بررسی اثر غلظت دی‌اکسید کربن و میزان آبیاری بر تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه لوبیا قرمز

شیده شمس[۱*]، سیدمحمدجعفر ناظم‌السادات[۲]، علی اکبر کامگار حقیقی[۲] و شاهرخ زند پارسا[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۳)

چکیده

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) اتمسفری اثر مستقیمی بر فعالیت‌های گیاهی دارد. به منظور بررسی اثر افزایش غلظت CO_2، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز صورت پذیرفت. در این تحقیق، به بررسی آثار افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۵۰ به ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بر رشد و عملکرد گیاه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris*) (رقم ناز) تحت چهار تیمار آبیاری (۱/۲FC، FC، ۰/۸FC و ۰/۶FC) پرداخته شد. به منظور کنترل غلظت CO_2، با آغاز دوره ۴ برگی گیاهان، گلدان‌ها به محفظه‌هایی چوبی با پوشش پلاستیک منتقل گردیدند. نتایج حاصل به طور متوسط نشانگر ۱۵٪ کاهش تبخیر- تعرق در اثر افزایش غلظت CO_2 در کلیه تیمارها بود. هم‌چنین نتایج نشان دهنده اثر افزایشی غلظت CO_2 بر رشد و عملکرد گیاه لوبیا می‌باشد. کاهش میزان آب آبیاری به حد ۰/۶FC باعث گردید افزایش غلظت CO_2 اثر معنی‌داری (در سطح ۵٪) بر رشد و عملکرد لوبیا نداشته باشد. تعداد دانه‌های موجود در هر بوته تحت آبیاری‌های FC و ۰/۸FC در اثر افزایش غلظت CO_2 به ترتیب به اندازه ۱۳ و ۱۱ درصد افزایش پیدا کرد. علاوه بر آن، افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش ۲۰ درصدی عملکرد دانه گردید. وزن کل ماده خشک نیز به طور متوسط ۱۵٪ در اثر بالا رفتن غلظت CO_2 افزایش یافت. نتیجه‌گیری کلی تحقیق این بود که افزایش غلظت CO_2 اثر معنی‌داری بر افزایش محصول به‌دست آمده و کاهش تبخیر- تعرق گیاه لوبیا قرمز دارد.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسید کربن، کم‌آبیاری، لوبیا، تبخیر- تعرق

مقدمه

دی‌اکسید کربن یکی از چهار نیاز گیاهان (نور، مواد مغذی، آب و CO_2) برای رشد می‌باشد (۱۷). طی فرایند فتوسنتز، گیاه این گاز را از محیط اطراف جذب نموده و اکسیژن و کربوهیدرات تولید می‌کند. افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش بازده کاربرد آب، میزان فتوسنتز، تولیدات زیست‌توده و عملکرد می‌گردد (۱۰). افزایش غلظت CO_2 تا ۶۶۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش میوه‌های گیاهان C_3، دانه، برگ و دانه‌های گیاهان لگومینه به ترتیب به میزان ۳۱، ۳۱، ۲۵ و ۳۱ درصد می‌شود (۹). به طور کلی می‌توان گفت گیاهان لگومینه در برابر افزایش دی‌اکسید کربن واکنش بیشتری نسبت به سایر گیاهان نشان می‌دهند (۳). در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، سطح برگ گیاه سویا افزایش یافته ولی نسبت برگ به جرم کل تقریباً ثابت می‌ماند (۱۶). دو برابر شدن غلظت CO_2 باعث افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه گیاه سویا به ترتیب به میزان ۴۰ و ۳۰ درصد می‌گردد (۴). با افزایش CO_2، مقدار شاخص سطح

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. به ترتیب استاد، استاد و دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sh.shideh@gmail.com

برگ (LAI) و ماده خشک برگ گیاه سویا افزایش می‌یابد، اما اثری بر سطح برگ، ارتفاع گیاه، کل ماده آلی و بازده محصول ندارد (۱۱). بررسی انجام شده روی گیاه لوبیا قرمز نشان داده است که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن (از ۳۵۰ به ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، به ترتیب باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد دانه به میزان ۵۰ و ۲۴ درصد می‌گردد، ولی با این حال بر اندازه دانه اثرگذار نمی‌باشد (۱۳).

میزان تعرق سویا تحت غلظت ۶۶۰ نسبت به ۳۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید کربن، تا حدود ۱۰٪ کاهش می‌یابد (۸). افزایش غلظت CO_2 تحت آبیاری کامل باعث کاهش تبخیر- تعرق پوشش گیاهی می‌گردد، در حالی که هنگامی که گیاه تحت تنش آبی باشد با افزایش غلظت CO_2 میزان تبخیر- تعرق تغییر معنی‌داری نداشته و یا در بعضی موارد کمی افزایش خواهد یافت (۵).

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث کاهش خسارات ناشی از خشکسالی می‌گردد که آن را می‌توان به علت کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش اتلاف آب برگ از طریق روزنه‌ها و افزایش کارایی مصرف آب توسط گیاه دانست (۷). به طور کلی، افزایش غلظت CO_2 باعث کاهش اثر خشکی‌های تابستانه بر بازده محصول می‌گردد (۱۲). افزایش غلظت CO_2 تحت شرایط آبیاری کامل اثری بر بازده محصول سویا ندارد، درحالی که اگر گیاه تحت تنش آبی قرار گرفته باشد ۴۱٪ افزایش محصول را در پی خواهد داشت (۱۵). در شرایط تنش آبی، افزایش غلظت CO_2 از ۴۰۰ به ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به علت بهبود بخشیدن به محتوای آب نسبی برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای، عملکرد را افزایش می‌دهد. در حالی که در شرایط بدون تنش، افزایش میزان گاز CO_2 تنها منجر به افزایش رشد رویشی شده و رشد زایشی را کاهش می‌دهد (۲).

تحقیقات و بررسی‌هایی که در مورد اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر گیاهان مختلف انجام پذیرفته حاکی از افزایش محصول در اثر افزایش غلظت CO_2 می‌باشد. با این حال، درصد افزایش محصول و اثر افزایش گاز CO_2 بر گیاهان مختلف متفاوت می‌باشد. هم‌چنین بررسی‌های اقلیمی گویای این است که تا سال ۲۱۰۰ غلظت گاز دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر به حدود ۴۸۵ تا ۸۵۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش خواهد یافت. این مقدار افزایش غلظت وابسته به انتشار گاز دی‌اکسید کربن در اتمسفر می‌باشد (۶). با توجه به مسئله تغییر پارامترهای اقلیمی و افزایش گازهای گلخانه‌ای، به خصوص دی‌اکسید کربن در جو، و نیز افزایش روز افزون جمعیت جهانی و نیاز به تأمین غذای بشر، اهمیت تحقیقات در این زمینه مشهود می‌باشد. چرا که از سویی، در صورت ادامه روند افزایشی دی‌اکسید کربن، سیستم‌های زراعی نیز دستخوش تغییر می‌گردند. از سوی دیگر، در صورتی که دی‌اکسید کربن اثر مثبت و قابل توجهی بر تولید محصول داشته باشد، ممکن است بتوان در سطح تجاری از آن استفاده کرد.

بر اساس آمار سال ۸۸-۱۳۸۷ وزارت جهاد کشاورزی، در ایران، سطح زیر کشت حبوبات در حدود ۸۶۹ هزار هکتار بوده، که ۱۰/۸۱ درصد از این سطح به کشت لوبیا اختصاص دارد (بیش از ۹۳ هزار هکتار) و با ۳۵/۷۲ درصد تولید کل حبوبات، پس از نخود مقام دوم تولید را به خود اختصاص داده است (۱). از آنجایی که در پژوهش‌های پیشین کمتر به نقش افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر عملکرد و ویژگی‌های گیاه لوبیا پرداخته شده، تحقیق حاضر به بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری به همراه افزایش غلظت گاز CO_2 بر گیاه لوبیا قرمز پرداخته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (منطقه باجگاه) با هدف بررسی اثر افزایش غلظت گاز CO_2 و تیمارهای مختلف آبیاری بر گیاه لوبیا قرمز (رقم ناز) در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ صورت پذیرفت. این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. چهار سطح آبیاری (۱/۲FC ، W_1؛ FC، W_0؛ ۰/۸FC ، W_2؛ ۰/۶FC، W_3) فاکتور اول و دو سطح غلظت

جدول ۱. اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسید کربن و آب آبیاری بر تبخیر- تعرق (لیتر)

	تیمار آبیاری	W_0	W_1	W_2	W_3
غلظت دی‌اکسید کربن	C_0	۵/۹۷ b	۶/۷۳ a	۵/۴۶ c	۳/۸۸ e
	C_1	۵/۱۴ cd	۵/۹۵ b	۴/۶۷ d	۳/۸۴ e

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

گاز دی‌اکسید کربن (۳۵۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب C_0 و C_1) فاکتور دوم را تشکیل دادند. پس از آن که اکثریت لوبیاهای کاشته شده در گلدان‌ها به مرحله ۳ تا ۴ برگی رسیدند، به محفظه‌های از پیش آماده شده انتقال یافته و تیمارهای CO_2 و آبیاری تا پایان فصل رشد روی آنها اعمال گردید.

با توجه به وزن خاک موجود در هر گلدان و گنجایش زراعی (FC=۰/۳۱ cm^3/cm^3)، میزان آب مورد نیاز برای رساندن هر گلدان به حد رطوبت در تیمار مورد نظر محاسبه گردید. در هر نوبت آبیاری (۴ روز یک بار)، هر گلدان وزن گردیده و به میزان تفاوت وزن گلدان با وزن مورد نظر، آب به آن اضافه گردید. میزان کمبود آب هر گلدان نشان دهنده میزان تبخیر- تعرق آن طی دوره آبیاری بوده و مجموع مقدار آب اضافه شده به هر تیمار نشان دهنده کل تبخیر- تعرق می‌باشد.

به منظور نگه‌داری و کنترل غلظت گاز CO_2، چهار محفظه چوبی به ابعاد ۱×۱ و ارتفاع ۱/۳ متر با پوشش پلاستیک تهیه گردید. دو محفظه تحت شرایط غلظت نرمال دی‌اکسید کربن (۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و دو محفظه تحت شرایط غلظت زیاد CO_2 (۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار گرفت. هم‌چنین از هر تیمار آبیاری دو تکرار در هر محفظه قرار داده شد. با نصب رگلاتور فشار ضعیف روی کپسول گاز دی‌اکسید کربن، این گاز با فشار کم وارد محیط گردید. برای تزریق CO_2 به محفظه‌ها در پایین دیواره محفظه‌ها منطقه‌ای برای عبور شیلنگ گاز CO_2 تعبیه گردید. ورود گاز به محفظه‌ها در ساعات روز (۷:۳۰ الی ۱۸) به طور مداوم صورت پذیرفت. در ساعات ۸، ۱۲ و ۱۶ نیز غلظت گاز در محفظه‌ها توسط دستگاه سنجنده CO_2 (Testo 535) اندازه‌گیری گردید تا در صورت افزایش یا کاهش غلظت CO_2 از محدوده مورد نظر، با کاهش یا افزایش فشار گاز خروجی از کپسول، بتوان غلظت CO_2 را به حد مورد نظر رسانید. در نهایت، میزان تبخیر- تعرق، تعداد دانه در هر بوته، وزن کل خشک محصول به دست آمده (دانه‌ها) و وزن کل ماده خشک تولید شده تعیین گردید. مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس مقدار و اجزای عملکرد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و در سطح معنی‌داری ۵٪ صورت گرفت.

نتایج

میزان تبخیر- تعرق

جدول ۱ نشان دهنده متوسط میزان تبخیر- تعرق به دست آمده از تیمارهای مختلف و معنی‌داری اختلاف‌ها می‌باشد. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۵۰ به ۷۵۰ میلی گرم بر لیتر، تبخیر- تعرق صورت گرفته توسط گیاه مورد بررسی تحت تیمارهای آبیاری W_0، W_1، W_2 و W_3 به ترتیب ۱۶، ۱۳، ۱۷ و ۱ درصد کاهش یافت، که این کاهش در تیمارهای آبیاری W_0، W_1 و W_2 در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده و در تیمار W_3 در همین سطح آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

افزایش میزان آبیاری از W_0 به W_1 اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵٪ در هر دو تیمار CO_2 نشان می‌دهد که این افزایش در تیمارهای C_1 و C_0 به ترتیب ۱۶ و ۱۳ درصد می‌باشد. کاهش مقدار آب آبیاری از W_0 به W_2 تحت غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (به میزان ۹٪) تأثیر معنی‌داری بر تبخیر- تعرق بر جا گذاشته است. در حالی که در صورت رشد گیاه تحت غلظت ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، این کاهش (۱۰٪) معنی‌دار نمی‌باشد. اثر کاهش آب آبیاری به W_3 در هر دو تیمار CO_2 بر تبخیر- تعرق معنی‌دار می‌باشد. میزان تبخیر- تعرق تیمار W_0C_0 نسبت به تیمار W_1C_1 تقریباً یکسان بوده و تفاوت اندک محاسبه شده در این تیمارها از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۲. اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسید کربن و آب آبیاری بر تعداد بذر تولید شده در هر بوته

	تیمار آبیاری	FC (W_0)	۱/۲FC (W_1)	۰/۸FC (W_2)	۰/۶FC (W_3)
غلظت دی‌اکسید کربن	C_0	۶۸/۲۵bc	۷۶/۲۵a	۶۳/۷۵c	۲۸/۵d
	C_1	۷۷/۰a	۸۰/۵a	۷۰/۷۵b	۳۰/۲۵d

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

هم‌چنین میزان تبخیر- تعرق تیمار W_0C_1 نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمارهای W_2C_0 و W_2C_1 نشان نمی‌دهد.

در مجموع، می‌توان گفت که افزایش دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر می‌تواند مقاومت گیاه (لوبیا قرمز) را در برابر کم‌آبی افزایش دهد که با نتایج حاصل از سایر پژوهش‌های صورت گرفته (۱۴) نیز همخوانی دارد.

تعداد دانه‌های هر بوته لوبیا

جدول ۲ ارائه دهنده تعداد دانه در تیمارهای مختلف و معنی‌داری تفاوت موجود میان آنها می‌باشد. مقایسه تیمار W_1C_0 با تیمار شاهد نشان دهنده افزایش معنی‌دار ۱۲٪ تعداد دانه تولید شده در این تیمار می‌باشد. اما کاهش ۷٪ تعداد دانه‌های حاصل شده از تیمار W_2C_0 نسبت به تیمار W_0C_0 معنی‌دار نمی‌باشد. بیشترین تفاوت میان تیمارها با تیمار شاهد مربوط به W_3C_0 بوده به نحوی که تعداد دانه تولید شده در این تیمار ۲/۴ برابر کمتر از تیمار شاهد بود. تعداد دانه‌های به‌دست آمده در تیمار W_1C_1، ۵٪ بیشتر از تیمار W_0C_1 است، که معنی‌دار نیست. تعداد دانه تولید شده در تیمار W_2C_1 نسبت به W_0C_1، ۹٪ کاهش داشت که این تفاوت در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. هم‌چنین تعداد بذر تولید شده در تیمار W_3C_1، ۲/۶ برابر کمتر از تیمار W_0C_1 به‌دست آمده است که این تفاوت نیز معنی‌دار می‌باشد.

بذر تولیدی تیمارهای W_0C_1 و W_2C_1 نسبت به تیمارهای W_0C_0 و W_2C_0 دارای افزایش معنی‌دار (در سطح ۵٪) ۱۳ و ۱۱ درصدی می‌باشد. هم‌چنین افزایش ۶ درصدی تیمارهای W_1C_1 و W_3C_1 نسبت به دو تیمار W_1C_0 و W_3C_0 در همین سطح آماری معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین به خوبی ملاحظه می‌شود که در صورتی که میزان آب در دسترس گیاه بسیار کمتر از میزان مورد نیاز گیاه باشد و یا این‌که آب موجود از میزان بهینه بیشتر باشد، افزایش در غلظت CO_2، در سطح آماری مورد بررسی، باعث ایجاد تفاوتی معنی‌دار در تعداد دانه‌های تولید شده نخواهد گردید. حال آن که در صورتی که آب به میزان بهینه و یا کمی کمتر از آن در اختیار گیاه قرار گیرد، افزایش CO_2 می‌تواند دانه تولید شده هر بوته را به صورت معنی‌دار افزایش دهد.

تعداد دانه به‌دست آمده از تیمار آبیاری FC تحت غلظت CO_2 محیط تفاوت معنی‌داری با تیمار W_2C_1 ندارد. به عبارت دیگر، اگرچه کمبود آب آبیاری باعث کاهش محصول به‌دست آمده می‌گردد، اما افزایش مقدار CO_2 تعداد بذر تولیدی را افزایش داده (۹٪) به نحوی که این کاهش را جبران می‌نماید. با این وجود، در صورت کاهش بیش از اندازه میزان آب آبیاری (تیمار ۰/۶FC)، افزایش غلظت CO_2 نمی‌تواند تأثیر منفی کمبود آب بر کاهش تولید بذر را کاملاً خنثی کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت CO_2 در اتمسفر می‌توان تا حدی محدودیت منابع آب را جبران نمود. با این حال نمی‌توان از کاهش محصول به علت کاهش زیاد آب در دسترس گیاه جلوگیری نمود. تفاوت تعداد دانه تولید شده در تیمارهای آبیاری مذکور تحت تیمار C_0 معنی‌دار می‌باشد. در حالی که وقتی گیاه تحت تیمار C_1 قرار داشته باشد این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد. هم‌چنین تفاوت میان تعداد دانه تولید شده در تیمارهای آبیاری ۰/۶FC یا سایر تیمارهای آبیاری نیز به خوبی مشهود می‌باشد.

وزن کل بذر در هر بوته

وزن محصول به‌دست آمده در تیمارهای مختلف در جدول ۳

جدول ۳. اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسید کربن و آب آبیاری بر وزن کل بذر به‌دست آمده (گرم)

	تیمار آبیاری	W_0	W_1	W_2	W_3
غلظت دی‌اکسید کربن	C_0	۱۶/۰۷ d	۱۸/۲ bc	۱۳/۷۱ e	۵/۵۲ f
	C_1	۱۹/۴۷ b	۲۰/۸۲ a	۱۷/۰۱ cd	۶/۰۲ f

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

ارائه شده است. در این تیمارها، روند کاهشی تولید محصول در اثر کاهش میزان آبیاری مشاهده می‌شود. درصد تغییرات محصول نسبت به تیمار W_0C_0 به ترتیب ۱۳٪ افزایش برای تیمار W_1C_0 و ۱۷٪ کاهش برای تیمار W_2C_0 به‌دست آمده است. هم‌چنین محصول به‌دست آمده از تیمار مبنا ۲/۹ برابر بیشتر از محصول در تیمار W_3C_0 می‌باشد. متوسط وزن به‌دست آمده در ۴ تیمار آبیاری اعمال شده و تحت غلظت ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر گاز CO_2 به خوبی بیان کننده روند افزایشی میزان محصول به‌دست آمده در اثر افزایش مقدار آب آبیاری می‌باشد. بیشترین تفاوت میان تیمارهای C_1 از تعداد وزن کل دانه نسبت به تیمار شاهد، مربوط به تیمار W_3C_1 بود. در این تیمار، وزن کل دانه به‌دست آمده ۲/۶۷ برابر کمتر از تیمار W_0C_1 می‌باشد. وزن دانه به‌دست آمده از تیمار W_1C_1 نسبت به تیمار W_0C_1، ۷٪ افزایش داشته است که این افزایش در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. علاوه بر آن، کاهش وزن به‌دست آمده از تیمار W_2C_1 نسبت به تیمار W_0C_1 نیز ۱۵٪ محاسبه گردید، که این کاهش نیز معنی‌دار می‌باشد. در اثر کاهش میزان آب آبیاری تا حد ۰/۶FC، وزن محصول به عمل آمده ۳/۲۴ برابر کمتر از حالت آبیاری در حد FC به‌دست آمد.

افزایش وزن محصول به‌دست آمده در تیمار C_1 نسبت به تیمار C_0 در تیمارهای آبیاری W_0، W_1، W_2 و W_3 به ترتیب ۲۱، ۱۴، ۲۴ و ۹ درصد می‌باشد. در صورت افزایش غلظت گاز CO_2، اگر مقدار آب آبیاری نیز کاهش یابد، وزن کل دانه افزایش بیشتری نسبت به حالت شاهد پیدا می‌کند. با افزایش مقدار آب آبیاری از FC به ۱/۲FC، وزن کل دانه در تیمارهای C_0 و C_1 به ترتیب ۱۳ و ۷ درصد افزایش یافته است که این افزایش در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در شرایط غلظت نرمال CO_2، افزایش آب آبیاری اثر بیشتری بر افزایش وزن محصول داشته است. هم‌چنین با کاهش میزان آب آبیاری از FC به ۰/۸FC، وزن محصول به‌دست آمده در تیمارهای C_0 و C_1 به ترتیب ۱۷ و ۱۵ درصد کاهش می‌یابد که در سطح آماری مورد مقایسه معنی‌دار می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که به استثنای تیمار W_3 افزایش غلظت CO_2، وزن محصول افزایش معنی‌داری دارد. در هر دو غلظت ۳۵۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید کربن، تفاوت وزن کل دانه تولید شده در تمام تیمارهای آبیاری، به استثنای W_2C_1، با تیمار شاهد معنی‌دار می‌باشد. این بدان معناست که با کاهش آب آبیاری از FC به ۰/۸FC در صورت افزایش غلظت CO_2 از ۳۵۰ به ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، اثر افزایشی دی‌اکسید کربن بر رشد و بازده محصول گیاهی اثر کاهشی کمبود آب را جبران کرده و این باعث می‌شود میزان محصول تولید شده در هر دو تیمار از نظر آماری یکسان باشد. هم‌چنین تحت غلظت ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید کربن، محصول به‌دست آمده تحت شرایط آبیاری FC معادل محصول به‌دست آمده تحت غلظت نرمال دی‌اکسید کربن و آبیاری ۱/۲FC می‌باشد. این امر نیز مؤید این نکته است که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند اثر منفی کمبود آب بر رشد گیاه را جبران نماید. با این حال، توجه به این نکته ضروری است که در صورت کاهش بیش از اندازه آب قابل دسترس گیاه، افزایش دی‌اکسید کربن اثری بر رشد گیاهی نداشته و محصول تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش چشم‌گیری خواهد یافت.

وزن کل ماده خشک تولید شده

جدول ۴ نشان دهنده وزن کل ماده خشک به‌دست آمده از

جدول ۴. اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسید کربن و آب آبیاری بر وزن کل ماده خشک تولید شده (گرم)

	تیمار آبیاری	W_0	W_1	W_2	W_3
غلظت دی‌اکسید کربن	C_0	۵۳/۸۷ c	۵۶/۳۷ b	۴۶/۷۸ d	۳۷/۲۴ e
	C_1	۶۲/۱۹ a	۶۳/۵۳ a	۵۴/۸۶ bc	۳۸/۱۲ e

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

تیمارهای مختلف مورد مطالعه می‌باشد. افزایش وزن خشک تولید شده از تیمار W_1C_0 نسبت به تیمار مبنا W_0C_0 به میزان ۵٪ محاسبه شد. هم‌چنین میزان کاهش وزن خشک تولیدی در تیمارهای W_1C_0 و W_2C_0 نسبت به تیمار W_0C_0 به ترتیب ۱۵ و ۴۵ درصد می‌باشد. میزان افزایش و یا کاهش وزن خشک ماده تولید شده در تیمارهای آبیاری W_1C_1، W_2C_1 و W_3C_1 نسبت به W_0C_1، به ترتیب ۲٪ افزایش و ۱۳ و ۶۳ درصد کاهش بوده است.

تفاوت میان وزن خشک تولید شده تیمارهای FC و ۱/۲FC که تحت غلظت دی‌اکسید کربن ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر رشد نموده‌اند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. در حالی که تفاوت ۵ درصدی میان این دو تیمار آبیاری تحت غلظت دی‌اکسید کربن ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در سطح ۵٪ معنی‌دار به‌دست آمده است. با این حال، تفاوت میان تیمارهای ۰/۸FC با تیمارهای FC و ۱/۲FCتحت غلظت‌های CO_2 معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین کاهش وزن خشک ماده تولیدی در تیمار ۰/۶FC با سایر تیمارها نیز معنی‌دار به‌دست آمد.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده مشخص می‌گردد که افزایش وزن خشک ماده تولیدی در اثر افزایش غلظت CO_2 در تیمارهای W_0، W_1، W_2 و W_3 به ترتیب ۱۵، ۱۳، ۱۷ و ۲ درصد محاسبه شده است. این افزایش در تمامی تیمارها، بجز تیمار W_3، در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. ماده خشک تولید شده در تیمار W_2C_1 از تیمار W_0C_0، ۲٪ بیشتر و از تیمار W_1C_0، ۳٪ کمتر بوده که این تفاوت‌ها معنی‌دار نمی‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت CO_2 اثر کاهندگی کاهش آب را خنثی می‌نماید، به نحوی که ماده خشک تولید شده در غلظت بالای CO_2 و آبیاری ۰/۸FC برابر با ماده خشک تولیدی تحت غلظت نرمال CO_2 و آبیاری FC می‌باشد. با این وجود، در صورتی که آب قابل دسترس گیاه به میزان زیادی کاهش یابد افزایش CO_2 اثری بر وزن خشک ماده تولید شده بر جا نخواهد گذاشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش گلخانه‌ای، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر باعث افزایش محصول لوبیا قرمز گردید، که با نتایج پارساد و همکاران (۱۳) همخوانی دارد. افزایش دی‌اکسید کربن باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر- تعرق گیاهی می‌گردد (۱۴). بنابراین، گیاه در شرایط کم‌آبی و تحت غلظت‌های زیاد دی‌اکسید کربن مقاومت بیشتری نشان می‌دهد و نیاز به آبیاری کمتر احساس می‌شود. با این حال، هنگامی که گیاه تحت تنش آبی قرار می‌گیرد (تیمار آبیاری ۰/۶FC) بسته شدن تعداد زیادی از روزنه‌ها به علت کمبود آب باعث می‌گردد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن نتواند اثر معنی‌داری بر میزان تبخیر- تعرق و نیز عملکرد گیاه بگذارد. تحت تیمار آبیاری ۰/۶FC، بسته بودن نسبی روزنه‌ها عاملی است تا دی‌اکسید کربن کمتری به روزنه‌های درون سلولی نفوذ کرده و در نتیجه افزایش عملکرد محصول در برابر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن مشاهده نشود.

هنگامی که میزان آب آبیاری به ۰/۸FC تقلیل می‌یابد افزایش دی‌اکسید کربن باعث می‌شود که درصد بیشتری از روزنه‌های گیاهی بسته شود و لذا میزان تبخیر- تعرق گیاه نیز کاهش می‌یابد. در این حالت، غلظت دی‌اکسید کربن زیر

روزنه‌ای نیز افزایش یافته که این امر باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. از آنجایی که گیاه لوبیا به کمبود آب حساس می‌باشد و تنش آبی به میزان زیادی باعث کاهش محصول می‌گردد، لذا می‌توان گفت که اثر افزایشی دی‌اکسید کربن برای بوته‌هایی که تحت آبیاری ۰/۸FC بودند بیشتر از بوته‌های با آبیاری FC می‌باشد، چرا که بسته شدن روزنه‌ها باعث مصرف بهینه آب قابل دسترس گیاه می‌شود. نتایج ارائه شده در جداول نیز به خوبی مؤید این ادعا می‌باشد، که درصد افزایش در گیاهان تحت آبیاری ۸FC٪ بیشتر از گیاهانی با آبیاری FC می‌باشد. هم‌چنین افزایش عملکرد در آبیاری FC نیز بیشتر از آبیاری ۱/۲FC می‌باشد، در حالی که به طور کلی تفاوت معنی‌داری میان عملکرد در این دو تیمار آبیاری مشاهده نشد.

نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت CO_2 اثر معنی‌داری بر تعداد دانه‌های تولید شده در هر بوته لوبیا نداشته و افزایش عملکرد گیاه تنها به واسطه افزایش وزن دانه می‌باشد. هم‌چنین مشاهده شد که کاهش میزان آب آبیاری اثر معنی‌داری بر تعداد دانه‌های حاصل از هر بوته ندارد. با این حال باعث کاهش وزن خشک دانه گردیده که این امر منجر به کاهش محصول شده است. افزایش میزان آبیاری از FC به ۱/۲ FC گرچه مقدار تبخیر- تعرق را افزایش می‌دهد، اما منجر به افزایش معنی‌دار محصول به‌دست آمده نمی‌گردد.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش عملکرد محصول شده و نیاز آبی گیاه را کاهش می‌دهد. هم‌چنین با توجه به این نکته که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش دمای بهینه گیاهی می‌شود لذا می‌توان انتظار داشت در آینده پدیده گازهای گلخانه‌ای بتواند تا حدودی باعث افزایش عملکرد گیاهی در برخی مناطق دنیا گردد، چرا که از یک طرف افزایش گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش دما شده که این امر باعث می‌گردد فصل رشد طولانی‌تر شده و هم‌چنین دمای بهینه رشد گیاهی را نیز افزایش داده که باعث مقاومت بیشتر گیاهان نسبت به افزایش دما می‌گردد. با این حال، ناگفته نماند که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه افزایش دما در برخی مناطق می‌تواند باعث وارد شدن خسارات زیادی به محصولات کشاورزی و زیستی گردد.

منابع مورد استفاده

۱. آمار نامه کشاورزی. ۱۳۸۸. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، جلد اول: محصولات زراعی.

۲. بلوچی، ح. ر.، س. ع. م. مدرس ثانوی، ی. امام و م. برزگر. ۱۳۸۷. تأثیر تنش کم آبی، ازدیاد دی‌اکسید کربن و تشعشع ماورای بنفش بر صفات کیفی برگ پرچم گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum Desf.). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۵(الف): ۱۶۷-۱۸۱.

3. Ainsworth, E.A. and S.P. Long. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO_2 enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO_2. New Phytol. 165: 351-371.
4. Allen, Jr., L.H. 1991. Effects of increasing carbon dioxide levels and climate change on plant growth, evapotranspiration, and water resources. PP. 101-147. *In:* Managing Water Resources in the West under Conditions of Climate Uncertainty: Proc. of a Colloquium, Scottsdale, AZ, National Academies Press, Washington, DC.
5. Burkart, S., R. Manderscheid and H.J. Weigel. 2004. Interactive effect of elevated atmospheric CO_2 concentrations and plant available soil water content on canopy evepotranspiration and conductance of spring wheat. Eur. J. Agron. 21: 401-417.
6. Carter, T.R. 1996. Developing scenarios of atmosphere, weather and climate for northern regions. Agric. Food Sci. in Finland 5: 235-249.
7. Donnelly, A., M.B. Jones, J.I. Burke and B. Schnieders. 2000. Elevated CO_2 provides protection from O_3 induced photosynthetic damage and chlorophyll loss in flag leaves of spring wheat. Agric. Ecosys. Environ. 80: 159-168.

8. Jones, P., J.W. Jones and L.H. Allen. 1985. Seasonal carbon and water balances of soybeans grown under stress treatments in sunlit chambers. Trans. ASAE 28: 2021-2028.
9. Kimball, B.A. 1986. Influence of elevated CO_2 on crop yield. PP. 105-115. *In*: Enoch, H.Z. and B.A. Kimball (Eds.), Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops. 2. Physiology, Yield and Economics, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
10. Kimball, B.A., K. Kobayashi and M. Bindi. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO_2 enrichment. Adv. in Agron. 70: 293-368.
11. Lee, E.H., R.C. Pausch, R.A. Rowland, C.L. Mulchi and B.F.T. Rudorff. 1997. Responses of field-grown soybean (cv. Essex) to elevated SO_2 under two atmospheric CO_2 concentrations. Environ. Exp. Bot. 37: 85-93.
12. Manderscheid, R. and H.J. Weigel. 2007. Drought stress effects on wheat are mitigated by atmospheric CO_2 enrichment. Agron. Sustain. Dev. 27: 79-87.
13. Parsad, P.V.V., K.J. Boot, L.H. Allen and J.M.G. Thomas. 2002. Effect of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Global Change Biol. 8: 710-721.
14. Rogers, A., E.A. Ainsworth and A.D.B. Leakey. 2009. Will elevated carbon dioxide concentration amplify the benefits of nitrogen fixation in legumes? Plant Physiol. 151: 1009-1016.
15. Rogers, H.H., J.D. Cure and J.M. Smith. 1986. Soybean growth and yield response to elevated carbon dioxide. Agric. Ecosyst. Environ. 16: 113-128.
16. Sionit, N., B.R. Strain and E.P. Flint. 1987. Interaction of temperature and CO_2 enrichment on soybean: Growth and dry matter partitioning. Can. J. Plant Sci. 67: 59-67.
17. Ziska, L.H. and J.A. Bunce. 2006. Plant responses to raising atmospheric carbone dioxide. PP. 17-47. *In:* Morison, J.I.L. and M.D. Morecroft (Eds.), Plant Growth and Climate Change, Blackwell Publishing, Ltd., Oxford.