمل در وضعیت اقتصادی-اجتماعی حوضه در دوره‌های آتی نسبت به شرایط فعلی پیش‌بینی و در تحلیل وارد شوند. بر این اساس، در این پژوهش سه راه‌گزین مبتنی بر سه تصویر و چشم‌انداز از وضعیت اقتصادی و اجتماعی حوضه آبریز زاینده‌رود مطابق ارقام جدول ۱ تعریف او بر مبنای آن نیاز آبی این

جدول ۱. راه‌گزین‌های ترسیم‌کننده شرایط اقتصادی-اجتماعی حوضه آبریز زاینده‌رود در دوره‌های آتی

پیشرفت تکنولوژی	متوسط درصد رشد تقاضای آب صنعت در کل حوضه (%)	متوسط درصد رشد سالانه جمعیت (%)	راه‌گزین خوشبینانه
۰/۷	۲/۴	۰/۸۷	راه‌گزین خوشبینانه
۱	۱/۲	۱/۲۵	راه‌گزین محتاطانه
۰/۷	۱/۲	۰/۸۷	راه‌گزین ترکیبی (Mix)

مأخذ: محاسبات پژوهش

محصولات دیم و مدل‌های شبیه‌ساز محصول در مورد محصولات آبی کاربرد دارد. بر این اساس، در این پژوهش برای توابع واکنش اقلیمی عملکرد محصولات دیم در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود از روش آماری و به فرم ضمنی زیر تصریح شده‌است:

$$Y = f(TEMP_s, TEMP_s^2, RIN_s, RAIN_s^2, VTEM_s, VRAIN_s, TREND) \quad (1)$$

که در آن Y مقدار عملکرد محصول دیم، $TEMP_s$ میانگین درجه حرارت فصل s ام، $RAIN_s$ مقدار بارش فصل s ام ($s = 1, 2, 3, 4$)، و متغیرهای $TEMP_s^2$ و $RAIN_s^2$ به ترتیب درجه دوم هریک از متغیرهای دما و بارندگی فصلی هستند. TREND متغیر روند زمانی است و معرف تغییر در

شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی دیم و آبی

مدل‌های پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی به دو دسته الگوهای آماری و الگوهای شبیه‌ساز محصول تقسیم می‌شوند. اساس الگوهای آماری اغلب در به‌کارگیری شکل‌های مختلفی از توابع رگرسیونی است که به‌طور تجربی بتواند رابطه بین عملکرد محصول با پارامترهای اقلیمی را برقرار سازد. در عوض، مدل‌های شبیه‌ساز عملکرد محصول که بیشتر به مدل‌های آب و هوا-محصول معروفند درصد مدل‌سازی روابط بیوفیزیک بین آب، خاک و عملکرد محصول هستند. بررسی‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که روش آماری بیشتر در برآورد روابط عملکرد و پارامترهای اقلیمی برای

فناوری تولید محصولات زراعی در طول زمان است؛ همچنین $VTEP_s$ و $VRAIN_s$ به ترتیب بیانگر انحراف درجه حرارت و بارش از مقدار میانگین بلندمدت فصلی آنها هستند. دلیل انتخاب فرم تابعی درجه دوم برای توابع عملکرد در این پژوهش انطباق بیشتر آن با روابط غیر خطی بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصول است. با برآورد تابع فوق برای هریک از محصولات دیم حوضه (گندم، جو، حبوبات و یونجه) و با در دست بودن مقدار متغیرهای بارش و پارامترهای دمایی امکان شبیه سازی عملکرد در شرایط تغییر اقلیم میسر است.

برخلاف محصولات دیم روابط بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصولات آبی پیچیده است و نمی توان با برازش روابط رگرسیونی بین متغیرهای اقلیمی و عملکرد آنها روابط عملکرد-اقلیم را شبیه سازی کرد. اگرچه در مورد این محصولات بارش بخشی از آب مورد نیاز گیاه را فراهم می کند و تبخیر و تعرق آن نیز تحت تأثیر درجه حرارت است اما آنچه تعیین کننده مقدار عملکرد است مقدار آب تأمین شده از طریق آبیاری تکمیلی است. افزایش تبخیر و تعرق ناشی از افزایش درجه حرارت هوا به معنی افزایش نیاز آبی محصول در دوره رشد است که باید از طریق بارش یا آبیاری تکمیلی تأمین شود. ممکن است کشاورز کمبود بارش را با افزایش آبیاری (کاهش سطح کشت) جبران کند. در چنین شرایطی، انتظار نمی رود عملکرد محصول چندان تحت تأثیر قرار گیرد؛ بنابراین در این پژوهش به جای برآورد رابطه مستقیم بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصولات آبی از توابع واکنش آب-عملکرد پیشنهادی به وسیله فائو به صورت زیر استفاده شده است.

$$\frac{Y^a}{Y^m} = 1 - k_y \left(1 - \frac{ETA}{ETM} \right) \quad (2)$$

که در آن Y^a مقدار عملکرد واقعی، Y^m مقدار عملکرد پتانسیل، ETA مقدار تبخیر و تعرق واقعی (حاصل جمع بارش مؤثر به علاوه آب آبیاری)، ETM مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و k_y ضریب واکنش عملکرد محصول^۱ است. رابطه فوق یک رابطه ریاضی است که در آن نسبت عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل تابعی از نسبت تأمین آب (آبیاری یا بارش) به مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در طول دوره رشد گیاه در نظر گرفته می شود. تغییر اقلیم مقدار تبخیر و تعرق

پتانسیل (ETM) و بارش مؤثر را در رابطه ۲ تغییر می دهد. در این صورت اگر مقدار آب آبیاری نسبت به شرایط فعلی ثابت در نظر گرفته شود، امکان شبیه سازی عملکرد محصول آبی تحت شرایط تغییر اقلیم فراهم می شود. مقدار تبخیر و تعرق مرجع (ETM) و مقدار تبخیر و تعرق واقعی برای هر محصول در سال پایه با استفاده از نرم افزار CROPWAT محاسبه شده است. با توجه به اینکه به کارگیری همه اطلاعات لازم برای محاسبه مقدار این متغیرها در دوره های آبی امکان پذیر نبود، شبیه سازی آن از طریق بررسی رابطه دما و ETM در دوره پایه انجام شد. بدین منظور، مقدار ETM ماهانه برای یک دوره ۲۵ ساله از داده های مشاهداتی برآورد و سپس رابطه ای رگرسیونی بین مقدار ETM و متوسط درجه حرارت هر ماه برقرار شده است. با در دست بودن مقدار پیش بینی شده برای میانگین درجه حرارت ماهانه در هریک از دوره های آبی (به عنوان متغیر مستقل) تحت دو راه گزین AIB و $B1$ مقدار ETM ماهانه در دوره های آبی شبیه سازی شد. مقادیر عملکردهای شبیه سازی شده در این بخش از مطالعه در اجرای الگوی PMP برای شرایط تغییر اقلیم به کار گرفته شده اند.

توسعه الگوی برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP)

برای دستیابی به اهداف مطالعه از یک الگوی برنامه ریزی ریاضی مثبت (Howitt, 1995) استفاده شده که در آن تابع هزینه غیر خطی به سطوح کشت مشاهده شده در سال پایه کالیبره شده است. در واقع، در این الگو با اعمال یک بخش هزینه غیر خطی در تابع هدف پارامترهای تابع سود به گونه ای تعیین شده اند که مدل کم و بیش سطوح فعالیت مشاهده شده در سال پایه کالیبره شود (Ibid). الگوی بهینه سازی پژوهش حاضر نیز بر اساس روش سه مرحله ای هاویت تدوین شده است؛ به این صورت که در اولین گام یک الگوی برنامه ریزی ریاضی خطی معمول برای به دست آوردن مقادیر دوگان مربوط به محدودیت های کالیبراسیون اجرا شده است (با این تفاوت که به مجموعه قیود مربوط به منابع محدودکننده، یک مجموعه قیود و اسنجی افزوده می شود). در مرحله دوم، از اطلاعات دوگان به دست آمده در مرحله اول و روش ماکزیمم آنتروپی برای برآورد تابع هزینه غیرخطی

۱. با توجه به اینکه تاکنون ضریب K_y در تحقیقات داخلی برای حوضه مورد مطالعه کالیبره نشده است، مقدار این ضرایب از نتایج تحقیقات دورنباس و کسام به دست آمده که در نشریه راهنمای آبیاری و زهکشی FAO, 33 با قابلیت تعمیم به مناطق مختلف گزارش شده است.

در این تابع، ϕ_j پارامتر جزء خطی تابع هزینه و γ_{jj} ضرایب شیب تابع درجه دوم هزینه هستند. پارامترهای تابع λ به این صورت باید تصریح شوند:

$$\nabla C_j^v(X_j)_{X_0} = \frac{\partial C_j^v(X_{j0})}{\partial X_j} = MC_j^v = \phi_j + \sum_{j=1}^J \gamma_{jj} X_{j0} \quad (9)$$

$$= C_j + \rho_j$$

که $\nabla C_j^v(X_j)$ مشتقات مرتبه اول $C_j^v(X_j)$ برای $X_j = X_{j0}$ است. این فرم تصریح از تابع هزینه نهایی مبین این مطلب است که واکنش عرضه هر محصول به ماتریس کامل γ بستگی دارد؛ به بیان دیگر، تغییر در هزینه نهایی هم تابعی از سطح خود فعالیت و هم تابعی از سطح دیگر محصولات (جانشین و متمم) است. تصریح فوق یک حالت بد-وضعیت (ill-posed) است؛ زیرا تعداد پارامترهایی که باید برآورد شوند $[J + J(J+1)/2]$ بزرگتر از تعداد مشاهدات هستند. روش ماکزیمم آنتروپی (ME)^۱ که گلان و همکاران (۱۹۹۶) معرفی کرده‌اند امکان حل این سیستم را برای تخمین پارامترهای نامشخص بر اساس یک نوع "معیار اقتصادسنجی" فراهم می‌آورد.

چارچوب کلی این روش تعریف مقادیر حمایتی^۲ احتمالی از پارامترها و جمله‌های خطاست. در چارچوب این روش، ضرایب رگرسیون به‌عنوان متغیرهای تصادفی با یک بازه حمایتی و احتمال ممکن برای تحقق هر یک از اعداد موجود در این بازه در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس این روش، سطح احتمال حداکثر برای هر یک از مقادیر حمایتی به‌دست می‌آید که مجموع حاصل ضرب احتمال تحقق اعداد بازه در هر عدد ضرایب رگرسیون را تشکیل می‌دهند. اطلاعات در دسترس برای به‌دست‌آوردن عناصر γ_{jj} شامل هزینه‌های نهایی به‌دست‌آمده از الگوی LP یعنی $(C_j + \rho_j)$ و بردار سطوح مشاهده‌شده یعنی X_{j0} است. تابع هدف غیرخطی حداکثر آنتروپی، در اینجا برای تضمین فرض مثبت، نیمه‌معین و متقارن بودن ماتریس γ ، با کمک روش فاکتورگیری چولسکی تصریح می‌شود که در آن ماتریس W یک ماتریس مثلثی، $\Gamma = \Gamma W \Gamma = T T'$ است. $T = \Gamma W^{1/2}$ است. تابع هدف مسئله ماکزیمم آنتروپی به شرح زیر نوشته شده‌است:

استفاده شده‌است. در مرحله سوم، تابع هزینه غیرخطی برای هر محصول جایگزین هزینه خطی (هزینه متوسط) آن در الگوی اولیه شده و الگو بدون قیدهای کالیبره‌سازی اجرا شده است.

با فرض مسئله حداکثرسازی سود مجموعه فعالیت‌های کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود در چارچوب یک الگوی برنامه‌ریزی خطی LP مرحله اول روش PMP به‌صورت زیر فرموله شده‌است:

$$\text{Maximize } Z = \sum_{j=1}^J P_j Y_j X_j - \sum_{j=1}^J C_j X_j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J A_{ji} X_j \leq \text{LAND} \quad [\lambda_{\text{LAND}}] \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J A_{jws} X_j \leq \text{WAT}_s \quad \forall s = 1, 2, 3 \quad [\lambda_{ws}] \quad (5)$$

$$X_j \leq X_{0j} + \varepsilon \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad [\rho_j] \quad (6)$$

$$X_j \geq 0 \quad (7)$$

رابطه ۳ تابع هدف الگوی برنامه‌ریزی خطی است که در آن اندیس j بیانگر محصول، X_j متغیر تصمیم سطح زیر کشت اختصاص‌یافته به محصول j ام، P_j قیمت هر واحد محصول، Y_j مقدار عملکرد محصول j ام در واحد سطح و C_j مجموع هزینه‌های متغیر متوسط در واحد سطح زیر کشت هر محصول است. رابطه ۴ محدودیت اراضی کشاورزی حوضه است که در آن A_{ji} ضریب فنی نهاده زمین و LAND کل موجودی زمین قابل کشت در سطح حوضه آبریز است. رابطه ۵ بیانگر محدودیت‌های فصلی (بهار، تابستان و پاییز) آب کشاورزی است و A_{jws} و WAT_s به‌ترتیب میزان آب مصرفی در فصل s ام برای محصول j ام و مقدار موجودی آب کشاورزی در فصل s ام است. رابطه ۵ قید کالیبره‌سازی است که سطوح کشت هر محصول در الگوی (X_j) را به سطوح کشت مشاهده‌شده در سال پایه (X_{0j}) محدود می‌سازد. λ_{LAND} و λ_{ws} به‌ترتیب ارزش‌های سایه‌ای منابع ثابت زمین و آب فصلی هستند و ρ_j مقادیر دوگان (قیمت سایه‌ای) تولید هر محصول است.

در مرحله دوم، مقادیر ρ برای تصریح یک تابع هزینه متغیر چندمحصولی درجه دوم (رابطه ۸) به‌کار گرفته شده است.

$$C_j^v = \phi_j X_j + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \gamma_{jj} X_j X_j \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Max } HC(p) = & - \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P p \varphi_{j,p} \log p \varphi_{j,p} - \sum_{j=1}^J \sum_{j'=1}^{J'} \sum_{p=1}^P p \Gamma_{j,j',p} \log p \Gamma_{j,j',p} \\ & - \sum_{j=1}^J \sum_{j'=1}^{J'} \sum_{p=1}^P p w_{j,j',p} \log p w_{j,j',p} \end{aligned} \quad (10)$$

الگوی کشت استفاده شده است.

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی، زمانی که هر دو راهبرد تطبیق تغییر الگوی کشت و انتخاب استراتژی مناسب کم آبیاری به کار گرفته شوند، لازم بود الگوی فوق به گونه‌ای تعدیل شود که مقادیر ETA_{js} به همراه سطوح کشت محصولات مختلف (X_j) به طور درونزا تعیین شوند. برای این منظور رابطه عملکرد محصول و مصرف آب در فرم حاصل جمعی^۱ (Rao et al, 1998) به همراه مجموعه قیدهایی برای تراز آب مصرفی ناخالص و خالص در فصل‌های مختلف رشد با عملکرد پیش‌بینی شده برای محصولات مختلف در الگوی بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی در نظر گرفته و شکل نهایی الگو به شرح روابط ۱۴ تا ۲۰ طراحی شد.

$$\text{Maximize } Z = \sum_{j=1}^J P_j Y_j X_j - \sum_{j=1}^J (\varphi_j X_j + 0.5 \gamma_{jj'} X_j X_{j'}) \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^J A_{jl} X_j \leq \text{LAND} \quad [\lambda_{\text{LAND}}] \quad (15)$$

$$\left(\frac{Y_j^a}{Y_j^m} \right) = 1 - \sum_{s=1}^S ky_{js} \left(1 - \frac{ETA_{js}}{ETM_{js}} \right) \quad (16)$$

$$ETAG_{js} = ETA_{js} / Ef. irr \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^J ETAG_{js} X_j \leq WAT_s \quad \forall S=3 \quad (18)$$

$$ETA_{js} \geq 0.5 ETM_{js} \quad Y_j = Y_j^a \quad (19)$$

در این الگو، X_j, P_j, Y_j به ترتیب مقدار عملکرد، قیمت واحد محصول و سطح زیر کشت محصول J ام، φ_j عرض از مبدأ تابع هزینه و $\gamma_{jj'}$ ضرایب شیب توابع عرضه محصول (هزینه غیرخطی) هستند. رابطه ۱۴ تابع هدف برنامه‌ریزی ریاضی مثبت است. رابطه ۱۵ بیان‌کننده محدودیت اراضی کشاورزی در سطح حوضه است. رابطه ۱۶ عملکرد پیش‌بینی شده محصولات را بر اساس تأثیر متقابل آب خالص مصرفی در مراحل مختلف رشد و عملکرد پتانسیل محصولات حوضه متوازن می‌کند و در آن Y_j^a و Y_j^m به ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل محصول J ام، ky_{js} ضریب واکنش عملکرد محصول J ام به مقدار آب در فصل S ام و ETA_{js} و

که در آن $p \varphi_{j,p}$ توزیع‌های احتمالاتی نامعین از عرض از مبدأهای توابع هزینه، $p \Gamma_{j,j',p}$ و $p w_{j,j',p}$ به ترتیب توابع احتمالاتی مربوط به عناصر ماتریس مثلثی Γ و ماتریس قطری W است. تابع هدف ۱۰ با توجه به محدودیت‌های هزینه نهایی محصولات مختلف حداکثر شده است.

$$\rho_j + c_j = \sum_{p=1}^P p \varphi_{j,p} z \varphi_{j,p} + \sum_{j'=1}^{J'} \left\{ \sum_{k=1}^K (T_{jk} T_{k'j'}) \right\} \bar{X}_k \quad \forall j \quad (11)$$

$T_{(.)}$ یک عنصر از ماتریس T است که با تجزیه چولسکی بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T_{jj'} = \sum_{j=1}^J \left\{ \sum_{p=1}^P (p \Gamma_{j,j',w} z \Gamma_{j,j',w}) \sum_{p=1}^P (p w_{j,j',p} z w_{j,j',p})^{1/2} \right\} \quad (12)$$

رابطه ۱۱ نقش مقادیر حمایتی $z \Gamma_{(.)}$ و $z w_{(.)}$ را در فرایند برآورد ماتریس هزینه روشن می‌سازد. این مقادیر به همراه توزیع احتمالاتی $p \Gamma_{(.)}$ و $p w_{(.)}$ عناصر ماتریس مثلثی Γ و عناصر ماتریس قطری W را تعریف می‌کنند. همه توزیع‌های احتمالاتی فوق باید شرایط جمع‌پذیر بودن به یک (adding up) را به صورت زیر تأمین کنند:

$$\sum_{p=1}^P p \varphi_{(.)} = 1 \quad \sum_{p=1}^P p \Gamma_{(.)} = 1, \quad \sum_{p=1}^P p w_{(.)} = 1 \quad (13)$$

حل مسئله ۱۰-۱۳ مقادیر توزیع احتمال عناصر بردار عرض از مبدأ توابع هزینه، ماتریس مثلثی Γ و ماتریس قطری W توابع هزینه‌های متغیر نهایی را به دست داد. ضرایب شیب توابع غیرخطی هزینه کل (عناصر ماتریس γ) نیز بر اساس رابطه $\gamma = \Gamma W \Gamma = T T'$ محاسبه شد. در گام سوم، تابع هزینه غیرخطی برآورده شده با استفاده از روش ماکزیمم آنتروپی به جای بخش خطی هزینه در تابع هدف ۳ قرار گرفت و مسئله به یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی تبدیل شد. در این مرحله، قیدهای کالیبره‌سازی از الگو حذف و الگو تنها با محدودیت‌های سیستمی نهاده‌های ثابت تولید (زمین و آب فصلی) اجرا شده است. از الگوی طراحی شده در این مرحله در تحلیل اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود تحت راهبرد تطبیقی تغییر

الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت بود. در زیر، سعی شده‌است نتایج حاصل از هر مرحله به‌طور جداگانه ارائه شود.

شبیه‌سازی تغییر اقلیم

برای هریک از متغیرهای هواشناسی حوضه زاینده‌رود بر اساس اطلاعات ۳۰ سال گذشته و با استفاده از مولدهای هواشناسی و اجرای تکنیک بازنمونه‌گیری هدفمند ۵۰ سال سری روزانه شبیه‌سازی شده‌است. مقادیر متوسط این سری‌های تولیدشده برای دو متغیر متوسط درجه حرارت و مقدار بارش سالانه در نواحی مکانی مختلف حوضه در جدول ۳ گزارش شده‌است. پردازش نتایج کلی این پیش‌بینی‌ها نشان داد که تا اواسط قرن حاضر بر اساس هر دو راه‌گزین مقدار بارش سالانه در سطح حوضه کاهش و درجه حرارت افزایش خواهدیافت. بیشترین تغییرات بارش سالانه برای ناحیه میانی زاینده‌رود و تحت راه‌گزین انتشار A1B پیش‌بینی شده‌است که مقدار کاهش آن به ترتیب حدود ۲۹- و ۲۵- درصد در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ است. کمترین مقدار تغییر در بارش سالانه نیز برای بخش‌های پایاب و میانی زاینده‌رود تحت راه‌گزین انتشار B1 برای افق ۱۴۲۰ (دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹) به ترتیب با ۶/۱ درصد کاهش و ۱/۲۰ درصد افزایش پیش‌بینی شده‌است. نتایج پیش‌بینی‌ها برای پارامترهای دمایی حوضه نیز حاکی از گرایش آنها به افزایش در همه نواحی و تحت هر دو راه‌گزین انتشار A1B و B1 است.

آنچه از مقایسه نتایج سناریوهای جدول ۴ روشن می‌شود آن است که در نتایج هر دو راه‌گزین در رابطه با جهت تغییرات بارش (اغلب کاهش) و درجه حرارت (افزایش) توافق وجود دارد اما پیش‌بینی‌های راه‌گزین B1 از منظر زیست‌محیطی وضعیتی خوشبینانه‌تر و در مقابل راه‌گزین A1B (در آن افزایش بیشتر درجه حرارت و کاهش رادیکال تری در مقادیر بارش پیش‌بینی شده‌است) وضعیتی بدبینانه‌تر از آینده حوضه آبریز زاینده‌رود ارائه کرده‌اند. این به معنی انتظار تغییرات شدیدتر در عملکرد محصولات و مقدار تقاضای آب کشاورزی (نیاز آبی) حوضه در راه‌گزین A1B در مقایسه با راه‌گزین B1 است.

به ترتیب مقدار تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل محصول [ام در فصل S ام است. در رابطه ۱۷، مقدار آب ناخالص مصرفی در مراحل مختلف رشد محصول [ام در فصل S (ETAG_{js}) را بر حسب مقدار آب خالص (ETA_{js}) و راندمان آبیاری (EF_{irr}) محاسبه می‌کنند. رابطه ۱۸ مجموع مقدار آب مصرفی محصولات مختلف را در فصل S به منابع آب سطحی و زیرزمینی موجود در آن فصل محدود می‌سازد. رابطه ۲۰ این محدودیت را بر الگو تحمیل می‌کند که درصد کم‌آبیاری برای هر محصول در هر فصل بیشتر از ۵۰ درصد مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل آن نباشد. این الگو به شیوه حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی حل می‌شود و متغیرهای تصمیم آن عبارت از میزان تخصیص سطح کشت به ۲۱ محصول مورد کشت در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود (X_j)، مصرف آب خالص هر محصول در هر فصل (ETA_{js}) به منظور تأمین حداکثرسازی سود فعالیت‌های کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود بر مبنای تابع هدف رابطه ۱۴ هستند.

بخشی از داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز این الگو - از جمله الگوی کشت فعلی و ارقام عملکرد، هزینه، قیمت و درآمد محصولات - از بانک‌های اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی و پرسش‌نامه‌های تکمیلی در منطقه جمع‌آوری شد. عملکرد بالقوه محصولات بر اساس روش ناحیه‌بندی زراعی - اکولوژیکی و با تعدیل کارشناسی برآورد شده‌است. متوسط راندمان آبیاری در سطح حوضه زاینده‌رود نیز از گزارش‌های برنامه جامع سازگاری با اقلیم (منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز کشور) اقتباس شده‌است. این الگو در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشته و با حل‌کننده CONOPT حل شده است.

نتایج و بحث

روش‌شناسی پژوهش برای دستیابی به اهداف فوق مشتمل بر پنج مرحله شبیه‌سازی تغییر اقلیم در سطح حوضه، شبیه‌سازی دبی ورودی به سد زاینده‌رود، برآورد نیاز آبی بخش‌های شرب و صنعت، شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی در شرایط تغییر اقلیم و در نهایت بسط و توسعه یک

جدول ۲. درصد تغییرات بارش و مقدار تغییر متوسط دمای سالانه حوضه در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹

نسبت به دوره پایه تحت دو راه‌گزین تغییر اقلیم B1 و A1B

سناریو	مقدار تغییر در درجه حرارت سالانه (سانتی‌گراد)				درصد تغییر در مقدار بارش سالانه		
	سرآب حوضه	پایاب حوضه	حوضه سد	سرآب حوضه	حوضه میانی	پایاب حوضه	حوضه سد
B1-1420	۱/۳	۰/۱	۱/۴	۱/۲	-۶/۱	+۲/۱۰	-۱۰/۲
B1-1450	۱/۸	۰/۳	۱	۱/۳	-۱۸	-۱۱/۲	-۶/۹
A1B-1420	۱/۸	۰/۵	۱/۳	۱/۵	-۱۴/۳	-۲۸/۹	-۱۰/۶
A1B-1450	۲	۰/۷	۱/۱	۱/۶	-۱۵/۴	-۲۵/۱	-۸/۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

سد زاینده‌رود در شرایط تغییر اقلیم برای هر دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره تاریخی کاهش پیش‌بینی شده‌است. متوسط مقدار کاهش در آورد سالانه برای افق ۱۴۲۰ در حدود ۳/۴ درصد و در افق ۱۴۵۰ در حدود ۸/۱ درصد برآورد شده‌است.

شبیه‌سازی تغییرات آبدهی سد زاینده‌رود در شرایط تغییر اقلیم

آبدهی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از یک مدل شبکه عصبی در محل ورودی به سد شبیه‌سازی شد که نتایج آن برای محتمل‌ترین راه‌گزین A1B در جدول ۳ گزارش شده‌است. ملاحظه می‌شود، در همه ماه‌های سال حجم آورد ورودی به

جدول ۳. متوسط آورد تاریخی و شبیه‌سازی ورودی به سد زاینده‌رود تحت راه‌گزین A1B

ماه	مقدار دبی دوره پایه	دوره ۲۰۳۹-۲۰۴۰		دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹	
		مقدار دبی	درصد تغییر	مقدار دبی	درصد تغییر
مهر	۴۳	۴۱	-۴/۷	۳۷	-۱۴
آبان	۶۱	۵۹	-۳/۳	۵۲	-۱۴/۸
آذر	۷۰	۶۷	-۴/۳۰	۵۷	-۱۸/۶
دی	۶۵	۶۵	۰	۵۸	-۱۰/۸
بهمن	۷۲	۶۵	-۹/۷	۵۸	-۱۹/۴
اسفند	۱۳۴	۱۳۱	-۲/۲	۱۲۷	-۵/۲
فروردین	۳۲۱	۳۱۲	-۲/۸	۳۰۵	-۵
اردیبهشت	۳۲۲	۳۲۰	-۰/۶	۳۱۸	-۱/۲۰
خرداد	۲۲۸	۲۰۷	-۹/۲	۲۰۰	-۳/۱۲
تیر	۱۴۷	۱۴۵	-۱/۴	۱۳۶	-۷/۵
مرداد	۸۱	۸۲	+۱/۲	۷۷	-۷/۲
شهریور	۴۵	۴۳	-۴/۴	۳۷	-۱۷/۸
جمع	۱۵۹۱	۱۵۳۷	-۳/۴	۱۴۶۲	-۸/۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مترمکعب تا سال ۱۴۲۰ در راه‌گزین optimistic (۴۷) درصد افزایش)، ۷۸۸ میلیون مترمکعب در راه‌گزین Pessimistic (۴۴ درصد افزایش) و به ۶۸۳ میلیون مترمکعب (۱۲/۳ درصد) در راه‌گزین ترکیبی افزایش یابد. برای افق ۱۴۵۰ نیز جمع نیاز آبی این بخش‌ها در هریک از راه‌گزین‌های مذکور به ترتیب ۱۴۸۹/۸، ۱۲۲۵/۸ و ۸۷۳/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده‌است که مقدار افزایش

پیش‌بینی آب مورد نیاز بخش‌های شرب و صنعت حوضه آبریز زاینده‌رود

صرف‌نظر از مقدار کاهشی که در طرف عرضه منابع آب سطحی حوضه آبریز زاینده‌رود به دلیل تغییرات اقلیمی پیش‌بینی شد (جدول ۳)، در طرف تقاضا نیز انتظار می‌رود نیاز آبی بخش‌های شرب و صنعت از ۶۰۸/۳ میلیون مترمکعب در شرایط فعلی ۱۳۸۵ به ۸۹۴/۴ میلیون

کشاورزی)، به طور قطع این افزایش تقاضای آب در بخش‌های مذکور از طریق کاهش سهم بخش کشاورزی پاسخ داده خواهد شد.

آن نسبت به سال پایه به ترتیب معادل با ۱۴۵، ۱۰۰ و ۴۴ درصد است. با توجه به ترتیب‌های نهادی موجود در کشور در رابطه با اولویت تخصیص آب به بخش‌های مختلف (به ترتیب شرب، صنعت، حقایقه زیست‌محیطی و بخش

جدول ۴. آب مورد نیاز بخش‌های شرب و صنعت حوضه آبریز زاینده‌رود در دوره‌های آتی (میلیون مترمکعب)

راه‌گزین ترکیبی		راه‌گزین محتاطانه		راه‌گزین خوشبینانه		مقدار آب	بخش
۱۴۵۰	۱۴۲۰	۱۴۵۰	۱۴۲۰	۱۴۵۰	۱۴۲۰	مصرفی سال پایه	
۵۹۰/۸	۴۵۵/۶	۹۴۲/۳	۶۴۹/۶	۵۹۰/۸	۴۵۵/۶	۴۲۰	شرب و شهری
۲۸۲/۸	۲۲۷/۴	۲۸۲/۸	۲۲۷/۴	۸۹۹	۴۳۶/۸	۱۸۸/۳	صنعت و معدن
۸۷۳/۳	۶۸۳	۱۲۲۵/۸	۸۷۷	۱۴۸۹/۸	۸۹۴/۴	۶۰۸/۳	جمع

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در راه‌گزین اول، انتظار می‌رود وقوع یک کاهش در منابع آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی با تقسیم به نسبت آن بین همه محصولات موجود سرشکن شود؛ بنابراین اثر این کاهش بدون الگوسازی و از طریق محاسبات ساده تحلیل شده‌است؛ بدین ترتیب که ابتدا سود ناخالص و مقدار ناخالص مصرف آب در متوسط هر هکتار سطح زیر کشت ترکیب موجود محاسبه شده‌است و سپس مقدار کاهش در سطح زیر کشت با تقسیم کل مقدار کاهش در آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی (ناشی از هر دو عامل تغییر اقلیم و شرایط اقتصادی- اجتماعی حوضه) بر متوسط مصرف ناخالص آب در هکتار به دست آمده‌است. حاصل ضرب سود ناخالص در هکتار در مقدار سطح زیر کشت کاهش یافته کل زیان بخش کشاورزی را در این حالت به دست می‌دهد. بر اساس این محاسبات، مقدار کاهش در موجودی منابع آب بخش کشاورزی در افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ به ترتیب حدود ۱۳۶ و ۴۵۲ میلیون مترمکعب خواهد بود. براساس راه‌گزین مطابقت نداشتن پیامد این امر کاهش در سود ناخالص بخش کشاورزی حوضه به ترتیب به میزان ۳۹۷/۶ و ۷۰۲/۹ میلیارد ریال برآورد می‌شود که به ترتیب ۱۸/۱ و ۳۲/۲ درصد سود ناخالص در سال پایه است.

تحلیل نتایج در سناریوی تطبیقی دوم و سوم، بر خلاف سناریوی اول، مبتنی بر نتایج الگوی کالیبره شده برنامه‌ریزی ریاضی است که نتایج آن برای سناریوی تطبیقی دوم در جدول ۵ و برای سناریوی تطبیقی سوم در جدول ۷ گزارش شده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تا افق ۱۴۲۰ و تحت راه‌گزین تطبیقی تغییر الگوی کشت پیش‌بینی شده

تحلیل پیامدهای اقتصادی تغییر اقلیم و شرایط اقتصادی- اجتماعی حوضه بر بخش کشاورزی

پیامدهای تغییر اقلیم بر سود ناخالص بخش کشاورزی حوضه تحت سه راه‌گزین به کار نگرفتن هر گونه راهبرد تطبیق در بخش کشاورزی، اعمال راهبرد تغییر الگوی کشت (انتخاب الگوی کشت بهینه) و استفاده همزمان از راهبرد تغییر الگوی کشت و انتخاب استراتژی مناسب کم‌آبیاری ارزیابی شده‌است. در راه‌گزین تطبیقی یک این فرض وجود دارد که زارعان برای مقابله با کاهش به‌وجودآمده در مقدار تخصیص آب به این بخش هیچ‌گونه راهبرد تطبیقی را به کار نمی‌گیرند و به انتخاب ترکیب کشت و مقادیر آبیاری موجود در کشت هر محصول ادامه می‌دهند. این فرض در دنیای واقع چندان معقول به نظر نمی‌رسد؛ چراکه کمیابی بیشتر آب هزینه فرصت آب را افزایش می‌دهد و زارعان با انتخاب محصولات با ارزش تولید نهایی بالاتر آب و در مقابل حذف یا کاهش سطح کشت محصولات با ارزش کمتر الگوی کشت خود را تغییر می‌دهند. نتیجه اتخاذ این استراتژی کاهش خسارت اقتصادی تغییر اقلیم در مقایسه با راه‌گزین اول است. در راه‌گزین سوم، فرض کامل‌تر و عینی‌تری نسبت به دو راه‌گزین دیگر وجود دارد و آن این است که زارعان در مواجهه با شرایط کم‌آبی نه تنها انتخاب خود را در رابطه با نوع و سطح کشت محصولات مختلف تغییر می‌دهند، بلکه بین مقدار آبیاری هر محصول در دوره‌های کشت، کاهش (افزایش) عملکرد و افزایش (کاهش) سطح زیر کشت محصولات مختلف نیز دست به انتخاب می‌زنند.

دستخوش تغییر شده‌است که درصد تغییر آن از بیشترین مقدار ۶۸ درصد برای حبوبات تا کمترین مقدار ۰/۲- درصد برای آفتابگردان متغیر است. سهم بیشتر محصولات زراعی آبی در الگو به جز دو محصول جو، یونجه و حبوبات کاهش یافته است.

است که سطح زیر کشت محصولات آبی حوضه با پذیرش کاهش ۸/۲ درصدی از ۲۵۸ هزار هکتار فعلی به ۲۳۶/۷ هزار هکتار کاهش یابد. افزون بر این، سهم بیشتر محصولات در الگوی کشت نیز در این شرایط نسبت به حالت پایه

جدول ۵. درصد تغییرات الگوی کشت و درآمد ناخالص بخش کشاورزی حوضه در افق ۱۴۲۰ نسبت به دوره پایه (هکتار)

افق ۱۴۵۰		افق ۱۴۲۰		سطح کشت پایه	محصول
درصد تغییر نسبت به پایه	سطح کشت	درصد تغییر نسبت به پایه	سطح کشت		
-۲۷	۵۹۶۳۹	۶۵۵۱۲	-۱۹/۸	۸۱۶۸۴	گندم
۵۵/۳	۴۰۶۱۸	۳۴۱۸۴	۳۰/۷	۲۶۱۴۸	جو
-۵۵/۷	۷۱۳۱	۱۰۵۸۳	-۳۴/۲	۱۶۰۸۱	سیب‌زمینی
۱۸	۳۹۹۲۳	۳۷۳۸۶	۱۰/۵	۳۳۸۴۴	یونجه و اسپرس
-۱۶/۶	۳۹۳۸	۴۳۱۹	-۸/۶	۴۷۲۴	چغندرقد
-۳۶/۲	۲۶۹۴	۴۰۶۲	-۳/۸	۴۲۲۳	پیاز
-۹/۲	۱۸۸۰۲	۱۶۲۶۳	-۲۱/۵	۲۰۷۱۳	برنج
-۳۱/۱	۲۱۹۲	۲۵۸۳	-۱۸/۸	۳۱۸۰	ذرت دانه‌ای
-۳۰	۱۱۷۸۰	۱۶۱۸۹	-۳/۸	۱۶۸۲۹	ذرت علوفه‌ای
-۲۱/۹	۱۸۸۵	۲۱۴۸	-۱۱	۲۴۱۴	جالیز
-۵۳/۹	۶۰۱۱	۷۶۵۸	-۴۱/۲	۱۳۰۳۴	پنبه
-۴/۵	۲۸۷۴	۳۰۰۴	-۰/۲	۳۰۱۱	آفتابگردان آجیلی
-۹/۶	۶۸۵	۷۲۳	-۴/۶	۷۵۸	گلرنگ
-۱۰/۹	۹۶۰	۹۹۶	-۷/۶	۱۰۷۸	کلزا
۴۵/۴	۱۹۸۰	۲۲۹۳	۶۸/۴	۱۳۶۲	حبوبات
.	۲۸۸۶۳	۲۸۸۶۸	.	۲۸۸۶۳	باغات
-۱۸/۷	۱۴۳۶۵	۱۵۷۹۷	-۱۰/۶	۱۷۶۶۵	گندم دیم
-۲/۷	۱۱۵۴۰	۱۲۱۲۷	۲/۳	۱۱۸۵۹	جو دیم
-۲۲/۱	۱۵۱۷	۱۷۸۰	-۸/۶	۱۹۴۷	حبوبات دیم
۱۱/۲	۹۲۷	۸۸۲	۵/۸	۸۳۴	یونجه دیم
-۱۱	۲۵۸۳۲۴	۲۶۷۳۵۷	-۷/۹	۲۹۰۲۵۶	جمع سطح زیر کشت (ha)
-۱۰/۸	۲۲۹۹۷۵	۲۳۶۷۷۱	-۸/۲	۲۵۷۹۵۱	جمع سطح زیر کشت آبی (ha)
-۱۸/۲	۱۷۹۸/۷	۱۹۲۸/۹	-۱۲/۳	۲۱۹۸/۳	سود ناخالص بخش کشاورزی (میلیارد ریال)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

کشت پنبه ۴۱/۲ درصد پیش‌بینی شده‌است. در مقابل، برای محصولات جو، یونجه و حبوبات افزایش سطح زیر کشت به ترتیب به میزان ۳۰/۷، ۱۰/۵ و ۶۸/۴ درصد افزایش برآورد شده‌است. پیامد این تغییرات بر درآمد و سود زارعان کاهش سود ناخالص بخش کشاورزی حوضه به میزان ۱۲/۳ درصد

نکته جالب توجه در نتایج جدول ۵ این است که تغییرات سطح کشت متوجه محصولات اصلی از جمله گندم، جو، سیب‌زمینی، یونجه، برنج و پنبه خواهد بود، به طوری که درصد کاهش سطح کشت گندم ۱۹/۸ درصد، سیب‌زمینی ۳۴/۲ درصد، برنج ۲۱/۵ درصد و درصد کاهش سطح زیر

جدول ۶ نتایج شبیه‌سازی‌شده عملکرد، مقادیر بهینه کم آبیاری فصلی و ترکیب کشت بهینه را برای افق ۱۴۲۰ و زمانی که زارعان افزون بر تغییر الگوی کشت استراتژی کم‌آبیاری مناسب را انتخاب کنند نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات این جدول می‌توان با اعمال مقادیر کم‌آبیاری ۴۴ درصد در کشت گندم، ۳۳ درصد در جو، ۳۴ درصد در کشت سیب‌زمینی، ۲۵ درصد در کشت یونجه، ۲۲ درصد در کشت چغندر قند و کلزا، ۲۴ درصد در کشت محصولات ذرت، جالیز و حبوبات، ۱۰ درصد در کشت برنج و ۳۵ و ۳۶ درصد به ترتیب در کشت پنبه و گلرنگ به حداکثر سود ناخالص دست یافت. در این حالت، عملکرد گندم با توجه به مقدار مصرف بهینه آب در فصل‌های مختلف حدود ۵ تن، عملکرد جو ۴/۷ تن، سیب‌زمینی ۲۲/۶ تن، یونجه ۸/۵ تن، چغندر قند ۳۳/۸ تن، پیاز ۳۲/۴ تن، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای به ترتیب ۵/۵ و ۴۵/۴ تن، جالیز ۱۹/۶ تن در هکتار برآورد شده‌است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که در شرایط کاهش منابع آب بخش کشاورزی به میزان ۱۳۶ میلیون مترمکعب، حرکت به سمت مقادیر مناسب کم‌آبیاری و الگوی کشت بهینه تعیین‌شده در جدول ۶ نه تنها با این کاهش در موجودی منابع آب، مقدار سطح زیر کشت کاهش نخواهد یافت، بلکه در همان سطح کاهش یافته از منابع آب می‌توان سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی حوضه را از ۲۹۰ هزار هکتار فعلی به ۳۱۳/۶ هزار هکتار (۸ درصد افزایش) و سطح زیر کشت محصولات آبی را از حدود ۲۵۸ هزار هکتار به حدود ۲۸۳ هزار هکتار (۹/۸ درصد) افزایش داد. در این صورت سود ناخالص بخش کشاورزی حوضه علی‌رغم کاهش در عملکرد محصولات و کاهش در حجم آب در دسترس در افق ۱۴۲۰، تنها ۲/۸ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت و از مقدار ۲۱۹۸/۳ میلیارد ریال کنونی به ۲۱۳۷/۷ میلیارد ریال خواهد رسید. نقش راهبردهای تطبیقی در کاهش پیامدهای منفی تغییر اقلیم و سیاست‌های تخصیص مجدد منابع آب حوضه بر بخش کشاورزی از مقایسه ارقام شبیه‌سازی شده برای متغیرهای سطح زیر کشت و سود ناخالص بخش کشاورزی تحت سناریوهای مختلف و مقدار آن‌ها در دوره پایه در جدول ۷ جمع‌بندی شده و روشن است.

در افق ۱۴۲۰ نسبت به دوره پایه (معادل ۲۶۹/۴ میلیارد ریال در سال) خواهد بود. با توجه به پیش‌بینی‌های جدی‌تری از کاهش منابع آب (۴۵۲ میلیون مترمکعب) و نیز کاهش بیشتر عملکرد محصولات در افق ۱۴۵۰ در مقایسه با افق ۱۴۲۰، مقدار کاهش سطح زیر کشت و سود ناخالص نیز بیشتر برآورد شده‌است. بر اساس ارقام جدول ۶ تغییر اقلیم و تغییر در شرایط اقتصادی-اجتماعی حوضه آبریز تا افق ۱۴۵۰ و تحت راه‌گزین تطبیقی تغییر الگوی کشت به کاهش ۳۱/۹ هزار هکتار سطح زیر کشت کل محصولات زراعی آبی و دیم و حدود ۲۸ هزار هکتار کاهش سطح زیر کشت محصولات آبی منجر خواهد شد که منفعت از دست رفته آن در حدود ۳۹۹/۶ میلیارد ریال (حدود ۱۸/۲ درصد سود ناخالص بخش کشاورزی حوضه در دوره پایه) برآورد شده‌است. به لحاظ تغییرات ترکیب کشت نیز نتایج الگو برای این افق تقریباً شباهت بالایی با نتایج الگو برای افق ۱۴۲۰ دارد، با این تفاوت که در این حالت مقادیر تغییر بزرگ‌تر ارزیابی شده‌است. بیشترین درصد تغییر با مقدار ۵۵/۷ درصد کاهش در سطح زیر کشت برای محصول سیب‌زمینی و کمترین تغییرات برای محصول آفتابگردان با ۴/۵ درصد کاهش پیش‌بینی شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این افق نیز مانند نتایج الگو برای افق ۱۴۲۰ سهم بیشتر محصولات زراعی آبی در الگو به جز دو محصول جو و یونجه و حبوبات کاهشی پیش‌بینی شده‌است؛ همچنین بیشتر کاهش‌ها در این حالت نیز متوجه محصولات اصلی مورد کشت در حوضه شامل گندم (۰/۲۷٪-)، جو (۰/۵۵/۳٪+)، سیب‌زمینی (۰/۵۵/۷-) و پنبه (۰/۵۳/۹٪-) است. میزان کاهش سطح زیر کشت برنج در حدود ۹/۲ درصد، چغندر قند ۱۶/۶ درصد، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای حدود ۳۰ درصد، گلرنگ ۹/۶ درصد و برای آفتابگردان آجیلی و کلزا نیز به ترتیب ۴/۵ و ۱۱ درصد پیش‌بینی شده‌است. در رابطه با محصولات دیم حوضه نیز انتظار می‌رود در شرایط تغییر اقلیم و تا افق ۱۴۲۰ سطح زیر کشت کل این محصولات از ۳۲/۳ هزار هکتار فعلی به ۲۸/۳ هزار هکتار کاهش یابد؛ به عبارتی دیگر، در حدود ۴ هزار هکتار از اراضی دیم به دلیل کاهش نزولات جوی از چرخه تولید این محصولات خارج و به اراضی لم‌یزرع تبدیل خواهد شد.

جدول ۶. نتایج حاصل از اجرای الگوی برنامه‌ریزی با راه‌گزین MCM ۱۳۶ کاهش در منابع آب کشاورزی و به‌کارگیری دو راهبرد تطبیق الگوی کشت و استراتژی کم‌آبیاری بهینه - شرایط تغییر اقلیم - افق ۱۴۲۰

محصول	ترکیب کشت		عملکرد پیش‌بینی شده (Kg/ha)	درصد کم آبیاری بهینه گیاه در فصول مختلف و کل دوره رشد (درصد)			
	سطح کشت	درصد تغییر نسبت به سال پایه		کل	بهار	تابستان	پاییز
گندم	۸۳۰۵۷	۱/۷	۵۰۵۰	۴۴	۴۴	۰	۴۵
جو	۳۰۴۲۸	۱۶/۴	۴۷۴۰	۳۳	۳۰	۵۰	۵۰
سیب زمینی	۱۵۰۰۹	-۶/۷	۲۲۵۸۷	۳۴	۶	۴۵	۴۵
یونجه و اسپرس	۴۹۱۴۰	۴۵	۸۵۵۳	۲۵	۰	۲۷	۵۰
چغندر قند	۶۴۱۴	۳۵/۷	۳۳۸۴۰	۲۲	۱۰	۴۵	۱۰
پیاز	۴۶۱۸	۹/۳	۳۲۴۴۰	۲۷	۲۱	۴۵	۳۶
برنج	۱۷۱۵۵	-۱۷/۱	۴۱۶۰	۱۰	۰	۲۱	۰
ذرت دانه‌ای	۲۱۲۴	-۳۳/۲	۵۵۳۰	۲۴	۴۴	۱۴	۴۵
ذرت علوفه‌ای	۲۹۱۰۴	۷۲/۹	۴۵۳۶۰	۲۴	۲۱	۲۸	۱۲
جالیز	۲۲۶۴	-۶/۲	۱۹۶۲۰	۲۴	۰	۴۵	۴۵
پنبه	۹۲۱۰	-۲۹/۳	۱۸۴۲	۳۵	۱۰	۳۵	۳۵
آفتابگردان آجیلی	۳۴۵۰	۱۴/۵	۲۲۲۰	۳۱	۸	۲۹	۴۵
گلرنگ	۸۷۴	۱۵/۳	۱۲۴۵	۳۶	۱۰	۴۰	۱۵
کلزا	۱۲۶۲	۱۷	۲۰۱۴	۲۲	۱۲	۴۵	۴۵
حبوبات	۰	-۱۰۰	۱۴۰۷	۲۴	۱۵	۲۷	۳۳
باغات	۲۸۸۶۳	۰	-	-	-	-	-
محصولات دیم	۳۰۶۶۶	-۵	-	-	-	-	-
جمع سطح زیر کشت (ha)	۳۱۳۶۴۳	۸/۰۵	-	-	-	-	-
جمع سطح زیر کشت آبی (ha)	۲۸۲۹۷۷	۹/۷	-	-	-	-	-
سود ناخالص بخش کشاورزی (میلیارد ریال)	۲۱۳۷/۷	-۲/۸	-	-	-	-	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۷. سطح زیر کشت و سود ناخالص بخش کشاورزی در دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم و راه‌گزین‌های تطبیقی مختلف (هکتار - میلیارد ریال)

راه‌گزین	کل سطح زیر کشت		سطح زیر کشت آبی		سود ناخالص	
	مقدار	درصد تغییر	مقدار	درصد تغییر	مقدار	درصد تغییر
حالت پایه	۲۹۰۲۵۶	۰	۲۵۷۹۵۱	۰	۲۱۹۸/۳	۰
راه‌گزین تطبیق ۱۴۲۰-۱	۲۷۸۹۲۳	-۳/۹	۲۴۶۶۱۸	-۴/۴	۱۸۰۰/۵	-۱۸/۱
راه‌گزین تطبیق ۱۴۲۰-۲	۲۶۷۳۵۷	-۷/۹	۲۳۶۷۷۱	-۸/۲	۱۹۲۸/۹	-۱۲/۲
راه‌گزین تطبیق ۱۴۲۰-۳	۳۶۳۶۴۳	+۸/۱	۲۸۲۹۷۷	+۹/۷	۲۱۳۷/۷	-۲/۸
راه‌گزین تطبیق ۱۴۵۰-۱	۲۵۲۵۸۹	-۱۳	۲۲۰۲۸۴	-۱۴/۶	۱۴۹۵/۲	-۳۲
راه‌گزین تطبیق ۱۴۵۰-۲	۲۵۸۳۲۴	-۱۱	۲۲۹۹۷۵	-۱۰/۸	۱۷۹۸/۷	-۱۸/۲
راه‌گزین تطبیق ۱۴۵۰-۳	۳۰۵۲۴۹	+۵/۱	۲۷۶۰۸۴	+۷	۱۹۸۰	-۹/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

برای مقابله با شرایط کم‌آبی است؛ بنابراین انجام چنین پژوهشی برای دیگر حوضه‌های آبریز کشور به‌منظور تدوین سند راهبردی و ملی آبیاری و الگوی کشت سازگار با اقلیم پیشنهاد می‌شود.

در این پژوهش، نقش دو راهکار تطبیقی بدون هزینه در کاهش آثار تغییر اقلیم در بخش کشاورزی ارزیابی شد. در ادبیات موضوع، راهکارهای مختلفی برای مقابله با تغییر اقلیم ذکر شده‌است. انتقال بین حوضه‌ای آب، تغییر رقم زراعی، افزایش راندمان آبیاری و احداث سد و سازه‌های آبی بیشتر، از جمله این راهکارها هستند. به‌طور طبیعی اجرای هر کدام از این راهکارها هزینه‌هایی را بر جامعه تحمیل می‌کند که اجرای آن‌ها باید در چارچوب تحلیل منفعت به هزینه تحلیل اقتصادی شود. بررسی نقش راهکارهای فوق با لحاظ منافع و هزینه‌های چندگانه آن برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود؛ همچنین بررسی‌های پژوهش حاضر نشان داد که فشار وارده بر منابع آب و بخش کشاورزی حوضه در دوره‌های آتی از طرف تقاضای آب (افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های شرب و صنعت) در مقایسه با کاهش منابع آب در طرف عرضه (در اثر تغییر اقلیم) بیشتر خواهد بود. این امر مبین نقش راه‌گزین‌های اقتصادی-اجتماعی در تحلیل وضعیت منابع و مصارف آب حوضه در دهه‌های آتی است و ضرورت تلفیق آن را با راه‌گزین‌های تغییر اقلیم در مطالعات آتی نشان می‌دهد. به‌کارگیری سیاست‌های مدیریت تقاضا (برای مثال قیمت‌گذاری مؤثر و اقتصادی آب) ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش فشار بر منابع آب و بخش کشاورزی حوضه و بهبود وضعیت مالی شرکت‌های آب منطقه‌ای می‌تواند راهکاری تطبیقی در مقابله با شرایط کم‌آبی و تغییر اقلیم باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه نشان داد که تا نیمه‌های قرن حاضر مقدار بارش سالانه در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود کاهش و درجه حرارت افزایش خواهد یافت. پیامد این امر برای متغیرهای فیزیکی حوضه شامل کاهش دبی ورودی به سد زاینده‌رود در حدود ۳/۵ و ۸ درصد به‌ترتیب تا افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ نسبت به سال پایه، افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی و نیز کاهش عملکرد اغلب محصولات کشاورزی حوضه ارزیابی شده است. وقوع چنین شرایطی در کنار تغییرات اقتصادی-اجتماعی حوضه آبریز و اهمیت‌یافتن ملاحظات زیست‌محیطی در آینده فشار دوجندانی را بر بخش کشاورزی وارد خواهد ساخت. در چنین شرایطی، به‌کارگیری راهبردهای تطبیقی برای کاهش خسارت‌های ناشی از کمبود منابع آب اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در بدترین حالت (به کار نگرفتن راهبرد تطبیق) خسارت بخش کشاورزی از بابت تغییرات مذکور در حدود ۱۸ و ۳۲ درصد کل سود ناخالص بخش کشاورزی به‌ترتیب تا ۳۰ و ۶۰ سال آینده خواهد بود. مقدار این خسارت در زمانی که زارعان الگوی کشت خود را مطابق الگوی پژوهش حاضر تغییر دهند، به‌ترتیب به حدود ۱۲/۲ و ۱۸/۲ درصد سود ناخالص در شرایط پایه کاهش خواهد یافت؛ همچنین زمانی که زارعان افزون بر تغییر الگوی کشت مقادیر کم‌آبیاری بهینه را در برنامه آبیاری محصولات مختلف به‌کار گیرند، مقدار این کاهش به حداقل مقدار خود خواهد رسید. بر اساس نتایج الگو با به‌کارگیری همزمان این دو راهبرد تطبیق خسارت بخش کشاورزی از تغییر اقلیم تنها به میزان ۲/۸ درصد سود ناخالص آن تا افق ۱۴۲۰ و حدود ۱۰ درصد تا افق ۱۴۵۰ خواهد بود. مقایسه این ارقام نشان‌دهنده منافع بالقوه به‌کارگیری پتانسیل‌های تطبیق در بخش کشاورزی

REFERENCE

- Adams, R. M., and et al (1995). A reassessment of the economic effects of global climate change on U.S. agriculture. *Climate Change*. 30: 147- 167.
- Chang, C.C., (2003). The potential impact of climate change on Taiwan s agriculture. *Agricultural Economics*. 27: 51-64.
- Chizari, A. H. Najafialamdalo, H. Kamali, G. (2009). Investigating the impact of climate change rianfed wheat yield. A case study: Maragheh. Paper presented in 6th Iranian agricultural economic conference. Tehran. Iran. (In Farsi).
- CROPWAT, 1995. A computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46*. CROPWAT Version 5.6 (1991). FAO, Rome, Italy.
- Darwin, R., Tsiagas, M., Lewandrowski, J., Ranases., (1995). World agriculture and climate change: Economic adaptation. Report No. ARE-709, US department of agriculture, *Economic research services, Washington, DC*.
- Deressa, T., and R. Hassan. 2005. Measuring the economic impact of climate change on major South African agriculture: The case of

- sugarcane growing regions. *Agricultural economics*, 44(4): 524-541.
- Dinar, A., and et al (1998). Measuring the impact of climate change on Indian agriculture. *World Bank Technical Paper 402*. Washington, DC.
- FAO. 1979. Yield response to water by J. Doorenbos & A. Kassam, *Irrigation and Drainage Paper No. 33*, Rome.
- Fischer, G., Shah, M., Van Velthuizen, H., (2002). Climate change and agriculture vulnerability. *Special report of the international institute for applied system analysis. Johannesburg*.
- Gbetibouo, G. A., and R. M., Hassan. 2005. Measuring the economic impact of climate change on major South Africa field crops: a Ricardian approach. *Global and Planetary change*. 47: 143-152.
- Golan, A., Judje, G. and Miller D. (1996). Maximum entropy econometrics: robust estimation with limited data. *John Wiley, New York*.
- Hope, c., (2005). Integrated assessment models. In D.Helm (Ed.), *climate change policy: 77-98*. Oxford: Oxford University Press.
- Howitt, R. E. (2005). Positive mathematical programming. *American Journal of agricultural economics*, 77, 329-342.
- Ilkay, D., But. T., McCarl, B., Dyke, P., (2004). Economic impact of climate change on Turkish agriculture. Agricultural economic research institute of turkey. *Ankara climate change conference, Ankara*.
- Jamab (2005). Comprehensive plan consistent with the climate: Balancing sources and uses of water in the catchment basins of Iran. *Jamab Consulting Engineering Co, Tehran*. (In Farsi).
- IPCC, 2007. Climate change- synthesis report. *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Rome.
- Kemfert, C., (2009). Climate protection requirements- the economic impact of climate change. *Handbook Utility Management*.
- Massah Bavani, A. R, and S. Morid. (2005). Impact of climate change on the water resources of Zayandeh Rud Basin. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 9:17-27.
- Mendelsohn, r., Nordhaus, w., Shaw, D., (1996). Climate impacts on aggregate farm values: accounting for adaptation. *Agric. For. Meteorol.* 80(1): 55-67.
- Meteorological Research Institute (2001). The final report on climate change projects in Iran. Iran Meteorological Organization. (In Farsi)
- Molua, E. L., (2009). An empirical assessment of the impact climate change on smallholder agriculture in Cameroon. *Global and Planetary Change*. 67:205-208.
- Reddy K. R., Hodges H. F., McKinion, J., (2000) Impacts of climate change on cotton production: a south-central assessment, *Presented at the National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, Boulder, Colorado.
- Redsma, P., Lansink, A. O., Ewert, F., (2009). Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 14: 35-59.
- Reilly, J., (1999). What does climate change mean for agriculture in developing countries? A comment on Mendelsohn and Dinar. *World Bank Obs*. 14: 295-305.
- Rosenzweig, C., Parry, M., Fischer, G., (1995). World food supply. In: Strzepek, K. M., Smith, J. B., (Eds.) as climate changes: international impacts and implications. *Cambridge University Press*. Cambridge. UK. PP. 27-56.
- Salami, H., Shahnooshi, N., and Thomson, K, J. (2009). The economic impacts of drought on the economy of Iran: An integration of linear programming and macro econometric modeling approaches. *Ecological economics*, 68: 1032 – 1039.
- Salemi, H. R., Heydari, N.(2006). Assessment of Water Supply and Use in the Zayandeh-Rud River Basin, Iran. Technical report. Iranian journal of Water Resources Research, (In Farsi).
- Tao, F., Y. Hayashi, Z. Zhang, T. Sakamoto, and M. Yokozawa. 2008. "Global Warming, Rice Production, and Water Use in China: Developing a Probabilistic Assessment." *Agricultural and Forest Meteorology*. 148:94–110.
- Tol, R., Downing, T., Kuik, O., Smith, J., (2004). Distributional aspects of climate change impacts. *Global Environmental Change (special edition on the benefits of climate policy part A)*: 259-272.
- Vaseghi, A., and Esmacili, A. (2008). The impact of climate change on Iran agriculture: Ricardian approach. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*:45:685-696. (In Farsi).