

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق و عملکرد گندم دیم در شهرستان اهر

قادر دشتی^{۱*}، پریا باقری^۲، اسماعیل پیش‌بهار^۳، ابوالفضل مجنون^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

چکیده

اقلیم یکی از اساسی‌ترین عوامل طبیعی است که تغییر آن از مهم‌ترین چالش‌های قرن جاری می‌باشد. انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییر اقلیم منجر به تغییر دما، بارندگی و دیگر پارامترهای اقلیمی می‌شود. تبخیر-تعرق یکی از متغیرهای مهم هواشناسی می‌باشد که تحت تأثیر مشخصه‌های گیاهی، خاک و پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، رطوبت و تشعشع قرار می‌گیرد و در واقع ایجادکننده ارتباط ما بین المان‌های مهم کره زمین و اتمسفر محسوب می‌شود، از این رو همواره تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت. علاوه بر این تبخیر-تعرق یکی از مهمترین پارامترهایی است که عملکرد محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو در این مطالعه به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق و عملکرد گندم دیم شهرستان اهر در دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۵) با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 پرداخته شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تغییر تبخیر-تعرق در اثر تغییر اقلیم افزایشی است و میزان تغییرات ۱۸/۴۸ میلی‌متر در سال بدست آمد که ۱/۴۷ درصد متوسط سالانه ۲۰۱۵-۱۹۸۶ می‌باشد. در مورد عملکرد محصول نیز متوسط میزان عملکرد شبیه‌سازی شده برای دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۵) در مقایسه با حالت مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره پایه افزایشی است که براساس تغییر متغیرهای آب و هوایی متوسط عملکرد در دوره پایه از ۰/۹۵۴ به میزان ۰/۹۹۹ تن در هکتار در دوره آتی افزایش یافت. تنها عاملی که تأثیر منفی بر افزایش عملکرد دارد افزایش قدرت تبخیر جو ناشی از افزایش دما است که با کاهش میزان آب در دسترس گیاه روی عملکرد تأثیر منفی بگذارد. از این رو برای کاهش تبخیر استفاده از خاک‌پوش‌های مصنوعی مثل پشم شیشه و لایه‌های پلاستیکی و خاک‌پوش‌های طبیعی مانند کلش و لاش‌برگ توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، تغییر اقلیم، شبیه‌سازی عملکرد، مدل آکواکراپ

مقدمه

یکی از متغیرهای مهم هواشناسی می‌باشد که تحت تأثیر مشخصه‌های گیاهی، خاک و پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، رطوبت و تشعشع قرار می‌گیرد و در واقع ایجادکننده ارتباط ما بین المان‌های مهم کره زمین و اتمسفر محسوب می‌شود، از این رو همواره تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (میرعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). علاوه بر این تبخیر-تعرق یکی از مهمترین پارامترهایی است که عملکرد محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بدین صورت که تبخیر-تعرق بعد از بارش اصلی‌ترین جزء چرخه هیدرولوژیکی است که نیاز آبی گیاه را مشخص می‌کند. فاکتورهای اصلی که بر نیاز آبی گیاهان موثرند وابسته به چندین پارامتر اقلیمی نظیر رواناب، بارش و ساعات آفتابی می‌باشند. هر گونه تغییر در این پارامترهای اقلیمی در اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاه نیز اثرگذار خواهند بود (شریفان و فرشادمهر، ۱۳۹۲).

مطالعه اثر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق و عملکرد کمک شایانی در خصوص برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و نیاز آبی محصولات کشاورزی می‌کند (Sabziparvar and Tabari., 2010; Huo et al., 2013)

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، کشاورزی بنیاد اقتصاد را تشکیل می‌دهد و منبع اصلی امرار معاش می‌باشد و در عین حال در مقایسه با سایر بخش‌ها بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیم است به طوری که تغییر الگوی بارش و دمای متوسط جو، بر تولید انواع محصولات باغی و زراعی آسیب وارد می‌کند (اسلامی، ۱۳۹۰). آسیب‌های ناشی از آن شامل تغییر در شدت تابش آفتاب، بارش، دما و غلظت کربن دی اکسید به طور مستقیم و تغییر موازنه آب و خاک، آفات و بیماری‌ها، تناسب اراضی و ظرفیت تولید و رشد محصولات و عملکرد به صورت غیر مستقیم می‌باشد. تبخیر-تعرق

۱- استاد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۳- دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۴- دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
(Email: ghdashti@yahoo.com) * - نویسنده مسئول:

فرنگی تونس با استفاده از دو مدل ارزش در معرض خطر و آکواکراپ در بافت‌های مختلف خاک منطقه در دو دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) و آینده (۲۰۷۰-۲۰۴۰) مدل‌سازی کردند. براساس نتایج حاصله در بیشتر بافت‌های مورد نظر تولید هر دو محصول به طور قابل توجهی در شرایط اقلیم آینده کاهش می‌یابد در صورتی که تغییرات در مدیریت کشاورزی از قبیل تغییر در تاریخ کاشت گندم همزمان با تغییر الگوهای بارندگی یا مالچ پاشی گوجه فرنگی در کاهش تلفات محصول موثر است (Neil Bird et al., 2016). هر یک از این مطالعات یا تبخیر-تعرق و یا تغییرات عملکرد محصولات کشاورزی را مورد مطالعه قرار دادند، در صورتی که تبخیر-تعرق هم تحت تأثیر متغیرهای هواشناسی مثل دما و رطوبت است که بر عملکرد تأثیر می‌گذارند و هم خود از آیتم‌های اصلی موثر بر عملکرد می‌باشد از این رو ارتباط دوسویه است یعنی با تغییر هر یک از این پارامترهای هواشناسی ابتدا باعث تغییر تبخیر-تعرق می‌شوند و سپس عملکرد را هم از طریق تغییر تبخیر-تعرق و هم با تغییرات خود تغییر می‌دهند. از این رو در این مطالعه ابتدا متغیرهای هواشناسی تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد مطالعه گرفتند و سپس تأثیر آن‌ها بر روی تبخیر-تعرق در اثر تغییر اقلیم سنجیده شد در نهایت عملکرد محصول با استفاده از متغیرهای هواشناسی و تبخیر-تعرق مرجع محاسبه گردید.

براساس گزارش سازمان حفاظت محیط‌زیست پیش‌بینی می‌شود در بین محصولات کشاورزی تولید غلات که با سطح زیر کشت معادل ۷۳/۱ درصد عمده‌ترین نوع محصولات سالانه کشور می‌باشد، تا سال ۲۰۲۰ بین صفر الی ۵ درصد، تا سال ۲۰۵۰ بین ۲/۵ الی ۱۰ درصد و تا سال ۲۰۸۰ بین ۵ الی ۳۰ درصد در اثر تغییر اقلیم کاهش یابد (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۷). در بین گروه غلات نیز گندم در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ با بیشترین سطح زیر کشت معادل ۵۱/۲۰ درصد مهمترین محصول کشاورزی کشور بوده است. در این راستا استان آذربایجان شرقی با سطح زیر کشت ۶/۴۰ درصد گندم کل کشور رتبه ششم در تولید این محصول را به خود اختصاص داده است که ۷۸/۷ درصد سطح زیر کشت استان به گندم دیم و ۲۱/۳ درصد آن به گندم آبی اختصاص دارد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). در این میان شهرستان اهر به عنوان یکی از بزرگترین شهرستان‌های تولید کننده گندم استان دارای سطح زیر کشت ۵/۹۵ درصد استان می‌باشد و مهم‌ترین محصول تولیدی شهرستان می‌باشد که سهم اراضی دیم ۸۹/۳۵ و اراضی آبی ۱۰/۶۵ درصد می‌باشد. همانطور که آمار استان و شهرستان اهر نشان می‌دهد بیشتر تولیدات گندم منطقه، دیم می‌باشد از این رو به دلیل وابستگی بیشتر تولیدات دیم به آب و هوا انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق و تولید گندم دیم در شهرستان اهر تأثیر به‌سزایی داشته باشد. لذا در این مطالعه به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گندم دیم شهرستان اهر در دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3

به همین دلیل تاکنون مطالعات متعددی در خصوص اثر تغییر اقلیم بر روند تبخیر-تعرق و عملکرد محصولات صورت گرفته است. از جمله دانش‌فراز و رزاق‌پور (۱۳۹۳) اثر تغییر اقلیم را بر تبخیر-تعرق پتانسیل و سایر متغیرهای هواشناسی را در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج حاصله در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۵) در مقایسه با دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) میانگین مجموع تبخیر-تعرق، دمای متوسط و مجموع بارش در سناریو AB و A2 برای تبخیر-تعرق و دمای متوسط افزایشی و برای بارش کاهش می‌یابد در حالی که در سناریو B1 هر سه متغیر دچار افزایش شدند. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم را با استفاده از مدل‌های AOGCM در نیشابور بررسی کردند. نتایج نشان داد که تبخیر-تعرق مرجع روزانه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی A2 بیشترین تفاوت را نسبت به تبخیر-تعرق دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) خواهد داشت. در بین محصولات مورد تحقیق، گندم با حدود ۱۲ درصد تغییر و ذرت با ۳ درصد تغییر، بیشترین تغییر تبخیر-تعرق را در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه در طی رشد نشان دادند.

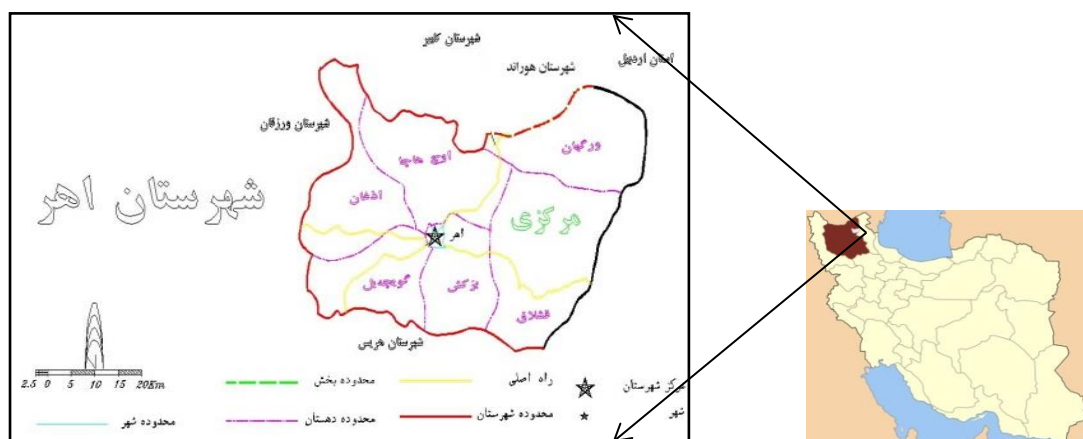
در مورد بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات نیز، کوچکی و کمالی (۱۳۸۸) با استفاده از مدل گردش عمومی (GCM) میزان کاهش گندم دیم در اثر تغییر اقلیم را در کشور بین دو سناریو ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ شبیه‌سازی کردند. براساس نتایج حاصله شبیه‌سازی شدت کاهش عملکرد گندم دیم در مناطق دیم‌خیز کشور برای سال ۲۰۲۵ در محدوده ۱۶ تا ۲۴ درصد و برای سال ۲۰۵۰ میلادی در دامنه ۲۲ تا ۳۲ درصد می‌باشد. روستایی و همکاران (۱۳۹۱) ریسک عملکرد ماده خشک تولیدی گیاه ذرت را تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در سه سطح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ^۱ استخراج نمودند. نتایج مطالعه نشان دهنده روند نزولی، ماده خشک تولیدی در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری است. به‌طوریکه در سطح ریسک ۵۰ درصد، ۱/۲۱ و ۱/۴۲ تن بر هکتار کاهش در ماده خشک تولیدی به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری پیش‌بینی می‌شود. از بین مطالعات خارجی ابوبکری و ابوبکری تأثیر تغییرات اقلیم را در مورد تولید محصولات ارزن، سویا، ذرت، منهوت و دام‌های گاو، گوسفند، بز و مرغ در کشور غنا را بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۱ بررسی کردند. یافته‌ها بیانگر آن بود که عملکرد محصولات مورد نظر نسبت به عملکرد قابل دسترسی، به غیر از ذرت روند کاهشی داشته است و بین میانگین ۳۰ ساله بارندگی و جمعیت دام‌ها به غیر از بز رابطه مثبت و معناداری وجود دارد (Abubakari and Abubakari., 2015). نیل‌برد و همکاران نیز تأثیرات تغییر اقلیم را در مورد گندم دیم جزیره ساردینیا ایتالیا و گوجه

قرمزی بوغدا، ساری بوغدا و قره قیلچیق) در کلیه مناطق این شهرستان رواج دارد، اما از آن جایی که بیشترین رقم مورد استفاده از نظر سطح زیر کشت آذر ۲ (۸۰ درصد) می‌باشد از این رو در این مطالعه از خصوصیات این رقم که به صورت پاییزه کشت می‌شود استفاده شد. رقم آذر ۲ زودرس، متحمل به زنگ زرد و نیمه حساس به سیاهک پنهان معمولی و سیاهک پنهان پا کوتاه، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه، متحمل به تنش خشکی و سرما است. متوسط وزن هزار دانه آن در شرایط دیم ۳۳ گرم و تیپ رشد آن زمستانه می‌باشد. کشت این محصول در منطقه اهر از اوایل مهر شروع می‌شود و تا اواسط آبان ادامه می‌یابد که در اکثر روستاهای این شهرستان کاشت پس از اولین بارش پاییزه صورت می‌گیرد که برداشت آن نیز از اوایل تیر تا اواسط مرداد ماه ادامه می‌یابد.

تحت سناریو انتشار A2 پرداخته شده و عملکرد گندم دیم برای این دوره شبیه‌سازی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان اهر با طول و عرض جغرافیایی بترتیب ۱۲° ۴۷' شرقی و ۷۲° ۳۸' شمالی می‌باشد که در شمال شرقی استان آذربایجان شرقی با ارتفاع ۱۳۹۰ متر از سطح دریا واقع شده است. موقعیت شهرستان اهر در شکل ۱ نشان داده شده است. آب و هوای این منطقه سرد و کوهستانی با میانگین بارش ۳۱۰ میلی‌متر در سال می‌باشد، به طور متوسط بیشینه دمای اهر در فصل تابستان ۳۴ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و کمینه دمای آن در فصل زمستان ۲۷ درجه سانتی‌گراد زیر صفر است. کشت گندم دیم با رقم‌های مختلف (آذر ۲، هما، سرداری، سیلان، باران، منینگ، ریژاو،



شکل ۱- موقعیت شهرستان اهر در استان آذربایجان شرقی و ایران

آزمایش شده و براساس مثلث بافت خاک در این منطقه بافت خاک غالب، لوم رسی بدست آمد که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است.

برای بدست آوردن بافت خاک منطقه از اجزای تشکیل دهنده آخرین آزمایشات صورت گرفته توسط مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اهر در تاریخ ۱۳۹۴/۸/۱ استفاده شد. طبق چهار نمونه‌ی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت کشت گندم دیم شهرستان اهر

ویژگی خاک	مقدار	واحد
رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (FC)	۳۹	درصد
رطوبت حجمی نقطه پژمردگی دائم (PWP)	۲۳	درصد
رطوبت اشباع	۵۰	درصد
هدایت هیدرولیکی	۱۰۰	mm/day
مقدار کل آب قابل دسترس	۱۶۰	mm/m

اطلاعات هواشناسی دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) توسط مدل‌های lars-wg و ClimGen اطلاعات آب و هوایی که شامل دمای حداقل،

روش مطالعه

روش مطالعه شامل دو قسمت زیر است: در قسمت اول ابتدا با

می‌کند و با کمک سری‌های فوریه حداقل و حداکثر دمای روزانه به صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهایی که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند (Semenov and Barrow., 2002). تولید داده از طریق مدل lars-wg در سه مرحله صورت می‌گیرد که شامل: کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره‌ی آتی می‌باشد. در مرحله کالیبره کردن مدل به فایلی نیاز دارد که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته است. این فایل شامل داده‌های روزانه دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش خورشیدی است که مدل براساس آن‌ها برای دوره پایه اجرا می‌شود. در مرحله ارزیابی، داده‌های تولید شده مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه با استفاده از روابط آماری ارزیابی می‌گردند پس از قسمت ارزیابی در صورت اطمینان از نتایج اقدام به اجرای مرحله سوم و یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای دوره آتی می‌گردد. نیاز اساسی مدل در این مرحله داده‌های دوره پایه و خروجی یکی از مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. در حقیقت مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های یک مدل گردش عمومی جو، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه قرار می‌دهد (خورانی و مرودشتی، ۱۳۹۳). همان‌طور که گفته شد مدل lars-wg برای ایجاد داده‌های بارش، حداقل و حداکثر دما و تابش خورشیدی استفاده می‌شود اما چون در این مطالعه از معادله فائو پنمن-مانتیت برای محاسبه تبخیر-تعرق استفاده می‌شود و در این رابطه علاوه بر متغیرهای ذکر شده به متغیرهای سرعت باد و رطوبت نسبی حداقل و حداکثر نیز نیاز است، از این رو برای ایجاد این متغیرها از مدل ClimGen استفاده می‌شود. معادله فائو پنمن-مانتیت در رابطه ۱ نشان داده شده است.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

در این رابطه ET_0 تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع - درجه حرارت بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد ($KPa^\circ C^{-1}$)، R_n تشعشع خالص خورشیدی بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز ($MJm^{-2}d^{-1}$)، G جریان گرمایی به داخل خاک بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز ($MJm^{-2}d^{-1}$)، T میانگین درجه حرارت روزانه هوا ($^\circ C$)، γ ثابت سایکرومتری بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد ($KPa^\circ C^{-1}$)، عدد ثابت ۹۰۰ در معادله فوق ضریب تبدیل سرعت باد (u_2) در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه (m/s) و ($e_s - e_a$) کسری فشار بخار اشباع بر حسب کیلو پاسکال (KPa) می‌باشد (Allen et al., 2006).

دمای حداکثر، تابش خورشیدی و بارش، سرعت باد، رطوبت نسبی حداقل و رطوبت نسبی حداکثر می‌باشد برای دوره آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) بدست می‌آید و با استفاده از آن‌ها تبخیر-تعرق محاسبه می‌شود. در قسمت دوم عملکرد گندم دییم با استفاده از مدل آکواکراپ برای دوره ۱۳۷۰-۹۴-۱۳۷۰ و اسنچی می‌شود و پس از ارزیابی مدل در ادامه عملکرد برای دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۵ (معادل دوره ۱۳۹۴-۱۴۲۴ می‌باشد) شبیه‌سازی می‌گردد.

قسمت اول: تولید سناریو اقلیمی و ریز مقیاس نمایی

سناریوسازی معمولاً برای تجزیه و تحلیل شرایطی استفاده می‌شود که حادثه مورد نظر پیامدهای نامعلومی داشته باشد. هدف استفاده از سناریو برای پیش‌بینی آینده نیست اما با سناریوسازی نااطمینانی و گزینه‌های آینده را بهتر می‌توان درک کرد تا تصمیمات درستی را در آینده بتوان اتخاذ کرد. در تحقیقات تغییر اقلیم سناریوها گزینه‌های محتمل را درباره‌ی جنبه‌های مختلف آینده توصیف می‌کنند که پیامدهای احتمالی فعالیت‌های انسانی که تأثیرات منفی بر اقلیم می‌گذارد را بررسی کنند. سناریوهای اقلیمی برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده از داده‌های سناریوهای انتشار استفاده می‌کنند و ابزار این پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی هستند (IPCC., ۲۰۱۶). سناریوهای انتشار اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین (سناریوهای انتشار) تا ۲۱۰۰ را در برمی‌گیرد. هر کدام از این سناریوها مربوط به یکی از خانواده‌های A1، B1، A2 و B2 می‌باشند. در بین مدل‌های اقلیمی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی پاسخ سیستم جهانی آب و هوا به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به شمار می‌روند که قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تایید شده IPCC مدل‌سازی نمایند. در این مطالعه از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 استفاده شده است. سناریو انتشار A2 شامل توسعه اقتصادی منطقه محور، رشد جمعیت به صورت پیوسته و تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم خانوادگی می‌باشد (طائی سمیرمی و همکاران ۱۳۹۳). یکی از مشکلات عمده در استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو بزرگ بودن مقیاس مکانی و قدرت تفکیک پائین این مدل‌ها می‌باشد. از این رو نیاز است برای استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچک‌تر این مدل‌ها ریز مقیاس شوند (حبیبی، ۱۳۸۷). روش ریز مقیاس نمایی مد نظر در این مطالعه مدل lars-wg می‌باشد که از روش‌های آماری می‌باشد. مدل lars-wg از توزیعات نیمه تجربی برای سری‌های طول روز خشک و مرطوب، بارش روزانه و تابش خورشیدی روزانه استفاده

روز رشد محاسبه می‌شود و برای هر یک از ضرایب تنش رطوبتی رشد پوشش گیاهی^۵ (رشد رویشی) $Ks_{exp,w}$ و تنش رطوبتی برای پیری زودرس پوشش گیاهی Ks_{sen} تنظیم می‌شود.

گام سوم شبیه‌سازی تعرق گیاه (Tr): یکی از مزیت‌های مدل آکواکراپ تفکیک تبخیر-تعرق از هم است. تعرق گیاه مولد تولید است و جزو مصارف مفید به حساب می‌آید. با تفکیک تبخیر-تعرق به تعرق از سطح گیاه و تبخیر از سطح خاک می‌توان از اثرات مبهم مصرف غیر مولد آب از طریق تبخیر از سطح خاک به ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل در اوایل فصل یا در کشت پراکنده دوری کرد. آکواکراپ از طریق رابطه ۲ تعرق گیاه را شبیه‌سازی می‌کند.

$$Tr = Ks_{sto} CC^* Ksb_x ET_0 \quad (2)$$

در این رابطه Tr تعرق گیاه، Ks_{sto} ضریب تنش رطوبت خاک برای حالت روزنه بسته، CC^* پوشش گیاهی، Ksb_x ضریب تعرق حداکثر گیاه (مربوط به حالتی است که $CC = 1$ و خاک در حالت بهینه مرطوب است) و ET_0 تبخیر-تعرق مرجع که با استفاده از معادله فائو پنمن - مانتیث محاسبه می‌شود که در قسمت اول توضیح داده شد (Raes et al., 2011).

گام چهارم شبیه‌سازی ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه: ماده خشک می‌تواند از تعرق شبیه‌سازی شده در مرحله قبل با استفاده از پارامتر بهره‌وری آب بدست آید. بسیاری از آزمایش‌ها نشان دادند که ارتباط بین ماده خشک تولید شده و آب مصرف شده توسط یک گونه عمدتاً خطی می‌باشد (Steduto et al. 2007)، بنابراین روابط ماده خشک قسمت هوایی گیاه به صورت تجمعی (B) به صورت رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$B = Ks_b WP^* \sum \left(\frac{Tr}{ET_0} \right) \quad (3)$$

WP^* پارامتر بهره‌وری آب نرمال‌سازی شده، (Tr) نرخ روزانه تعرق گیاه نسبت به تبخیر-تعرق گیاه چمن (ET_0) و Ks_b ضریب تنش دمایی می‌باشد.

بهره‌وری آب (WP^*) ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه (gr) را بیان می‌کند که در واحد سطح زمین (m^2) از واحد آب تعرق یافته (mm) تولید می‌شود (Raes et al., 2011) که برای آب و هوا و گیاه معین ثابت در نظر گرفته می‌شود (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱). پارامتر بهره‌وری آب از طریق غلظت کربن دی اکسید موجود در جو با ضرب کردن یک فاکتور تصحیح نرمال می‌شود به این صورت که اگر غلظت کربن دی اکسید بالای ۳۶۹/۴۱ ppm

قسمت دوم: مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه (AquaCrop)

ارتباط میان عملکرد محصول و تنش آب در طول دوره رشد گیاه که ناشی از عرضه نامناسب آب توسط بارندگی یا آبیاری است، به عنوان واکنش عملکرد محصول به آب توصیف می‌شود. از آن جایی که واکنش محصول به آب پیچیده است، معمولاً محققان از توابع تجربی به عنوان کاربردی‌ترین گزینه برای بیان این رابطه استفاده می‌کنند تا به واکنش عملکرد محصول به آب دست یابند. در میان روش‌های تابع تجربی مدل آکواکراپ در سال ۲۰۰۹ توسط متخصصان برجسته نهادها و سازمان‌های دولتی از سراسر جهان مطرح شد که با توجه به مقدار آب مصرف شده توسط گیاه میزان عملکرد محصول را برآورد می‌کند به طوری که بین تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه تفاوت قائل می‌شود (Raes et al., 2011). مدل آکواکراپ به عنوان یک ابزار تحلیلی برای مطالعه تأثیر اقلیم، خاک، آب و مدیریت بهره‌وری سیستم کاشت کارایی دارد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱). این مدل، برای دستیابی به عملکرد گیاه پنج گام شامل شبیه‌سازی موازنه آب و خاک، شبیه‌سازی رشد گیاه، شبیه‌سازی تعرق گیاه، شبیه‌سازی ماده خشک قسمت هوایی گیاه و شبیه‌سازی عملکرد را به شرح زیر انجام می‌دهد.

گام اول شبیه‌سازی موازنه آب و خاک: منطقه ریشه به عنوان یک مخزن در نظر گرفته می‌شود که شامل میزان آب ورودی و خروجی به ناحیه ریشه گیاه است که در فواصل زمانی مشخص می‌توان مقدار آب نگه داشته شده در منطقه ریشه و خارج شده را از طریق موازنه آب و خاک محاسبه کرد. شبیه‌سازی با یک گام روزانه انجام می‌شود و پروفیل خاک به قسمت‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌گردد که اندازه‌ها به گونه‌ای است که کل منطقه ریشه را می‌پوشاند.

گام دوم شبیه‌سازی رشد گیاه: آکواکراپ از پوشش گیاهی برای توصیف رشد گیاه که شامل توسعه سطح شاخ و برگ است استفاده می‌کند. رشد و پیری پوشش گیاهی سبز توسط چهار پارامتر CC_0 - ۱ پوشش گیاهی اولیه^۱ - ۲ CGC ضریب رشد گیاهی^۲ - ۳ CC_x حداکثر پوشش گیاهی^۳ تحت شرایط مطلوب^۴ - ۴ CDC ضریب کاهش پوشش گیاهی^۴ بدست می‌آید که این ضرایب به تراکم کاشت ($plants/ha$) (تراکم کاشت براساس اطلاعات شامل وزن هزار دانه (g)، نرخ جوانه‌زنی (%))، میزان بذر کاشته شده ($kg seed/ha$) بدست می‌آید) و اندازه پوشش گیاهی هر بوته ($cm^2/plants$) بستگی دارند. رشد پوشش گیاهی بر حسب درجه

- 1- Initial Canopy Cover
- 2- Canopy Growth Coefficient
- 3- Maximum Canopy Cover
- 4- Canopy Decline Coefficient

5- Soil Water Stress Coefficient for Canopy Expansion
6- Soil Water Stress Coefficient for Canopy Senescence

باشد فاکتور تصحیح بزرگ‌تر از یک است و برای غلظت‌های پایین‌تر از آن کوچک‌تر از یک است.

گام پنجم شبیه‌سازی عملکرد: با ماده خشک شبیه‌سازی شده در گام چهارم عملکرد گیاه با کمک شاخص برداشت مطابق رابطه ۴ بدست می‌آید.

$$Y = f_{HI} HI_0 B \quad (4)$$

در روابط فوق HI_0 شاخص برداشت مرجع تعیین شده (کسری از B) f_{HI} ضریب تنش شاخص برداشت که از اثر ترکیبی تنش آب قبل از گل‌دهی، شکست گرده افشانی (که خود آن توسط تنش‌های آب و گرما و سرما تنظیم می‌شود) و تنش آب در تولید عملکرد بدست می‌آید.

هر یک از ضرایب تنش که در بالا گفته شد معمولاً با یک آستانه بالای تنش و یک آستانه پایین تنش در نظر گرفته می‌شوند. بالاتر از آستانه بالایی تنشی وجود ندارد و KS مورد نظر یک می‌باشد در صورتی که زیر آستانه پایینی تنش حداکثر است و KS صفر می‌باشد. مقدار KS وابسته به شکل منحنی آن که می‌تواند خطی، محدب، مقعر و یا لجستیک باشد، بدست می‌آید (Raes et al., 2011). طرح کلی مدل آکواکراپ در شکل ۲ خلاصه شده است. در شکل ۲ عملکرد محصول از رابطه شاخص برداشت و ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه بدست می‌آید. شاخص برداشت توسط تنش آب در سه مرحله شامل قبل از گل‌دهی، گرده افشانی و تولید عملکرد اصلاح می‌گردد و ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه نیز توسط تنش دمایی تنظیم می‌شود. در رابطه دوم از پایین به بالا ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه توسط تعرق و پارامتر بهره‌وری آب محاسبه می‌گردد. تعرق توسط تنش بسته شدن روزنه و پارامتر بهره‌وری آب براساس غلظت دی اکسید کربن تصحیح می‌گردد. در نهایت در رابطه سوم تعرق توسط توسعه پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. در این مدل توسعه پوشش گیاهی براساس تراکم کشت و دما (درجه روز رشد) تعیین و با تنش آب اصلاح می‌گردد.

آمار و اطلاعات مورد نیاز این مطالعه مربوط به متغیرهای هواشناسی (بارش، دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر و سرعت باد) به صورت روزانه می‌باشد در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی و اطلاعات مربوط به عملکرد گندم دیم برای دوره ۹۴-۱۳۷۰ از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اهر تهیه شدند.

نتایج و بحث

نتایج قسمت اول: همان‌طور که در قسمت قبل گفته شد مدل lars-wg برای تولید اطلاعات روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی و مدل ClimGen برای تولید داده‌های روزانه

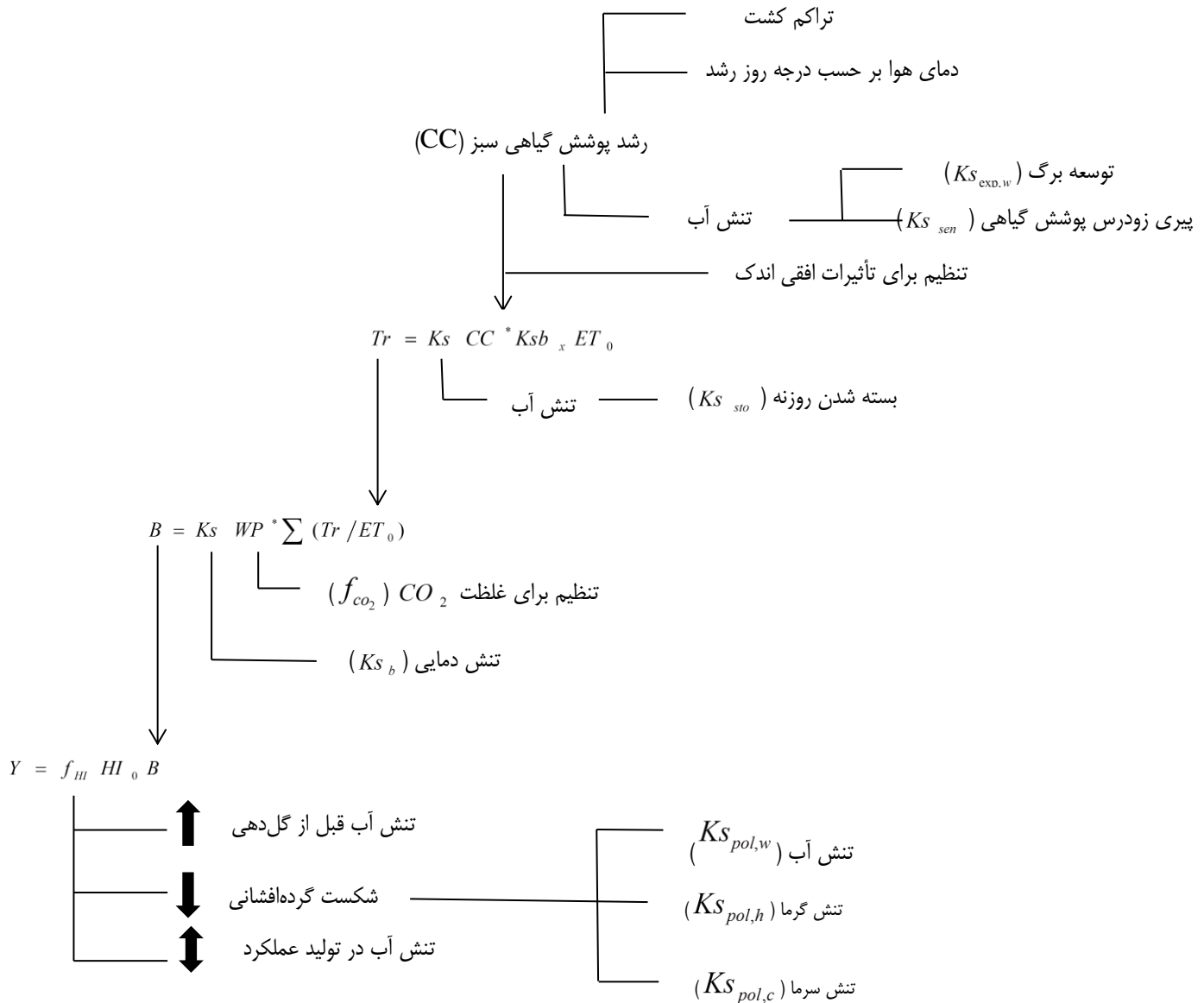
حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی و سرعت باد به کار گرفته شد. پس از ارزیابی قابلیت این مدل‌ها و اطمینان از توانایی بالای آن-ها برای تولید اطلاعات مربوطه، نتایج حاصل از داده‌های مربوطه برای دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۵ به صورت زیر ارائه می‌شوند.

یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که متغیرهای آب و هوایی حاصل از مدل HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 در دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ در مقایسه با دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ افزایشی است، به طوری که میانگین ماهانه دمای حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد، بارش تجمعی ۹/۱۵ میلی‌متر و تابش خورشیدی ۰/۰۶ مگاژول بر متر مربع بر روز افزایش می‌یابد. نتایج حاصل با مطالعات خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۳)، سیاری و همکاران (۱۳۹۰) و آبابایی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. روند افزایش بارش متغیر بوده و بیشتر در فصل زمستان و بهار روند افزایشی دارد که همزمان با اواخر فصل رشد گندم می‌باشد. بیشترین میزان افزایش بارش معادل ۳/۹۳ میلی‌متر در ماه اکتبر رخ داده که معادل با ماه‌های مهر و آبان زمان کاشت گندم می‌باشد. بالاترین دماها در فصل بهار و تابستان که مصادف با زمان بلوغ و برداشت گندم می‌باشد، اتفاق می‌افتد. معمولاً تنش حرارتی پس از گرده‌افشانی در محدوده دمای ۲۵ تا ۳۱ درجه به طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد می‌گردد، اما در شهرستان اهر افزایش دما تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد به ندرت رخ می‌دهد بنابراین افزایش دما موجب تنش حرارتی در گندم شهرستان اهر نخواهد شد. تابش خورشیدی بیشترین افزایش را در فصل بهار در ماه می که معادل با ماه‌های اردیبهشت و خرداد می‌باشد، تجربه می‌کند.

نتایج حاصل از مدل ClimGen نشان می‌دهد که روند تغییرات متغیرهای رطوبت نسبی حداکثر و حداقل کاهش و سرعت باد افزایشی است که میزان تغییرات به ترتیب ۰/۶۱ درصد، ۰/۲۹ درصد و ۰/۰۳ متر بر ثانیه می‌باشد. بیشترین تغییر رطوبت نسبی حداکثر و حداقل و سرعت باد به ترتیب در ماه‌های سپتامبر، ژانویه و مارس به میزان ۳/۹۴- درصد، ۱/۶۹- درصد و ۰/۱۶ متر بر ثانیه رخ داده است. معمولاً بیشترین تأثیر متغیرهای رطوبت نسبی و سرعت باد در اواخر فصل و در دوره برداشت گندم که مصادف با ماه‌های خرداد، تیر و مرداد (ژوئن و جولای) است، می‌باشد.

پس از برآورد متغیرهای آب و هوایی برای دوره آتی، با استفاده از مقادیر آن‌ها تبخیر-تعرق با استفاده از نرم افزار ETO Calculator 3.2 بدست آمد، که نتایج حاصل از آن برای دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و آتی (۲۰۱۶-۲۰۴۵) در جدول ۲ و شکل ۳ گزارش شده است. در شکل ۳ تبخیر-تعرق مشاهداتی و پیش‌بینی شده در دوره‌هایی پایه و آتی برای دوازده ماه سال با هم مقایسه شده‌اند که در سه ماه ژوئن، جولای و آگوست بیشترین تفاوت را دارند. همچنین از نتایج جدول ۲ استنباط می‌شود که متوسط تغییر تبخیر-تعرق به ترتیب در دوره پایه و آتی ۱۲۵۷/۰۲ و ۱۲۷۵/۵۳ میلی‌متر در سال است که در اثر تغییر

اقلیم افزایشی است. میزان تغییرات ۱۸/۵۱ میلی‌متر در سال می‌باشد که ۱/۴۷ درصد از متوسط سالانه دوره پایه می‌باشد.



شکل ۲- طرح کلی مدل آکواکراپ

توزیع نرمال تبعیت می‌کند. به طوریکه در ماه‌های گرم سال میزان تبخیر-تعرق بیشتر و در ماه‌های سرد سال کمتر است. طبق روابط ۳ و ۴ تبخیر-تعرق با عملکرد محصول رابطه معکوس دارد یعنی با افزایش آن عملکرد روند نزولی خواهد داشت، البته نسبت تبخیر و تعرق نیز مهم است. بیشترین میزان تغییرات تبخیر در ماه ژوئن (خرداد و تیر) زمان برداشت محصول رخ داده است و کمترین میزان

بر اساس نتایج شکل ۳ بیشتر تغییرات تبخیر و تعرق در ماه‌های گرم سال (فصل بهار و تابستان) رخ داده که با نتایج حاصل از تغییر دما هم‌خوانی دارد، این موضوع باعث کاهش دوره رشد در اثر بالا بودن دمای هوا و زودتر تامین شدن درجه حرارت لازم برای طی مراحل فنولوژیکی رشد گیاه می‌شود و نیاز آبی آن را در طول دوره‌ی رشد افزایش می‌دهد. همچنین طبق شکل ۳ تبخیر-تعرق مانند دما از

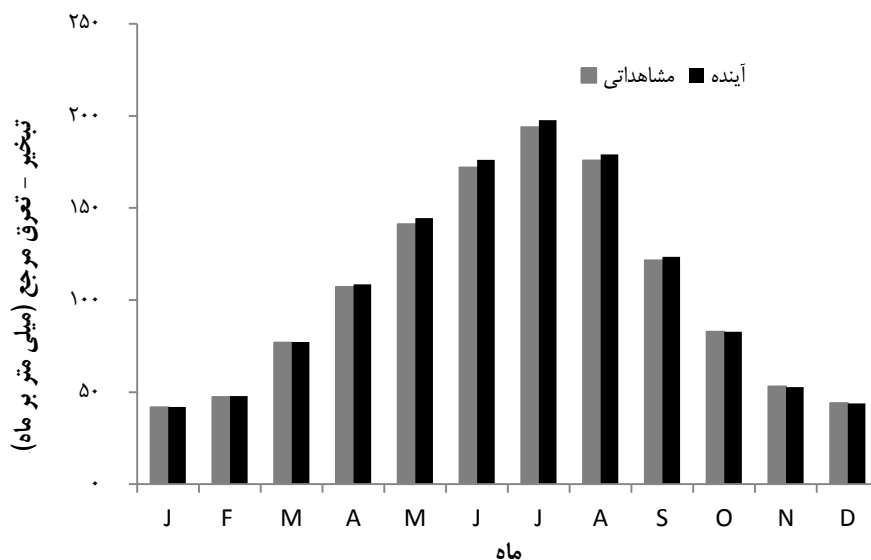
استفاده از نرم افزار Aquacrop 4.0 واسنجی شد. پارامترهای مخصوص مراحل فنولوژیکی گیاه که در مرحله واسنجی از مقادیر پیش فرض خود تغییر داده شدند در جدول ۳ و نحوه تعیین پارامترهایی که در واسنجی مورد استفاده قرار گرفته‌اند در جدول ۴ ارائه شده است.

تبخیر-تعرق در فصل پاییز (ماه‌های نوامبر و دسامبر) است که سبب می‌شود محدودیت محصول از نظر دسترسی به مقدار آب ناشی از بارندگی کاهش یابد.

نتایج قسمت دوم: در این مطالعه با استفاده از داده‌های سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۷۰ عملکرد گندم در ایستگاه اهر با

جدول ۲- مقادیر میانگین ماهانه تبخیر-تعرق مرجع ماهانه پیش‌بینی شده برای دوره آتی (۲۰۱۶-۲۰۴۵) و میزان و روند تغییرات آنها در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) در ایستگاه اهر

تغییرات	ماه												آماره	متغیر
	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه		
-	۴۳/۹۶	۵۳/۰۸	۸۲/۷۳	۱۲۱/۶۳	۱۷۵/۷۹	۱۹۳/۸۳	۱۷۱/۹	۱۴۱/۱	۱۰۷/۱۶	۷۶/۸	۴۷/۳۱	۴۱/۷۳	$mean_{obs}$	میانگین ماهانه تبخیر-تعرق مرجع
-	۴۳/۸۳	۵۲/۶۳	۸۲/۷۹	۱۲۳/۵۰	۱۷۹/۱۶	۱۹۷/۶۸	۱۷۶/۱	۱۴۴/۵	۱۰۸/۴۴	۷۷/۱۵	۴۷/۷۵	۴۲	$mean_{fut}$	
-	۹/۷۵	۱۳/۹۶	۱۴/۹۳	۱۲/۸۷	۱۳/۵۶	۱۳/۵۶	۱۴/۲	۱۴/۸	۱۲/۷۲	۲۰/۱۸	۱۱/۱۱	۱۳	sd_{obs}	
-	۴/۵۸	۷/۲۱	۷/۸۴	۷/۷۱	۷/۶۱	۶/۴۱	۹/۱۵	۸/۱۸	۸/۲۱	۸/۴۸	۵/۴۱	۶/۱۴	sd_{fut}	
۱۸/۵۱	-۰/۱۳	-۰/۴۵	-۰/۰۶	۱/۸۷	۳/۳۷	۳/۸۵	۴/۲۰	۳/۴۰	۱/۲۸	-۰/۳۵	-۰/۴۴	-۰/۲۷	میزان تغییرات	روند تغییرات
افزایشی	کاهشی	کاهشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	روند تغییرات	



شکل ۳- تبخیر-تعرق مشاهداتی و پیش‌بینی شده در دوره‌هایی پایه و آتی

جدول ۳- پارامترهای مربوط به مراحل فنولوژیکی گندم در ایستگاه اهر، پس از واسنجی مدل آکوآکراپ

پارامتر گیاهی	مقدار بر حسب درجه روز رشد (GDD)	مقدار بر حسب روز (day)
زمان از کاشت تا سبز شدن	۱۴۵	۱۱
زمان از کاشت تا آغاز گلدهی	۱۱۹۰	۱۹۶
طول دوره گلدهی	۱۱۸	۱۰
زمان از کاشت تا رسیدن به پوشش گیاهی حداکثر	۱۰۱۸	۱۷۸
زمان از کاشت تا شروع پیری گیاه	۱۲۱۱	۱۹۸
زمان از کاشت تا بلوغ	۱۷۰۱	۲۳۵
زمان از کاشت تا رسیدن به حداکثر عمق ریشه	۸۶۵	۱۵۸
زمان از گل دهی تا تشکیل عملکرد	۵۰۰	۳۸

جدول ۴- پارامترهای گیاهی بکار رفته در مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی رشد گندم دیم اهر

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد/ توضیحات	روش تعیین
دمای پایه (T_{base})	۰	$^{\circ}C$	پیش فرض
دمای فوقانی (T_{upper})	۲۶	$^{\circ}C$	پیش فرض
پوشش گیاهی اولیه در صورت جوانه زدن ۹۰ درصد گیاه (CC_0)	۴/۵۵	درصد	تخمین
اندازه پوشش گیاهی اولیه	۱/۵	$cm^2 / plants$	پیش فرض
ضریب بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*)	۱۵	g / m^2 (گندم جزو کلاس C_3 است)	پیش فرض
ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC)	۰/۵۳	$\% / GDD$	واسنجی
ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC)	۰/۴۸	$\% / GDD$	واسنجی
آستانه بالایی تنش رطوبتی P_{upper} برای رشد پوشش گیاهی	۰/۲۲	بالاتر از آن توقف رشد پوشش گیاهی	واسنجی
آستانه پایینی تنش رطوبتی P_{lower} برای رشد پوشش گیاهی	۰/۵۷	در این مقدار توقف رشد پوشش گیاهی	واسنجی
فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش رشد پوشش گیاهی ($Ks_{exp,w}$)	۵	تحدب بالا	واسنجی
آستانه بالایی تنش رطوبتی P_{upper} برای بسته شدن روزنه	۰/۶۲	بیش از این مقدار بسته شدن روزنه‌ها	واسنجی
فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش بسته شدن روزنه (Ks_{sto})	۲/۵	تحدب متوسط	واسنجی
آستانه بالایی تنش رطوبتی P_{upper} برای پیری زودرس پوشش گیاهی	۰/۷	بیش از این مقدار پیری پوشش گیاهی	واسنجی
فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش پیری زودرس پوشش گیاهی (Ks_{sen})	۲/۵	تحدب متوسط	واسنجی
شاخص برداشت مرجع HI_0	۳۳	درصد	واسنجی
ضریب تعرق حداکثر گیاه (Ksb_x)	۱/۱۰	-	واسنجی
آستانه بالایی تنش دما (Ks_b)	۱۲	$^{\circ}C - day$	واسنجی
آستانه بالایی ضریب تنش آب در شکست گرده‌افشانی ($Ks_{pol,w}$)	۰/۸۵	-	پیش فرض
آستانه بالایی ضریب تنش سرد در شکست گرده‌افشانی ($Ks_{pol,c}$)	۵	$^{\circ}C$	پیش فرض
آستانه پایینی ضریب تنش گرما در شکست گرده‌افشانی ($Ks_{pol,h}$)	۳۵	$^{\circ}C$	پیش فرض
ضریب اثر ترکیبی تنش آب روی شاخص برداشت مرجع (f_h)	۰/۸۹	-	محاسبه

گیاه برای هر سال متفاوت است که میانگین دوره پایه گزارش شده است، این موضوع در مورد سایر مراحل فنولوژیکی نیز صادق است یعنی مقادیر بر حسب درجه روز رشد ثابت هستند اما مقادیر بر حسب روز به دلیل تفاوت دما در طی سال‌های مختلف متفاوت است از این رو مقادیر روزانه به طور متوسط ۳۰ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۶) گزارش شده است. مقادیر بر حسب درجه روز رشد با تغییر مقادیر پیش‌فرض به صورت آزمون خطا بدست آمدند همچنین این روش در مورد پارامترهایی که در جدول ۴ به صورت واسنجی مشخص شده‌اند به کار گرفته شده است. بیشتر پارامترهای واسنجی با استفاده از نتایج مطالعه خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) و خرسند و همکاران (۱۳۹۳) بدست آمدند. همچنین رطوبت اولیه خاک در مدل آکواکراپ در حد ظرفیت

البته ذکر این نکته ضروری است که بررسی اثرات تغییر اقلیم بر گیاه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از آن نیازمند بهره‌گیری از داده‌های طولانی مدت برای واسنجی مدل گیاهی است که در این مطالعه سعی شده است برای کاهش این عدم قطعیت و کسب نتایج نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده، تا حد امکان دوره طولانی‌تری (۹۴-۱۳۷۰) برای واسنجی گیاه در نظر گرفته شود.

همانطور که قبلاً اشاره شد کاشت این گیاه از اوایل مهر تا اواسط آبان صورت می‌گیرد. در این تحقیق بهترین تاریخ در واسنجی گیاه اواسط مهر ماه بدست آمد که براساس جدول ۳ بلوغ گیاه به طور متوسط در اواسط تیر رخ می‌دهد به طوری که تاریخ کاشت ثابت اما تاریخ برداشت براساس درجه روز رشد رسیدن به مرحله فنولوژیکی

جدول ۵- آماره‌های ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد

گندم دیم اهر	
مقدار محاسباتی	آماره
-۰/۱۵۶	t
۰/۸۷۷	p-value
۰/۱۳	RMSE
۱۴/۵۶	NRMSE
۰/۷۴	r

براساس آزمون «t» اختلاف معنی‌داری بین میانگین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود ندارد. (همچنین مقدار «RMSE» نشان‌دهنده اختلاف کم آن‌ها است که بر حسب «NRMSE» مدل قادر به تولید داده‌های مشاهداتی با کارایی خوب (محدوده ۲۰-۱۰ درصد خطا) است.

در گام بعدی پس از ارزیابی مدل آکواکراپ با استفاده از ویژگی‌های گیاهی، خاک و مدیریتی یکسان فقط با تغییر داده‌های آب و هوایی به دست آمده با استفاده از مدل Lars-wg و ClimGen عملکرد برای دوره آبی (۱۳۹۴-۱۳۹۴) شبیه‌سازی شد. نتایج حاصله در جدول ۷ گزارش شده است. متوسط میزان عملکرد شبیه‌سازی شده برای دوره (۱۳۹۴-۱۳۹۴) در مقایسه با حالت مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره پایه افزایشی است، دلیل این امر افزایش بارش و کاهش دما به میزان کم برای دوره آبی می‌باشد. البته علاوه بر دما و بارش دی‌اکسیدکربن نیز بر رشد گیاه موثر است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بازده فتوسنتز را افزایش و سرعت تنفس را کاهش می‌دهد از این رو بر عملکرد محصول تأثیر مثبت دارد، البته تأثیر آن تا حدودی از طریق تأثیر منفی افزایش دما بر روی عملکرد متعادل می‌شود.

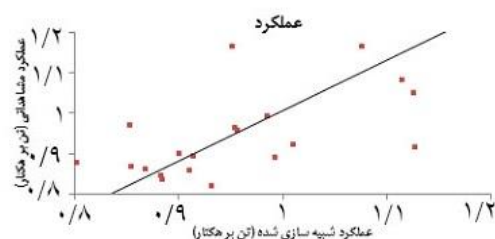
نتیجه‌گیری

هر یک از متغیرهای آب و هوایی مد نظر در این مطالعه تأثیر به‌سزایی در عملکرد دارند که جهت و میزان تأثیرگذاری آن‌ها متفاوت است، با توجه به اینکه روند بارش تحت سناریو A2 برای منطقه اهر افزایشی بوده و محصولات دیم بیشترین وابستگی را به میزان بارش دارند افزایش عملکرد تحت این شرایط در نتیجه تغییر اقلیم امری طبیعی است. البته علاوه بر بارش افزایش غلظت کربن دی‌اکسید با افزایش عمل فتوسنتز به رشد گندم که در واقع جزو گیاهان C_3 است کمک می‌کند که این به عوامل دیگری همچون مقدار آب و نیتروژن بستگی دارد.

مزرعه‌ای در نظر گرفته شد به این دلیل که در کشت پاییزه به ویژه در منطقه اهر بعد از اولین بارش پاییزه کاشت گندم صورت می‌گیرد. دمای پایه و فوقانی در مورد کشت گندم در مدل آکواکراپ به صورت صفر و ۲۶ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در مطالعه ساری صراف و همکاران (۱۳۸۸) به همین منوال عمل شده است. پس از واسنجی پارامترها، گام بعدی اعتبار سنجی مدل است که برای این منظور داده‌های عملکرد سال‌های ۹۴-۱۳۷۰ مورد استفاده قرار گرفته است. آماره‌های ارزیابی در جدول ۵ و اطلاعات عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده در جدول ۶ نشان داده شده است.

در برخی سال‌های زراعی نظیر ۹۰-۱۳۸۹ اختلاف داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده زیاد بوده، ولی در برخی سال‌ها نیز همانند ۹۳-۱۳۹۲ این اختلاف کم و حتی تفاوتی وجود ندارد. دلیل این امر آن است که آکواکراپ عملکرد را با توجه به اطلاعات آب و هوایی شبیه‌سازی می‌کند و شامل مشکلاتی از قبیل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز نمی‌شود به طوری که مثلاً در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ کاهش میزان عملکرد به دلیل زنگ گندم بوده است این در صورتی است که کاهش چندانی در میزان بارش در آن سال در مقایسه با حالت متوسط وجود ندارد از این رو آکواکراپ عملکرد را با اختلاف زیادی شبیه‌سازی کرده است. همچنین حداکثر عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده در سال ۹۴-۱۳۹۳ رخ داده که در شکل ۴ نیز به وضوح قابل مشاهده است. برای مقایسه عملکرد واقعی و عملکرد شبیه‌سازی از آماره‌های «t»، «مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد»، «مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد نرمال شده» و «ضریب همبستگی» استفاده شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۵ گزارش شده است.

در آزمون t فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنی‌دار و فرض یک مبنی بر وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌های متغیر می‌باشد.



شکل ۴- پراکنش عملکرد واقعی گندم دیم اهر براساس عملکرد شبیه‌سازی شده در مدل آکواکراپ

جدول ۶- مقایسه عملکرد واقعی گندم دیم اهر با عملکرد شبیه‌سازی شده مدل آکواکراپ

سال زراعی	عملکرد بر حسب تن بر هکتار	مقایسه عملکرد واقعی (ton/ha) شبیه‌سازی شده مدل آکواکراپ
۱۳۶۵-۶۶	-	۰/۵۱۱
۱۳۶۶-۶۷	-	۰/۹۰۴
۱۳۶۷-۶۸	-	۰/۸۷۴
۱۳۶۸-۶۹	-	۱/۰۳۴
۱۳۶۹-۷۰	-	۰/۹۳۹
۱۳۷۰-۷۱	-/۸۵۶	۰/۹۱۱
۱۳۷۱-۷۲	-/۸۹۰	۰/۹۹۳
۱۳۷۲-۷۳	-/۹۵۶	۰/۹۵۷
۱۳۷۳-۷۴	-/۸۷۸	۰/۸۰۲
۱۳۷۴-۷۵	-/۸۴۵	۰/۸۸۴
۱۳۷۵-۷۶	-/۸۳۵	۰/۸۸۵
۱۳۷۶-۷۷	-/۸۲۰	۰/۹۳۲
۱۳۷۷-۷۸	-/۹۱۵	۱/۱۲۸
۱۳۷۸-۷۹	-/۸۶۶	۰/۸۵۵
۱۳۷۹-۸۰	-/۹۲۰	۱/۰۱۰
۱۳۸۰-۸۱	-/۹۹۱	۰/۹۸۶
۱۳۸۱-۸۲	۱/۳۰۲	۱/۰۷۵
۱۳۸۲-۸۳	-/۹۶۲	۰/۹۵۴
۱۳۸۳-۸۴	۱/۰۵۱	۱/۱۲۶
۱۳۸۴-۸۵	-/۸۹۱	۰/۹۱۵
۱۳۸۵-۸۶	۱/۱۶۴	۱/۰۷۶
۱۳۸۶-۸۷	-/۷۰۲	۰/۷۶۰
۱۳۸۷-۸۸	-/۹۷۰	۰/۸۵۳
۱۳۸۸-۸۹	۱/۰۸۲	۱/۱۱۵
۱۳۸۹-۹۰	-/۵۵۵	۰/۹۰۰
۱۳۹۰-۹۱	-/۸۵۹	۰/۸۶۸
۱۳۹۱-۹۲	۱/۱۶۴	۰/۹۵۲
۱۳۹۲-۹۳	-/۹۰۰	۰/۹۰۱
۱۳۹۳-۹۴	۱/۵۲۵	۱/۱۷۰
حداقل	-/۵۵۵	۰/۵۱۱
میانگین	-/۹۵۴	۰/۹۴۰
حداکثر	۱/۵۲۵	۱/۱۷۰
انحراف معیار	-/۱۹۰	۰/۱۳۱

موجب تنش حرارتی گیاه نشده بلکه رشد گیاه را افزایش می‌دهد. همچنین تابش خورشیدی بیشترین افزایش را در فصل بهار در ماه می که معادل با ماه‌های اردیبهشت و خرداد می‌باشد تجربه می‌کند که این نیز برای رشد گیاه یک مزیت به حساب می‌آید به این دلیل که تولید ماده خشک غلات ارتباط مشخصی با میزان تشعشع خورشیدی جذب شده دارد و میزان جذب تشعشع خورشیدی ارتباط مستقیم با میزان سطح برگ مزرعه دارد. اگر گیاه رشد پاییزه خوبی را گذارنده باشد و به اندازه‌ی مناسبی از رشد پوشش گیاهی برسد در

از طرفی دیگر کربن دی اکسید جزو مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای است که افزایش غلظت آن باعث افزایش دمای کره‌زمین می‌شود. گندم جزو گیاهانی است که به افزایش دما حساس است، افزایش دما روی روند رشد دانه گندم تأثیر گذاشته و این دوره زمانی رشد را کاهش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش کیفیت و راندمان پایین گندم تولید شده می‌شود. معمولاً افزایش دما بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین تأثیر را روی کاهش بازدهی گندم دارد اما از آن جایی که منطقه اهر جز مناطق کوهستانی و سردسیر می‌باشد افزایش دما

شیشه و لایه‌های پلاستیکی و خاک‌پوش‌های طبیعی مانند کلش و لاش‌برگ توصیه می‌شود. همچنین برای جلوگیری از کاهش عملکرد اقدامات مدیریتی مزرعه بسیار مهم است که یکی از این اقدامات مؤثر تنظیم تاریخ کاشت براساس بارندگی مؤثر است که براساس نتایج مطالعه در صورتی که گیاه رشد پاییزه را به خوبی طی کند عملکرد افزایشی خواهد یافت، از این رو به کشاورزان توصیه می‌شود با کاشت به موقع این محصول از کوتاه شدن دوره رشد و کاهش عملکرد ناشی از آن جلوگیری کنند.

رشد بهاره می‌تواند تشعشع خورشیدی زیادی را جذب کند و به عملکرد بالاتری دست یابد. تنها عاملی که تأثیر منفی بر افزایش عملکرد دارد افزایش قدرت تبخیر جو ناشی از افزایش دما است که سبب می‌شود میزان آب در دسترس گیاه کاهش یافته و روی عملکرد تأثیر منفی بگذارد که در این مطالعه ۱۸ میلی‌متر در روز به دست آمده است. این موضوع باعث افزایش نیاز آبی گیاه گندم می‌شود که حتماً باید در طراحی شبکه‌های آبیاری و الگوی کشت در نظر گرفته شود. برای کاهش تبخیر استفاده از خاک‌پوش‌های مصنوعی مثل پشم

جدول ۷- عملکرد شبیه‌سازی شده برای دوره (۱۳۹۳-۱۴۲۴) گندم دیم اهر در مدل آکواکراپ

سال زراعی	عملکرد شبیه‌سازی شده برای دوره آبی بر حسب تن بر هکتار
۱۳۹۴-۹۵	۱/۰۸۵
۱۳۹۵-۹۶	۰/۹۵۶
۱۳۹۶-۹۷	۱/۰۱۹
۱۳۹۷-۹۸	۰/۹۴۶
۱۳۹۸-۹۹	۰/۹۷۱
۱۳۹۹-۴۰	۱/۱۰۱
۱۴۰۰-۴۰	۰/۹۸۷
۱۴۰۱-۴۰	۰/۹۸۳
۱۴۰۲-۴۰	۰/۹۳۳
۱۴۰۳-۴۰	۱/۰۱۱
۱۴۰۴-۴۰	۰/۹۶۷
۱۴۰۵-۴۰	۰/۹۵۱
۱۴۰۶-۴۰	۱/۰۶۷
۱۴۰۷-۴۰	۰/۹۹۳
۱۴۰۸-۴۰	۱/۰۴۸
۱۴۰۹-۴۱	۱/۱۱۱
۱۴۱۰-۴۱	۰/۷۸۰
۱۴۱۱-۴۱	۰/۹۹۶
۱۴۱۲-۴۱	۱/۰۰۳
۱۴۱۳-۴۱	۱/۰۰۱
۱۴۱۴-۴۱	۰/۸۸۹
۱۴۱۵-۴۱	۱/۰۴۳
۱۴۱۶-۴۱	۱/۰۳۲
۱۴۱۷-۴۱	۰/۷۹۶
۱۴۱۸-۴۱	۱/۱۳۳
۱۴۱۹-۴۲	۱/۰۳۶
۱۴۲۰-۴۲	۱/۱۰۷
۱۴۲۱-۴۲	۱/۰۳۳
۱۴۲۲-۴۲	۱/۰۲۰
۱۴۲۳-۴۲	۰/۹۸۹
حداقل	۰/۷۸۰
میانگین	۰/۹۹۹
حداکثر	۱/۱۳۳
انحراف معیار	۰/۸۰

منابع

- هوا جهت ارائه به دبیرخانه کنوانسیون (UNFCCC). بخش چهارم: ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری. ۱۲۴-۱.
- سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، فرید حسینی، ع. و حسامی کرمانی، م. ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵: ۴. ۹۱۲-۹۲۵.
- شریفان، ح. و فرشادمهر، م. ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع در کشور. اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی. انجمن آبیاری و زهکشی ایران-دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. اصفهان ۱۷ بهمن.
- طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح. و خداقلی، م. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور). فصلنامه انسان و محیط زیست. ۲۸: ۱۵-۲.
- کوچکی، ع. و کمالی، غ. ۱۳۸۸. تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۳۰: ۸. ۵۲۰-۵۰۸. مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اهر. ۱۳۹۵. سیمای کشاورزی شهرستان اهر.
- میریعقوب‌زاده، م.، سلیمانی، ک.، حبیب‌نژاد روشن، م.، شاهدی، ک.، عباسپور، ک. و اخوان، س. ۱۳۹۳. تعیین و ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور: مطالعه موردی حوزه آبخیز تمر، گلستان. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۴: ۱۵. ۸۹-۱۰۲.
- وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی جلد اول- محصولات زراعی و باغی. قابل دسترسی به صورت اینترنتی در سایت www.maj.ir
- یعقوب‌زاده، م.، احمدی، م.، برومندنسب، س. و حقایقی مقدم، س. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های AOGCM. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۴: ۳۰. ۵۱۲-۵۲۳.
- Abubakari, F and Abubakari, F. 2015. Effects of climate changing on food crop production system in Ghana. Academic Research Journal of Agricultural Science and Research. 3.4:76-79.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D and Smith, M. 2006. Evapotranspiration. (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Huo, Z., Dai, X., Feng, Sh., Kang, Sh and Huang, G. 2013. Effect of climate change on reference
- آبایی، ب.، سهرابی، ت.، میرزایی، ف.، رضاردی نژاد، و و کریمی، ب. ۱۳۸۹. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه رودشت اصفهان). مجله دانش آب و خاک. ۱: ۲۰. ۱۵۰-۱۳۶.
- اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی. ۱۳۹۵. بانک اطلاعاتی داده‌های هواشناسی، تبریز.
- اسلامی، پ. ۱۳۹۰. نقش گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در رابطه با تغییر اقلیم. همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.
- حیبی، م. ۱۳۸۷. مدلسازی اقلیمی و تغییرات اقلیمی ایران. پژوهشکده اقلیم شناسی.
- خرسند، ا.، رضاردی نژاد، و و شهیدی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نيمرخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم‌آبی. مدیریت آب و آبیاری. ۴: ۱۰۴-۷۹.
- خلیلی، ن.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، کافی، م. و انصاری، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیسب، خراسان شمالی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸: ۵. ۹۳۹-۹۳۰.
- خورانی، ا. و منجد مرودشتی، ش. ۱۳۹۳. بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان بازدید از جزیره‌ی هنگام. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۱: ۱۲۲-۱۰۹.
- روستایی، م.، سهرابی، ت.، مساح بوانی، ع. و صادق احدی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی ریسک عملکرد زیست‌توده گیاه ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی. ۲۶: ۴. ۴۳۸-۴۲۶.
- دانش‌فراز، ر. و رزاق‌پور، ه. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق پتانسیل در استان آذربایجان غربی. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. ۴: ۴۶. ۲۱۱-۱۹۹.
- ساری صراف، ب.، بازگیر، س. و محمدی، غ. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی پتانسیل‌های اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان غربی. جغرافیا و توسعه. ۱۳: ۲۶-۵.
- سازمان حفاظت محیط زیست. ۱۳۸۷. دومین گزارش ملی تغییر آب و

- Raes,D., Steduto,P., Hsiao,T.C and Fereres,E. 2011. Calculation procedures. Reference Manual, Version 3.1, chapter 3.
- Sabziparvar,A.A and Tabari,H. 2010. Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. Journal of. Irrigation. Drainage. Engineering. 136 .10: 724-731.
- Semenov,M.A and Barrow,E.M. 2002. LARS-WG A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual Version3.0. Rothamsted Research. 1-27.
- Steduto,P., Hsiao,T.C and Fereres,E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrigation Science. 25: 189-207.
- evapotranspiration and aridity index in arid region of China. Journal of Hydrology. 492: 24-34.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2016. Available at www.ipcc.ch
- Neil Bird,D., Benabdallah,S., Gouda,N., Hummel,F., Köberl,J., La Jeunesse,I., Meyer,S., Neil Prettenthaler,F., Soddu,A and Woess-Gallasch,S. 2016. Modelling climate impacts on and adaptation strategies for agriculture in Sardinia and Tunisia using aquacrop and Value-at-Risk. Science of the Total Environment.
- Raes,D., Steduto,P., Hsiao,T.C and Fereres,E. 2011. FAO cropwater productivity model to simulate yield response to water. Reference Manual, Version 3.1, chapter 1.

Evaluation of Climate Change effect on Evapotranspiration and Yield of Rainfed Wheat in Ahar

Gh. Dashti^{1*}, P. Bagheri², E. Pishbahar³ and A. Majnooni⁴

Received: Dec.02, 2017

Accepted: Jan.01, 2017

Abstract

Climate is one of the basic factors in nature that its change is one of the most important challenges in the current century. The increasing of emission of greenhouse gases is as the most important affecting factor on climate change that leads to change temperature, precipitation and other climatic parameters. Evapotranspiration is one of the important meteorological variables that are influenced by crop characteristics, soil and meteorological parameters, such as temperature, humidity and radiation, and in fact it creates the relationship between important elements of atmosphere and earth. Hence, it is always affected by climate change. In addition, evapotranspiration is one of the most important parameters that effect on crops' yield. Hence, in this present study, we investigated the effect of climate change on evapotranspiration and wheat yield in Ahar County for the future period (2016-2045); for this, we applied HadCM3 general circulation model under A2 emission scenarios. The results showed that due to climate change, evapotranspiration will increase and its variation will be equal to 18.48 millimeters per year, which is 47.1 percent of the annual average of period 1986-1989. Compared to observed and simulated data for base period, the simulated yield average for the future period (2016-2045) will increase. According to weather variables change, the average of yield will increase from 0.954 in the base period to 0.999 tons per hectare in the future period (2016-2045). The increasing of evapotranspiration caused by temperature increasing is the only factor that has a negative effect on yield, which reduces the amount of available water for the plant and has a negative effect on the yield. Therefore, it is recommended that farmers use the natural mulch, like fiberglass and plastic layers, and artificial mulch, like chaff and leaf litter, to reduce evaporation from the soil surface.

Keywords: Aquacrop model, Climate Change, Evapotranspiration, Simulation yield

1- Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

2- Graduated MSc of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

3- Associate Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

4- Associate Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(*- Corresponding Author Email: ghdashti@yahoo.com)