

ارزیابی‌های بر پایه ریسک نیاز آبی محصولات تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های AOGCM

❖ پریساسادات آشفته*؛ دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران

❖ امید بزرگ حداد؛ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

امنیت غذایی در جهان، به‌ویژه در مناطق خشک، که با کمبود آب مواجه‌اند، اهمیت زیادی دارد. آثار تغییر اقلیم بر نیاز آبی کشاورزی این اهمیت را دوچندان ساخته است. در این تحقیق به ارزیابی ریسک نیاز آبی دامنه وسیعی از محصولات در شرایط تغییر اقلیم پرداخته شد. به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی از مدل‌های AOGCM استفاده شد. بدین منظور، سناریوهای تغییر اقلیم متغیرهای اقلیمی با روش میانگین داده‌های مشاهداتی دما و بارندگی وزندهی و توابع توزیع احتمالاتی آن‌ها تولید شد. با استفاده از روش مونت‌کارلو ۲۰۰ نمونه (مقادیر گسسته) از تابع توزیع احتمالاتی ماهانه متغیرهای اقلیمی کوچک مقیاس شده منطقه با نرم‌افزار SIMLAB برای هر ماه استخراج و، در نهایت، سری زمانی متغیرهای اقلیمی در دوره آتی تولید شد. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره آتی از طریق رابطه دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره پایه انجام شد. با معرفی ۲۰۰ سری زمانی ماهانه متغیرهای اقلیمی دوره آتی به مدل، نیاز آبی و تغییرات حجم تقاضای آبی محصولات بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد حجم تقاضای آبی بر اساس سطح زیر کشت فعلی برای محصولات بین ۰/۰۵ تا ۰/۹۶ میلیون متر مکعب در سال با ریسک ۲۵ درصد، بین ۰/۰۴ تا ۶/۸۷ با ریسک ۵۰ درصد و بین ۱/۱۶ تا ۱۲/۶۸ با ریسک ۷۵ درصد افزایش می‌یابد. نتایج نشان از افزایش ریسک تغییرات نیاز آبی دارد. همچنین، حجم تقاضای آب تا حدود ۱۶،۲۵ و ۳۱ میلیون متر مکعب در سال به ترتیب با ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد خواهد رسید. واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ریسک، عدم قطعیت، مونت‌کارلو، AOGCM.

مقدمه

آثار تغییر اقلیم بر کشاورزی، به منزله موضوعی جدی، در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح و توجه بسیاری از پژوهشگران را در دهه‌های اخیر به خود جلب کرده است. انتظار می‌رود تغییر متوسط پارامترهای اقلیمی، به‌ویژه دما و بارندگی، تأثیر زیادی در تقاضای آب در آینده بگذارد [۵]. افزایش احتمال تأثیرات متغیرهای اقلیمی بر کشاورزی در امنیت غذایی جوامع بشری آثار زیانباری در پی دارد. در کشور ایران نیز، از آنجا که بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب است، مطالعه و ارزیابی آثار پدیده تغییر اقلیم بر این بخش در آمادگی برای کاهش آثار منفی این پدیده و مدیریت بهتر آن بسیار مؤثر و حائز اهمیت است.

در تحقیقی به ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان آب مورد تقاضای محصول و آب در دسترس برای آبیاری پرداخته شد. آثار تغییر اقلیم بر تقاضای آب بخش‌های صنعتی و شهری نیز ارزیابی شد. محققان گزینه‌های تطبیق را برای حفظ اطمینان‌پذیری سامانه بررسی کردند و برای ارزیابی راهکارهای تطبیق روش‌هایی برای ادغام سناریوهای تغییر اقلیم با مدل‌های هیدرولوژی، کشاورزی و مدیریتی پیشنهاد دادند. شاخص‌های ارزیابی آن‌ها عبارت بود از: رواناب؛ مجموع تقاضای آب بخش‌های صنعتی، شهری و کشاورزی؛ میزان تقاضای تأمین‌شده؛ اطمینان‌پذیری (درصد سال‌هایی که تقاضای آب تأمین شده است)؛ نسبت تقاضا به رواناب. برای اجرای اقدامات تطبیقی راهکارهایی همچون تغییر

برنامه‌ریزی کاشت، استفاده از گونه‌های مقاوم‌تر و

تغییر فناوری آبیاری بررسی و ارزیابی شد [۱۱]. در مرکز تغییر اقلیم کالیفرنیا تحقیقی انجام شد. هدف آن تحقیق شناخت آثار تغییر اقلیم بر سه مؤلفه اصلی هیدرولوژی حوضه - شامل مقادیر جریان ورودی سالانه به مخازن، تغییرات زمانی جریان رودخانه و استمرار خشکسالی بود. سپس، تأثیر اقدامات تطبیق در بهبود وضعیت این سه مؤلفه در آینده ارزیابی شد. در بررسی آثار تغییر اقلیم فرض شد که وضعیت الگوی کشت و راندمان آبیاری در طول صد سال آینده (تا سال ۲۱۰۰) بدون تغییر باقی بماند؛ این حالت به کاهش شدید در تحویل آب سطحی و افزایش پمپاژ از آب زیرزمینی منجر می‌شد. سپس، به منظور ارزیابی راهکارهای تطبیق، تأثیر افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت در بهبود وضعیت تأمین آب با استفاده از مدل جامع ویپ^۱ [۱۶] بررسی شد. نتایج نشان داد اعمال این راهکارها، در مقایسه با زمانی که هیچ‌گونه اقدام تطبیقی انجام نمی‌شود، سبب کاهش تقاضای آب کشاورزی در دوره‌های آتی خواهد شد؛ به طوری که در بخشی از ناحیه آبیاری در کالیفرنیا، تقاضای آبی از ۶۳۹ به ۶۱۶ ایکر- فوت در دوره ۲۰۷۵ - ۲۰۹۹ کاهش خواهد یافت [۹].

در تحقیقی دیگر به بررسی آثار تغییر اقلیم بر قابلیت تولید ذرت تحت کشت آبی در منطقه مدیترانه‌ای چیل^۲ واقع در سانتیاگو^۳ پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده کاهش بازده ذرت بین

1. WEAP
2. Chile
3. Santiago

موجودیت آب برای کشاورزی چین در دهه‌های آینده ناکافی خواهد بود [۲۱].

در تحقیقی تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری و عملکرد نیشکر در سوئیس بررسی شد. در این تحقیق از مدل گردش عمومی HadCM3 و تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 برای دوره پایه ۱۹۸۰ - ۱۹۹۷ و دوره آتی ۲۰۴۰ - ۲۰۶۹ استفاده شد. به منظور تعیین نیاز آبی در دوره آتی از مدل رویش گیاهی CANEGRO استفاده شد. این تحقیق نشان داد نیاز آبیاری نسبت به دوره پایه بین ۲۰ تا ۲۲ درصد افزایش می‌یابد [۱۲].

در تحقیقی دیگر آثار شرایط اقلیمی آینده و پیش‌بینی رشد جمعیت بر سامانه‌های منابع آب در منطقه پوجت^۲ بررسی شد. این تحقیق به بررسی توانایی سامانه تأمین آب منطقه‌ای در پوجت برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای آبی با توجه به این تغییرات می‌پردازد. برای ارزیابی تأمین آب منطقه در افق ۷۵ ساله، سه مدل گردش عمومی و دو سناریوی انتشار به کار گرفته شد. سپس، عملکرد هر سامانه تأمین آب با مقیاس‌های اطمینان‌پذیری و آب‌دهی مطمئن تعیین شد. نتایج نشان داد تغییر اقلیم آب‌دهی مطمئن سامانه را در آینده کاهش خواهد داد و لازم است سیاست‌های بهره‌برداری برای تأمین تقاضا در افق آتی تغییر کند [۱۹].

در تحقیقی دیگر به ارزیابی روندها و عدم قطعیت نیاز خالص آبیاری محصول ذرت متأثر از شرایط تغییر اقلیم در کشور زیمبابوه^۳ پرداخته شد. بدین منظور، از مدل CROPWAT استفاده شد. این

۱۰ تا ۳۰ درصد بسته به سناریوی تغییر اقلیم بود. علاوه بر آن، نشان داده شد که تغییر اقلیم بر سایر متغیرهای وابسته مانند مراحل رشد گیاه و امکان کامل شدن چرخه رشد محصول در دوره‌های کوتاه‌تر زمانی اثر خواهد گذاشت. در این تحقیق بررسی‌ها حاکی از کاهش تبخیر و تعرق واقعی بود. نتایج نشان داد استفاده از زراعت دوگانه^۱ در مقایسه با سایر عملیات مدیریتی مانند تاریخ‌های کشت زودتر و کاهش بارورسازی نیتروژن راهکار مؤثرتری است [۱۳].

در تحقیقی سناریوهای مختلف اقلیمی برای بررسی موجودیت آب کشاورزی در چین در افق ۲۰۲۰s و ۲۰۴۰s به کار برده شد. اقدامات مختلف در راستای موجودیت آب در حوضه رودخانه در زمینه تقاضای آب کشاورزی و غیرکشاورزی بررسی شد. شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی نشان‌دهنده افزایش متوسط تا زیاد کل آب در دسترس در پاسخ به افزایش بارندگی‌های آبی است. کل تقاضای آب در بسیاری از حوضه‌های چین افزایش می‌یابد. این افزایش تقاضا عمدتاً با کاهش سهم کشاورزی، به دلیل رقابت در بخش‌های صنعتی، خانگی و شهری، همراه است. شبیه‌سازی‌های محصول افزایش متوسط تا زیاد تقاضای آب آبیاری را نشان می‌دهد که به ویژگی‌های بارندگی روزانه در سناریوهای اقلیمی بسیار حساس است. تأثیرات تغییر اقلیم بر موجودیت آب کشاورزی در مقایسه با نقش توسعه اقتصادی-اجتماعی کم است. تأثیرات ترکیبی تغییر اقلیم و توسعه اقتصادی-اجتماعی در سطوح آبیاری در دوره آتی، به‌ویژه سطح تحت آبیاری برنج، کاهش‌هایی ایجاد می‌کند. در مجموع، نتایج تحقیق نشان داد که

2. Puget
3. Zimbabwe

1. double cropping

ورودی برای مدل‌های نیاز آبی در آینده با وزن یکسان به کار برده شد. در تحقیق حاضر سعی شده است، علاوه بر لحاظ بازه تأثیرات عدم قطعیت‌های تغییر اقلیم مربوط به مدل‌های AOGCM، مدل‌های مذکور بر اساس مقادیر متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی و وزن‌دهی شوند تا از نتایج آن‌ها برای تحلیل ریسک نیاز خالص آبی طیف وسیعی از محصولات شبکه آبیاری استفاده شود.

بنابراین، در تحقیق حاضر سعی شده بازه تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر تقاضای آب و نیاز خالص آبی کل شبکه آبیاری (با دامنه‌ای از محصولات مختلف) آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۲۶ - ۲۰۳۹ با لحاظ بحث ریسک ارزیابی شود.

۲. روش‌شناسی تحقیق

به طور کلی، با توجه به ارتباط مستقیم متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی در تعیین نیاز آبی محصولات، نخست سناریوهای مختلف اقلیمی تعیین شد. سپس، از این سناریوها برای برآورد نیاز آبی محصولات مختلف استفاده شد. شکل ۱ مراحل اصلی اجرای تحقیق را نشان می‌دهد. این مراحل عبارت‌اند از: تولید سناریوهای تغییر اقلیم از مدل‌های AOGCM^۱-^۲ TAR [۸] تحت سناریوی انتشار A2؛ وزن‌دهی مدل‌ها؛ تولید توابع توزیع احتمالاتی سناریوهای تغییر اقلیم؛ استخراج نمونه‌های تصادفی از توابع توزیع احتمالاتی به روش مونت کارلو؛ معرفی نمونه‌ها به مدل تقاضای آبی و تحلیل نتایج.

روندها و عدم قطعیت‌ها با کمک تحلیل‌های آماری بر روی پارامترهای اقلیمی شبیه‌سازی و نیاز آبی محصول بررسی شد. نتایج نشان داد نیاز خالص آبیاری در افق بلندمدت افزایش می‌یابد [۱۵].

در تحقیقی دیگر یک مدل برنامه‌ریزی کشاورزی به منظور بهینه‌کردن سطوح کشت و راندمان آبیاری بر اساس برآورد نیازهای آبی محصولات، موجودیت آب و تخصیص آب برای آبیاری توسعه داده شد. بدین منظور، حوضه اهرچای منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. خروجی یک مدل گردش عمومی AOGCM^۱ به عنوان ورودی به یک مدل رایانه‌ای به کار برده شد. نتایج تحقیق نشان داد که عملکرد مدل مطلوب است [۱۰].

گرچه تاکنون در زمینه آثار تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف تحقیقاتی انجام شده است، در بیشتر آن‌ها به بررسی کاربرد سناریوهای مصنوعی یا آسیب‌پذیری سامانه‌ها نسبت به یک یا چند سناریو از مدل‌های AOGCM به‌ویژه در بخش کشاورزی (نیاز آبی) بسنده شده و به ارزیابی آثار برای محصول غالب پرداخته شده است [۱، ۱۲، ۱۵]. این در حالی است که نادیده گرفتن بازه آثار عدم قطعیت‌های تغییر اقلیم (ناشی از مدل‌های مختلف AOGCM) خروجی‌های متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کند و از میزان قطعیت خروجی نهایی سامانه می‌کاهد. از طرف دیگر، در تحقیق‌های دیگر، به‌رغم اینکه سعی شد خروجی همه مدل‌های AOGCM در محاسبات لحاظ شود، خروجی این مدل‌ها به عنوان

تحت پوشش واحدهای عمرانی توسعه قرار دارد. منطقه طرح در جنوب و جنوب غربی شهرستان میانه قرار گرفته است (شکل ۱).

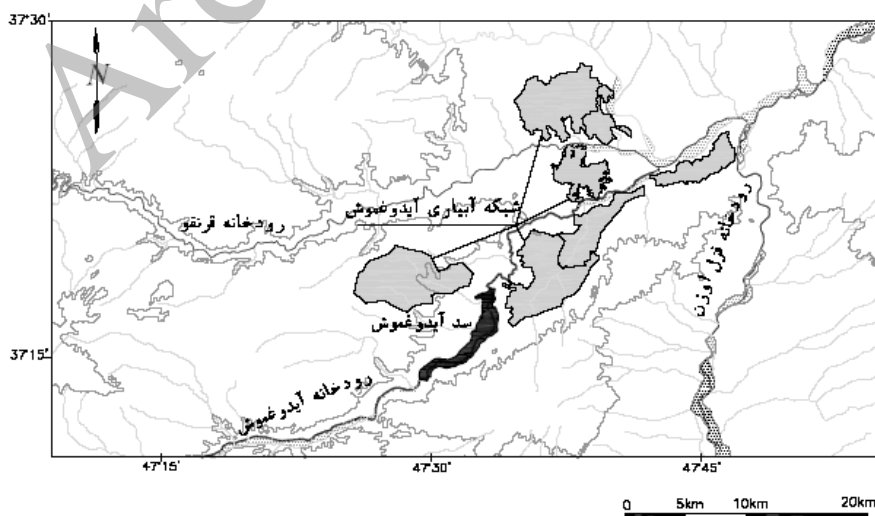
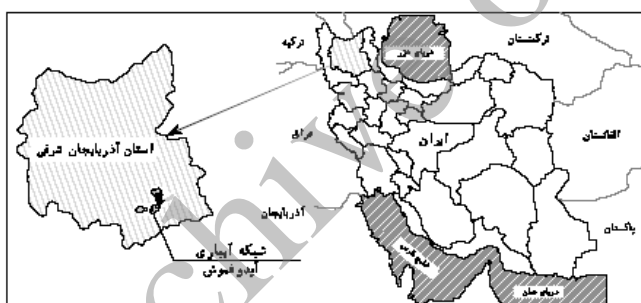
۲.۱.۲. آمار و اطلاعات

محصولات عمده کشاورزی محدوده طرح شامل گندم، جو، یونجه، سویا، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، سیب‌زمینی و باغات گردوست. آمار و اطلاعات هواشناسی لازم برای دوره پایه (۱۹۸۷ - ۲۰۰۰) از ایستگاه سینوپتیک میانه در پایین دست سد آیدوغموش اخذ شد. جدول ۱ اطلاعات الگو و سطح زیر کشت محصولات را نشان می‌دهد.

۱.۲. مطالعه موردی و داده‌ها

۱.۱.۲. منطقه مورد مطالعه

رودخانه آیدوغموش یکی از رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز قزل‌اوزن است. وسعت حوضه آبریز این رودخانه حدود ۱۸۰۰ کیلومتر مربع است. این رودخانه، که در استان آذربایجان شرقی و در مجاورت شهرستان میانه واقع شده است، پس از دریافت جریان رودخانه‌های قرنقو و شهرچای به قزل‌اوزن می‌ریزد. هدف از احداث سد مخزنی، تنظیم آب رودخانه آیدوغموش و تحت پوشش قراردادن بخش عمده‌ای از اراضی به کشت آبی توسط ایجاد شبکه آبیاری است. حدود ۱۳۵۰۰ هکتار از اراضی



شکل ۱. موقعیت شبکه آبیاری محدوده مطالعاتی

جدول ۱. سطح زیر کشت هر محصول در شبکه آبیاری

نام محصول	گندم	جو	یونجه	سویا	ذرت علوفه‌ای	ذرت دانه‌ای	سیب‌زمینی	باغات (گردو)
سطح زیر کشت (هکتار)	۱'۶۲۰	۱'۰۸۰	۱'۶۲۰	۱'۰۸۰	۶۷۵	۱'۰۸۰	۱'۶۲۰	۴'۷۲۵

۲.۲. پردازش سناریوهای تغییر اقلیم

پس از استخراج متغیرهای اقلیمی ماهانه هفت مدل AOGCM (شکل ۲) مربوط به سلول اصلی (سلولی که حوضه مورد نظر در آن واقع شده است)، در دوره‌های پایه و آتی، میانگین ماهانه بلندمدت متغیرهای اقلیمی محاسبه شد [۱۳]. سپس، با محاسبه تفاوت مقادیر میانگین ماهانه بلندمدت دما $(\Delta T_i = \bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, bas, i})$ و درصد نسبت مقادیر

میانگین ماهانه بارندگی دوره آتی نسبت به دوره پایه $(\Delta R_i = \bar{R}_{GCM, fut, i} / \bar{R}_{GCM, bas, i})$ ، سناریوهای تغییر اقلیم، که به آن تغییر میدان^۱ اطلاق می‌شود، برآورد شد [۲، ۲۰]. سپس، برای تولید سری زمانی دما و بارندگی دوره آتی، مقادیر تغییر میدان به متغیر دما (از طریق جمع با مقادیر مشاهداتی دما) اضافه و در متغیر بارندگی (از طریق ضرب با مقادیر مشاهداتی بارندگی) ضرب شد [۱۹].



شکل ۲. روندنمای مراحل مختلف اجرای تحقیق

بارندگی مشاهداتی در ماه t ام است، N تعداد مدل‌های AOGCM و $WT_{t,i}$ و $WR_{t,i}$ وزن اختصاص یافته برای مدل t ام و در ماه t ام است.

در این تحقیق، با استفاده از وزن‌دهی مدل‌ها توسط رابطه‌های ۱ و ۲ با کمک نرم‌افزار SIMLAB [۶]، توابع توزیع احتمالاتی تولید می‌شوند. پس از مشخص شدن توابع توزیع احتمالاتی سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی ماهانه، می‌توان با استفاده از روش مونت کارلو و تولید مقادیر گسسته نمونه‌ها (مثلاً ۲۰۰ نمونه) برای هر ماه و تولید و معرفی سری زمانی متغیرهای اقلیمی به مدل‌های برآورد نیاز آبی، بازه تأثیر این عدم قطعیت را بر برآورد نیاز آبی محصولات محاسبه کرد.

۴.۲. محاسبه تبخیر و تعرق گیاهی

محصولات کشاورزی

برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاهی از روش فائو ۲۴ استفاده شد [۴]. اساس کلی این روش بر مبنای رابطه ۳ است:

$$ET_{Ct,j} = K_{Ct,j} \times ET_{0t} \quad (3)$$

که در آن، $ET_{Ct,j}$ تبخیر و تعرق گیاه j ام در ماه t ام، $K_{Ct,j}$ ضریب گیاهی برای گیاه j ام در ماه t ام و ET_{0t} تبخیر و تعرق گیاه مرجع یا تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه t ام است.

برای محاسبه ET_{0t} از روش پنمن ماتیس فائو استفاده شد. به منظور تعیین ضریب گیاهی نیز، سه متغیر اقلیمی مورد نیاز است: تبخیر و تعرق پتانسیل، میانگین رطوبت نسبی و سرعت باد ماهانه، همچنین اطلاع از طول چهار دوره (ابتدایی رشد، توسعه گیاه، میانی و نهایی).

۳.۲. تحلیل عدم قطعیت

در مطالعات تغییر اقلیم، منابع مختلف عدم قطعیت بر نتایج نهایی تأثیر می‌گذارند. برای لحاظ کردن بازه تأثیرات عدم قطعیت تغییر اقلیم ناشی از کاربرد مدل‌های مختلف AOGCM از رویکرد بیزی^۱ استفاده شد [۱۱]. مراحل این رویکرد عبارت‌اند از: ۱. تولید توزیع احتمالاتی پیشین^۲ برای پارامترهای آماری؛ ۲. تعیین تابع درست‌نمایی^۳ احتمالاتی داده‌های مشاهداتی؛ ۳. تعیین توزیع احتمالاتی پسین^۴ یک سامانه. توزیع احتمالاتی پسین بر اساس توزیع‌های پارامترهای ورودی (توزیع پیشین) و تابع احتمالاتی تعیین شد [۱۱]. بنابراین، با لحاظ رویکرد بیزی، نخست باید تابع توزیع احتمالاتی^۵ سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی محاسبه شود. برای این کار هر یک از مدل‌ها در هر ماه با روش میانگین مشاهداتی دما و بارندگی و طبق رابطه‌های ۱ و ۲ وزن‌دهی می‌شوند.

$$WT_{t,i} = \frac{(1/\delta T_{t,i})}{\sum_{i=1}^N (1/\delta T_{t,i})} \quad (1)$$

$$WR_{t,i} = \frac{(1/\delta R_{t,i})}{\sum_{i=1}^N (1/\delta R_{t,i})} \quad (2)$$

که در آن‌ها، $\delta T_{t,i}$ و $\delta R_{t,i}$ به ترتیب انحراف میانگین ماهانه بلندمدت دما و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM (i) در دوره پایه از میانگین ماهانه بلندمدت دما و

1. bayesian approach
2. prior probability distribution
3. likelihood
4. posterior probability distribution
5. probability distribution function

$$V_{t,j} = \frac{NWR_{t,j} \times 10 \times A_j}{1,000,000} \quad (7)$$

که در آن، $V_{t,j}$ حجم تقاضای آب برای گیاه زام در ماه t ام (میلیون متر مکعب) و A_j سطح زیر کشت برای گیاه زام (هکتار) است.

۳. نتایج

۱.۳. وزن‌دهی مدل‌ها و توزیع احتمالاتی

سناریوهای تغییر اقلیم

عملکرد مدل‌های AOGCM [V] در شبیه‌سازی دما و بارندگی منطقه مورد نظر در دوره پایه، با مقایسه میانگین چهارده‌ساله (۱۹۸۷ - ۲۰۰۰) ماهانه دما و بارندگی سلولی، که منطقه مورد مطالعه در آن واقع شده است، با میانگین چهارده‌ساله ماهانه دما و بارندگی مشاهداتی با استفاده از معیارهای عملکرد [۲] در جدول ۲ ارائه شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشتر مدل‌ها قادر به شبیه‌سازی دمای منطقه با ضریب همبستگی بالا و خطاهای (MAE ، $RMSE$ و NSE) کم‌اند. در میان این مدل‌ها، به ترتیب مدل‌های ECHAM4، GFDL R30 و HadCM3 دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی دما هستند. این در حالی است که شاخص‌های عملکرد حاکی از توانایی کمتر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارندگی نسبت به دماست. در این میان، مدل HadCM3 دارای بهترین عملکرد و مدل NCAR DOE PCM دارای کمترین عملکرد در شبیه‌سازی بارندگی است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که به دلیل پایین بودن عملکرد مدل NCAR DOE PCM در شبیه‌سازی بارندگی منطقه مورد مطالعه از دخالت دادن داده‌های بارندگی این مدل در محاسبات آبی صرف‌نظر شد.

۵.۲. محاسبه بارندگی مؤثر

میزان بارندگی مؤثر، که بخشی از بارندگی بوده است و سهمی از نیاز آبی گیاه را تأمین می‌کند، با توجه به شرایط آب و هوایی محدوده طرح و با استفاده از آمار بارندگی ماهانه و به روش سازمان حفاظت خاک آمریکا^۱ (SCS)، با نرم‌افزار Cropwat محاسبه شد. در این روش ارتباط بین میزان بارندگی و بارندگی مؤثر با رابطه‌های ۴ و ۵ بیان می‌شود:

$$R_{eff_t} = \frac{R_t(125 - 0.2R_t)}{125} \quad (4)$$

$$R_t \leq 250 \text{ mm} \\ R_{eff_t} = 0.2R_t + 125 \quad (5)$$

که در آن‌ها، R_{eff_t} میانگین بارندگی مؤثر در ماه t ام (میلی‌متر) و R_t میانگین بارندگی در ماه t ام (میلی‌متر) است.

۶.۲. محاسبه نیاز خالص آبی و حجم

تقاضای آب کشاورزی از سد

نیاز خالص آبی طبق رابطه ۶ از تفاضل تبخیر و تعرق گیاهی ($ET_{Ct,j}$) و بارندگی مؤثر (R_{eff_t}) در ماه t ام به‌دست می‌آید:

$$NWR_{t,j} = ET_{Ct,j} - R_{eff_t} \quad (6)$$

که در آن، $NWR_{t,j}$ نیاز خالص آبی برای گیاه زام در ماه t ام (میلی‌متر) است.

پس از تعیین نیاز آبی محصولات در دوره آبی مطابق رابطه ۶، بر اساس سطح توسعه کشت ثابت، حجم تقاضای آب در ماه‌های مختلف در دوره آبی به صورت رابطه ۷ تعیین می‌شود:

1. Soil Conservation Service

جدول ۲. عملکرد مدل‌های مختلف در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی

بارندگی				دما				متغیرهای اقلیمی
<i>NSE</i>	<i>MAE</i> (mm)	<i>RMSE</i> (mm)	<i>r</i> (%)	<i>NSE</i>	<i>MAE</i> (°C)	<i>RMSE</i> (°C)	<i>r</i> (%)	معیار عملکرد مدل
-۳,۳۴	۶,۸۹	۸,۲۳	۹۰,۴۶	-۷,۸۵	۲,۸۷	۳,۳۵	۹۸,۲۸	HadCM3
۰,۰۸	۱۴,۶۴	۱۷,۹۳	۷۰,۱	-۱,۴۴	۶,۲۱	۶,۳۸	۹۹,۱	CCSR-NIES
-۰,۷۱	۱۰,۰۳	۱۳,۱۲	۶۹,۰	-۱۰,۴۷	۲,۶۹	۲,۹۴	۹۹,۲	CSIRO MK2
۰,۹۰	۳۶,۶۷	۵۳,۷۸	۷۸,۶	-۵,۶۶	۳,۴۶	۳,۸۶	۹۹,۵	CGCM2
-۰,۵۵	۱۰,۹۹	۱۳,۷۷	۷۲,۲	-۲۲,۶۰	۱,۶۴	۲,۰۵	۹۹,۶	GFDL R30
۰,۶۳	۲۳,۶۱	۲۸,۲۰	۵۶,۴	-۱,۶۴	۵,۸۰	۶,۱۳	۹۹,۶	NCAR DOE PCM
۰,۲۸	۱۵,۸۹	۲۰,۲۹	۶۹,۱	-۳۰,۲۷	۱,۶۴	۱,۷۸	۹۹,۶	ECHAM4

متغیرهای اقلیمی (رابطه‌های ۱ و ۲) وزن‌دهی شد؛
جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب نتایج آن را نشان می‌دهد.

سپس، هر یک از مدل‌ها بر اساس روش میانگین
مشاهداتی دما و بارندگی برای سناریوهای تغییر اقلیم

جدول ۳. سناریوی تغییر دمای دوره آبی نسبت به دوره پایه برای مدل AOGCM به همراه وزن‌دهی آن‌ها

ECHAM4		NCAR DOE PCM		GFDL R30		CGCM2		CSIRO MK2		CCSR-NIES		HadCM3		ماه
<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	<i>WT</i> (%)	ΔT (°C)	
۱۱,۳	۰,۷۰	۱۵,۶	۰,۸۷	۳۱,۸	۱,۹۶	۸,۵۰	۰,۳۳	۱۰,۶	-۰,۰۸	۲,۸۰	۱,۱۱	۱۹,۴	۱,۹۸	ژانویه
۱۲,۵	۰,۴۲	۱۰,۰	۰,۳۷	۲۴,۶	۱,۳۰	۱۴,۱۰	۰,۷۳	۶,۷۰	۰,۱۳	۲,۰۰	۱,۷۵	۳۰,۱	۰,۵۰	فوریه
۱۱,۳	۰,۱۱	۲,۹۰	۱,۱۲	۲۶,۶	۱,۵۸	۵,۵۰	۱,۶۹	۲۶,۴	۰,۶۶	۲,۳۰	۱,۴۳	۲۵,۰	۱,۳۳	مارس
۵,۹۰	-۰,۰۹	۲,۳۰	۱,۷۷	۷۱,۰	۱,۱۶	۳,۱۰	۱,۶۵	۹,۹۰	۰,۳۵	۳,۴۰	۱,۵۵	۴,۴۰	۲,۷۲	آوریل
۲۳,۳	۱,۰۶	۵,۱۰	۰,۷۴	۱۴,۸	۱,۰۷	۶,۱۰	۱,۴۱	۳۴,۷	۰,۶۷	۴,۵۰	۲,۸۴	۱۱,۵	۱,۶۵	می
۱۴,۹	۱,۲۷	۲,۹۰	۰,۲۱	۶,۹۰	۰,۹۰	۳,۴۰	۰,۹۶	۱۰,۶	۰,۶۵	۳,۰۰	۱,۰۷	۵۸,۳	۱,۵۴	ژوئن
۱۹,۵	۱,۷۴	۷,۳۰	۱,۰۹	۱۵,۷	۱,۴۵	۸,۸۰	۱,۷۷	۱۷,۱	۱,۲۲	۹,۳۰	۲,۵۰	۲۲,۳	۱,۵۱	ژولای
۳۲,۸	۱,۶۲	۶,۸۰	۰,۵۹	۱۶,۴	۱,۶۸	۱۱,۴	۲,۴۲	۱۳,۵	۰,۴۸	۸,۳۰	۲,۳۸	۱۰,۸	۲,۰۸	آگوست
۴۱,۵	۲,۰۹	۴,۵۰	۰,۸۳	۲۰,۴	۲,۲۹	۱۳,۲	۱,۰۵	۷,۳۰	۱,۱۹	۷,۰۰	۲,۷۳	۶,۱۰	۱,۹۹	سپتامبر
۱۹,۴	۲,۹۴	۴,۴۰	۱,۲۰	۴۴,۵	۱,۰۲	۹,۴۰	۱,۲۹	۷,۷۰	۱,۶۴	۷,۸۰	۲,۴۰	۶,۸۰	۱,۳۲	اکتبر
۵,۴۰	۱,۹۲	۱,۵۰	۰,۳۹	۸۰,۹	۱,۰۲	۵,۴۰	۱,۲۳	۲,۸۰	۱,۵۶	۱,۷۰	۱,۵۰	۲,۳۰	۱,۷۰	نوامبر
۳۵,۸	۰,۸۵	۴,۴۰	۰,۶۵	۶,۸۰	۱,۵۲	۳۵,۶	۰,۸۹	۷,۱۰	۱,۸۹	۴,۱۰	۱,۳۲	۶,۲۰	۱,۴۶	دسامبر

جدول ۴. سناریوی تغییر بارندگی دوره آتی نسبت به دوره پایه برای مدل AOGCM به همراه وزن دهی آنها

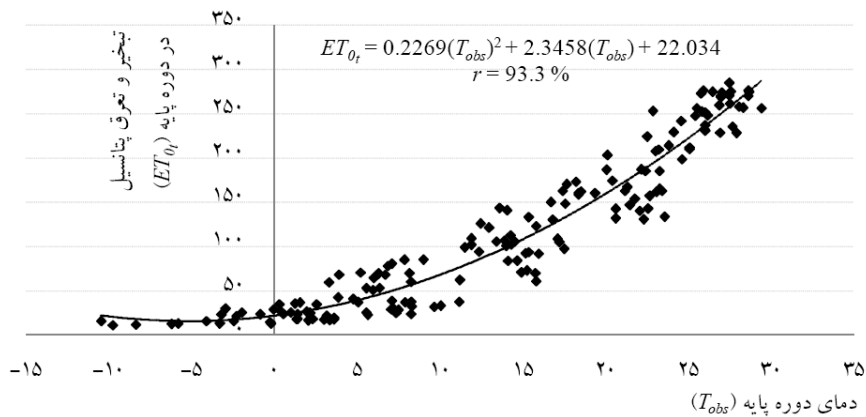
ECHAM4	NCAR DOE PCM		GFDL R30		CGCM2		CSIRO MK2		CCSR-NIES		HadCM3		ماه	
	WR (%)	ΔR	WR (%)	ΔR	WR (%)	ΔR	WR (%)	ΔR	WR (%)	ΔR	WR (%)	ΔR		
۲,۶۰	۱,۲۴	۰,۰۰	۰,۹۱	۱,۴۰	۱,۱۳	۲,۳۰	۰,۸۳	۸۹,۳	۰,۶۴	۲,۱۰	۱,۰۱	۲,۳۰	۰,۹۱	ژانویه
۱,۲۰	۱,۲۳	۰,۰۰	۱,۲۵	۲,۴۰	۱,۱۰	۱,۸۰	۱,۲۱	۸,۲۰	۱,۲۸	۴,۶۰	۰,۸۴	۴۰,۴	۰,۹۴	فوریه
۱۳,۸	۱,۳۶	۰,۰۰	۰,۹۳	۱۲,۳	۱,۰۸	۴,۲۰	۱,۱۴	۳۹,۲	۰,۷۶	۷,۹۰	۱,۰۰	۲۲,۶	۰,۹۹	مارس
۵۷,۰	۱,۰۶	۰,۰۰	۱,۰۱	۱۴,۸	۰,۷۹	۱,۲۰	۰,۷۸	۸,۳۰	۱,۱۵	۴,۶۰	۰,۸۱	۱۴,۱	۰,۷۴	آوریل
۲,۵۰	۱,۲۰	۰,۰۰	۱,۱۲	۸۷,۶	۱,۳۳	۰,۵۰	۱,۱۰	۲,۹۰	۱,۲۴	۱,۷۰	۰,۶۲	۴,۸۰	۰,۷۹	می
۱,۲۰	۰,۹۲	۰,۰۰	۱,۰۷	۶,۷۰	۱,۱۵	۰,۳۰	۱,۰۲	۷۶,۳	۱,۱۳	۲,۹۰	۰,۶۴	۱۲,۶	۰,۶۴	ژوئن
۴۲,۶	۰,۶۲	۰,۰۰	۰,۷۵	۲۷,۱	۱,۷۴	۲,۰۰	۰,۶۷	۲,۶۰	۰,۴۳	۱۵,۰	۰,۹۹	۱۰,۷	۱,۷۶	ژولای
۱۸,۱	۰,۵۸	۰,۰۰	۰,۹۶	۴۲,۴	۱,۹۰	۹,۸۰	۱,۴۷	۱۰,۳	۱,۰۸	۷,۹۰	۰,۲۹	۱۱,۵	۱,۰۴۷	اگوست
۰,۳۰	۰,۱۴	۰,۰۰	۰,۹۳	۰,۹۰	۰,۵۹	۱,۹۰	۱,۴۳	۹۵,۷	۰,۷۶	۰,۵۰	۰,۴۸	۰,۷۰	۰,۷۹	سپتامبر
۲,۵۰	۰,۵۵	۰,۰۰	۰,۹۴	۵,۲۰	۴,۰۱	۲,۰۳	۰,۶۷	۴,۷۰	۱,۲۳	۶,۰۰	۱,۹۸	۶۱,۳	۱,۳۶	اکتبر
۱۹,۴	۱,۷۸	۰,۰۰	۱,۹۳	۱۴,۱	۱,۳۷	۱۴,۶	۰,۸۱	۱۲,۵	۱,۲۱	۱۱,۵	۱,۰۷	۲۷,۹	۱,۱۰	نوامبر
۹,۵۰	۱,۱۲	۰,۰۰	۱,۰۲	۱۲,۲	۱,۱۰	۱۸,۷	۱,۱۵	۲۳,۷	۱,۰۸	۱۹,۱	۰,۸۹	۱۶,۸	۰,۹۸	دسامبر

۲.۳. محاسبه ریسک تغییرات در تبخیر و

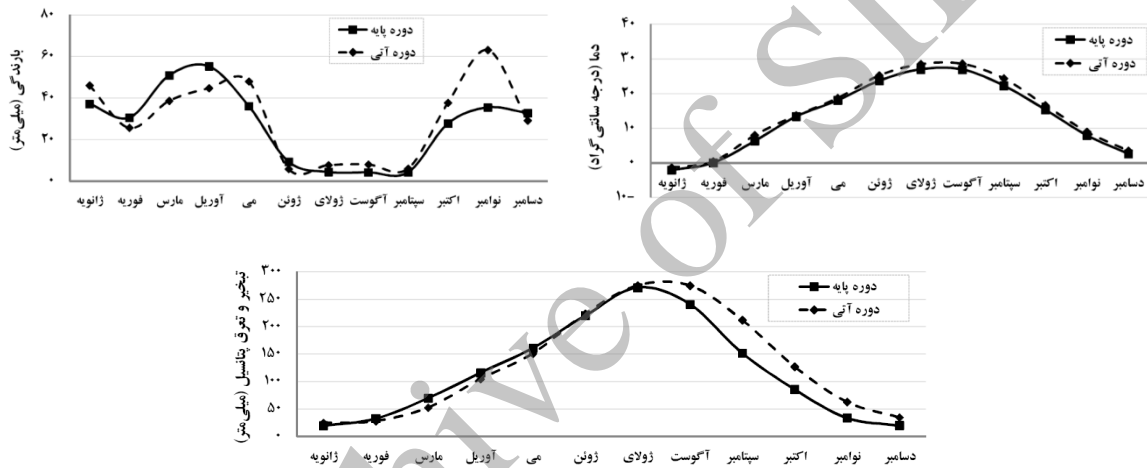
تعرق پتانسیل

با توجه به اینکه تهیه کلیه اطلاعات لازم برای محاسبات نیاز آبی در دوره آتی میسر نیست، این کار از طریق بررسی و انتخاب رابطه مناسب دما و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_{0t}) در دوره پایه انجام گرفت. رابطه انتخاب شده رگرسیون چندجمله‌ای است که ضریب همبستگی آن ۰,۹۳ و در حد قابل قبول است (شکل ۳). سپس، از رابطه مشخص شده در شکل ۳ برای به دست آوردن ET_{0t} دوره آتی استفاده شد. شکل ۴ تغییرات بلندمدت ماهانه متغیرهای اقلیمی و ET_{0t} را در دوره پایه و آتی نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج وزن دهی مدل‌های AOGCM، برای دما و بارندگی الگوی غالبی در بین مدل‌ها دیده نشد. هرچند به نظر می‌رسد که به ترتیب مدل‌های GFDL R30، ECHAM4 و HadCM3 در بیشتر ماه‌ها وزن بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برای شبیه‌سازی متغیر دما دارند و مدل‌های CSIRO MK2، GFDL R30 و HadCM3 وزن بیشتری نسبت به مابقی مدل‌ها برای شبیه‌سازی بارندگی در بیشتر ماه‌ها دارند.



شکل ۳. رابطه مناسب دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره پایه



شکل ۴. مقایسه میانگین بلندمدت ماهانه (الف) دما، (ب) بارندگی و (پ) تبخیر و تعرق پتانسیل شبکه آبیاری در دوره پایه و آبی

آوریل، با قبول ریسک ۵۰ درصد، ۱۱٫۰۲ میلی‌متر یا بیشتر افزایش مقادیر متوسط ET_{0t} برای دوره آبی قابل انتظار است. از این شکل نتیجه گرفته می‌شود که در ماه‌های پُرآب (مارس و آوریل) ET_{0t} آبی نسبت به دوره پایه به طور کلی کمتر و در ماه‌های کم‌آب (آگوست و سپتامبر) ET_{0t} آبی نسبت به دوره پایه بیشتر می‌شود.

سپس، برای بررسی احتمالاتی تغییرات ET_{0t} ، با استفاده از ۲۰۰ سری زمانی دما، ۲۰۰ سری زمانی ET_{0t} تولید شد. همچنین، با کسر مقادیر ET_{0t} هر ماه در دوره آبی از مقادیر متناسب دوره پایه $(\Delta ET_{0t} = (ET_{0t})_{obs} - (ET_{0t})_{fit})$ ، توزیع ریسک افزایش ET_{0t} ماهانه برآورد شد؛ شکل ۵ نتایج آن را نشان می‌دهد.

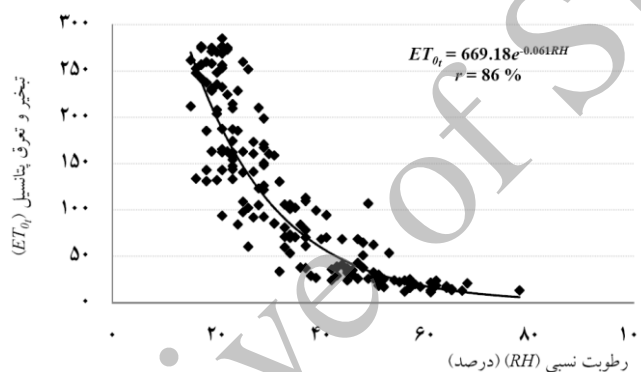
همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، برای ماه

۳.۳. محاسبه ریسک تغییرات در تبخیر و

تعرق محصولات

همچنین، به منظور محاسبه $K_{Ct,j}$ در دوره آتی، میزان ET_{0t} از مرحله قبل استخراج شد. برای کسب مقادیر رطوبت نسبی (RH) از رابطه رگرسیونی آن با ET_{0t} در دوره پایه استفاده شد (شکل ۶). سرعت باد نیز- به دلیل فقدان اطلاعات مورد نیاز- مشابه دوره پایه (از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک میانه) در نظر گرفته شد. همچنین، طول دوره‌های رویشی برای هر

محصول در شبکه پایاب سد بر اساس اطلاعات محلی تعیین شد. بر این اساس، برای دوره آتی مقدار $K_{Ct,j}$ محاسبه شد. سپس، با استفاده از اطلاعات به دست آمده برای ET_{0t} و $K_{Ct,j}$ ، تبخیر و تعرق محصولات ($ET_{Ct,j}$) مورد نظر منطقه با استفاده از رابطه ۳ در دوره آتی محاسبه شد. جدول ۵ مقادیر آن را نسبت به دوره پایه برای ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نشان می‌دهد.



شکل ۶. رابطه مناسب رطوبت نسبی و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره پایه

جدول ۵. تغییرات تبخیر و تعرق گیاهی سالانه محصولات در دوره آتی نسبت به دوره پایه با ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد و بیشتر

$ET_{C_{fut}} / ET_{C_{obs}}$			$ET_{C_{fut}}$ (mm)			$ET_{C_{obs}}$ (mm)	محصولات
ریسک (%)			ریسک (%)				
۷۵	۵۰	۲۵	۷۵	۵۰	۲۵		
۱٫۱۵	۱٫۰۵	۰٫۹۶	۸۰۰٫۲۵	۱۳۰٫۰۳	۶۶۹٫۳۱	۶۹۶٫۵۶	گندم
۱٫۱۰	۱٫۰۰	۰٫۹۲	۶۸۰٫۶۸	۶۱۸٫۴۰	۵۶۶٫۴۰	۶۱۷٫۶۴	جو
۱٫۱۹	۱٫۱۳	۱٫۰۶	۴۱۱٫۷۷۱	۳۳۶٫۸۳۱	۲۶۱٫۹۹۱	۱۸۷٫۷۲۱	یونجه
۱٫۱۶	۱٫۱۰	۱٫۰۴	۰۹۷٫۴۶۱	۰۴۴٫۳۹۱	۹۸۸٫۷۷	۹۴۷٫۵۴	سویا
۱٫۱۸	۱٫۱۳	۱٫۰۶	۱۳۰٫۲۵۱	۰۷۶٫۸۰۱	۰۱۷٫۹۲۱	۹۵۶٫۷۲	ذرت علوفه‌ای
۱٫۲۱	۱٫۱۴	۱٫۰۸	۲۲۸٫۳۲۱	۱۶۴٫۸۰۱	۱۰۰٫۰۱۱	۰۱۸٫۱۱۱	ذرت دانه‌ای
۱٫۲۱	۱٫۱۵	۱٫۰۸	۱۹۶٫۳۸۱	۱۳۵٫۱۱۱	۰۷۲٫۱۷۱	۹۸۹٫۱۴	سیب‌زمینی
۱٫۲۱	۱٫۱۴	۱٫۰۷	۱۸۷٫۱۷۱	۱۱۴٫۹۰۱	۰۴۳٫۱۶۱	۹۷۷٫۴۶	باغات (گردو)

درصد به میزان ۱۰ تا ۲۱ درصد خواهد رسید. پس از تعیین بارندگی مؤثر با ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به وسیله رابطه‌های ۴ و ۵ و همچنین با داشتن $ET_{Ct,j}$ از قسمت قبلی، نیاز آبی محصولات مطابق رابطه ۶ تعیین شد. جدول ۶ تغییرات نیاز آبی سالانه دوره آبی (۲۰۲۶ - ۲۰۳۹) را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، با ریسک ۲۵ درصد به طور متوسط ۴ تا ۸ درصد افزایش تبخیر و تعرق گیاهی برای محصولات مورد نظر به جز گندم و جو (به ترتیب ۴ و ۸ درصد کاهش) در دوره ۲۰۲۶ - ۲۰۳۹ انتظار می‌رود. این افزایش برای ریسک ۵۰ درصد به میزان ۵ تا ۱۵ درصد و برای ریسک ۷۵

جدول ۶. افزایش نیاز آبی سالانه محصولات در دوره آبی نسبت به دوره پایه با ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد و بیشتر

NWR_{fit}/NWR_{obs}			NWR_{fit} (mm)			NWR_{obs} (mm)	محصولات
ریسک (%)			ریسک (%)				
۷۵	۵۰	۲۵	۷۵	۵۰	۲۵		
۱,۳۳	۱,۰۸	۰,۸۲	۶۳۹,۵۴	۵۱۸,۲۰	۳۹۴,۸۲	۴۸۰,۰۷	گندم
۱,۲۶	۱,۰۱	۰,۷۵	۵۲۴,۴۲	۴۲۰,۵۵	۳۱۴,۳۵	۴۱۷,۰۳	جو
۱,۲۴	۱,۱۴	۱,۰۲	۳۷۱,۸۱	۲۶۰,۰۵	۱۲۵,۰۹	۱۰۵,۱۱	یونجه
۱,۲۰	۱,۱۱	۱,۰۱	۰۶۵,۷۷	۹۹۱,۳۳	۸۹۶,۰۰	۸۹۱,۵۰	سویا
۱,۲۲	۱,۱۴	۱,۰۳	۰۹۸,۵۷	۰۲۳,۵۱	۹۲۵,۱۶	۹۰۰,۶۸	ذرت علوفه‌ای
۱,۲۷	۱,۱۶	۱,۰۳	۱۸۸,۳۶	۰۸۸,۰۳	۹۶۳,۱۱	۹۳۵,۵۵	ذرت دانه‌ای دانه‌ایدان‌های
۱,۲۸	۱,۱۷	۱,۰۳	۱۵۶,۴۲	۰۵۸,۳۵	۹۳۵,۲۷	۹۰۶,۵۸	سیب‌زمینی
۱,۳۲	۱,۱۷	۱,۰۲	۱۱۲,۹۳	۹۸۹,۸۱	۸۶۴,۷۶	۸۴۴,۵۱	باغات (گردو)

معرفی شده است [۱۸]. چنانچه این مرز در اینجا مبنا قرار گیرد، به احتمال ۵۰ درصد در دوره آبی همه محصولات جز گندم و جو در معرض تنش آبی قرار خواهند گرفت. همچنین، به احتمال ۲۵ درصد (ریسک ۷۵ درصد) کلیه محصولات با افزایش نیاز آبی بیش از ۱۰ درصد (در معرض تنش) مواجه خواهند بود و با قبول ریسک ۲۵ درصد افزایش نیاز آبی چشمگیر نخواهد بود.

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد، با ریسک ۲۵ درصد به طور متوسط ۱ تا ۳ درصد افزایش نیاز آبی برای محصولات مورد نظر در دوره آبی به جز گندم و جو (به ترتیب ۱۸ و ۲۵ درصد کاهش) انتظار می‌رود. این افزایش برای ریسک ۵۰ درصد به میزان ۱ تا ۱۷ درصد و برای ریسک ۷۵ درصد به میزان ۲۰ تا ۳۳ درصد در دوره آبی خواهد رسید. در تحقیق صورت گرفته گذشته، افزایش نیاز آبی ۱۰ درصد و بیشتر، به عنوان مرز مواجه‌شدن سامانه با تنش‌ها

۴.۳. محاسبه ریسک حجم تقاضای آب

محصولات

پس از محاسبه نیاز آبی محصولات، حجم تقاضای آب در ماه‌های مختلف در دوره آبی با فرض ثابت بودن سطح زیر کشت مطابق رابطه ۷ تعیین شد؛ جدول ۷ نتایج آن را نشان می‌دهد.

همان‌طور که جدول ۷ نشان می‌دهد، حجم تقاضای آبی بر اساس سطح زیر کشت فعلی برای محصولات بین ۰٫۰۵ تا ۰٫۹۶ میلیون متر مکعب در سال با ریسک ۲۵ درصد بین ۰٫۰۴ تا ۶٫۸۷ میلیون متر مکعب در سال، با ریسک ۵۰ درصد بین ۱٫۱۶ تا ۱۲٫۶۸ میلیون متر مکعب در سال و با ریسک ۷۵ درصد افزایش خواهد یافت. بیشترین مقدار تقاضای

آبی برای باغات (گردو) با ریسک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به ترتیب به میزان ۰٫۹۶، ۶٫۸۷ و ۱۲٫۶۸ میلیون متر مکعب در سال و کمترین مقدار تقاضای آبی با ریسک ۲۵ درصد برای سویا (به میزان ۰٫۰۵ میلیون متر مکعب در سال)، با ریسک‌های ۵۰ و ۷۵ درصد برای جو به ترتیب به میزان ۰٫۰۴ و ۱٫۱۶ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود.

بدین ترتیب، می‌توان گفت در شرایط تغییر اقلیم، در صورت ثابت ماندن سطح زیر کشت و الگوی کشت، باید اقدامات تطبیقی نظیر تغییر سطح کشت، تغییر الگوی کشت و استفاده بیشتر از محصولات با نیاز آبی کمتر و غیره مد نظر قرار گیرد.

جدول ۷. افزایش حجم تقاضای آب محصولات در دوره آبی نسبت به دوره پایه با ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد

$\Delta V (\times 10^6 m^3)$			$V_{fit} (\times 10^6 m^3)$			V_{obs} ($\times 10^6 m^3$)	محصولات
ریسک (%)			ریسک (%)				
۷۵	۵۰	۲۵	۷۵	۵۰	۲۵		
2.58	۰٫۶۲	-۱٫۳۸	۱۰٫۳۶	۸٫۳۹	۶٫۴۰	۷٫۷۸	گندم
1.16	۰٫۰۴	-۱٫۱۱	۵٫۶۶	۴٫۵۴	۳٫۴۰	۴٫۵۰	جو
4.32	۲٫۵۱	۰٫۳۲	۲۲٫۲۲	۲۰٫۴۱	۱۸٫۲۳	۱۷٫۹۰	یونجه
1.88	۱٫۰۸	۰٫۰۵	۱۱٫۵۱	۱۰٫۷۱	۹٫۶۸	۹٫۶۳	سویا
1.34	۰٫۸۳	۰٫۱۷	۷٫۴۲	۶٫۹۱	۶٫۲۴	۶٫۰۸	ذرت علوفه‌ای
2.73	۱٫۶۵	۰٫۳۰	۱۲٫۸۳	۱۱٫۷۵	۱۰٫۴۰	۱۰٫۱۰	ذرت دانه‌ای
4.05	۲٫۴۶	۰٫۴۶	۱۸٫۷۳	۱۷٫۱۵	۱۵٫۱۵	۱۴٫۶۹	سیب‌زمینی
12.68	۶٫۸۷	۰٫۹۶	۵۲٫۵۹	۴۶٫۷۷	۴۰٫۸۶	۳۹٫۹۰	باغات (گردو)

بر اساس نتایج وزن‌دهی مدل‌های AOGCM، برای دما و بارندگی الگوی غالبی در بین مدل‌ها دیده نشد. در مجموع، مدل‌های GFDL R30 و HadCM3 برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی وزن بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها دارند.

نتایج نشان داد در دوره آبی، با افزایش ریسک، میزان نیاز آبی محصولات در منطقه عمدتاً افزایش می‌یابد؛ به طوری که این افزایش تا حدود ۳ درصد با ریسک ۲۵ درصد، تا حدود ۱۷ درصد با ریسک ۵۰ درصد و تا حدود ۳۳ درصد با ریسک ۷۵ درصد خواهد رسید. این افزایش می‌تواند، بر اساس سطح کشت فعلی شبکه آبیاری پایاب سد، حجم تقاضای آب را به طور متوسط فقط برای این گیاهان برای دوره آبی تا حدود ۲٫۵ میلیون متر مکعب در سال با ریسک ۲۵ درصد، ۱۶ میلیون متر مکعب در سال با ریسک ۵۰ درصد و ۳۱ میلیون متر مکعب در سال با ریسک ۷۵ درصد افزایش دهد. از طرفی، آورد رودخانه آیدوغموش نیز در اثر این پدیده ریسک زیادی برای کاهش دارد [۲]. بنابراین، هم افزایش تقاضا هم کاهش آورد را در محدوده طرح می‌توان انتظار داشت.

همچنین، نتایج نشان داد، در منطقه طرح، گندم و به‌ویژه جو در برابر تغییرات اقلیمی مقاوم‌ترند. بنابراین، تغییر الگوی کشت می‌تواند یکی از راهکارهای تطبیق با تغییرات اقلیم در این منطقه باشد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی ریسک تقاضای آبی محصولات کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های مختلف AOGCM پرداخته شد.

در برخی تحقیقات [۲، ۱۵]، در ارزیابی‌ها، به استفاده از آسیب‌پذیری سامانه نسبت به یک یا چند سناریو از مدل‌های AOGCM به‌ویژه در بخش کشاورزی بسنده شد و به بررسی آثار برای محصول غالب پرداخته شد. در حالی که نادیده گرفتن بازه آثار عدم قطعیت‌های تغییر اقلیم، خروجی‌های گوناگونی برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کند. همچنین، در محدوده تحقیق‌های دیگر [۱۴]، به‌رغم اینکه سعی شده خروجی همه مدل‌های AOGCM در محاسبات لحاظ شود، خروجی این مدل‌ها با وزن یکسان به‌کار برده شد. در تحقیق حاضر، سعی شد، علاوه بر لحاظ نمودن بازه تأثیرات عدم قطعیت‌های تغییر اقلیم مربوط به مدل‌های AOGCM، مدل‌های مذکور وزن‌دهی شود تا بتوان از نتایج آن برای تحلیل ریسک نیاز آبی طیف وسیعی از محصولات استفاده کرد؛ نتایج زیر از آن قابل ارائه است:

بر اساس بررسی سناریوهای تغییر اقلیم ماهانه دمای دوره آبی، میانگین فصلی تغییرات دما افزایش ۰٫۵۶ تا ۱٫۹۷، ۰٫۸۳ تا ۲٫۵۴، ۰٫۷۵ تا ۱٫۹۰ و ۰٫۲۴ تا ۱٫۶۱ درجه سانتی‌گراد را به ترتیب برای فصول بهار تا زمستان و میانگین فصلی تغییرات بارندگی افزایش ۰٫۶۹ تا ۱٫۱۷، ۰٫۴۵ تا ۱٫۴۱، ۰٫۹ تا ۲٫۱۶ و ۰٫۸۹ تا ۱٫۲۸ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

References

- [1] Alexandrov, V. and Genev, M. (2004). The effect of climate variability on water resources in Bulgaria, *Proceeding of British Hydrological Society*, 1, 1-9.
- [2] Ashofteh, P.S., Bozorg Haddad, O. and Mariño, M.A. (2013). Scenario assessment of streamflow simulation and its transition probability in future periods under climate change, *Water Resources Management*, 27(1), 255-274.
- [3] Diaz-Nieto, J. and Wilby, R.L. (2005). A comparison of statistical and climate change factor methods: impacts on low flows in the river Thames, *United Kingdom, Climatic Change*, 69(2-3), 245-268.
- [4] Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1984). *Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage (FAO)*, Paper 24, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). *Climate change 2007: The physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996.
- [6] Giglioli, N. and Saltelli, A. (2003). *Simlab 2.2, Software for sensitivity and uncertainty analysis, Simlab manual*, Joint Research Centre European Commission.
- [7] IPCC-DDC (1988). Data Distribution Center. <<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>>.
- [8] IPCC-TGCI (1999). *Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*, eds. Carter, T.R., Hulme, M. and Lal, M., Version 1, 69pp. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.
- [9] Joyce, B., Vicufia, S., Dale, L., Dracup, J., Hanemenn, M., Purkey, D. and Yates, D. (2006). *Climate change impacts on water for agriculture in California: a case study in the Sacramento valley*, A Report From: California Climate Change Center.
- [10] Karamouz, M., Ahmadi, B. and Zahmatkesh, Z. (2013). Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts, *Journal of Water Resources Planning Management*, 139(4), 349-363.
- [11] Katz, R.W. (2002). Techniques for estimating uncertainty in climate change scenarios and impact studies, *Climate Research*, 20(2), 167-185.
- [12] Knox, J.W., Rodríguez Díaz, J.A., Nixon, D.J. and Mkhwanazi, M. (2010). A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland, *Agricultural Systems*, 103(3), 63-72.
- [13] Meza, F., Silva, D. and Vigil, H. (2008). Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative, *Agricultural Systems*, 98(1), 21-30.
- [14] Mirsane, M.S., Sohrabi Molla Yousef, T., Massah Bavani, A. and Bazrafshan, J. (2011). Climate change and agricultural water demand: Assessing impact of uncertainties of AOGCM and downscaling methods, *ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage*, 15-23 October, Tehran, Iran.
- [15] Nkomozepe, T. and Chung, S. (2012). Assessing the trends and uncertainty of maize net irrigation

- water requirement estimated from climate change projections for Zimbabwe, *Agricultural Water Management*, 111, 60-67.
- [16] Raskin, P., Sieber, G. and Huber- Lee, A. (2001). *User Guide for WEAP21*, Stockholm environment institute.
- [17] Rosenweig, C., Strzepek, K.M., Major, D.C., Iglesias, A., Yate, D.N., McCluskey, A. and Hillel, D. (2004). Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies, *Journal of Global Environmental Change*, 14(3), 345-360
- [18] Steinemann, A. and Cavalcanti, L. (2006). Developing multiple indicators and triggers for drought plans, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 164-173.
- [19] Traynham, L., Palmer, R. and Polebitski, A. (2011). Impacts of future climate conditions and forecasted population growth on water supply systems in the Puget Sound region, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137 (4), 318-326.
- [20] Wilby, R.L. and Harris, I. (2006). A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK, *Water Resources Research*, 42(2), 1-10.
- [21] Xiong, W., Holman, I., Lin, E., Conway, D., Jiang, J., Xu, Y. and Li, Y. (2009). Climate change, water availability and future cereal production in China, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(1-2), 58-69.

Archive of SID