اثرات تغییر غلظت دی‌اکسید کربن، دما و رطوبت خاک بر رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دو گونه *Bromus tomentellus* Boiss و *Agropyron trichophorum* (Link) Richt

علی 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 دی اکسید 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 یک‌پایه 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 ۵±۲۰ به ۵±۲۵ درجه سلسیوس هدایت روزنه‌ای (۱۳/۵)، غلظت کلروفیل a (۴۴/۷)، غلظت کلرفیل 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 کلرفیل 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 سبزینگی، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و وزن ماده خشک گونه *Agropyron trichophorum* بیشتر از گونه *Bromus tomentellus* بود. بنابراین بر اساس شرایط پیش‌بینی‌شده در سناریوی A2 برای سال ۲۰۸۰، گونه *Agropyron trichophorum* به دلیل پاسخ مثبتی که به افزایش CO_2 نشان می‌دهد و به‌دلیل 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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

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 بین دول تغییر اقلیم (IPCC)، میانگین درجه حرارت جهان تا پایان قرن حاضر بین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و غلظت CO_2 به بیش از ۷۰۰ میکرومول بر مول خواهد رسید (۸). از مهم‌ترین دلایل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر، استفاده‌ی بی‌رویه‌ی سوخت‌های فسیلی و قطع جنگل‌ها می‌باشد (۳۳). افزایش غلظت این گاز علاوه برافزایش اثرات گلخانه‌ای ناشی از افزایش درجه حرارت، منجر به تغییر الگوهای بارندگی در مناطق مختلف شده و به نظر می‌رسد در آینده، کارکرد بوم نظام‌های 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 بیان‌شده است که افزایش غلظت CO_2 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 شانموگان و همکاران (۲۰۱۳) افزایش دمای محیط (بیشتر از ۴۰ درجه) باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ در گندم(*Triticum aestivum* L) شد (۳۴). ایفوغلو و ترزیوغلو (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 پیداکرده 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 به‌دست‌آمده است اما با توجه به عدم ورود نهاده (مانند آبیاری و ...) به مراتع 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 موردمطالعه 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 بُن رونده 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 این‌گونه 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. این‌گونه دارای ریشه‌های قوی و برگ‌های فراوان می‌باشد و به‌خوبی سطح خاک را می‌پوشاند. حضور این‌گونه 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). این‌گونه در اراضی صخره سنگی به‌راحتی استقرار یافته و ریشه آن بدون هیچ محدودیت فعالیت می‌نماید (۴). در استان اصفهان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

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 ازجمله کوه‌ها، تپه‌ها، فلات‌ها و دشت‌های دامنه‌ای حضور دارد. تراکم آن در دشت نسبت 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).

شکل ۱: گونه‌های موردمطالعه

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

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 فریدون‌شهر در چهار ماه مورد بررسی در حال حاضر و آینده اقلیمی) به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با چهار تکرار و در چهار آزمایش جداگانه: محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید معمول یا ۳۸۰ میکرومول بر مول و دمای معمول (میانگین ۵±۲۰ درجه سلسیوس)؛ محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید معمول یا ۳۸۰ میکرومول بر مول و دمای افزایش یافته (میانگین ۵±۲۵ درجه سلسیوس)؛ محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید افزایش یافته یا ۷۰۰ میکرومول بر مول و دمای معمول (میانگین ۵±۲۰ درجه سلسیوس)؛ و محیطی با غلظت کربن دی‌اکسید افزایش یافته یا ۷۰۰ میکرومول بر مول و دمای افزایش یافته (میانگین ۵±۲۵ درجه سلسیوس)؛ در بهار سال ۱۳۹۳ و در واحد پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به اجرا در آمد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

نحوه اعمال تیمارها

در این پژوهش یک بوته از هریک 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 کاملا مجزا در نظر گرفته شد. تیمار دما و دی‌اکسید کربن به وسیله استفاده از حسگرهای مخصوص در هریک 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 دی‌اکسیدکربن به یک سیستم کاملاً خودکار که مجهز به یک حسگر دی‌اکسیدکربن 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 بین دول 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 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 ۱۱صبح 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 قرارگیرد، تا نور کافی دریافت کند. سپس صفت هدایت روزنه‌ای براساس میلی مول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه ($mmol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)، گزارش گردید. همچنین جهت اندازه‌گیری شاخص سبزینگی از دستگاه کلروفیل‌سنج (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 لیچتن‌چالر با اعمال تغییراتی در آن استفاده شد (۲۳). در نهایت میزان کلروفیل a،b، و کاروتنویید برحسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ از فرمول‌های زیر بدست آمد.

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

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

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

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

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

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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک

از وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه به‌عنوان معیاری برای تعیین عملکرد گیاه استفاده شد؛ بدین منظور اندام‌های هوایی‌تر 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 کاملا 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 نرافزار 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 اندام‌هوایی (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 کاروتنوئید 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 طوری‌که 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).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

جدول ۱: میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر صفات هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه)، شاخص سبزینگی (عدد کلروفیل متر) و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) دوگونه‌ی مرتعی

منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت روزنه‌ای	شاخص سبزینگی (اسپد)	کلروفیلa	کلروفیل b	کارتنوئید	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**
CO_2* دما	۱	۹/۸۴^{ns}	۴۴/۳^{ns}	۰/۵۳۴^{ns}	۰/۲۰۷*	۰/۰۰۰۶^{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	۱۰۳۲**	۱۸/۱*	۰/۸۳**	۰/۰۵۳^{ns}	۰/۰۶۱**	۰/۰۵۷**
گونه*CO_2	۱	۱۹۶*	۶۵/۵**	۰/۲۷۶**	۰/۰۴۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۸*
گونه*دما	۱	۱۰/۱^{ns}	۷۲/۶**	۰/۱۴۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۹۲**	۰/۰۰۲^{ns}
خشکی*CO_2	۱	۷/۴۹^{ns}	۰/۷۳۵^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۰۰۶^{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}	۰/۳۶۲**	۰/۰۶۳*	۰/۰۰۹*	۰/۰۱۳**
CO_2*دما*گونه	۱	۳۲۴*	۹/۲۵^{ns}	۱/۱۹**	۰/۲۲۵**	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

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

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 روزنه‌ای تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. درحالی که در شرایط غنی‌شده 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).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

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

عامل آزمایشی	هدایت روزنه‌ای	شاخص سبزینگی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	مادهٔ 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}	۰/۲۵۷^{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}	۰/۲۵۶^{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}	۰/۲۶۳^{a}	۰/۵۴۵^{a}
بروموس تومنتلوس	۷۳/۳^{a}	۱۴/۸^{b}	۰/۹۵۱^{b}	۰/۴۵۷^{b}	۰/۲۳۵^{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 (میلی‌مول آب بر متر مربع بر ثانیه)		غلظت کلروفیل a (میلی‌گرم برگرم وزن تر)		غلظت کلروفی b (میلی‌گرم برگرم وزن تر)	
		دمای معمول	افزایش یافته	دمای معمول	افزایش یافته	دمای معمول	افزایش یافته
۳۸۰	آگروپایرون	۷۰/۹^{b}	۵۷/۲^{c}	۰/۸۸۶^{c}	۰/۸۵۲^{c}	۰/۴۲۶^{c}	۰/۳۸۹^{c}
	بروموس	۸۳/۸^{a}	۷۷/۴^{ab}	۱/۲۷^{b}	۰/۵۰۹^{d}	۰/۵۲۶^{bc}	۰/۲۲۴^{d}
۷۰۰	آگروپایرون	۴۴/۱^{d}	۴۰/۹^{d}	۱/۷۲^{a}	۰/۷۷۵^{cd}	۰/۹۲۵^{a}	۰/۴۲۲^{c}
	بروموس	۷۲/۹^{b}	۵۹/۱^{c}	۱/۳^{b}	۰/۷۱۶^{cd}	۰/۶۸۵^{b}	۰/۳۹۳^{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.

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. 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).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

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

گونه‌ی گیاهی	غلظت دی‌اکسید کربن (میکرومول بر مول)			
	۳۸۰		۷۰۰	
	عدم تنش رطوبت	تنش رطوبت	عدم تنش رطوبت	تنش رطوبت
آگروپایرون تریکوفرم	۰/۲۷۵^{bc}	۰/۲۵^{c}	۰/۳۴۲^{a}	۰/۱۸۵^{d}
بروموس تومنتلوس	۰/۳۲۳^{ab}	۰/۱۱۷^{e}	۰/۳۶۴^{a}	۰/۱۳۹^{de}

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

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

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

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

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، بنابرین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، گیاه برای اینکه بتواند دی‌اکسیدکربن 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 دوگونه 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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

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 برموس در شرایط گلخانه نتیجه گرفتند که شاخص سبزینگی طی تنش خشکی کاهش یافت. به‌طوری‌که در سطح پتانسیل اسمزی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شرایط کنترل (ظرفیت زراعی) ۷۴/۷ 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)، به‌ترتیب 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، به‌طوری‌که 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) به‌ترتیب 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). ایفوغلو و ترزیوغلو (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 به‌ترتیب ۵۶/۷ و ۵۴/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). در مطالعه اکسیائو 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 *Aeluropus lagopoides* به کمبود آب کاهش ۵۰ درصدی غلظت کلروفیل b تحت تنش خشکی در این گیاه را گزارش‌کردند (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 گزارش‌شده 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 کارتنوئید 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 کارتنوییدها تحت تأثیر دی‌اکسید کربن قرار نگرفت (۹). تحت تنش کمبود رطوبت نسبت به عدم تنش میانگین غلظت کارتنوئید، 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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

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 اندام‌هوایی 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 به‌طوری که 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 به‌دلیل 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 درگیاهان C_3 سردسیری میل ترکیبی آنزیم رابیسکو با اکسیژن در مقایسه با دی‌اکسیدکربن 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 (*Lolium perenne* و *Poa pratensis*) و دو گونه از خانواده لگوم‌ها (*Medicago lupulina* و *Lotus corniculatus*) نتیجه گرفتند که کمبود آب، بایومس گیاهان به‌ویژه گونه‌های خانواده لگوم را از طریق کاهش وزن خشک وسطوح وزن تر کاهش می‌دهد (۱). هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه مرتعی *Agropyron podperae* نتیجه گرفتند 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 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. در اثر افزایش دمای محیط از ۲۰ به ۲۵ درجه سلسیوس هدایت روزنه‌ای (۱۳/۵)، غلظت کلروفیل a (۴۴/۷)، غلظت کلرفیل b (۴۴/۲) و وزن خشک اندام هوایی (۲۳/۵) درصد کاهش یافت ولی تاثیر دما بر شاخص سبزینگی و غلظت کارتنوئید معنی‌دار نبود. در اثر تنش کمبود رطوبت خاک، هدایت روزنه‌ای (۴۱)، شاخص سبزینگی (۳۲/۹)، غلظت کلروفیل a (۵۶/۷)، غلظت کلرفیل 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 سبزینگی، 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 تریکوفروم به دلیل عکس‌العمل مثبتی که به افزایش CO_2 نشان می‌دهد و به‌دلیل جبران اثرات منفی افزایش دما و کاهش رطوبت، از عملکرد بهتری نسبت به گونه *Bromus tomentellus* برخوردار خواهد بود.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

References

1. AbdElgawad, H., E.R. Farfan-Vignolo., D. de Vos & H. Asard, 2015. Elevated CO_2 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 horticulturae, 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. TerzİOĞLu., 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)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]

21. Kamali, M., M. Shoor., M. Goldani., Y. Selahvarzi & A. Tehranifar, 2011. Interaction Effect of Irrigation with Saline water and CO_2 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 CO_2 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. Gholipoor., 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 CO_2 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 CO_2 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 Silvge Sinicae, 43(11): 57-61.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.2.4.7]