



اثر افزایش دی اکسید کربن و رژیم کم آبیاری بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه عدس رقم کیمیا

شیده شمس^۱، سیدمحمد موسوی بایگی^{۲*}، امین علیزاده^۳، محمود شور^۴ و علی اکبر کامگارحقیقی^۵

۱- دانش آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی از دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد mousavib@um.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- دانشیار گروه علوم باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه شیراز.

پذیرش: ۹۶/۱/۳۰

بازنگری: ۹۶/۱/۲۵

دریافت: ۹۵/۶/۲

چکیده

افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری اثر مستقیمی بر فعالیت‌های گیاهی دارد. از سوی دیگر این افزایش می‌تواند اثرات منفی کم آبیاری را تا اندازه‌ای جبران نماید. در این تحقیق به بررسی آثار افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm بر رشد و عملکرد گیاه عدس رقم کیمیا تحت چهار تیمار آبیاری (WR (کل نیاز آبی گیاه)، WR ۱۲۵ درصد، WR ۷۵ درصد و WR ۵۰ درصد) تحت یک آزمایش بلوک کامل تصادفی پرداخته شد. نتایج حاصله نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن، افزایش طول ساقه و در نتیجه افزایش جرم خشک ساقه را به همراه دارد. افزایش جرم خشک ریشه نیز از دیگر اثرات افزایش غلظت دی اکسید کربن محیطی می‌باشد. افزایش غلظت دی اکسید کربن تعداد غلاف‌ها و دانه‌ها در بوته را موجب می‌شود. همچنین جرم خشک ۱۰۰۰ دانه نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه عملکرد دانه در هر بوته گیاه عدس افزایش می‌یابد، به نحوی که دو و سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش ۱۷ و ۳۲ درصدی عملکرد دانه می‌شود. از سوی دیگر افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب کاهش میزان تبخیر-تعرق می‌شود، لذا از نیاز آبی گیاه کاسته شده و در نتیجه از اثرات منفی کم آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه می‌کاهد.

کلید واژه‌ها: دی اکسید کربن، ساقه، شاخساره، ریشه، عملکرد دانه، تبخیر-تعرق.

مقدمه

گلخانه‌ای دی اکسید کربن، CO₂ می‌باشد که از اواسط قرن ۱۹ شروع به افزایشی سریع کرده است. بررسی‌ها نشان داده است که غلظت گاز دی اکسید کربن از اواخر ۱۷۰۰ میلادی تاکنون از ۲۸۰-۲۷۰ ppm حدود ۴۳ درصد افزایش یافته و در حال حاضر غلظت این گاز نزدیک به ۴۰۰ ppm رسیده است (Samenow, 2013). به اعتقاد دانشمندان دی اکسید کربن عامل ۶۱ درصد از افزایش دمای مشاهده شده در اثر پدیده گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (Gesch et al., 2001). دوبرابر شدن غلظت گاز دی اکسید کربن و نیز افزایش سایر گازهای گلخانه‌ای (متان، اکسیدهای نیتروس، کلروفلوروکربن‌ها) می‌تواند دمای متوسط زمین را بین ۴/۵ تا ۶ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد (Mereu et al., 2010).

افزون بر اثرات زیان‌بار افزایش غلظت گاز دی اکسید کربن در خصوص گرمایش جهانی، این گاز دارای آثار مثبتی نیز در کشاورزی می‌باشد که اهمیت آن را چندین برابر افزایش می‌دهد. نتایج به دست آمده از پژوهش‌ها حاکی از آن است که در پی افزایش غلظت دی اکسید کربن میزان فتوسنتز و وزن ماده خشک بیشتر شده و در نتیجه میزان تولید افزایش می‌یابد

مدیریت صحیح کشاورزی و اهمیت به‌سزای آن در ایجاد تولیدات کافی زراعی و دامی و در نتیجه تأمین غذای بشر در سراسر جهان همواره از جمله مسایل اساسی در بخش کشاورزی بوده است. از جمله عوامل بسیار اثرگذار بر بخش کشاورزی و مدیریت آن، شرایط آب و هوایی هر منطقه می‌باشد که به‌منظور یک مدیریت صحیح و اصولی بایستی به دقت مورد توجه و بررسی قرار گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد اقلیم کره‌ی زمین در حال حاضر دستخوش تغییرات چشم‌گیری شده است، به‌نحوی که سرعت این تغییرات، توجه بسیاری از دانشمندان علوم مختلف را به خود معطوف داشته است. نتایج به‌دست آمده از تحقیقات صورت گرفته نشان داده است افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی یکی از عوامل اصلی تغییر اقلیم در قرن حاضر می‌باشد (IPCC, 2007). این امر موجب افزایش دما در اکثر مناطق کره‌ی زمین شده (Torbert et al, 2014) و حتی در برخی موارد در رژیم بارشی نیز تغییراتی را ایجاد نموده است (Madhu and Hatfield, 2013). یکی از مهم‌ترین گازهای

۴۰۰ به ۷۰۰ میکرومول بر لیتر موجب افزایش سطح برگ (۲۰-۳۰ درصد)، وزن خشک ماده‌ی تولید شده (۳۵ درصد) عملکرد دانه (۶۰ درصد) عدس می‌شود (Nasser et al., 2007). در بررسی دیگری نشان داده شد که افزایش CO₂ از ۳۵۰ به ۷۵۰ ppm موجب افزایش ۲۰ درصدی عملکرد دانه‌ی گیاه لوبیا قرمز می‌شود، در حالی که میزان تیخیر-تغرق را ۱۵ درصد کاهش می‌دهد. همچنین تحت شرایط آبیاری به میزان ۶۰FC درصد افزایش دی‌اکسید کربن اثری بر عملکرد و تیخیر-تغرق لوبیا قرمز ندارد (Shams et al., 2012). در اثر افزایش دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۴۰ ppm ارتفاع گیاه سویا ۲۵/۴ درصد افزایش یافت. همچنین شاخص سطح برگ، وزن خشک ساقه، و تعداد دانه‌ها نیز به ترتیب ۱۵/۸، ۳۳/۴ و ۲۵/۳ درصد افزایش خواهد یافت. با این حال تحت شرایط کمبود آب افزایش دی‌اکسید کربن اثری بر عملکرد دانه و شاخص سطح برگ نداشته است (Li et al., 2013).

با توجه به گوناگونی برهمکنش گیاهان و میزان غلظت دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر، شناخت اثرات افزایش غلظت CO₂ بر گیاه از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد؛ زیرا از یک طرف می‌توان با کاشت گیاهان مختلف میزان قابل توجهی از دی‌اکسید کربن اتمسفری را جذب نمود و تا حدودی از اثرات زیان‌بار آن جلوگیری نمود و از طرف دیگر اثرات مثبت این گاز بر رشد گیاه می‌تواند عامل مهمی در افزایش محصولات کشاورزی و تولید بالا به‌شمار آید. با توجه به رشد روز افزون جمعیت، این نکته از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. لذا انجام بررسی‌های گوناگون در خصوص اثرات متفاوت افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

عدس (*Lens culinaris*) از قدیمی‌ترین منابع غذایی بشر بوده و قدمت آن به تاریخ کشاورزی می‌رسد. پس از سویا، عدس بیشترین میزان پروتئین موجود در دانه را دارد، از سوی دیگر میزان چربی موجود در دانه‌ی عدس کمترین میزان در بین سایر حبوبات را دارد، لذا مصرف سرانه‌ی عدس در حال افزایش می‌باشد (Ghosh et al., 2007). میزان پروتئین موجود در عدس بالا بوده و بین ۲۰ تا ۳۲ درصد متغیر می‌باشد. معمولاً در وارته‌های بذریز، مقدار پروتئین بیشتری وجود دارد.

تغییر اقلیم در عصر حاضر به‌عنوان مهم‌ترین تهدید برای توسعه‌ی پایدار، کشاورزی و امنیت غذایی مطرح است. این پدیده در مناطق خشک مانند ایران که با کمبود آب رو به رو هستند، اهمیت بیشتری می‌یابد. لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و کمبود آب در دسترس گیاه بر رشد و خصوصیات مورفولوژیکی گیاه عدس به‌عنوان پنجمین حبوبات مهم دنیا، می‌باشد.

(Semenov et al., 2012). با این حال در بعضی مناطق افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تأثیر معکوسی بر رشد گیاه می‌گذارد (Srinivasarao et al., 2016). به‌طور کلی، افزایش CO₂ و ارتباط آن با تغییر اقلیم به میزان زیادی تولیدات کشاورزی در سطح جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

افزایش گازهای گلخانه‌ای دو اثر عمده بر فعالیت‌های کشاورزی دارد. در برخی از گیاهان زراعی افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفر، میزان رشد را افزایش داده که آن را اثر حاصلخیزی (Fertilizing Effect) می‌نامند. دی‌اکسید کربن تأثیر مستقیمی بر میزان فتوسنتز گیاهی دارد، بنابراین انتظار می‌رود با افزایش غلظت این گاز میزان فتوسنتز افزایش یابد که خود احتمالاً باعث افزایش سرعت رشد گیاه و افزایش بازده بسیاری از غلات و در بعضی مواقع کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency, WUE) به خصوص در گیاهان C₃ می‌شود (Benlloch-Gonzalez et al., 2014).

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری باعث افزایش رشد محصولات و وزن خشک گیاه می‌گردد. از طرف دیگر افزایش رشد محصولات با پروتئین کمتری در بافت‌های گیاهی همراه می‌شود در نتیجه کیفیت گیاهان خوراکی کاهش می‌یابد. میزان کربن در برگ‌ها افزایش و میزان نیتروژن آن‌ها کاهش می‌یابد. با این وجود گیاهانی که قابلیت تثبیت نیتروژن را دارند، از این اثر منفی در امان می‌باشند (Aranjuelo et al., 2013). علاوه بر این، در صورتی که سرعت رویش گیاهان افزایش یابد، ممکن است به کود بیشتری نیاز پیدا کنند. یافته‌های محققان نشان داده است با توجه به آن که میزان نیتروژن می‌تواند عامل محدود کننده‌ی رشد گیاهان در شرایط بالا بودن غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری باشد، گیاهان لگومینوز بیشترین عکس العمل را در برابر افزایش CO₂ نشان می‌دهند (Mitchell et al., 2006; Nasser et al., 2007). Rogers et al., (1994) با بررسی حجم وسیعی از اطلاعات نشان دادند که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش عملکرد گیاهان به‌میزان ۳۳ درصد می‌شود. علاوه بر آن شرایط محیطی مانند نور، دما، آب و مواد مغذی در دسترس، رطوبت و ... و برهمکنش میان آن‌ها تأثیرپذیری گیاهان از تغییرات غلظت دی‌اکسید کربن را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد.

بررسی‌ها نشان داده است افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش ۳۰ درصدی ماده‌ی آلی تولیدشده توسط سویا می‌شود (Torbert et al., 2004). همچنین نشان داده شده است گره‌های ریشه‌ی گیاهان لگومینوز منابعی قوی برای جذب کربن می‌باشند (Diaz, 1996). بررسی ۲۷ گونه‌ی گیاه C₃ نشان داد که افزایش دی‌اکسید کربن موجب کاهش سطح پروتئین (۱۸ درصد)، کل نیتروژن (۲۱ درصد) و ترکیبات نترات (۲۲ درصد) ماده‌ی خشک تولید شده در گیاهان می‌شود (Mitchel et al., 2006). از سوی دیگر نشان داده شده است که افزایش CO₂ از

مواد و روش‌ها

آزمایش در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با هدف بررسی اثر افزایش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن و تیمارهای مختلف آبیاری بر گیاه عدس (رقم کیمیا) در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ صورت پذیرفت. این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. چهار سطح آبیاری بر اساس نیاز کامل آبیاری گیاه تعیین شدند. سطح اول آبیاری به اندازه‌ی کل نیاز آبی گیاه (I_0 یا WR) و سایر سطوح نیز بر اساس درصدی از آن تعیین شدند که شامل سطوح آبیاری چهار سطح آبیاری (WR) (I_0)؛ WR ۱۲۵ درصد (I_1)؛ WR ۷۵ درصد (I_2) و WR ۵۰ درصد (I_3) (فاکتور اول) و سه سطح غلظت گاز دی‌اکسیدکربن (C_0)، C_1) ۸۰۰ و C_2) ۱۲۰۰ ppm ((فاکتور دوم) بود.

پیش از شروع به آزمایش بذر مورد نظر برای کاشت از موسسه‌ی تحقیقات دیم شمال خراسان (شیروان) تهیه گردید. به‌منظور کاشت گیاه عدس، در این بررسی از گلدان‌هایی به ارتفاع ۱۷ و قطر ۱۸ سانتی‌متر استفاده گردید. لایه‌ی پایین گلدان‌ها با حدود ۲۰۰ گرم فیلتر (سنگریزه‌هایی به قطر تقریبی ۰/۵ سانتی‌متر) پر شده و سپس به هر یک از گلدان‌ها ۲ کیلوگرم خاک با بافت لومی اضافه شد.

در اوایل اردیبهشت ماه هر یک از دو سال آزمایش (۹۳/۲/۸ و ۹۴/۲/۱۰) بذرهای مورد نظر با استفاده از سم بنومیل با نسبت ۲ در هزار ضد عفونی و به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شد، سپس بذرها در محیط مرطوب قرار گرفت و تا ۴۸ ساعت که جوانه‌های بذر آشکار شد نگهداری شد. پس از آشکار شدن جوانه‌ها، بذرها به گلدان‌ها انتقال یافت. در هر گلدان هشت بذر جوانه‌زده در عمق تقریبی ۱/۵ سانتی‌متر از سطح خاک (در تاریخ ۹۳/۲/۱۱ و ۹۴/۲/۱۳) کشت شد. از این مرحله به بعد تیمارها اعمال شده و تا پایان فصل رشد و خشک شدن بوته‌ها ادامه یافت. پس از گذشت ده روز از تاریخ انتقال بذرها به گلدان‌ها بوته‌های موجود در گلدان‌ها به ۴ بوته در هر گلدان کاهش پیدا کرد.

در این بررسی به‌منظور تعیین میزان آب مورد نیاز برای آبیاری از روش وزنی استفاده شد. بدین ترتیب که تیمار شاهد و یا آبیاری کامل، در هر دور آبیاری به میزانی آبیاری شد که رطوبت آب در گلدان به حد ظرفیت زراعی برسد. بدین صورت که در ابتدای آزمایش به روش گلدانی رطوبت FC خاک مورد آزمایش محاسبه شده ($FC=37\%$)، سپس جرم کل گلدان در حالت آبیاری کامل (و یا ظرفیت زراعی) محاسبه گردید. از سوی دیگر میزان آب موجود در خاک در حالت آبیاری کامل نیز اندازه‌گیری شده و با توجه به آن جرم کل آب در حالت‌های آبیاری به میزان ۱۲۵، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل نیز محاسبه گردید و با توجه به آن جرم کل گلدان تحت شرایط آبیاری مورد نظر محاسبه گردید. بدین ترتیب در هر نوبت آبیاری (سه روز یک بار)، گلدان‌ها وزن شده و به میزان و به میزان تفاوت وزن گلدان با وزن مورد نظر

(وزن محاسبه شده برای گلدان در حالت برآورد کل نیاز آبی گیاه)، آب به گلدان اضافه شد. لازم به ذکر است در این آزمایش گلدان‌های تخریبی در نظر گرفته شد، تا با استفاده از آن گلدان‌ها بتوان وزن بوته‌های عدس را محاسبه نموده و در احتساب آب داده شده به هر یک از تیمارها لحاظ گردد.

محیط گلخانه به‌نحوی مدیریت شد که دمای محیط رشد گیاه در حد بهینه ($26^{\circ}C-22^{\circ}C$ در روز و $18^{\circ}C-16^{\circ}C$ در شب) قرار گرفته تا گیاه دچار تنش حرارتی نگردد. همچنین به‌منظور جلوگیری از تابش‌های سوزان در روزهای گرم اواخر فصل رشد گیاه از سایبان‌های مخصوص استفاده گردید، تا تابش رسیده مستقیماً به گیاه نتابد و باعث آسیب رساندن به آن نشود.

برای تنظیم دی‌اکسیدکربن با غلظت‌های مورد نظر از یک سیستم کاملاً خودکار استفاده شد. در این سیستم اتاقک‌هایی با ابعاد $3 \times 1.5 \times 1$ متر و ارتفاع ۲ متر با پوشش پلاستیکی طراحی شدند. به‌منظور تزریق دی‌اکسیدکربن به این محفظه‌ها از کپسول‌های ۵۰ کیلویی دی‌اکسیدکربن استفاده شد. همچنین به‌منظور کنترل غلظت گاز ورودی به هر محفظه شیرهای برقی و تایمرهای مورد نظر در مسیر قرار داده شد. این سیستم با استفاده از یک سلول نوری در شب خاموش و با افزایش شدت نور در روز روشن می‌شود. در نهایت با استفاده از حجم محفظه‌های طراحی شده میزان غلظت دی‌اکسیدکربن وارد شده به هر محفظه با دقت اندازه‌گیری و کنترل شد.

ارتفاع بوته، جرم خشک ساقه و ریشه، تعداد غلاف‌ها و دانه‌ها در هر بوته و جرم خشک ۱۰۰۰ دانه پس از پایان دوره‌ی رشد اندازه‌گیری شد. در ابتدا اثر سال روی صفات مورد مطالعه بررسی شده و پس از اطمینان از عدم معنی‌داری میان داده‌های به‌دست آمده از هر دو سال کشت، آنالیز آماری و تجزیه و تحلیل میانگین‌ها و واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته گیاه

نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد میزان آب آبیاری، غلظت دی‌اکسیدکربن و نیز برهمکنش میان آن‌ها اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گیاه عدس دارد (جدول ۱)، به‌طوری که طول ساقه با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد در حالی که کاهش میزان آب آبیاری موجب کوتاه شدن طول ساقه می‌گردد (جدول ۲). همانگونه که مشاهده می‌شود متوسط ارتفاع ساقه‌ی گیاه عدس در تیمار شاهد $26/7$ سانتی‌متر می‌باشد که با کاهش میزان آبیاری تا WR ۷۵ درصد و WR ۵۰ درصد ارتفاع ساقه گیاه عدس به ترتیب ۱۱ و ۲۶ درصد کاهش می‌یابد که این کاهش در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین کاهش ۱۶ درصدی ارتفاع گیاه از تیمار I_2 به I_3 نیز معنی‌دار می‌باشد. لازم به ذکر است در صورتی که میزان آبیاری از WR به WR ۱۲۵ درصد افزایش یابد، ارتفاع گیاه حدود یک درصد کاهش یافته که این

بررسی یافته‌های محققان دیگر نیز با نتایج به دست آمده از این بررسی همخوانی دارد (Pal et al., 2004; Vanaja et al., 2007; Shams et al., 2012; Li et al., 2013). نشان داند که افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۴۰ ppm افزایش ۲۵/۴ درصدی ارتفاع ساقه گیاه را به همراه دارد.

جرم خشک شاخساره

تغییرات جرم خشک شاخساره در تیمارهای مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که میزان آبیاری، غلظت دی اکسید کربن و برهمکنش میان این دو متغیر اثر معنی داری بر جرم خشک شاخساره دارد (جدول ۱). همان گونه که انتظار می رفت نتایج گویای آن بود که با کاهش آب آبیاری از جرم خشک شاخساره کاسته می شود. همچنین افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش جرم خشک ساقه را به همراه دارد (جدول ۳). جرم خشک شاخساره‌ی عدس در تیمار آبیاری کامل و غلظت دی اکسید کربن نرمال (شاهد) ۸/۹ گرم می باشد که این جرم با کاهش میزان آب آبیاری از WR به WR ۷۵ درصد و WR ۵۰ درصد به ترتیب ۱۹ و ۲۵ درصد از جرم خشک ساقه کاهش می یابد. همچنین افزایش آب آبیاری از WR به WR ۱۲۵ درصد موجب افزایش وزن خشک شاخساره می گردد (۴ درصد) که این افزایش در سطح آماری ۵ درصد معنی دار نمی باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که اختلاف ۷ درصدی میان تیمارهای C₀I₂ و C₀I₃ نیز معنی دار نمی باشد.

کاهش معنی دار نمی باشد. تیمارهای C₁ و C₂ روندهایی مشابه با تیمار C₀ داشتند؛ با این تفاوت که اختلاف میان ارتفاع بوته‌ها در تیمارهای آبیاری WR و WR ۱۲۵ درصد نیز معنی دار می باشد. کاهش ارتفاع گیاه از تیمار C₁I₀ به تیمارهای C₁I₁، C₁I₂ و C₁I₃ به ترتیب برابر با ۸، ۱۶ و ۲۷ درصد می باشد (جدول ۲). همچنین در تیمارهای C₂ نیز این روند کاهش به ترتیب معادل ۶، ۱۹ و ۲۷ درصد به دست آمد.

مطالعه حاضر نشان داد افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش ارتفاع را به همراه دارد. با توجه به نتایج به دست آمده در تیمار آبیاری I₀ افزایش غلظت دی اکسید کربن از C₀ به C₁ و C₂ به ترتیب افزایش ۱۷ و ۲۵ درصدی ارتفاع گیاه را به همراه دارد. این افزایش ارتفاع در تیمار آبیاری II به ۱۱ و ۲۱ درصد می رسد. در تیمار آبیاری WR ۷۵ درصد افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ ppm افزایش ارتفاع ۱۲ درصدی را به همراه دارد. همچنین هنگامی که غلظت دی اکسید کربن به ۱۲۰۰ ppm برسد، ۱۷ درصد افزایش ارتفاع مشاهده می شود. نرخ افزایش ارتفاع ساقه گیاه در اثر افزایش دی اکسید کربن در تیمارهای I₃ بیشتر بوده و به ترتیب برابر خواهد بود با ۱۸ و ۲۳ درصد.

افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب می شود تا اثرات کاهش کربود آب جبران شود به نحوی که ارتفاع گیاه در تیمار شاهد C₀I₀ تفاوت معنی داری را با تیمارهای C₁I₂ و C₂I₃ نشان نمی دهد. همچنین اختلاف ارتفاع بوته گیاه در دو تیمار C₁I₁ و C₂I₂ نیز از نظر آماری معنی دار نمی باشد.

با توجه به نتایج می توان چنین بیان نمود که افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش ارتفاع ساقه گیاه می شود که این افزایش، کاهش ارتفاع ناشی از کم آبیاری را جبران می نماید.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک عدس کیمیا تحت تیمارهای آبیاری و غلظت دی اکسید کربن

منبع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	شاخساره	ریشه	غلظت	دانه	دانه ۱۰۰۰	عملکرد	تبخیر تعرق
تکرار	۳	۲/۴۵۰	۰/۰۶	۰/۰۲	۱/۷۸	۱/۰۶	۲۵/۴۷	۰/۰۳	۰/۰۱
I	۳	۳۰۶/۱۱*	۷۹/۸۹*	۰/۵۹*	۳۷/۷۵*	۵۵/۳۶*	۲۲۵۶/۶۸*	۵/۷۷*	۹/۴۹*
C	۲	۳۵۲/۶۹*	۱۸۹/۶۰*	۴/۳۴*	۵۰/۱۴*	۵۳/۲۳*	۴۳۱۹/۰۰*	۸/۶۱*	۵/۰۷*
C×I	۶	۶/۵۵*	۳/۰۹*	۰/۰۷*	۲/۰۴	۱/۴۰	۵۶/۸۶*	۰/۱۲۴*	۰/۱۰*
خطا	۳۳	۱/۶۰	۰/۳۸	۰/۰۳	۲/۵۵	۲/۳۳	۱۸/۷۷	۰/۰۶	۰/۰۳

I: تیمار آبیاری، C: غلظت دی اکسید کربن و I×C: برهمکنش آبیاری و دی اکسید کربن.

جدول ۲- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر ارتفاع بوته (سانتی متر)

میانگین	I ₃	I ₂	I ₁	I ₀	
۲۴/۲ ^C	۱۹/۹ ^g	۲۳/۸ ^f	۲۶/۴ ^e	۲۶/۷ ^e	C ₀
۲۸/۳ ^B	۲۴/۳ ^f	۲۷/۱ ^e	۲۹/۶ ^d	۳۲/۱ ^c	C ₁
۳۰/۸ ^A	۲۵/۹ ^e	۲۸/۶ ^d	۳۳/۳ ^b	۳۵/۴ ^a	C ₂
	۲۳/۳ ^D	۲۶/۵ ^C	۲۹/۸ ^B	۳۱/۴ ^A	میانگین

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

جدول ۳- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر جرم خشک شاخساره (گرم)

میانگین	I ₃	I ₂	I ₁	I ₀	
۸/۰ ^C	۶/۷ ^g	۷/۲ ^g	۹/۳ ^e	۸/۹ ^e	C ₀
۱۰/۳ ^B	۸/۲ ^f	۹/۴ ^e	۱۲/۵ ^b	۱۱/۴ ^c	C ₁
۱۲/۹ ^A	۱۰/۱ ^d	۱۱/۸ ^c	۱۴/۶ ^a	۱۵/۰ ^a	C ₂
	۸/۳ ^D	۹/۵ ^C	۱۲/۲ ^B	۱۱/۸ ^A	میانگین

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند

غلظت از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ ppm نیز افزایش ۲۰ درصدی جرم خشک شاخساره را به همراه دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده از این بررسی افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش ارتفاع ساقه می شود که این امر به معنای افزایش تولید ماده آلی می باشد. لذا افزایش جرم خشک شاخساره تحت غلظت های بالای دی اکسید کربن اجتناب ناپذیر می باشد. در بررسی مشابهی Shams et al. (2015) نشان دادند که جرم خشک شاخساره گیاه عدس رقم بیله سوار با دو و سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن به ترتیب ۲۸ و ۵۹ درصد افزایش می یابد. نتایج به دست آمده از بررسی سایر محققان نیز با نتایج حاصله از این بررسی همخوانی دارد (Pal et al., 2004; Vanaja et al., 2007; Balouchi et al., 2009 Li et al., 2013).

جرم خشک ریشه

بررسی واریانس داده های جرم خشک ریشه نشان داد تغییرات میزان آب آبیاری، افزایش غلظت دی اکسید کربن و همچنین برهمکنش میان آن ها اثر معنی داری بر جرم خشک ریشه به جا می گذارد (جدول ۱)، به نحوی که افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش وزن خشک ریشه می شود. از سوی دیگر کاهش میزان آب آبیاری جرم خشک ریشه را کاهش می دهد، با این حال از این میزان کاهش، با کمتر شدن آب آبیاری کاسته می شود (جدول ۴). نتایج نشان داد که افزایش میزان آب آبیاری از WR به ۱۲۵ WR درصد اثر معنی داری بر تغییر جرم خشک ریشه ندارد، همچنین مقایسه جرم خشک ریشه در تیمارهای ۷۵ WR درصد و ۵۰ WR درصد نیز نتایج مشابهی را نشان داد.

در تیمار غلظت دی اکسید کربن ۴۰۰ ppm، با کاهش آب آبیاری از WR به ۷۵ WR درصد و ۵۰ WR درصد جرم خشک ریشه کاهش معنی داری می باشد که این کاهش برای تیمار ۷۵ WR درصد، ۱۲ درصد می باشد، در حالی که برای تیمار ۵۰ WR درصد این کاهش ۹ درصد می باشد که نشان دهنده این است که تحت تنش رطوبتی بالا ریشه تحریک شده و بر سرعت رشد خود می افزاید تا بتواند آب بیشتری را برای ادامه حیات خود جذب نماید. در تیمارهای غلظت دی اکسید کربن ۸۰۰ ppm کاهش آب آبیاری از WR به ۷۵ WR درصد و ۵۰ WR درصد به ترتیب موجب کاهش ۱۲ و ۱۳ درصدی جرم خشک ریشه می شود در حالی که این کاهش برای تیمارهای ۱۲۰۰ ppm غلظت

در تیمار دی اکسید کربن ۸۰۰ ppm، کاهش آبیاری از WR به ۷۵ WR درصد و ۵۰ WR درصد به ترتیب ۱۷ و ۲۸ درصد از وزن خشک شاخساره را کاهش می دهد؛ که این مقادیر در تیمار C₂ (۱۲۰۰ ppm) به ترتیب ۲۱ و ۳۲ درصد می باشد. همچنین جرم شاخساره گیاه در تیمار C₁I₀ نسبت به تیمار C₁I₀، ۱۰ درصد افزایش داشت که این افزایش در سطح آماری ۵ درصد معنی دار می باشد. با این حال اختلاف میان جرم شاخساره در تیمارهای I₂I₀ و C₂I₀ معنی دار نمی باشد. به طور کلی نتایج نشان داده است که کاهش میزان آب آبیاری از WR به ۷۵ WR درصد و ۵۰ WR درصد موجب کاهش معنی دار ۲۳ و ۳۸ درصدی جرم خشک شاخساره می شود.

نتایج به دست آمده نشان داد در تیمار آبیاری WR، افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ ppm به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب افزایش ۲۲ و ۴۱ درصدی جرم شاخساره می باشد که این افزایش در سطح آماری ۵ درصد معنی دار می باشد. همچنین مقایسه تیمارهای I₁C₁ و I₁C₂ نشان می دهد که جرم خشک شاخساره در این تیمارها به ترتیب ۲۶ و ۳۶ درصد از جرم خشک شاخساره در تیمار I₁C₀ بیشتر می باشد. این اختلاف ها در تیمارهای I₂C₁ و I₂C₂ نسبت به تیمار I₂C₀ به ترتیب ۲۴ و ۳۹ درصد می باشد. با مراجعه به جدول مشاهده می شود که در تیمارهای آبیاری ۵۰ WR درصد، افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب افزایش ۲۲ و ۳۴ درصدی جرم خشک شاخساره را در پی دارد؛ که این اختلافات نیز در سطح آماری ۵ درصد معنی دار می باشد. علاوه بر آن در تیمارهای آبیاری I₀، I₁، I₂ و I₃ افزایش دی اکسید کربن از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب افزایش ۲۴، ۱۴، ۲۰ و ۱۹ درصدی وزن خشک شاخساره گیاه می شود.

وزن خشک شاخساره در تیمار شاهد اختلاف معنی داری با وزن خشک ساقه در تیمار آبیاری ۵۰ WR درصد و غلظت ۸۰۰ ppm نشان نداده است. همچنین وزن خشک ساقه در تیمارهای I₂C₁ و I₃C₂ و تیمارهای I₁C₁ و I₂C₂ نیز اختلاف معنی داری با یکدیگر نشان نداده اند. لذا می توان به این نکته اشاره نمود که افزایش غلظت دی اکسید کربن تا حدی می تواند اثرات کاهنده کاهش آب آبیاری را کاهش دهد.

نتایج نشان داد که به طور کلی افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب افزایش معنی دار ۲۳ و ۳۹ درصدی جرم خشک شاخساره می شود. همچنین افزایش

خشک ریشه می‌شود. در بررسی‌های پیشین نشان داده شده است که افزایش جرم خشک ریشه در اثر افزایش طول ریشه و نفوذ بیشتر آن در خاک می‌باشد (Vanaja et al., 2007; Benlloch-Gonzalez et al., 2014). این خصوصیت تحت شرایط خشک و کم آبی می‌تواند برای بقای گیاه بسیار مفید باشد. گزارشات سایر محققان نیز بر افزایش جرم خشک ریشه در اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن دلالت دارد (Madhu and Hatfield, 2013; Pacholski et al., 2015).

تعداد غلاف و دانه در بوته

در این بررسی تعداد غلاف‌های سالم موجود در بوته و نیز تعداد دانه‌های به‌دست آمده از هر بوته شمارش گردید. اکثر غلاف‌های تولید شده تنها حاوی یک دانه بودند و تعداد اندکی از غلاف‌ها حاوی دو دانه بودند. آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد میزان آب بیاری و همچنین غلظت دی اکسید کربن اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف‌ها و دانه‌های به‌دست آمده از هر بوته دارد، با این حال برهمکنش میان این دو متغیر اثری معنی‌داری بر پارامترهای مورد مطالعه ندارد (جدول ۱). بررسی آماری داده‌ها نشان داد کاهش میزان آب آبیاری موجب کاهش تعداد غلاف‌ها و در نتیجه تعداد دانه‌ها می‌شود. در حالی که افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش تعداد غلاف‌ها و دانه‌ها را در پی دارد، به‌نحوی که دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن در محیط رشد گیاه به‌طور متوسط موجب افزایش ۶ درصدی تعداد غلاف‌ها و در نتیجه دانه‌ها می‌شود. با این حال نتایج به‌دست آمده از این بررسی نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن بیشتر از ۸۰۰ ppm موجب افزایش بیشتر تعداد غلاف و دانه نمی‌شود، بلکه با افزایش یافتن غلظت دی اکسید کربن از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ ppm از تعداد غلاف‌های به‌دست آمده کاسته می‌شود هرچند این کاهش دو درصدی در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۵).
اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن بر افزایش تعداد غلاف‌ها و در نتیجه افزایش دانه‌های موجود در هر بوته در بررسی‌های محققان دیگر نیز اشاره شده است (Saha et al., 2012; Shams et al., 2015).

دی اکسید کربن ۱۰ و ۱۸ درصد می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در غلظت نرمال دی اکسید کربن کاهش میزان آب آبیاری از ۷۵WR درصد به ۵۰WR درصد افزایش جرم خشک ریشه (چهار درصد) را به همراه دارد، در غلظت‌های دو برابر دی اکسید کربن با این کاهش آب آبیاری جرم ریشه یک درصد کاهش می‌باید، با این حال این تغییرات در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار نمی‌باشد. در حالی که در غلظت‌های دی اکسید کربن ۱۲۰۰ ppm، کاهش آب آبیاری از ۷۵WR درصد به ۵۰WR درصد کاهش معنی‌دار و ۹ درصدی جرم خشک ریشه را به همراه دارد. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که افزایش غلظت دی اکسید کربن نیاز آبی گیاه را کاهش می‌دهد، در نتیجه افزایش جرم خشک ریشه که در تیمارهای تنش آبی مشاهده می‌شود در غلظت‌های بالای دی اکسید کربن مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر افزایش غلظت دی اکسید کربن به‌طور کلی افزایش جرم خشک ریشه را به همراه دارد که این به معنی افزایش طول ریشه و جذب بیشتر آب می‌شود.

افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه می‌شود. در تیمارهای آبیاری WR افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب افزایش ۱۸ و ۳۰ درصدی جرم خشک ریشه می‌شود. در تیمارهای آبیاری ۱۲۵WR درصد این درصد تغییرات به ۲۴ و ۳۰ درصد می‌رسد. در تیمار آبیاری ۷۵WR درصد دو و سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش ۱۸ و ۳۲ درصدی جرم خشک ریشه می‌شود. در تیمارهای آبیاری ۵۰WR درصد این درصد تغییرات به ۱۴ و ۲۲ درصد کاهش می‌باید. از سوی دیگر نشان داده شده است که به‌طور متوسط با افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ ppm، جرم خشک ریشه ۱۲ درصد افزایش می‌یابد که در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار می‌باشد. همان‌گونه که انتظار می‌رود افزایش غلظت دی اکسید کربن اثرات کاهنده کاهش آب در دسترس گیاه را تا حدودی خنثی می‌نماید به‌نحوی که اختلاف جرم ریشه در تیمارهای C_0I_0 ، C_0I_1 ، C_1I_2 و C_2I_3 ، و نیز تیمارهای C_1I_1 و C_2I_2 از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش معنی‌دار جرم

جدول ۴- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر جرم خشک ریشه (گرم)

میانگین	I_3	I_2	I_1	I_0	
۱/۸۳ ^C	۱/۷۷ ^g	۱/۷۱ ^g	۱/۸۴ ^{fg}	۱/۹۵ ^{ef}	C_0
۲/۲۵ ^B	۲/۰۷ ^e	۲/۱۰ ^e	۲/۴۳ ^{cd}	۲/۳۸ ^{cd}	C_1
۲/۵۵ ^A	۲/۲۹ ^d	۲/۵۱ ^{bc}	۲/۶۳ ^{ab}	۲/۷۸ ^a	C_2
	۲/۰۵ ^B	۲/۱۱ ^B	۲/۳۰ ^A	۲/۳۷ ^A	میانگین

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

جدول ۵- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر تعداد غلاف و دانه در هر بوته

میانگین	I ₃	I ₂	I ₁	I ₀		
۳۸/۸ ^C	۳۷/۲ ^f	۳۸/۱ ^{ef}	۴۰/۵ ^c	۳۹/۲ ^{de}	C ₀	تعداد غلاف
۴۰/۵ ^B	۳۹/۴ ^d	۴۰/۸ ^c	۴۲/۱ ^{ab}	۴۲/۶ ^a	C ₁	
۴۱/۳ ^A	۳۸/۹ ^{de}	۴۰/۶ ^c	۴۱/۵ ^{bc}	۴۰/۷ ^c	C ₂	
میانگین	۳۸/۵ ^C	۳۹/۹ ^B	۴۱/۴ ^A	۴۰/۹ ^A		
۳۹/۰ ^C	۳۷/۲ ^g	۳۸/۳ ^f	۴۰/۸ ^d	۳۹/۷ ^e	C ₀	تعداد دانه
۴۰/۸ ^B	۳۹/۴ ^e	۴۰/۸ ^d	۴۲/۶ ^{ab}	۴۳/۱ ^a	C ₁	
۴۱/۵ ^A	۳۹/۰ ^{ef}	۴۰/۶ ^d	۴۲/۱ ^{bc}	۴۱/۵ ^{cd}	C ₂	
میانگین	۳۸/۵ ^C	۳۹/۹ ^B	۴۱/۸ ^A	۴۱/۴ ^A		

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند

جدول ۶- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر جرم خشک هزار دانه (گرم)

میانگین	I ₃	I ₂	I ₁	I ₀	
۵۶/۶ ^C	۴۸/۱ ^h	۵۲/۶ ^g	۶۳/۶ ^e	۶۲/۰ ^{ef}	C ₀
۶۳/۷ ^B	۵۳/۵ ^g	۵۸/۶ ^f	۷۲/۸ ^c	۶۹/۸ ^{cd}	C ₁
۷۹/۳ ^A	۶۵/۹ ^{de}	۷۱/۸ ^c	۹۲/۸ ^a	۸۶/۶ ^b	C ₂
میانگین	۵۵/۸ ^D	۶۱/۰ ^C	۷۶/۴ ^A	۷۲/۸ ^B	

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند

دو و سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن به ترتیب موجب افزایش ۱۱ و ۲۸ درصدی جرم خشک ۱۰۰۰ دانه می شود، در حالی که این مقدار در تیمارهای آبیاری WR ۱۲۵ درصد به میزان ۱۳ و ۳۲ درصد خواهد بود. در تیمارهای آبیاری I₂ و I₃ دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش ۱۰ درصدی جرم خشک ۱۰۰۰ دانه می شود، در حالی که سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن این پارامتر را ۲۷ درصد افزایش می دهد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ ppm به طور متوسط موجب افزایش معنی دار و ۲۰ درصدی جرم خشک ۱۰۰۰ دانه می شود. همچنین جرم خشک ۱۰۰۰ دانه در تیمارهای C₀I₃، C₁I₃ و C₁I₁ و C₂I₂ و همچنین تیمارهای C₁I₀ و C₂I₂ نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی داری را نشان نمی دهند. این امر گویای آن است که افزایش غلظت دی اکسید کربن کاهش ناشی از کم آبیاری را کاهش می دهد.

افزایش غلظت دی اکسید کربن، افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش تولید ماده ی آلی را به همراه دارد، مطالعه حاضر نشان داد که دانه های تولید شده تحت شرایط غلظت های بالای دی اکسید کربن نسبت به شرایط نرمال جرم بیشتری دارند. در سایر بررسی ها نیز نشان داده شده است که جرم خشک دانه با افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش می یابد (Heinemann et al., 2006; Saha et al., 2012; Shams et al., 2012; Högy et al., 2013).

جرم خشک ۱۰۰۰ دانه

نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس داده ها نشان داد که نرخ آبیاری و نیز افزایش غلظت دی اکسید کربن و برهمکنش میان این دو متغیر جرم خشک ۱۰۰۰ دانه را به طور معنی داری تحت تأثیر قرار می دهد (جدول ۱). نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در دسترس نبودن آب کافی برای رشد گیاه موجب کوچک تر شدن دانه ها و کاهش جرم خشک دانه ها می شود. با این حال افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش جرم خشک ۱۰۰۰ دانه را به همراه دارد (جدول ۶). نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در تیمارهای مختلف غلظت دی اکسید کربن، کاهش میزان آب آبیاری از WR به WR ۷۵ درصد و WR ۵۰ درصد به طور متوسط موجب کاهش ۱۶ و ۲۳ درصدی جرم خشک ساقه می شود که این میزان کاهش در سطح آماری ۵ درصد معنی دار می باشد. همچنین کاهش ۸ درصدی جرم خشک ۱۰۰ دانه در تیمارهای آبیاری WR ۵۰ درصد نسبت به WR ۷۵ درصد نیز در این سطح آماری معنی دار می باشد. از سوی دیگر نشان داده شده است که افزایش میزان آب آبیاری از WR به WR ۱۲۵ درصد در غلظت های دی اکسید کربن ۴۰۰ و ۸۰۰ ppm، اثر معنی داری بر جرم خشک ۱۰۰۰ دانه ندارد. در حالی که تحت غلظت ۱۲۰۰ ppm دی اکسید کربن افزایش ۷ درصدی جرم خشک ۱۰۰۰ دانه معنی دار می باشد.

نتایج حاصل از مطالعه ی حاضر نشان داد که در تمامی تیمارهای آبیاری افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش جرم خشک ۱۰۰۰ دانه می شود (جدول ۶). در تیمار آبیاری WR

جدول ۷- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسید کربن و آب آبیاری بر عملکرد دانه (گرم در بوته)

میانگین	I ₃	I ₂	I ₁	I ₀	
۲/۳ ^C	۱/۸ ^h	۲/۰ ^g	۲/۶ ^e	۲/۵ ^{ef}	C ₀
۲/۷ ^B	۲/۸ ^g	۲/۴ ^f	۳/۱ ^c	۳/۰ ^{cd}	C ₁
۳/۳ ^A	۲/۶ ^{ef}	۲/۹ ^d	۳/۹ ^a	۳/۶ ^b	C ₂
	۲/۳ ^D	۲/۴ ^C	۳/۳ ^A	۳/۰ ^B	میانگین

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

ترتیب ۳۱، ۳۴، ۳۱ و ۳۰ درصد می‌باشد که نشان دهنده‌ی اثر قابل توجه افزایشی دی‌اکسید کربن بر عملکرد دانه و تولید ماده خشک می‌باشد.

مطابق با انتظار افزایش دی‌اکسید کربن موجب می‌شود اثرات کاهنده‌ی کمبود آب جبران شود. در این حالت در آبیاری حتی با میزان آب کمتر عملکرد گیاه عدس از لحاظ آماری مشابه با عملکرد گیاه در شرایطی با آبیاری کامل و غلظت دی‌اکسید کربن کمتر می‌باشد. به‌نحوی که میزان عملکرد در تیمارهای C₀I₀، C₀I₁ و C₁I₂؛ و C₁I₃، C₀I₂ و C₂I₃؛ و C₁I₁ و C₂I₂ از نظر آماری یکسان بوده و تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتایج به‌دست آمده از این بررسی نشان داد، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن افزایش عملکرد دانه را در گیاه عدس به دنبال دارد که با نتایج به‌دست آمده از بررسی سایر محققان همخوانی دارد (Nasser et al., 2007; Högy et al., 2009; Li et al., 2015; Shams et al., 2012; 2013). مطالعه بررسی‌های پیشین نشان می‌دهد که افزایش عملکرد دانه می‌تواند در اثر افزایش جرم خشک ۱۰۰۰ دانه باشد (Heinemann et al., 2013; Högy et al., 2006). با این حال در برخی از مطالعات نشان داده شده است که افزایش تعداد دانه‌ها نیز موجب افزایش عملکرد دانه می‌شوند (Saha et al., 2012). نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که افزایش عملکرد دانه در مرحله‌ی اول تحت تاثیر افزایش جرم خشک دانه‌ها قرار دارد، و به نسبت کمتری نیز تعداد دانه‌های موجود در بوته نیز بر افزایش عملکرد دانه در بوته اثر گذار بوده است.

تبخیر تعرق

همانگونه که در مواد و روش‌ها شرح داده شد، میزان تبخیر تعرق گیاه عدس در طی فصل رشد به روش وزنی محاسبه گردید. نتایج به‌دست آمده از آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد تغییر در میزان آب آبیاری، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و همچنین برهمکنش میان این دو متغیر اثر معنی‌داری بر میزان تبخیر-تعرق عدس کمیما دارد. نتایج به‌دست آمده از آزمون دانکن نیز حاکی از آن است که کاهش میزان آب در دسترس گیاه موجب کاهش تبخیر تعرق آن می‌شود در حالی که افزایش میزان آب در دسترس تبخیر تعرق بیشتر را به همراه دارد. از سوی دیگر نشان داده شد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن کاهش میزان تبخیر تعرق و در نتیجه آب مورد نیاز را به همراه دارد (جدول ۸).

عملکرد دانه

در این بررسی نتایج به‌دست آمده از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تغییر در میزان آب در دسترس گیاه، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و نیز برهمکنش میان این دو متغیر اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد (جدول ۱). از سوی دیگر نتایج حاصل از آزمون دانکن نشان داد متوسط عملکرد دانه در طی دو سال مورد بررسی، در تیمار شاهد ۲/۵ گرم در هر بوته گیاه عدس می‌باشد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن این میزان افزایش می‌یابد و با کاهش آب آبیاری از میزان آن کاسته می‌شود (جدول ۷).

در تیمارهای غلظت دی‌اکسید کربن ۴۰۰ ppm، کاهش میزان آبیاری از تیمار I₀ به تیمارهای I₂ و I₃ به ترتیب موجب کاهش ۱۸ و ۲۷ درصد عملکرد محصول می‌شود، همچنین اختلاف موجود میان عملکرد در تیمارهای I₂ و I₃ نیز ۱۱ درصد محاسبه شد، که این کاهش در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. از سوی دیگر افزایش میزان آب آبیاری از WR به ۱۲۵WR درصد موجب افزایش ۵ درصدی عملکرد دانه در بوته می‌شود، با این حال این افزایش در سطح آماری مورد بررسی معنی‌دار نبود. در تیمارهای C₁، مشاهده می‌شود کاهش آبیاری از WR به ۷۵WR درصد و ۵۰WR درصد، به‌طور معنی‌داری عملکرد محصول را از ۳/۰ گرم در هر بوته به ۲/۴ و ۲/۱ گرم در بوته کاهش (۲۱ و ۳۰ درصد) می‌دهد؛ در حالی که افزایش آبیاری تا ۱۲۵WR درصد اثر معنی‌داری بر محصول تولیدی ندارد. در تیمارهای C₂ مشاهده می‌شود عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری I₂ و I₃ نسبت به تیمار I₀ به ترتیب ۱۹ و ۲۹ درصد کاهش داشته است، همچنین در این تیمار دی‌اکسید کربن عملکرد در تیمار آبیاری I₁، ۹ درصد بیش از تیمار I₀ می‌باشد که این اختلاف‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. به‌طور کلی آزمون‌های آماری مورد مطالعه نشان داده است که به‌طور متوسط عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری I₁، I₂ و I₃ نسبت به تیمار آبیاری WR به ترتیب ۱۹ درصد افزایش و ۲۹ درصد کاهش یافته است که این تفاوت‌ها در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

بررسی‌ها نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب افزایش معنی‌داری عملکرد دانه می‌شود. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ ppm عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری I₀، I₁، I₂ و I₃ را به ترتیب ۱۸، ۱۷، ۱۶ و ۱۵ درصد افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۴۰۰ به ۱۲۰۰ ppm افزایش عملکرد در تیمارهای آبیاری ذکر شده به

جدول ۸- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر میزان تبخیر-تعرق (کیلوگرم)

میانگین	I ₃	I ₂	I ₁	I ₀	
۳/۳۰۶ ^A	۲/۴۳۹ ^f	۳/۰۳۷ ^d	۴/۱۲۸ ^a	۳/۶۲۳ ^b	C ₀
۲/۹۵۶ ^B	۲/۳۲۰ ^{fg}	۲/۶۵۷ ^e	۳/۵۱۱ ^b	۳/۱۵۷ ^{cd}	C ₁
۲/۵۱۲ ^C	۱/۹۶۳ ^h	۲/۱۹۷ ^g	۳/۲۵۰ ^c	۲/۶۳۹ ^e	C ₂
	۲/۲۴۰ ^D	۲/۶۳۰ ^C	۳/۶۹۰ ^A	۳/۱۳۹ ^B	میانگین

اعدادی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند

برگ گیاهان کاسته می شود (Medlyn et al., 2001; Kimball et al., 2002). برای گیاه لوبیا قرمز نشان داده شده است که افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۳۵۰ به ۷۵۰ ppm موجب کاهش ۱۵ درصدی تبخیر-تعرق می شود، در حالی که تحت شرایط کم آبی (آبیاری تا میزان WR=۶۰ درصد) بالا رفتن غلظت دی اکسید کربن اثر معنی داری بر تبخیر-تعرق گیاه ندارد (Shams et al., 2012).

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد به طور متوسط کاهش آب آبیاری از WR به WR=۷۵ درصد و WR=۵۰ درصد موجب کاهش معنی دار ارتفاع گیاه می شود. همچنین افزایش ۲۵ درصدی آب آبیاری نسبت به WR نیز کاهش ۵ درصدی ارتفاع گیاه را موجب می شود که در سطح آماری مورد بررسی معنی دار نمی باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از این بررسی می توان این گونه بیان نمود که افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش ارتفاع گیاه را به همراه دارد. با این حال همانگونه که از نتایج آزمون های آماری بر می آید این افزایش ارتفاع به صورت خطی نمی باشد به نحوی که دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش ۱۴ درصدی ارتفاع ساقه گیاه می شود در حالی که سه برابر شدن غلظت ۲۱ درصد افزایش ارتفاع ساقه را به همراه دارد.

از سوی دیگر افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب افزایش جرم خشک شاخساره و ریشه گیاه می شود. نتایج حاکی از این است که به طور متوسط افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm موجب افزایش ۲۳ و ۳۸ درصدی جرم خشک شاخساره می شود. همچنین جرم خشک ساقه در غلظت های سه برابر دی اکسید کربن ۱۹ درصد بیشتر از غلظت های دو برابر می باشد. در حالی که این افزایش ها در جرم خشک ریشه به ترتیب ۱۹، ۲۹ و ۱۲ درصد می باشد. همانگونه که مشاهده می شود جرم خشک شاخساره در برابر افزایش غلظت دی اکسید کربن به مراتب بیشتر از جرم خشک ریشه افزایش می یابد که علت این امر را می توان محدود بودن فضای رشد و نمو ریشه در گلدان ها دانست. نتایج به دست آمده نشان داد کاهش میزان آب آبیاری موجب

کاهش معنی دار تعداد غلاف های سالم و در نتیجه دانه در هر بوته می شود، در حالی که افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش معنی دار تعداد غلاف های (دانه های) عدس را به همراه دارد، با این حال افزایش تعداد غلاف ها (دانه ها) در تیمارهای غلظت

بررسی ها نشان داد تحت غلظت دی اکسید کربن ۴۰۰ ppm افزایش میزان آب آبیاری از I₀ به I₁ موجب افزایش ۱۴ درصدی میزان تبخیر-تعرق می شود، در حالی که این افزایش تحت غلظت های دو و سه برابر دی اکسید کربن به ترتیب ۱۷ و ۲۳ درصد می باشد که حاکی از این است که تحت غلظت های بالای دی اکسید کربن نیاز آبی گیاه کمتر می گردد، آب کمتری مصرف می شود و در نتیجه میزان هدر رفت آب افزایش می یابد.

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که تحت غلظت دی اکسید کربن اتمسفری کاهش آب آبیاری از WR به WR=۷۵ درصد و WR=۵۰ درصد موجب کاهش ۱۶ و ۳۳ درصدی میزان تبخیر-تعرق می شود، در تیمارهای غلظت دی اکسید کربن ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm، میزان این کاهش به ترتیب ۱۷ و ۲۶ درصد می باشد. همچنین نتایج نشان داد که کاهش آب آبیاری از WR=۷۵ درصد به WR=۵۰ درصد، در تیمارهای غلظت دی اکسید کربن ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب کاهش ۲۰، ۱۳ و ۱۱ درصدی تبخیر-تعرق می شود. همانگونه که مشاهده می شود هر چه غلظت دی اکسید کربن بالاتر رود نرخ کاهش تبخیر-تعرق کمتر می شود. دلیل این امر احتمالاً بسته شدن روزنه ها در غلظت های بالای دی اکسید کربن است که موجب کاهش تبخیر-تعرق و اتلاف آب شده و در نتیجه گیاه از آب موجود در خاک بیشترین استفاده را می برد.

افزایش غلظت دی اکسید کربن موجب کاهش میزان تبخیر-تعرق در تمامی تیمارهای آبیاری می شود، به نحوی که در تیمارهای آبیاری I₀، دو و سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن به ترتیب موجب کاهش ۱۵ و ۳۷ درصدی تبخیر-تعرق گیاه در طی فصل رشد می شود. این مقادیر در تیمار آبیاری I₁ به ۱۲ و ۲۷ درصد می رسد. در تیمارهای آبیاری WR=۷۵ درصد دو و سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن به ترتیب موجب کاهش ۱۴ و ۳۸ درصدی میزان تبخیر-تعرق می شود در حالی که در تیمارهای آبیاری WR=۵۰ درصد دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن اثر معنی داری بر میزان تبخیر-تعرق ندارد، با این حال سه برابر شدن غلظت دی اکسید کربن ۲۴ درصد کاهش تبخیر-تعرق گیاه را به همراه دارد.

نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده از مطالعه های بسیاری از محققان همخوانی دارد. مطالعه ای بررسی های پیشین نشان می دهد در اکثر گونه های گیاهان C₃ در اثر افزایش غلظت دی اکسید کربن در بین ۲۰ تا ۲۷ درصد از میزان تعرق از سطح

تحت تیمارهای آبیاری WR ۵۰ درصد نیز از این امر مستثنی نمی‌باشند. افزایش تولید ماده‌ی آلی، افزایش شاخسارها و برگ‌ها را به همراه دارد، این امر خود موجب افزایش میزان تبخیرتعرق می‌شود. در این مطالعه مشاهده می‌شود که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن تحت تنش‌های آبی بالا نتوانسته است اثر معنی‌داری بر میزان تبخیرتعرق بگذارد، با این حال سه برابر شدن غلظت این گاز در اتمسفر کاهش تبخیرتعرق را به همراه دارد، هر چند این اثر نسبت به سایر تیمارهای آبی کمتر می‌باشد.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محیطی موجب افزایش تولید ماده‌ی آلی در گیاه می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. از سوی دیگر کاهش میزان آب در دسترس گیاه، کاهش تولیدات گیاهی را به همراه دارد که اثرات افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از اثرات کاهنده آن خواهد کاست. همچنین افزایش غلظت دی‌اکسید کربن کاهش میزان تبخیر-تعرق را به همراه دارد که این کاهش موجب می‌شود گیاه در طی فصل رشد به آب کمتری نیاز داشته باشد. لذا می‌توان گفت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند اثرات منفی کم آبی را کاهش دهد، همچنین می‌توان با یک میزان آب ثابت در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسید کربن سطح بیشتری را به زیر کشت برد.

دی‌اکسید کربن ۱۲۰۰ ppm نسبت به ۸۰۰ ppm کاهش یافته که این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. از سوی دیگر نتایج نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن افزایش جرم خشک ۱۰۰۰ دانه را به همراه دارد. به‌نحوی که دو و سه برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن موجب افزایش ۱۱ و ۲۹ درصدی جرم خشک ۱۰۰۰ دانه می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محیطی موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود که علت این امر افزایش جرم خشک دانه و همچنین افزایش تعداد دانه‌های تولید شده می‌باشد.

در مطالعه حاضر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب کاهش میزان تبخیرتعرق گردید. از سوی دیگر هنگامی که گیاه تحت تنش آبی قرار می‌گیرد نیز به‌منظور حفظ آب در اندام‌های خود و جلوگیری از تبخیرتعرق روزه‌های خود را می‌بندد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد هنگامی که گیاه تحت تنش آبی زیاد قرار داشته باشد (WR ۵۰ درصد)، دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن اثر معنی‌داری بر میزان تبخیرتعرق ندارد، در نگاه اول می‌توان گفت روزه‌ها در اثر کمبود آب بسته شده‌اند و در نتیجه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن نمی‌تواند اثری بر میزان تبخیرتعرق بگذارد. با این حال در این بررسی مشاهده شده که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب افزایش تولید ماده‌ی آلی در گیاهان می‌شود که گیاهان کشت شده

منابع

- 1- Aranjuelo, I. Cabrerizo, P.M. Arrese-Igor, C. and Aparicio-Tejo, P.M. 2013. Pea plant responsiveness under elevated [CO₂] is conditioned by the N source (N₂ fixation versus NO₃-fertilization). *Environmental and Experimental Botany*, 95, pp. 34–40.
- 2- Balouchi, H. R., Sanavy, S. M., Emam, Y., and Dolatabadian, A. 2009. UV radiation, elevated CO₂ and water stress effect on growth and photosynthetic characteristics in durum wheat. *Plant, Soil and Environment*, 55(10), pp. 443-453
- 3- Benlloch-Gonzalez, M. Bochicchio, R. Berger, J. Bramley, H. and Palta, J.A. 2014. High temperature reduces the positive effect of elevated CO₂ on wheat root system growth. *Field Crops Research*, 165, pp. 71–79.
- 4- Diaz, S. 1996. Effects of elevated [CO₂] at the community level mediated by root symbionts. *Plant and Soil*, 187, pp. 309-320.
- 5- Gesch, R.W. Vu, J.C.V. Allen, L.H. and Boote, K.J. 2001. Photosynthetic responses of rice and soybean to elevated CO₂ and temperature. *Recent Research Developments in Plant Physiology*, 2, pp. 125-137.
- 6- Ghosh, P.K. Jayas, D.S. Srivastava, C. and Jha, A.N. 2007. Drying and Storing Lentils: Engineering and Entomological Aspects. In: *Lentil, An Ancient crop for modern time. Springer Netherlands*.
- 7- Heinemann, A.B. Maia, H.N. Dourado-Neto, D. Ingram, K.T. and Hoogenboom, G. 2006. Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. *European Journal of Agronomy*, 24, pp. 52–61.

- 8- Högy, P. Brunnbauer, M. Koehler P. Schwadorf, K. Breuer, J. Franzaring J. Zhunusbayeva D. and Fangmeier, A. 2013. Grain quality characteristics of spring wheat (*Triticum aestivum*) as affected by free-air CO₂ enrichment. *Environmental and Experimental Botany*, 88, pp. 11–18.
- 9- Högy, P. Wieser, H. Köhler, P. Schwadorf, K. Breuer, J. Franzaring, J. Muntifering, R. and Fangmeier, A. 2009. Effects of elevated CO₂ on grain yield and quality of wheat: results from a three-year FACE experiment. *Plant Biology*, 11(1), pp. 60–69.
- 10-IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the University Press. New York, USA. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
- 11-Kimball, B.A. Kobayashi, K. and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy*, 70, pp. 293–368.
- 12-Li, D. Liu, H. Qiao, Y. Wang, Y. Cai, Zh. Dong, D. Shi, Ch. Liu, Y. Li, X. and M. Liu. 2013. Effects of elevated CO₂ on growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought stress. *Agricultural Water Management*, 129, pp. 105-112.
- 13-Madhu, M. and J.L. Hatfield. 2013. Dynamics of Plant Root Growth under Increased Atmospheric Carbon Dioxide. *Agronomy Journal*, 105(3), pp. 657-669.
- 14-Medlyn, B.E. Barton, C.V.M. Broadmeadow, M.S.J. Ceulemans, R. De Angelis, P. Forstreuter, M. Freeman, M. Jackson, S.B. Kellomäki, S. Laitat, E. Rey, A. Roberntz, P. Sigurdsson, B.D. Strassemeier, J. Wang, K. Curtis, P.S. and Jarvis, P.G. 2001. Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated CO₂ concentration: a synthesis. *New Phytologist*, 149, pp. 247–264.
- 15-Mereu, V. Cesaraccio, C. Dubrovsky, M. Spano, D. Carboni, G. and Duce, P. 2010. Climate change impacts on durum wheat in Sardinia. In 29th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, University of Kansas, Kansas City, U.S.A.
- 16-Mitchell, R. Mitchell, V. Driscoll, S. Franklin, J. and Lawlor, D. 2006. Effects of increased CO₂ concentration and temperature on growth and yield of winter wheat at two levels of nitrogen application. *Plant Cell and Environment*, 16, pp. 521–529.
- 17-Nasser, R.R. Fuller, M.P. and Jellings, A.J. 2007. Effect of elevated CO₂ and nitrogen levels on lentil growth and nodulation. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, pp. 1-6.
- 18-Pacholski, A. Manderscheid, R. and Weigel, H.J. 2015. Effects of free air CO₂ enrichment on root growth of barley, sugar beet and wheat grown in a rotation under different nitrogen supply. *European Journal of Agronomy*. 63, pp. 36–46.
- 19-Pal, M. Karthikeyapandian, V. Jain, V. Srivastava, A.C. Raj, A. and Sengupta, U.K. 2004. Biomass production and nutritional levels of berseem (*Trifolium alexandrium*) grown under elevated CO₂. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101, pp. 31-38.
- 20-Rogers, H.H. Runion G.B. and Krupa, S.V. 1994. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment with emphasis on root and rhizosphere. *Environmental Pollution*, 83, pp. 155-189.
- 21-Saha, S. Sehgal, S.K. Nagarajan, Sh. and Pal, M. 2012. Impact of elevated atmospheric CO₂ on radiation utilization and related plant biophysical properties in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, 158–159, pp 63–70.
- 22-Samenow, J. 2013. Atmospheric carbon dioxide reaches 400 part per million concentration milestone. Available in 11/15/2013 <http://www.washingtonpost.com/blogs/capital-weather-gang/wp/2013/05/10/atmospheric-carbon-dioxide-concentration-400-parts-per-million>

- 23-Semenov, M.A., Mitchell, R.A., Whitmore, A.P., Hawkesford, M.J., Parry, M.A., and Shewry, P.R. 2012. Shortcomings in wheat yield predictions. *Nature Climate Change*, 2(6), pp. 380-382.
- 24-Shams Sh, Nazemosadat S, Kamgar Haghghi A, Zand Parsa S. 2012. Effect of carbon dioxide concentration and irrigation level on evapotranspiration and yield of red bean. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 2(4), pp.1-10. (In Persian)
- 25-Shams, Sh., Mousavi Baygi, M., Alizadeh, A., Shoor, M. and Kamgar-Haghghi, A.A. 2015. The effects of different concentrations of carbon dioxide and irrigation regimes on quantitative and qualitative characteristics of lentil (variety Bileh-savar). *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(2), pp. 55-67. (In Persian)
- 26-Srinivasarao, C., Kundu, S., Shanker, A.K., Naik, R.P., Vanaja, M., Venkanna, K., Sankar, M., and Naresh, K. 2016. Continuous cropping under elevated CO₂: Differential effects on C₄ and C₃ crops, soil properties and carbon dynamics in semi-arid alfisols. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 218, pp. 73-86.
- 27-Torbert, H.A. Prior, S.A. Rogers, H.H. and G.B. Runion. 2004. Elevated atmospheric CO₂ effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. *Field Crop Research*, 88, pp. 57-67.
- 28-Vanaja, M. Raghuram Reddy, P. Jyothi Lakshmi, M. Maheswari, M. Vagheera, P. and Ratnakumar, P. 2007. Effect of elevated atmospheric CO₂ concentrations on growth and yield of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) – A rainfed pulse crop. *Plant Soil Environment*, 53(2), pp. 81–88.