

اثرات تغییر غلظت دی‌اکسید کربن، دما و رطوبت خاک بر رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دو گونه

Bromus tomentellus Boiss و *Agropyron trichophorum* (Link) Richtعلی بابایی^۱، محمدرضا وهابی^۲، حمیدرضا عشقی زاده^{۳*} و مصطفی ترکش اصفهانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲

چکیده

در این مطالعه اثر سه متغیر اقلیمی شامل دمای هوا، غلظت دی‌اکسید کربن هوا و رطوبت خاک بر رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دو گونه مرتعی *Bromus tomentellus* Boiss و *Agropyron trichophorum* (Link) Richt مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار یک پایه مادری از هرگونه جمع‌آوری، به صورت غیرجنسی به تعداد مورد نیاز (هرگونه ۳۲ پایه) تکثیر و سپس تیمارهای غلظت دی‌اکسید کربن، دما و رطوبت خاک در دو سطح و با چهار تکرار در شرایط آزمایشگاه اعمال شدند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول، شاخص سبزینگی (۳۶/۵)، غلظت کلروفیل a (۲۷/۱)، غلظت کلروفیل b (۵۴/۹) و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۴ درصد) افزایش یافت ولی هدایت روزنه‌ای (۳۳/۱) درصد کاهش یافت. با افزایش دمای محیط از 20 ± 5 به 25 ± 5 درجه سلسیوس هدایت روزنه‌ای (۱۳/۵)، غلظت کلروفیل a (۴۴/۷)، غلظت کلروفیل b (۴۴/۲)، و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۵) درصد کاهش یافت. در اثر کمبود بارش، هدایت روزنه‌ای (۴۱)، شاخص سبزینگی (۳۲/۹)، غلظت کلروفیل a (۵۶/۷)، غلظت کلروفیل b (۵۴/۸)، غلظت کارتنوئید (۴۷)، و وزن خشک اندام هوایی (۳۶/۹) درصد) کاهش یافت. تفاوت گونه‌های مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود، به طوری که میانگین صفات شاخص سبزینگی، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و وزن ماده خشک گونه *Agropyron trichophorum* بیشتر از گونه *Bromus tomentellus* بود. بنابراین بر اساس شرایط پیش‌بینی شده در سناریوی A2 برای سال ۲۰۸۰، گونه *Agropyron trichophorum* به دلیل پاسخ مثبتی که به افزایش CO₂ نشان می‌دهد و به دلیل جبران اثرات منفی افزایش دما و کاهش رطوبت، از عملکرد بهتری نسبت به گونه *Bromus tomentellus* برخوردار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسید کربن، *Agropyron trichophorum*، *Bromus tomentellus* Boiss، هدایت روزنه‌ای، رنگیزه‌های فتوسنتزی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

^۲ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

^۳ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: hr.eshghizadeh@cc.iut.ac.ir

مقدمه

اقلیم بیانگر وضعیت متوسط آب و هوا در یک منطقه است که به‌طور معمول ثابت و قابل پیش‌بینی است، تغییرات بلندمدت شرایط عمومی آب و هوایی زمین، تغییر اقلیم نامیده می‌شود (۱۶). هرگونه تغییر در وضعیت آب‌وهوای جهان، به‌طور مستقیم بر گیاهان مختلف مؤثر است (۱۶). بر اساس گزارش مجمع بین‌دول تغییر اقلیم (IPCC)، میانگین درجه حرارت جهان تا پایان قرن حاضر بین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و غلظت CO₂ به بیش از ۷۰۰ میکرومول بر مول خواهد رسید (۸). از مهم‌ترین دلایل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر، استفاده بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و قطع جنگل‌ها می‌باشد (۳۳). افزایش غلظت این گاز علاوه بر افزایش اثرات گلخانه‌ای ناشی از افزایش درجه حرارت، منجر به تغییر الگوهای بارندگی در مناطق مختلف شده و به نظر می‌رسد در آینده، کارکرد بوم‌نظام‌های زراعی و تولید محصولات مختلف را دگرگون خواهد ساخت (۱۷). در کشورهای در حال توسعه، افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی در اثر این تغییر اقلیم شدیدتر خواهد بود. مطالعات زیادی بر روی اثرات این تغییرات اقلیمی بر روی محصولات مهم کشاورزی انجام شده است (۱۶ و ۳۳). در بسیاری از این مطالعات بیان شده است که افزایش غلظت CO₂ که بیشترین نقش را در گرمایش جهانی دارد، به‌تنهایی باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد برای اغلب گیاهان زراعی خواهد شد (۱۷ و ۲۹). در مطالعه‌ی کمالی و همکاران (۱۳۹۰) نیز بر روی گیاه گل تکمه‌ای (*Gomphrena globosa* L.) با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول محتوای کلروفیل (عدد اسپد) ۷/۴۱ درصد افزایش یافت (۲۱). در آزمایش شاموگان و همکاران (۲۰۱۳) افزایش دمای محیط (بیشتر از ۴۰ درجه) باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ در گندم (*Triticum aestivum* L.) شد (۳۴). ایفوگلو و تریزوگلو (۲۰۰۹) با اعمال تیمار حرارتی روی چند وارپته گندم به این نتیجه رسیدند که در تمامی وارپته‌های مورد مطالعه‌شان، مقدار کلروفیل در اثر دمای بیشتر کاهش پیدا کرده است (۱۳). ژو (۲۰۱۵) گزارش کرد که تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر رشد گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) بسیار قابل توجه بود به‌طوری که در

اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (از ۴۰۰ به ۸۰۰ میکرومول بر مول) وزن اندام هوایی ۷۸/۳ درصد افزایش یافت (۳۶). با این وجود اثر همزمان تغییرات اقلیمی که شامل افزایش دی‌اکسید کربن، کاهش بارندگی و افزایش دما می‌شود، باید به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد. این نوع مطالعات در مورد گیاهان زراعی به‌صورت کم‌وبیش انجام شده است و نتایج جالب توجهی هم به‌دست آمده است اما با توجه به عدم ورود نهاده (مانند آبیاری و ...) به مراتب و اهمیت این اراضی در تولید محصولات دامی، می‌توان گفت که تاکنون مطالعات درخور توجهی درباره اثر تغییر اقلیم بر خصوصیات زیستی و فیزیولوژیکی این گونه‌های مرتعی انجام نشده است.

گونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از بین گونه‌هایی که دارای بیشترین ارزش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی هستند انتخاب شده‌اند. گونه مرتعی علف گندمی کرک‌دار (*Agropyron trichophorum*) از قبیله Poideae، زیر خانواده Triticeae و خانواده گندمیان (*Gramineae*) است (۲۶). گیاهی چندساله و پایا است که بن‌رونده و پخش دارد. برگ‌های این گیاه تخت و دارای رگبرگ‌های مشخص هستند. زبانک برگ‌ها کوتاه و با انتهای پخ است (۱۵). این گیاه جزء علف گندمیان مهم مراتع نیمه‌استپی ایران است (۲۵). در مناطقی با بارندگی حدود ۳۵۰ میلی‌متر رشد می‌کند و حداقل بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر را نیز تحمل می‌کند. عملکرد علوفه این گونه وابسته به بارندگی سالانه و توزیع آن می‌باشد (۱۱). علف پشمکی بانام علمی *Bromus tomentellus* از قبیله Bromeae، زیر خانواده Poideae و خانواده گندمیان (*Gramineae*) است (۲۶). گیاهی چندساله و پایا است که هر دو سطح برگ آن دارای کرک‌های سفید و انبوه است. این گونه دارای ریشه‌های قوی و برگ‌های فراوان می‌باشد و به‌خوبی سطح خاک را می‌پوشاند. حضور این گونه در جهان محدود به نواحی غربی قاره آسیا گردیده و انتشار آن در ایران در مناطق جغرافیایی گیاهی ایران در فلور ایران و تورانی، در مناطق رویش نیمه استپی تا پیرامون استپی و جنگل‌های خشک از ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۳۴۰۰ متر عنوان شده است (۲۸). این گونه در اراضی صخره‌سنگی به‌راحتی استقرار یافته و ریشه آن بدون هیچ محدودیت فعالیت می‌نماید (۴). در استان اصفهان

به کوهستان بیشتر و یک‌دست‌تر است (۱۴). در مطالعه موردی مشاهده گردید که در شدت‌های مختلف چرای دام بایومس اندام‌های هوایی و زیرزمینی این گونه کاهش یافت (۲۰). در مطالعه موردی دیگر عملکرد این گونه در کشت مخلوط پاییزه و بهاره با یونجه در فریدون‌شهر اصفهان بیشتر از کشت خالص بود (۵). هر دو گونه از گیاهان با روش فتوسنتزی C_3 هستند و نقش عمده‌ای در تأمین علوفه مراتع کشور دارند (شکل ۱).

این‌گونه از ارتفاع حدود ۱۹۰۰ متر تا ۳۷۰۰ متر منطقه رویشی نیمه‌استپی شهرستان‌های فریدن، فریدون‌شهر، سمیرم و خوانسار دیده می‌شود. میزان بارندگی در مناطق پراکنش آن معمولاً از حدود ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر است. در صورت وجود میکروکلیمای مناسب، ارتفاع حضور و میزان بارندگی موردنیاز تا حدودی کاهش می‌یابد. این‌گونه در اکثر انواع واحدهای اراضی از جمله کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها و دشت‌های دامنه‌ای حضور دارد. تراکم آن در دشت نسبت



شکل ۱: گونه‌های مورد مطالعه

سمت چپ: *Bromus tomentellus* و سمت راست: *Agropyron trichophorum*

فریدون‌شهر در چهار ماه مورد بررسی در حال حاضر و آینده اقلیمی) به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار و در چهار آزمایش جداگانه: محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید معمول یا 380 میکرومول بر مول و دمای معمول (میانگین 20 ± 5 درجه سلسیوس)؛ محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید معمول یا 380 میکرومول بر مول و دمای افزایش یافته (میانگین 25 ± 5 درجه سلسیوس)؛ محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید افزایش یافته یا 700 میکرومول بر مول و دمای معمول (میانگین 20 ± 5 درجه سلسیوس)؛ و محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید افزایش یافته یا 700 میکرومول بر مول و دمای افزایش یافته (میانگین 25 ± 5 درجه سلسیوس)؛ در بهار سال ۱۳۹۳ و در واحد پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به اجرا در آمد.

با توجه به همزمانی احتمالی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محیط با تنش کمبود رطوبت خاک و دما در تولید گونه‌های علف گندمی کرکدار و علف پشمکی، این مطالعه به عنوان گامی مقدماتی به منظور (الف) ارزیابی پاسخ بیوشیمیایی گونه‌های مورد مطالعه به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محیط، (ب) مقایسه نحوه این پاسخ در شرایط معمول و افزایش یافته دما و همچنین در شرایط عدم تنش و تنش کمبود رطوبت خاک (پ) تعیین گونه‌ی مرتعی مقاوم نسبت به شرایط محیطی در آینده‌ی اقلیمی کشور طراحی و در شرایط آزمایشگاه اجرا شد.

مواد و روش

محل و نحوه اجرای آزمایش

در این آزمایش گلدانی، دو گونه مرتعی (*Bromus tomentellus* و *Agropyron trichophorum*) در دو سطح تیمار کمبود آب (میانگین ده ساله بارش روزانه ایستگاه

نحوه اعمال تیمارها

به صورت هر سه روز یک‌بار انجام شد. شایان ذکر است که در این مطالعه از بین پارامترهای رژیم بارندگی فقط میزان بارندگی مد نظر قرار گرفت و توزیع بارندگی به علت مشکلات اجرایی و پارامترهای مدت و شدت بارش به علت نبود اطلاعات در نظر گرفته نشد.

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزی‌نگی

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، با استفاده از دستگاه پرومتر (Leaf porometer model SC-1) در ساعات ۹ تا ۱۱ صبح در یک روز آفتابی و بدون ابر انجام شد، به این صورت که برگ درون اتاقک اندازه‌گیری، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ به طرف بالا قرار گیرد، تا نور کافی دریافت کند. سپس صفت هدایت روزنه‌ای براساس میلی مول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)، گزارش گردید. همچنین جهت اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی از دستگاه کلروفیل سنج (Hansatech-model CL-01) استفاده شد. برای این منظور ابتدا پس از روشن کردن دستگاه یک بار آن را بدون قرار دادن برگ در محفظه‌ی برگ قرائت نموده تا دستگاه کالیبره شود، سپس کار قرائت را از ۳ نقطه از هر برگ انجام و بعد میانگین سه نقطه به عنوان شاخص سبزی‌نگی آن برگ گزارش شد. از هر پایه سه نمونه برداشت و میانگین سه تکرار به عنوان معیار مقایسه مد نظر قرار گرفت.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچتن چالر با اعمال تغییراتی در آن استفاده شد (۲۳). در نهایت میزان کلروفیل a, b، و کاروتنوئید برحسب میلی گرم در گرم وزن تر برگ از فرمول‌های زیر بدست آمد.

$$\text{Ca} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = (12.25 \times A663.2) - (2.79 \times A646.8)$$

$$\text{Cb} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = (21.50 \times A646.8) - (5.10 \times A663.2)$$

$$\text{Carot} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{((1000 \times A470) - (1/82 \times \text{Ca}) - (85.02 \times \text{Cb}))}{198}$$

$$\text{Chl} - a \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \left[\frac{\text{Ca} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{weight}(\text{g})} \right] \times \left[\frac{10(\text{ml})}{1000} \right]$$

$$\text{Chl} - b \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \left[\frac{\text{Cb} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{weight}(\text{g})} \right] \times \left[\frac{10(\text{ml})}{1000} \right]$$

$$\text{Carot} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \left[\frac{\text{Carot} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{weight}(\text{g})} \right] \times \left[\frac{10(\text{ml})}{1000} \right]$$

در این پژوهش یک بوته از هر یک از گونه‌های مورد مطالعه در زمان خواب زمستانی (اوایل زمستان ۱۳۹۲) به همراه خاک موردنیاز کشت از مراتع فریدون‌شهر اصفهان جمع‌آوری شد و بلافاصله به‌وسیله تکثیر غیرجنسی (تقسیم ریشه و استفاده از ریزوم) به تعداد موردنظر (از هر گونه ۳۲ گلدان) رسید. این کار برای جلوگیری از تأثیر ژنوتیپ پایه‌ها بر نتایج حاصل از تیمارها انجام شد. پس از تکثیر پایه‌ها، آن‌ها در گلدان‌هایی به قطر دهانه ۱۸ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر کشت شده و به گلخانه منتقل گردیدند تا پس از استقرار کامل پایه‌ها در گلدان، اعمال تیمارهای آزمایش آغاز گردد. برای انجام این آزمایش چهار اتاقک کاملاً مجزا در نظر گرفته شد. تیمار دما و دی‌اکسید کربن به وسیله استفاده از حسگرهای مخصوص در هر یک از چهار محیط فوق‌الذکر اعمال شدند و سایر عوامل محیطی مانند نور، تهویه و رطوبت نسبی در اتاقک‌ها یکسان بود. به این منظور از اتصال کپسول حاوی دی‌اکسید کربن به یک سیستم کاملاً خودکار که مجهز به یک حسگر دی‌اکسید کربن و یک کلید متصل به شیر خودکار برقی بود، برای تیمار ۷۰۰ میکرومول بر مول استفاده شد. همچنین ترمومتر متصل به پد خنک‌کننده برای تثبیت دما در محدوده مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت.

جهت اعمال تیمار رطوبتی، میانگین درازمدت (۱۰ ساله) بارش در فصل رویش فعال (ابتدای فروردین تا انتهای خرداد) در منطقه برداشت پایه‌های گیاهی، به‌عنوان مقدار رطوبت اعمال‌شده در تیمار شاهد و میزان بارش در سال ۲۰۸۰ (بر مبنای سناریوی A2 ارائه‌شده توسط هیئت بین‌دول تغییر اقلیم و مدل گردش عمومی جو HadCM3) به عنوان تیمار کمبود رطوبت در نظر گرفته شد.

میزان بارندگی از ۱۵ اسفندماه تا ۲۵ خردادماه، در تیمار شاهد ۱۶۴/۷ میلی‌متر (۴۴۷۱ میلی‌لیتر در هر گلدان) و در تیمار کمبود بارش ۱۳۲/۹ میلی‌متر (۲۳۵۲ میلی‌لیتر در هر گلدان) در نظر گرفته شد. نظر به دشواری‌های اعمال همه روزه‌ی آبیاری از یک سو و احتمال نابودی گیاه با توجه به تفاوت‌های بنیادین سیستم هیدرولوژیکی طبیعت و گلخانه از سوی دیگر، آبیاری گلدان‌های موجود در گروه‌های شاهد و تیمار کمبود بارش

اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک

از وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه به‌عنوان معیاری برای تعیین عملکرد گیاه استفاده شد؛ بدین منظور اندام‌های هوایی تر گیاه پس از جداسازی، ابتدا به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۰ درجه‌ی سلسیوس در داخل آون (دستگاه خشک‌کن) قرار داده شدند و سپس با ترازوی دیجیتال توزین گردیدند.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون بارتلت برای بررسی متجانس بودن واریانس‌های خطا انجام شد و فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین واریانس خطاها در چهار محیط جداگانه رد نشد، لذا با توجه به یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی تجزیه واریانس مرکب به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لیون بررسی شد. برای بررسی وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین اثر عوامل محیطی بر حضور و عدم حضور گونه *L. vulgare* از آزمون *t* مستقل استفاده شد و میانگین پارامترهای مورد بررسی در این دو گروه مکان باهم مقایسه شدند. سپس برای تعیین درجه اهمیت متغیرهای اندازه‌گیری شده در انتشار و پراکنش گونه مورد مطالعه و نیز تایید گروه‌بندی مکان‌های نمونه‌برداری، از آنالیز تشخیص برای متغیرهای پستی و بلندی، اقلیم و خاک استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزی‌نگی برگ، غلظت کلروفیل *b* و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و غلظت کلروفیل *a* در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). ولی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر غلظت کارتنوئید از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱). با افزایش غلظت

دی‌اکسید کربن (از ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول) میانگین شاخص سبزی‌نگی برگ (۳۶/۵)، غلظت کلروفیل *a* (۲۷/۱)، غلظت کلروفیل *b* (۵۴/۹) و وزن خشک اندام‌هوائی (۲۳/۴) درصد نسبت به شاهد، افزایش یافت ولی هدایت روزنه‌ای ۳۳/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۲).

تأثیرافزایش دما بر هدایت روزنه‌ای برگ، غلظت کلروفیل *a* و غلظت کلروفیل *b* در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی بر شاخص سبزی‌نگی و غلظت کارتنوئید از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱). با افزایش دمای محیط (از ۲۰ به ۲۵ درجه‌ی سلسیوس) میانگین هدایت روزنه‌ای (۱۳/۵)، غلظت کلروفیل *a* (۴۴/۷)، غلظت کلروفیل *b* (۴۴/۲) و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۵) درصد نسبت به مقدار شاهد، کاهش یافت (جدول ۲).

تأثیر الگوی رطوبت خاک بر صفات هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزی‌نگی برگ، غلظت کلروفیل *a*، غلظت کلروفیل *b*، غلظت کارتنوئید و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). میانگین هدایت روزنه‌ای (۴۱)، شاخص سبزی‌نگی (۳۲/۹)، غلظت کلروفیل *a* (۵۶/۷)، غلظت کلروفیل *b* (۵۴/۸)، غلظت کارتنوئید (۴۷) و وزن خشک اندام هوایی (۳۶/۹) درصد تحت شرایط تنش رطوبتی نسبت به عدم تنش، کاهش یافت (جدول ۲).

تفاوت گونه‌های مورد مطالعه از نظر صفات هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزی‌نگی، غلظت کلروفیل *b*، غلظت کارتنوئید و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد ولی از نظر غلظت کلروفیل *a* در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). به طوری که میانگین هدایت روزنه‌ای در گونه *Bromus tomentellus* ۳۷/۵ درصد بیشتر از گونه *Agropyron trichophorum* بود ولی میانگین شاخص سبزی‌نگی (۱۹/۶)، غلظت کلروفیل *a* (۱۰/۴)، غلظت کلروفیل *b* (۱۸/۱)، غلظت کارتنوئید (۱۱/۹) و وزن خشک اندام هوایی (۴۴/۱) درصد در گونه *Agropyron trichophorum* بیشتر از گونه *Bromus tomentellus* بود (جدول ۲).

جدول ۱: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر صفات هدایت روزنه‌ای (میلی مول آب بر مترمربع بر ثانیه)، شاخص سبزیگی (عدد کلروفیل متر) و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی (میلی گرم بر گرم وزن تر) دوگونه‌ی مرتعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	شاخص سبزیگی (اسپد)	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنویید	ماده‌ی خشک
CO ₂	۱	۵۲۱۸**	۳۹۲**	۰/۹۸*	۰/۷۳۹**	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۱۳۵**
دما	۱	۱۳۷۱**	۲۳/۴ ^{NS}	۵/۴۴**	۱/۲۸**	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۲۴۳**
دما * CO ₂	۱	۹/۸۴ ^{NS}	۴۴/۳ ^{NS}	۰/۵۳۴ ^{NS}	۰/۲۰۷*	۰/۰۰۶ ^{NS}	۰/۰۶۳*
تکرار (CO ₂ *دما)	۱۲	۶۶/۶	۲۴/۱	۰/۱۹۱	۰/۰۴۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲
خشکی	۱	۱۷۰۴۰**	۶۴۴**	۱۰/۱**	۲/۲۸**	۰/۳۷۴**	۰/۷**
گونه	۱	۶۴۱۴**	۱۳۶**	۰/۱۸۵*	۰/۱۱**	۰/۰۱۲**	۰/۴۴۸**
گونه * خشکی	۱	۱۰۳۳**	۱۸/۱*	۰/۸۳**	۰/۰۵۳ ^{NS}	۰/۰۶۱**	۰/۰۵۷**
گونه*CO ₂	۱	۱۹۶*	۶۵/۵**	۰/۳۷۶**	۰/۰۴۱ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۸*
گونه*دما	۱	۱۰/۱ ^{NS}	۷۲/۶**	۰/۱۴۱ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۹۲**	۰/۰۰۳ ^{NS}
خشکی*CO ₂	۱	۷/۴۹ ^{NS}	۰/۷۳۵ ^{NS}	۰/۰۲۷ ^{NS}	۰/۰۰۶ ^{NS}	۰/۰۲۲**	۰/۰۳**
خشکی*دما	۱	۷۶/۳ ^{NS}	۰/۷۵۶ ^{NS}	۰/۶۶۸**	۰/۱۸**	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۳**
CO ₂ *دما*خشکی	۱	۴۷/۱ ^{NS}	۱/۳۱ ^{NS}	۰/۰۷۸ ^{NS}	۰/۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۱۳**
CO ₂ *گونه*خشکی	۱	۲۸/۴ ^{NS}	۰/۲۵۲ ^{NS}	۰/۰۷۷ ^{NS}	۰/۰۴۶ ^{NS}	۰/۰۱۲**	۰/۰۲**
دما*خشکی*گونه	۱	۷/۰۸ ^{NS}	۰/۰۸۴ ^{NS}	۰/۳۶۳**	۰/۰۶۳*	۰/۰۰۹*	۰/۰۱۳**
CO ₂ *دما*گونه	۱	۳۲۴*	۹/۲۵ ^{NS}	۱/۱۹**	۰/۳۲۵**	۰/۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۹**
خطا	۳۶	۴۴/۸	۳/۲	۰/۰۳۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (/)	-	۱۰/۵	۱۱	۱۹	۲۳/۴	۱۵/۹	۹/۲۵

*، **، NS: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار

روزنه‌ای تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. درحالی که در شرایط غنی شده دی‌اکسید کربن (۷۰۰ میکرومول بر مول)، میانگین غلظت کلروفیل a (۵۴/۹) و کلروفیل b (۵۴/۳) درصد در دمای افزایش یافته نسبت به شرایط معمول دما در گونه *Agropyron trichophorum* و میانگین هدایت روزنه‌ای (۱۸/۹)، غلظت کلروفیل a (۴۴/۹) و غلظت کلروفیل b (۴۲/۶) درصد در گونه *Bromus tomentellus* کاهش یافت ولی در میانگین هدایت روزنه‌ای گونه *Agropyron trichophorum* تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

برهم‌کنش اثرات سه‌گانه دی‌اکسید کربن، دما و نوع گونه بر صفات غلظت کلروفیل a و غلظت کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد ولی بر صفت هدایت روزنه‌ای، در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). در شرایط غلظت معمول *Agropyron trichophorum* دی‌اکسید کربن (۳۸۰ میکرومول بر مول)، میانگین غلظت کلروفیل a و کلروفیل b در دمای افزایش یافته نسبت به شرایط معمول دما در گونه‌ی تغییر معنی‌داری نیافت اما هدایت روزنه‌ای ۱۹/۳ درصد کاهش یافت. در گونه بروموس تومنتلوس، میانگین غلظت کلروفیل a (۵۸/۹) و غلظت کلروفیل b (۵۷/۴) درصد کاهش یافت ولی در هدایت

جدول ۲: مقایسه میانگین صفات هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر مترمربع در ثانیه)، شاخص سبزیگی (عدد کلروفیل متر)، رنگیزه‌های فتوسنتزی (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) دوگونه‌ی مرتعی مورد مطالعه تحت تاثیر غلظت دی‌اکسید کربن، دما و الگوی رطوبت

عامل آزمایشی	هدایت روزنه‌ای	شاخص سبزیگی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	ماده‌ی خشک
دی‌اکسید کربن (میکرومول بر مول)						
۳۸۰	۷۲/۳ ^a	۱۳/۷ ^b	۰/۸۸۱ ^b	۰/۳۹۱ ^b	۰/۲۴۱ ^a	۰/۴۱۳ ^b
۷۰۰	۵۴/۳ ^b	۱۸/۷ ^a	۱/۱۲ ^a	۰/۶۰۶ ^a	۰/۳۵۷ ^a	۰/۵۱ ^a
LSD _۵	۴/۴۴	۲/۶۷	۰/۲۳۸	۰/۱۱۲	۰/۰۳۱	۰/۰۵۹
دما						
معمول	۶۷/۹ ^a	۱۶/۸ ^a	۱/۲۹ ^a	۰/۶۴ ^a	۰/۳۵۶ ^a	۰/۵۲۳ ^a
افزایش یافته	۵۸/۷ ^b	۱۵/۶ ^a	۰/۷۱۳ ^b	۰/۳۵۷ ^b	۰/۲۴۳ ^a	۰/۴ ^b
LSD _۵	۴/۴۴	۲/۶۷	۰/۲۳۸	۰/۱۱۲	۰/۰۳۱	۰/۰۵۹
الگوی رطوبت						
عدم تنش	۷۹/۶ ^a	۱۹/۴ ^a	۱/۴ ^a	۰/۶۸۷ ^a	۰/۳۲۶ ^a	۰/۵۶۶ ^a
تنش کمبود رطوبت	۴۷ ^b	۱۳ ^b	۰/۶۰۶ ^b	۰/۳۱ ^b	۰/۱۷۳ ^b	۰/۳۵۷ ^b
LSD _۵	۳/۳۹	۰/۹۰۷	۰/۰۹۶	۰/۰۵۹	۰/۰۲	۰/۰۲۱
گونه						
آگروپایرون تریکوفرم	۵۳/۳ ^b	۱۷/۷ ^a	۱/۰۵ ^a	۰/۵۴ ^a	۰/۳۶۳ ^a	۰/۵۴۵ ^a
بروموس تومنلوس	۷۳/۳ ^a	۱۴/۸ ^b	۰/۹۵۱ ^b	۰/۴۵۷ ^b	۰/۳۳۵ ^b	۰/۳۷۸ ^b
LSD _۵	۳/۳۹	۰/۹۰۷	۰/۰۹۶	۰/۰۵۹	۰/۰۲	۰/۰۲۱

در هر ستون و برای هر صفت تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۳: برهمکنش دی‌اکسید کربن، دما و نوع گونه بر هدایت روزنه‌ای و غلظت کلروفیل a و b

غلظت دی‌اکسید کربن (میکرومول بر مول)	گونه‌ی گیاهی	هدایت روزنه‌ای (میلی مول آب بر متر مربع بر ثانیه)		غلظت کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)		غلظت کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	
		معمول	افزایش یافته	معمول	افزایش یافته	معمول	افزایش یافته
۳۸۰	بروموس	۸۳/۸ ^a	۷۷/۴ ^{ab}	۱/۲۷ ^b	۰/۵۰۹ ^d	۰/۵۲۶ ^{bc}	۰/۲۲۴ ^d
۳۸۰	آگروپایرون	۷۰/۹ ^b	۵۷/۳ ^c	۰/۸۸۶ ^c	۰/۸۵۳ ^c	۰/۴۲۶ ^c	۰/۳۸۹ ^c
۷۰۰	بروموس	۷۲/۹ ^b	۵۹/۱ ^c	۱/۳ ^b	۰/۷۱۶ ^{cd}	۰/۶۸۵ ^b	۰/۳۹۳ ^c
۷۰۰	آگروپایرون	۴۴/۱ ^d	۴۰/۹ ^d	۱/۷۲ ^a	۰/۷۷۵ ^{cd}	۰/۹۲۵ ^a	۰/۴۲۳ ^c

برای هر صفت تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

درحالی که در شرایط غنی‌شده دی‌اکسید کربن (۷۰۰ میکرومول بر مول)، غلظت کارتنوئید در تیمار تنش کمبود رطوبت خاک نسبت به عدم تنش رطوبت در گونه *Agropyron trichophorum* ۴۵/۹ درصد و در گونه *Bromus tomentellus* ۶۱/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

برهمکنش اثرات سه‌گانه‌ی غلظت دی‌اکسید کربن، الگوی رطوبتی خاک و نوع گونه بر غلظت کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط معمول دی‌اکسید کربن (۳۸۰ میکرومول بر مول)، غلظت کارتنوئید در تیمار تنش کمبود رطوبت خاک نسبت به عدم تنش رطوبت در گونه *Agropyron trichophorum* ۹ درصد و در گونه *Bromus tomentellus* ۶۳/۷ درصد کاهش یافت.

جدول ۴: برهمکنش دی‌اکسید کربن، الگوی رطوبت خاک و نوع گونه بر غلظت کاروتنوئید دو گونه مورد مطالعه

غلظت دی‌اکسید کربن (میکرومول بر مول)				گونه‌ی گیاهی
۷۰۰		۳۸۰		
تنش رطوبت	عدم تنش رطوبت	تنش رطوبت	عدم تنش رطوبت	
۰/۱۸۵ ^d	۰/۳۴۳ ^a	۰/۳۵ ^c	۰/۳۷۵ ^{bc}	آگروپایرون تریکوفرم
۰/۱۳۹ ^{de}	۰/۳۶۴ ^a	۰/۱۱۷ ^e	۰/۳۲۳ ^{ab}	بروموس تومنلوس

تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد

tomentellus ۳۲/۲- درصد تغییر یافت. درحالی که در شرایط غنی شده دی‌اکسید کربن (۷۰۰ میکرومول بر مول)، میانگین وزن خشک اندام هوایی در دمای افزایش یافته نسبت به شرایط معمول دما در گونه *Agropyron Bromus* ۳۲/۸- درصد و در گونه *tomentellus* ۲۰/۱- درصد تغییر یافت (جدول ۵).

برهمکنش اثرات سه‌گانه غلظت دی‌اکسید کربن، دما و نوع گونه بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط غلظت معمول دی‌اکسید کربن (۳۸۰ میکرومول بر مول)، میانگین وزن خشک اندام هوایی در دمای افزایش یافته (۲۵ درجه سلسیوس) نسبت به شرایط معمول دما (۲۰ درجه سلسیوس) در گونه *Agropyron trichophorum* تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ولی در گونه *Bromus*

جدول ۵: برهمکنش دی‌اکسید کربن، دما و نوع گونه بر وزن خشک اندام هوایی دو گونه مورد مطالعه

غلظت دی‌اکسید کربن (میکرومول بر مول)				گونه‌ی گیاهی
۷۰۰		۳۸۰		
دمای افزایش یافته	دمای معمول	دمای افزایش یافته	دمای معمول	
۰/۴۴۵ ^{cd}	۰/۷۲ ^a	۰/۵۰۹ ^b	۰/۵۰۷ ^b	آگروپایرون تریکوفرم
۰/۳۸۹ ^{de}	۰/۴۸۷ ^{bc}	۰/۲۵۶ ^f	۰/۳۷۸ ^e	بروموس تومنلوس

تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزی‌نگی (عدد کلروفیل‌متر)

با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (از سطح ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول) شاخص سبزی‌نگی برگ ۳۶/۵ درصد نسبت به شاهد، افزایش یافت ولی هدایت روزنه‌ای ۳۳/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۲). در مطالعه زو (۲۰۱۵) نیز با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هدایت روزنه‌ای کاهش یافت (۳۶). شاخص سبزی‌نگی نشان‌دهنده سبزی برگ است که هرچه این عدد بیشتر باشد، رنگ برگ به‌علت محتوای کلروفیل بیشتر، تیره‌تر شده و جذب نور نیز می‌تواند بالاتر رود. از آنجا که یک رابطه مثبت بین محتوای کلروفیل و جذب نور و میزان فتوسنتز در گیاهان وجود دارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، گیاه برای اینکه بتواند دی‌اکسید کربن جذب شده را به ماده‌ی خشک تبدیل کند به انرژی نورانی (ATP و NADPH) بالاتری نیازمند است، پس افزایش

غلظت کلروفیل منجر به جذب نور بیشتر و تولید ماده‌ی خشک بالاتری می‌شود (۱۰).

با افزایش دمای محیط (از ۲۰ به ۲۵ درجه‌ی سلسیوس) میانگین هدایت روزنه‌ای ۱۳/۵ درصد نسبت به مقدار شاهد (۶۷/۹)، کاهش یافت (جدول ۲). در آزمایش عبدالجواد و همکاران (۲۰۱۵) بر روی دو گونه از خانواده گندمیان (*Lolium perenne* و *Poa pratensis*) و دو گونه از خانواده لگوم‌ها (*Medicago lupulina* و *Lotus corniculatus*) نیز هدایت روزنه‌ای با افزایش دمای محیط در تمامی گونه‌ها به‌شدت کاهش یافت (۱).

تحت تنش کمبود آب نسبت به عدم تنش میانگین هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزی‌نگی به‌ترتیب ۴۱ و ۳۲/۹ درصد کاهش یافت (جدول ۲). لیانگ و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه خود بر روی گندم (*Triticum aestivum*)، به بررسی روابط بین هدایت روزنه‌ای، مصرف آب و نسبت رشد به پتانسیل آب برگ در طول خشک کردن خاک و دوره

یافت (جدول ۵). در مطالعه اکسیانو و همکاران (۲۰۰۸) نیز با اعمال تنش خشکی بر روی دو نژاد از *Populus cathayana* به مدت ۱۲ هفته و در شرایط گلخانه‌ای دریافتند که دلیل کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی شدید، کندی سرعت سنتز و یا تجزیه سریع کلروفیل است (۳۵). محسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و مولکولی *lagopoides Aeluropus* به کمبود آب کاهش ۵۰ درصدی غلظت کلروفیل b تحت تنش خشکی در این گیاه را گزارش کردند (۲۷). دیانتی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه *Cymbopogon olivieri* نشان دادند که در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش یافت (۱۲). نتو و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات متابولیکی را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این محققان گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود (۳۰). همچنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی را در پی داشت. کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (۲، ۶، ۷ و ۳۷). خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. در اثر خشکی تشکیل پلاستیدهای جدید، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتن کاهش یافته و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می‌یابد (۱۹).

غلظت کاروتنوئید

تأثیرافزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر غلظت کاروتنوئید از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۴). در آزمایش چن و همکاران (۲۰۱۴) نیز بر روی گیاه برنج با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا ۲۰۰ میکرومول بر مول نسبت به غلظت کنونی، غلظت کاروتنوئیدها تحت تأثیر دی‌اکسید کربن قرار نگرفت (۹). تحت تنش کمبود رطوبت نسبت به عدم تنش میانگین غلظت کاروتنوئید، ۴۷ درصد کاهش یافت (جدول ۵). نتو و همکاران (۲۰۰۹)، تغییرات متابولیکی را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این محققان گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش

آبیاری مجدد پرداخته و بیان کردند که هدایت روزنه‌ای گندم به طور پیوسته با کاهش روزانه‌ی پتانسیل آب خاک و برگ طی خشک کردن خاک، کاهش می‌یابد. ایشان اظهار داشتند که علت کاهش هدایت روزنه بسته شدن روزنه‌ها به منظور کاهش تعرق و هدر رفت آب می‌باشد (۲۲). اخوان ارمکی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی سه گونه‌ی بروموس در شرایط گلخانه نتیجه گرفتند که شاخص سبزینگی طی تنش خشکی کاهش یافت. به طوری که در سطح پتانسیل اسمزی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شرایط کنترل (ظرفیت زراعی) ۷/۷۴ درصد کاهش یافت (۳). در مطالعه ممنوعی و همکاران (۲۰۱۰) بر روی شش رقم جو (*Hordeum vulgare* L) نیز، تنش خشکی موجب کاهش مقدار کلروفیل (عدد اسپد) گردید (۲۴). کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط کمبود آب را به کاهش پایداری غشاء کلروپلاست و تخریب پروتئین‌ها نسبت داده اند (۳۱).

غلظت کلروفیل a و b

با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (از ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول)، به ترتیب میانگین غلظت کلروفیل a و b، ۲۷/۱ و ۵۴/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۵). کمالی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعه خود نشان دادند که غلظت دی‌اکسید کربن منجر به افزایش میانگین مقادیر کلروفیل شد، به طوری که میزان کلروفیل از ۲۷/۹ در شرایط شاهد دی‌اکسید کربن به ۲۹/۹ در هنگام اعمال تیمار رسید (۲۱).

با افزایش دمای محیط (از ۲۰ به ۲۵ درجه‌ی سلسیوس) به ترتیب میانگین غلظت کلروفیل a و b، ۴۴/۷ و ۴۴/۲ درصد نسبت به مقدار شاهد کاهش یافت (جدول ۵). در آزمایش شانموگان و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش دمای محیط (بیشتر از ۴۰ درجه) باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ در گندم شد (۳۴). ایفوگلو و تریزوگلو (۲۰۰۹) با اعمال تیمار حرارتی روی چند واریته گندم به این نتیجه رسیدند که در تمامی واریته‌های مورد مطالعه‌شان، مقدار کلروفیل در اثر دمای بیشتر کاهش پیدا کرده است (۱۳).

تحت تنش کمبود آب نسبت به عدم تنش میانگین غلظت کلروفیل a و b به ترتیب ۵۶/۷ و ۵۴/۸ درصد کاهش

که در اثر افزایش تنش خشکی وزن خشک گیاهچه به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (۱۸).

آنچه مسلم است گیاهان در پاسخ به مولفه‌های تغییر اقلیم واکنش‌های مختلفی از خود نشان خواهند داد، که این واکنش‌ها در رابطه با تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه خواهد بود. به‌طوری‌که در این مطالعه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول صفات شاخص سبزیگی (۳۶/۵)، غلظت کلروفیل a (۲۷/۱)، غلظت کلروفیل b (۵۴/۹) و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۴) درصد افزایش یافت ولی هدایت روزنه‌ای ۳۳/۱ درصد کاهش یافت. در اثر افزایش دمای محیط از ۲۰ به ۲۵ درجه سلسیوس هدایت روزنه‌ای (۱۳/۵)، غلظت کلروفیل a (۴۴/۷)، غلظت کلروفیل b (۴۴/۲) و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۵) درصد کاهش یافت ولی تاثیر دما بر شاخص سبزیگی و غلظت کارتنوئید معنی‌دار نبود. در اثر تنش کمبود رطوبت خاک، هدایت روزنه‌ای (۴۱)، شاخص سبزیگی (۳۲/۹)، غلظت کلروفیل a (۵۶/۷)، غلظت کلروفیل b (۵۴/۸)، غلظت کارتنوئید (۴۷) و وزن خشک اندام هوایی (۳۶/۹) درصد کاهش یافت.

تفاوت گونه‌های مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود، به‌طوری‌که میانگین صفات شاخص سبزیگی، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و عملکرد ماده‌ی خشک گونه *Agropyron trichophorum* بیشتر از گونه *Bromus tomentellus* بود.

به عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان گفت که در شرایطی که هر سه عامل اقلیمی مورد بررسی با شرایط پیش‌بینی شده در سناریوی A2 برای سال ۲۰۸۰ تغییر کنند، گونه آگروپایرون تریکوفوروم به دلیل عکس‌العمل مثبتی که به افزایش CO₂ نشان می‌دهد و به دلیل جبران اثرات منفی افزایش دما و کاهش رطوبت، از عملکرد بهتری نسبت به گونه *Bromus tomentellus* برخوردار خواهد بود.

تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش ساخت کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود. همچنین اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی را در پی داشت (۳۰).

وزن خشک اندام هوایی

با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (از ۳۸۰ به ۷۰۰ میکرومول بر مول)، میانگین وزن خشک اندام‌هوائی ۲۳/۴ درصد نسبت به شاهد (۰/۴۱۳ گرم تک پایه)، افزایش یافت (جدول ۵). ژو (۲۰۱۵) گزارش کرد که تاثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر رشد گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) بسیار قابل توجه بود به‌طوری‌که در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (از ۴۰۰ به ۸۰۰ میکرومول بر مول) وزن اندام هوایی ۷۸/۳ درصد افزایش یافت (۳۶). در شرایط غنی‌شده‌ی دی‌اکسید کربن افزایش فتوسنتز به دلیل کاهش فعالیت‌های بازدارندگی اکسیژن بر فتوسنتز می‌باشد که منجر به بهبود عملکرد گیاه می‌شود.

با افزایش دمای محیط (از ۲۰ به ۲۵ درجه‌ی سلسیوس) میانگین وزن خشک اندام هوایی ۲۳/۵ درصد نسبت به مقدار شاهد (۰/۵۲۳ گرم)، کاهش یافت (جدول ۵). با افزایش درجه حرارت در گیاهان C₃ سردسیری میل ترکیبی آنزیم رابیسکو با اکسیژن در مقایسه با دی‌اکسید کربن افزایش یافته و سبب افزایش تنفس نوری و کاهش تولید فتوسنتز خالص در این گیاهان می‌شود (۳۲). تحت شرایط تنش رطوبتی نسبت به عدم تنش میانگین وزن خشک اندام هوایی، ۳۶/۹ درصد کاهش یافت (جدول ۵). عبدالجواد و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر دی‌اکسید کربن، دمای بالا و تنش خشکی (کمبود آب) بر روی دو گونه از خانواده گندمیان (*Poa* و *Lolium perenne*) و دو گونه از خانواده لگوم‌ها (*Medicago pratensis*) و دو گونه از خانواده لگوم‌ها (*Lotus corniculatus* و *lupulina*) نتیجه گرفتند که کمبود آب، بایومس گیاهان به‌ویژه گونه‌های خانواده لگوم را از طریق کاهش وزن خشک و سطوح وزن تر کاهش می‌دهد (۱). هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه مرتعی *Agropyron podperae* نتیجه گرفتند

References

1. AbdElgawad, H., E.R. Farfan-Vignolo., D. de Vos & H. Asard, 2015. Elevated CO₂ mitigates drought and temperature-induced oxidative stress differently in grasses and legumes. *Plant Science*, 231(1-10).
2. Ahmadi, A & D.A. Beykar., 2000. Stomatal and non-stomatal factors limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant, *Iranian Journal of Agriculture Science*, 31(4): 813 -825. (In persian)
3. Armaki, M. A., M. Hashemi & H. Azarnivand, 2013. Physiological and morphological responses of three *Bromus* species to drought stress at seedling stage and grown under germinator and greenhouse conditions. *African Journal of Plant Science*, 7(5): 155-161.
4. Amiri, F., S.J. Khajeddin & K. Mokhtari, 2007. Environmental factors affecting the establishment of Bromes using ordination method, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, No. 44, pages 347-356. (In persian).
5. Barati, S., M. Basiri., M.R. Vahabi., M.R. Mesdaghi & M. Tarkesh, 2014. Evaluating the performance of *Medicago sativa* L and *Bromus tomentellus* Boiss in pure and mixed cropping. *Rangeland*, 8(4):318-327. (In persian)
6. Behera, R. K., P. C. Mishra & N. K. Choudhury, 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of plant physiology*, 159(9): 967-973.
7. Castrillo, M. & A. Calcagno., 1989. Effects of water stress and rewatering on ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. *Journal of horticultural Science*, 4:34-54.
8. Change, I.P.O.C., 2007. Climate change 2007: The physical science basis. *Agenda*, 6(7): 333-335.
9. Chen, C. P., H. Sakai., T. Tokida., Y. Usui., H. Nakamura & T. Hasegawa, 2014. Do the rich always become richer? Characterizing the leaf physiological response of the high-yielding rice cultivar Takanari to free-air CO₂ enrichment. *Plant Cell Physiology*, 55(2): 381-91.
10. Croonenborghs, S., J. Ceusters., E. Londers & M. De Proft, 2009. Effects of elevated CO₂ on growth and morphological characteristics of ornamental bromeliads. *Scientia horticultrae*, 121(2): 192-198.
11. Daniel, G.O., S.J. Loren & B.J. Kevin, 2003. Intermediate Wheatgrass (*Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & Dewey, D.R.), *Plant Guide*. United States Department of Agriculture.
12. Dianati Tilaki, G., A. Pichsnd & E. Sadati, 2015. Effect of drought stress and seed priming on some morphological, physiological and biochemical characteristics in *Cymbopogon olivieri* (Boiss) Bor species, *Rangeland*, 10(4): 304-319. (In Persian)
13. EfeoĞLu, B. & S. TerziOĞLu., 2009. Photosynthetic responses of two wheat varieties to high temperature. *EurAsian Journal of BioSciences*, 3: 97-106.
14. Eftekhari, M., 2006. Autecology Bromes in Isfahan, Research Projects Research Center for Agriculture and Natural Resources in Isfahan province, page 9. (In Persian)
15. Ghahreman, A., 2006. Botanical Base, Volume 3, Tehran University Press, Page 782. (In Persian).
16. Ghorbani1, K., M. Zakerinia & A. Hezarjaribi, 2014. The effect of climate change on water requirement of soybean in Gorgan. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2(1): 60-72. (In Persian)
17. Goudriaan, J., 1995. Global carbon cycle and carbon sequestration, *Carbon sequestration in the biosphere*. 3-18.
18. Hashemi, M., H. Azarnivand., M.H. Assareh., A. Ashraf Jafari & A. Tavili, 2014. Effects of drought stress on the germination and growth indices germ plant three genotypes *Agropyron podperae*. *Rangeland*, 8(3): 212-218. (In Persian)
19. Heydari Sharifabad, H., 2000. Terrestrial plants and drought. *Research Institute of Forests and Range*, 87-102. (In Persian)
20. Jonaydi Jafari, H., S. Amani & P. Karami, 2014. The effects of different grazing intensities on the aboveground and underground biomass in the Bijar protected area on *Bromus tomentellus* Boiss species. *Rangeland*, 8(2): 116-126. (In Persian)

21. Kamali, M., M. Shoor., M. Goldani., Y. Selahvarzi & A. Tehranifar, 2011. Interaction Effect of Irrigation with Saline water and CO₂ Enrichment on some Morphophysiological Characteristics of *Gomphrena globosa* L. Journal of Water and Soil, 25(6): 1457-1467. (In Persian)
22. Liang, Z., F. Zhang., M. Shao & J. Zhang, 2002. The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum*). Botanical Bulletin of Academia Sinica, 7:1-9.
23. Lichtenthaler, H. K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, Methods in enzymology. 148C: 350-382.
24. Mamnouie, E., R. Fotouhi Ghazvini., M. Esfahani & B. Nakhoda, 2010. The effects of water deficit on crop yield and the physiological characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. Journal of Agricultural Science and Technology, 7:34-45.
25. Mesdaghi, M., 2010. Range management in Iran., Sixth Edition, Emam Reza University Press. (In Persian)
26. Moghimi, J., 2005. The introduction of some important species pasture for the development and improvement of rangelands Iran, *Press office of the pasture of Forest*, Rangeland and Watershed Tehran. (In Persian)
27. Mohsenzadeh, S., M. Malboobi., K. Razavi & S. Farrahi-Aschtiani, 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit, Environmental and Experimental Botany, 56(3): 314-322.
28. Mozaffarian, V., 1998. Culture names of plants, Contemporary Culture Press, page 600. (In Persian)
29. Nakano, H., A. Makino & T. Mae, 1997. The effect of elevated partial pressures of CO₂ on the relationship between photosynthetic capacity and N content in rice leaves. Plant physiology, 115(1): 191-198.
30. Oliveira Neto, C.F., A.K.S. Lobato., M.C. Gonçalves-Vidigal, R.C.L. Costa., B.G. Santos Filho., G.A.R. Alves., W. Maia., F. Cruz., H. Neves & M. Lopes, 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages, Journal of Food, Agriculture & Environment, 6:65-77.
31. Saraswathi, S.G. & K.Paliwal., 2011. Drought induced changes in growth, leaf gas exchange and biomass production in Albizia lebbeck and Cassia siamea seedlings, Journal of Environmental Biology, 8:76-98.
32. Sarmadnia, G. & A. Kochaki., 1994. Crop Physiology., Mashhad Jahad Daneshgahi Publications. (In Persian)
33. Soltani, A. & M. Gholipour., 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and wateruse of Chickpea. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 13(2):69-79. (In Persian)
34. Shanmugam, S., K.H. Kjær., C.O. Ottosen., E. Rosenqvist., D. Kumari Sharma & B. Wollenweber, 2013. The alleviating effect of elevated CO₂ on heat stress susceptibility of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science, 199(5): 340-350.
35. Xiao, X., X. Xu & F. Yang, 2008. Adaptive Responses to Progressive Drought Stress in Two *Populus cathayana* Populations.
36. Xu, M., 2015. The optimal atmospheric CO₂ concentration for the growth of winter wheat (*Triticum aestivum*), Journal of Plant Physiology, 184:89-97.
37. Yu, X., X. Du & L. Song, 2007. Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the *Rhus typhina*. Scientia Silvae Sinicae, 43(11): 57-61.