

بررسی اثر افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفری بر عملکرد غلات مهم با استفاده از مدل AquaCrop

هادی رضانی اعتدالی^{۱*}، بهنام آبابایی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲- مؤسسه ملی تحقیقات کشاورزی فرانسه (INRA-SupAgro)، مون‌پلیه، فرانسه

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۱۰، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۰)

چکیده

در مطالعه حاضر اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در چهار سناریوی A1B، A2، B1 و B2 بر عملکرد گندم، جو و ذرت دانه‌ای به عنوان غلات اصلی دشت قزوین با استفاده از مدل کالیبره AquaCrop بررسی شد. عملکرد گندم در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۵ نسبت به دوره مبنای ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹ به‌طور میانگین بین ۱۱/۵ درصد در سناریوهای B1 و B2 تا ۱۴/۴ درصد در سناریو A1B افزایش خواهد یافت. در مورد جو، افزایش عملکرد بین ۸/۵ تا ۱۱/۳ به ترتیب در سناریوهای B1 و A1B برآورد گردید. همچنین برای ذرت دانه‌ای نیز به‌طور میانگین عملکرد بین ۳/۷ تا ۴/۳ درصد به ترتیب در سناریوهای A1B و B1 برآورد گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر گیاهان گروه C3 (گندم و جو) نسبت به گیاهان گروه C4 (ذرت دانه‌ای) بیشتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: دشت قزوین، سناریوهای غلظت دی‌اکسید کربن، مدل AquaCrop.

مقدمه

گرفت و مشخص گردید که در آینده فعالیت فتوسنتزی افزایش، هدایت روزنه‌ای کاهش و سطح بهره‌وری مصرف آب در گیاه افزایش خواهد یافت. اثر دی‌اکسید کربن در گیاهان و شرایط رطوبتی مختلف بسیار متغیر است (Ababaei et al., 2014). بیشترین اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن زمانی حاصل می‌شود که محدودیت رطوبت وجود داشته باشد (Manderscheid and Weigel., 2007). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث کاهش خسارات ناشی از خشکسالی می‌گردد که این تأثیر را می‌توان به علت کاهش هدایت روزنه‌ای به دلیل کاهش اتلاف آب برگ از طریق روزنه‌ها و افزایش بهره‌وری مصرف آب توسط گیاه دانست (Donnelly et al., 2000). Van Uytrecht et al., (2011) مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی رشد محصولات کشاورزی تحت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر ارزیابی نمودند. نتایج ایشان نشان داد افزایش دی‌اکسید کربن، علاوه بر کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق گیاه، می‌تواند تولید محصول را نیز افزایش دهد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر از یک سو و اثر این افزایش بر میزان فتوسنتز و عملکرد گیاه از سوی دیگر

افزایش سریع غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم بوده و خواهد بود. از گزارش‌های اخیر می‌توان دریافت، افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفری بسیار سریع‌تر از آنچه تصور می‌شده، بوده است (IPCC, 2007 and ESRI, 2014). از سوی مقابل نتایج بررسی‌ها در مطالعات کشاورزی نشان می‌دهد با افزایش دی‌اکسید کربن بهره‌وری مصرف آب، فتوسنتز و عملکرد افزایش می‌یابد (Kimball et al., 2002 and Taize and Ziger, 2003). Torbert et al., (2004) گزارش نمودند افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر، تولید زیست‌توده در سویا (حدود ۴۰ درصد) و سورگوم (حدود ۳۰ درصد) را افزایش می‌دهد. Lovelli et al., (2010) به بررسی اثر غلظت دی‌اکسید کربن و دمای در حال افزایش بر روی ET_c و ET_o در منطقه مدیترانه پرداختند. ایشان از معادله پنمن-مانتیت برای شبیه‌سازی تغییرات آینده ET_o به وسیله واسنجی پارامتر مقاومت کانوپی استفاده نمودند. مصرف آب در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۶ (اندازه‌گیری شده) و ۲۰۰۶-۲۰۷۱ (شبیه‌سازی شده) برای ایجاد سناریوی اقلیمی آینده مورد مطالعه قرار

غیرقابل انکار است. بنابراین این مطالعه به بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تحت سناریوهای تغییر اقلیم بر عملکرد غلات مهم دشت قزوین (گندم و جو و ذرت دانه-ای) با استفاده از مدل AquaCrop می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

مدل AquaCrop

نرم‌افزار AquaCrop در راستای برنامه Cropwat است که در نشریه FAO 33 تبیین شده بود. در نشریه FAO 33 به بررسی مقادیر تبخیر و تعرق نسبی و ضریب کاهش عملکرد و در یک گام زمانی بلندمدت پرداخته می‌شد، اما AquaCrop از طریق تفکیک سهم مولد تولید یعنی تعرق از تبخیر و تعرق و میزان زیست توده تولیدی و به واسطه شاخص برداشت، مقادیر شاخص بهره‌وری آب (تعرق) و عملکرد محصول در یک گام زمانی روزانه برآورد می‌کند. از دیگر ویژگی‌های مدل AquaCrop این است که به جای شاخص سطح برگ از پوشش سبز روی سطح زمین استفاده می‌کند. در آن شاخص درجه روز رشد اهمیت ویژه‌ای دارد و به جای ضریب کاهش نسبی عملکرد به بررسی شاخص بهره‌وری می‌پردازد (Raes et al., 2009 and Steduto et al., 2007).

ورودی‌های مدل شامل چهار دسته از اطلاعات از جمله داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه می‌باشند. داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل عبارتند از حداکثر و حداقل درجه حرارت روزانه، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)، بارندگی و غلظت دی‌اکسیدکربن (Raes et al., 2009). ویژگی‌های مورد نیاز خاک نیز شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat})، رطوبت حجمی اشباع (θ_{sat})، رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (θ_{FC}) و رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (θ_{PWP}) در لایه‌های مختلف می‌باشند. اطلاعات مدیریت مزرعه نیز شامل زمان و مقدار آبیاری‌ها، سطح حاصل‌خیزی خاک و تأثیر مالچ‌های گیاهی می‌باشد (Alizadeh et al., 2010). در این تحقیق از مدل AquaCrop 4.0 استفاده شد.

پیش از استفاده از مدل AquaCrop، ضروری است واسنجی و اعتبارسنجی آن برای گیاهان مختلف و با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای مناسب در سطح منطقه مطالعاتی یا مناطق نزدیک به آن صورت گیرد. به این منظور، از ضرایب و پارامترهای مدل واسنجی شده و ارزیابی شده توسط Ramezani Etedali et al., (2016) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای گیاهی غلات مورد مطالعه

ذرت دانه‌ای	جو	گندم	گیاه	روز پس از کاشت (روز)
۶	۱۷	۱۷	جوانه‌زنی	
۶۶	۱۷۵	۱۷۵	گل‌دهی	
۵۴	۱۹۱	۱۹۱	حداکثر پوشش گیاهی	
۱۰۷	۲۰۱	۲۰۱	شروع پیری پوشش گیاهی	
۱۳۲	۲۳۵	۲۳۵	رسیدگی فیزیولوژیکی	
۱۰۸	۹۷	۹۷	حداکثر عمق توسعه ریشه	
۱۳	۱۳	۱۳	طول دوره گلدهی (روز)	
۲۳۰	۱۰۰	۱۰۰	ماکزیمم عمق ریشه (cm)	
۰/۴۹	۳/۱۳	۳/۳۷	پوشش گیاهی اولیه (درصد)	
۹۰	۸۰	۸۰	حداکثر پوشش گیاهی (درصد)	

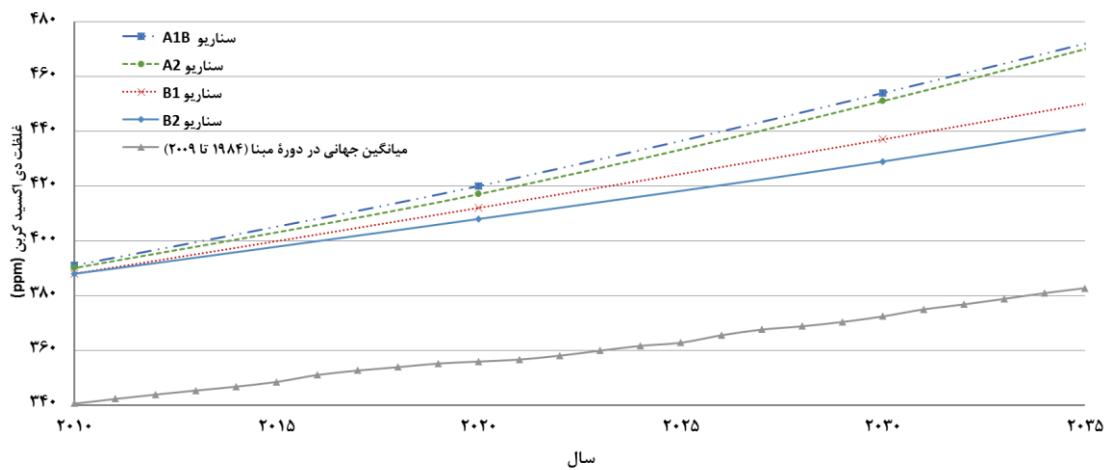
غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر تحت سناریوهای مختلف از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۵ در مقایسه با دوره مینا ۲۶ ساله ۲۰۰۹-۱۹۸۴ در شکل ۱ نمایش داده شده است. شبیه‌سازی عملکرد

سناریوهای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن

در این مطالعه سناریوهای A1B، A2، B1 و B2 به عنوان سناریوهای افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن انتخاب شدند.

تغییر اقلیم استفاده شد. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی در طول فصل رشد غلات مورد مطالعه براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قزوین در شکل آورده شده است. همچنین فرض گردید که مدیریت‌های زراعی مانند آبیاری، مصرف کود و موارد مشابه در آینده نیز ثابت باقی می‌ماند.

غلزات مورد نظر در سناریوهای مختلف افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در دوره ۲۶ ساله با استفاده از مدل AquaCrop انجام شد. داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک قزوین به عنوان اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل در دوره مینا و دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۵ مورد استفاده قرار گرفتند و فقط در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۵ غلظت دی‌اکسیدکربن در سناریوهای



شکل ۱- افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر در سناریوهای مختلف



شکل ۲- مقادیر بارندگی (PCP) و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET0) در طول دوره رشد برای دوره مینا (۱۹۸۴-۲۰۰۹)

نتایج و بحث

همچنین درصد افزایش عملکرد در گندم و جو از ذرت دانه‌ای بیشتر است. افزایش بیشتر عملکرد گیاهان C3 (مانند گندم و جو) نسبت به گیاهان C4 (مثل ذرت دانه‌ای) نسبت به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در پژوهش‌های قبلی نیز گزارش شده است. (Allen, (1990) افزایش ۳۴ و ۱۵ درصدی را به ترتیب برای گیاهان C3 و C4 برای دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن گزارش نموده‌اند. Tubiello et al., (2007) نیز افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی را برای گیاهان C3 و افزایش ۱۰ تا ۲۵ درصدی را برای گیاهان C4 برای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن مشابه را گزارش کرده‌اند. درصد افزایش عملکرد پیش‌بینی شده در این تحقیق به این دلیل کمتر از مقادیر گزارش شده توسط Tubiello et al., (2007) و Allen, (1990) است که تا سال ۲۰۳۵، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در سناریوهای مختلف حداکثر ۲۲ درصد در نظر گرفته شده که در قیاس با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در این دو مطالعه کم‌تر است.

درصد تغییرات عملکرد گندم، جو و ذرت دانه‌ای در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در سناریوهای مختلف برای دوره اقلیمی ۲۶ ساله ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۵ نسبت به دوره ۲۶ ساله مینا (۲۰۰۹-۱۹۸۴) در شکل ۳ آورده شده است. در بین سناریوهای مختلف، عملکرد گندم به‌طور میانگین بین ۱۱/۵ تا ۱۴/۴ درصد افزایش خواهد یافت. در مورد جو و ذرت دانه‌ای نیز این افزایش به ترتیب بین ۸/۵ تا ۱۱/۳ و ۳/۷ تا ۴/۳ درصد خواهد بود. گندم و جو بیشترین درصد افزایش عملکرد در بین سناریوهای مختلف را در سناریو A1B و در ذرت دانه‌ای در سناریو B2 دارند. همچنین در سناریوهای A1B و A2 و همچنین B1 و B2 درصد افزایش عملکرد در غلات مختلف تقریباً یکسان بوده و این به دلیل مقادیر مشابه دی‌اکسید کربن در بین این سناریوها است (شکل ۱).



شکل ۳- تغییرات عملکرد تحت سناریوهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در مقادیر بارندگی در فصل رشد (PCP)

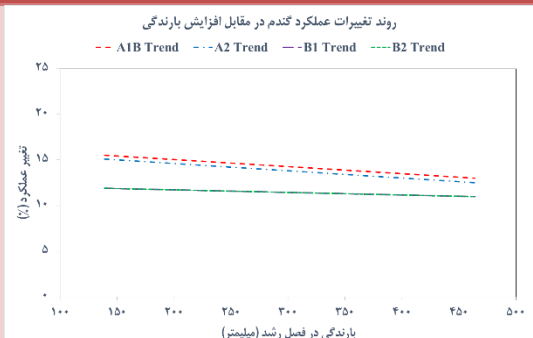

بررسی اثر بارندگی و تبخیر و تعرق بر عملکرد در سناریوهای مختلف افزایش غلظت دی‌اکسید کربن

روند تغییرات خطی افزایش عملکرد غلات مورد مطالعه در سناریوهای مختلف را در برابر افزایش مجموع بارندگی در فصل رشد این محصولات نمایش می‌دهد. در مورد گندم، با تغییر سناریوهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، شیب کاهشی این روند خطی معنی‌دارتر می‌گردد. در حالی که در دو سناریوی B1 و B2، روند نزولی نامحسوسی در تأثیرگذاری افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر افزایش عملکرد دیده می‌شود. در ارتباط با جو، الگوی مشابهی قابل تشخیص است. با این تفاوت که در تمامی سناریوهای افزایش غلظت، شیب خط روند به شکل قابل‌توجهی معنی‌دارتر از گندم می‌باشد. اما الگوی قابل تشخیص در روند تغییرات عملکرد ذرت دانه‌ای در ارتباط با افزایش بارندگی در فصل رشد از دو محصول دیگر متفاوت است. در این الگو، روند خطی تغییرات عملکرد در تمامی سناریوهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، صعودی و از نظر آماری کاملاً معنی‌دار است. دلیل این مسئله را می‌توان بارندگی ناچیز در دوره رشد ذرت دانه‌ای و نقش تعیین‌کننده این مقدار بارش محدود در افزایش عملکرد بر شمرد. همان‌طور که در بخش قبلی اشاره شد، افزایش عملکرد ذرت دانه‌ای در سناریوهای B1 و B2 در مقایسه با سناریوهای A1B و A2 به

میزان جزئی بیشتر است که این الگو، بر خلاف دو محصول دیگر می‌باشد.

روند تغییرات خطی افزایش عملکرد غلات مورد مطالعه در برابر افزایش مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل در فصل رشد این محصولات را نمایش می‌دهد. الگوهای قابل تشخیص در این جدول، بر خلاف الگوهای مورد بحث در می‌باشند. به نحوی که در مورد گندم، با افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره رشد، به میزان جزئی بر تأثیرگذاری افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر بر عملکرد محصول افزوده می‌شود. این روند در دو سناریوی A1B و A2 در مقایسه با دو سناریوی B1 و B2 (که روند افزایشی در آنها از سطح معنی‌داری پایین‌تری برخوردار است)، محسوس‌تر می‌باشد. در ارتباط با جو، همین الگو قابل تشخیص است، با این تفاوت که شیب خطوط روند نسبت به گندم مقادیر بالاتری داشته و تأثیرگذاری افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در افزایش عملکرد تحت سناریوهای مختلف افزایش غلظت دی‌اکسید کربن چشم‌گیرتر است. در ارتباط با ذرت دانه‌ای، به دلیل خشک‌تر بودن دوره رشد این محصول، هر چه بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره رشد افزوده می‌شود، تأثیرگذاری افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر بر افزایش عملکرد کاهش می‌یابد. هر چند که در تمامی سناریوها، این روند خطی نزولی، از سطح معنی‌داری پایینی برخوردار می‌باشد.

جدول ۲- روند تغییرات خطی افزایش عملکرد در برابر افزایش بارندگی در فصل رشد

روند	A1B	A2	B1	B2	سناریوهای افزایش غلظت دی اکسید کربن
شیب	-۰/۰۰۷۸	-۰/۰۰۷۹	-۰/۰۰۲۷	-۰/۰۰۲۷	روند تغییرات عملکرد گندم در مقابل افزایش بارندگی 
عرض از مبدأ	۱۶/۶۶۳	۱۶/۲۰۰	۱۲/۲۸۱	۱۲/۲۸۱	
R ²	۰/۱۴۶	۰/۱۵۱	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	
شیب	-۰/۰۲۳۸	-۰/۰۲۳۸	-۰/۰۲۰۶	-۰/۰۱۹۰	روند تغییرات عملکرد جو در مقابل افزایش بارندگی 
عرض از مبدأ	۱۸/۳۶۴	۱۷/۹۲۵	۱۵/۴۷۹	۱۴/۱۳۴	
R ²	۰/۱۳۳	۰/۱۳۵	۰/۱۱۶	۰/۱۰۶	
شیب	+۰/۱۰۷۰	+۰/۱۰۴۳	+۰/۱۰۶۱	+۰/۱۰۷۱	روند تغییرات عملکرد ذرت در مقابل افزایش بارندگی 
عرض از مبدأ	۲/۱۰۵	۲/۳۶۸	۲/۶۴۹	۲/۳۶۸	
R ²	۰/۳۱۸	۰/۳۰۸	۰/۳۱۵	۰/۳۰۸	

جدول ۳- روند تغییرات خطی افزایش عملکرد در برابر افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در فصل رشد

روند	A1B	A2	B1	B2	سناریوهای افزایش غلظت دی‌اکسید کربن
شیب	+۰/۰۱۲۷	+۰/۰۱۳۱	+۰/۰۰۲۸	+۰/۰۰۲۸	
عرض از مبدأ	۴/۴۵۵	۳/۷۰۸	۹/۳۲۶	۹/۳۲۶	
R ²	۰/۲۹۱	۰/۳۱۳	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	
شیب	+۰/۰۴۶۲	+۰/۰۴۶۳	+۰/۰۳۹۰	+۰/۰۳۵۳	
عرض از مبدأ	-۲۳/۴۰۹	-۲۳/۹۰۳	-۱۹/۸۶۱	-۱۷/۹۷۳	
R ²	۰/۳۳۷	۰/۳۴۵	۰/۲۸۱	۰/۲۴۷	
شیب	-۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۲۲	-۰/۰۰۲۸	-۰/۰۰۳۲	
عرض از مبدأ	۵/۴۴۷	۶/۰۸۷	۶/۹۷۹	۷/۵۵۴	
R ²	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	

جمع‌بندی

(۲۰۰۹) مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان داد در سناریوهای مختلف افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، عملکرد گندم به‌طور میانگین بین ۱۱/۵ تا ۱۴/۴ درصد افزایش خواهد یافت. در مورد جو و ذرت دانه‌ای نیز این افزایش به‌ترتیب بین ۸/۵ تا ۱۱/۳ و ۳/۷ تا ۴/۳ درصد خواهد بود. با بررسی روند افزایش عملکرد غلات در برابر افزایش مجموع بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره رشد مشخص گردید که در ارتباط با دو محصول گندم و جو، هرچه دوره رشد مرطوب‌تر و در مقابل، نیاز تبخیری اتمسفر (ET_o) کم‌تر باشد، تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در افزایش عملکرد کاهش پیدا می‌کند و این کاهش در مورد محصول جو محسوس‌تر است.

از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر است. بنابراین بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر عملکرد گیاهان زراعی ضروری است. در این مطالعه اثر افزایش دی‌اکسید کربن بر عملکرد غلات با استفاده از مدل AquaCrop مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که هدف، تنها بررسی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر عملکرد بود، هیچ تغییری در پارامترهای مدیریت زراعی و مقادیر داده‌های هواشناسی متناسب با سناریوهای تغییر اقلیم اعمال نگردید و تنها افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر در دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۵) نسبت به دوره مبنا (۱۹۸۴-)

8- Manderscheid, R. and Weigel, H.J. (2007) Drought stress effects on wheat are mitigated by atmospheric CO₂ enrichment. *Agron. Sustain. Dev.* 27: 79-87.

9- Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao and E. Fereres. (2009) AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. *Agronomy Journal.* 101:438-447.

10- Ramezani Etedali, H., Liaqat, A., Parsinejhad, M. and Tavakoli, A. (2016) AquaCrop in irrigation management model calibration and verification of important cereals. *Journal of Irrigation and Drainage.* 3:389-397 (in Farsi).

11- Steduto, P., Hsiao T.C. and Fereres, E. (2007) on the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science.* 25:189-207.

12- Taiz, L., and Zeiger, E. (2003) *Plant physiology.* 3rd edition. Sunderland: Sinauer Associates, 690 pp.

13- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R. (1983) Efficient water use in crop production: Research or re-search? p. 1-27. In H.M. Taylor, W.R. Jordan, and T.R. Sinclair (ed.) *Limitations to efficient water use in crop production.* ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

14- Torbert, H. A., Prior S. A., Rogers H. H., and Runion, G. B. (2004) Elevated atmospheric CO₂ effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. *Field Crops Research.* 88: 57-67.

15- Tubiello, F.N., Amthor, J.S., Boote, K.J., Donatelli, M., Easterling, W., Fischer, G., Gifford, R.M., Howden, M., Reilly, J. and Rosenzweig, C. (2007) Crop response to elevated CO₂ and world food supply: a comment on "Food for thought. . ." by Long et al., 2006. *Science* 312:1918-1921. *Eur. J. Agron.* 26, 215-223.

16- Van Uytrecht, E., Raes, D. and Williems, P. (2011) Considering sink strength to model crop production under elevated atmospheric CO₂. *Agricultural and Forest Meteorology.* 151: 1753-1762.

بر عکس در ارتباط با محصول ذرت دانه‌ای، هرچه دوره رشد مرطوب‌تر و نیاز تبخیری اتمسفر کم‌تر باشد، تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر افزایش عملکرد افزایش پیدا می‌کند.

منابع

1- Ababaei, B., Sohrabi, T.M., Mirzaei, F. (2014) Development and application of a planning support system to assess strategies related to land and water resources for adaptation to climate change. *Climate Risk Management.* 6 (2014): 39-50. DOI: 10.1016/j.crm.2014.11.001.

2- Alizadeh, H.A., Nazari, B., Parsinejad, M., Ramezani Etedali H. and Janbaz, H.R. (2010) Evaluation of AquaCrop Model on Wheat Deficit Irrigation in Karaj area. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage.* 2(4): 273-283 (in Farsi).

3- Allen, L.H. (1990) Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. *J. Environ. Quality,* 19: 15-34.

4- Donnelly, A., Jones, M.B., Burke J.I. and Schnieders, B. (2000) Elevated CO₂ provides protection from O₃ induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat. *Agric. Ecosys. Environ.* 80: 159-168.

5- IPCC. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers.* Paris: WMO/UNEP.

6- Kimball, B. A., Kobayashi, K., and Bindi, M. (2002) Responses of agricultural crops to free air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy.* 77: 293-368.

7- Lovelli, S., Perniola, M., Tommaso, T. Di., Ventrella, D., Moriondo, M. and Amato, M. (2010) Effects of rising atmospheric CO₂ on crop evapotranspiration in a Mediterranean area. *Agricultural Water Management.* 97 (2010) 1287-1292.