ارزیابی صفات بیوشیمیایی و انتقال مجدد مواد پرورده جو (*Hordeum vulgare* L.) در کشت مخلوط تأخیری با نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

نگین محاویه اسعدی[۱] و احسان بیژن‌زاده[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۵)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری نخود با جو بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد جو و نخود آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله شیری شدن دانه جو) به‌عنوان فاکتور اصلی و شش ترکیب از کشت مخلوط (جو در آذرماه، جو در دی‌ماه، جو در آذرماه + نخود در آذرماه، جو در آذرماه + نخود در دی‌ماه، جو در دی‌ماه + نخود در آذرماه و جو در دی‌ماه + نخود در دی‌ماه با به‌صورت یک در میان به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. تنش کم‌آبی بر غلظت کلروفیل a، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ و درصد مشارکت مواد در جو و عملکرد دانه نخود اثر معنی‌داری داشت. در شرایط تنش کم‌آبی عملکرد دانه جو همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای نسبی آب (R^2= ۰/۴۷*) برگ داشت. همچنین بیشترین غلظت کاروتنوئید جو در کشت جو در آذر + نخود در دی‌ماه در شرایط تنش کم‌آبی به‌دست آمد. با توجه به اینکه کشت تأخیری جو در آذر + نخود در دی‌ماه در شرایط تنش کم‌آبی از محتوای کارتنوئید، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده و مشارکت مواد بیشتر و به‌دنبال آن عملکرد دانهٔ بالاتری در جو (۴۲۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود، احتمالاً می‌تواند تیمار مناسبی برای کشت در شرایط کم‌آبی آخر فصل باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، کاتالاز، کاروتنوئید، کلروفیل a، محتوای نسبی آب

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: bijanzd@shirazu.ac.ir

مقدمه

پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۹ میلیارد نفر برسد، و با توجه به اینکه منابع زیست‌محیطی رو به زوال هستند افزایش تولید مواد غذایی برای دو میلیارد نفر دیگر به یک چالش مهم در کشاورزی تبدیل شده است. از طرفی سیستم‌های کشاورزی فشرده که با استفاده از منابع تجدیدناپذیر و ورودی شیمیایی عملکرد بالایی تولید می‌کنند، امروزه زیر سوال رفته‌اند (۸). بیشتر این سیستم ها به دلیل استفاده از گیاهان مشابه ژنتیکی و کاهش تنوع زیستی آسیب پذیر هستند (۱۱).

کشت مخلوط، کشت همزمان دو یا چند محصول در یک مزرعه، یکی از سیستم‌های کشت چندگانه است که در بسیاری از قسمت‌های جهان قابل استفاده است. در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی، مزایای بی‌شماری برای کشت مخلوط از جمله بهره‌برداری بالاتر از منابع زیست‌محیطی از جمله تابش، مواد مغذی، آب و کارایی استفاده از زمین گزارش شده است (۳۸). انتخاب محصول در شرایط کشت مخلوط بسیار مهم است. در سیتم‌های کشت مخلوط باید به محصولاتی که می‌توانند با حداقل رقابت و حداکثر سود رشد کنند توجه شود. در میان سیستم‌های مختلف کشت مخلوط که بالاترین تولید را دارا هستند، کشت حبوبات، به‌عنوان محصولات تثبیت کننده نیتروژن، با سایر گونه‌ها معمول است (۱۰ و ۳۵).

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدود کننده تولید گیاهان در سرتاسر جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌رود (۲۶). مقاومت گیاهان به تنش کم‌آبی به‌علت پیچیده بودن اثرات متقابل بین فاکتورهای تنش و نیز تنوع پدیده‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مؤثر بر رشد و نمو گیاه بسیار پیچیده است؛ بنابراین شناخت آثار تنش کم‌آبی در گیاهان مهم به‌نظر می‌رسد (۱۹). برخی پژوهشگران گزارش کردند که میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ از جمله صفات فیزیولوژیک مهمی هستند که تحت تنش کم‌آبی تغییر می‌یابند که می‌تواند به این علت باشد که تنش کم‌آبی توسط عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای فتوسنتز را کاهش می‌دهد که از جمله این عوامل می‌توان به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی اشاره کرد (۱ و ۷).

در غلات پس از مرحله گرده‌افشانی، دانه‌ها مقصد بسیار فعالی برای جذب کربن و نیتروژن هستند در این گروه از گیاهان طی دوره‌ای از رشد، تجمع برخی از مواد تولید شده در فتوسنتز بیشتر از میزان مصرف آن برای رشد توسط گیاه است در این حالت این مواد مازاد، بیشتر در ساقه انباشته شده و در مراحل بعدی رشد که معمولا از ۳-۲ هفته پس از گلدهی شروع می‌شود، به دانه انتقال می‌یابد که به این فرایند انتقال مجدد می‌گویند (۱۳، ۲۵ و ۳۴). به‌طور کلی، سه منبع اصلی در طول دوره پرشدن دانه گندم برای تجمع مواد پرورده در دانه ذکر شده است که از جمله می‌توان به فتوسنتز جاری اندام‌های مختلف، انتقال مجدد مواد ذخیره شده در اندام‌های رویشی قبل از مرحله گرده‌افشانی و انتقال مجدد بخش ناچیزی از مواد پرورده ذخیره شده پس از مرحله گرده‌افشانی اشاره کرد (۴ و ۱۲). بنا به گزارش همایون (۱۸) میزان انتقال مجدد ذخایر ساقه در شرایط تنش به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط مساعد است.

با توجه به بروز پدیده خشکسالی در سال‌های اخیر در نواحی جنوبی ایران به‌ویژه در اواخر فصل رشد در کشت‌های پاییزه، هدف از انجام این پژوهش دستیابی به مناسب‌ترین تاریخ کاشت جو در کشت مخلوط تأخیری با نخود و بررسی تغییرات بیوشیمیایی از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیمی جو در شرایط کمبود آب در اواخر فصل رشد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز در محدوده جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و۲۸ درجه و۵۳ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا انجام شد. در این آزمایش دو سطح آبیاری (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری از

ابتدای شیری شدن دانه جو) به‌عنوان عامل اصلی و شش تیمار مختلف کشت شامل کشت‌های خالص گیاه جو (رقم زهک) کاشت شده در تاریخ‌های کاشت آذرماه و دی‌ماه و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری شامل: جو آذرماه + نخود آذرماه (تودهٔ محلی داراب) ، جو آذر+ نخود دی‌ماه، جو دی‌ماه + نخود آذر و جو دی‌ماه + نخود دی با نسبت ۱ به ۱ به‌عنوان عامل فرعی بودند. در سطح دوم آبیاری قطع آبیاری از ابتدای شیری شدن دانه جو (ZGS 71) (۳۹) شروع و تا آخر فصل رشد ادامه داشت. تراکم کاشت برای گیاه جو ۴۰۰ بوته در مترمربع و برای نخود ۴۰ بوته در مترمربع درنظر گرفته شد. جو رقم زهک جزء ارقام شش ردیفه جو است که نیمه زودرس بوده، دارای متوسط ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر و با میانگین وزن هزاردانه ۳۵ گرم، مقاوم به ریزش دانه است. همچنین نخود توده محلی داراب متوسط رس، با متوسط ارتفاع بوته ۲۸ سانتی‌متر حالت نیمه‌ایستاده داشته که وزن هزاردانه آن ۳۵۰ گرم است و مساعد برای نواحی گرم و خشک است. داده‌های هواشناسی منطقه داراب در جدول ۱ آورده شده است. بذرهای (جو و نخود) مورد نیاز مطالعه از مرکز تحقیقات حسن‌آباد داراب، شیراز تهیه شد.

میزان آب مورد نیاز برای هر کرت بر اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۴/۵٪ وزنی) محاسبه شد (۳۰). پس از تعیین آب مورد نیاز، آبیاری برای تمام کرت‌ها تا شیری شدن دانه جو به‌صورت یکسان و با استفاده از کنتور حجمی و با فواصل ۱۲–۸ روز انجام شد و در ابتدای شیری شدن دانه جو تیمار قطع آبیاری در کرت‌های تنش کم‌آبی اعمال شد. در مجموع، میزان آب مصرفی برای تیمار آبیاری و کشت‌های آذر و دی‌ماه به‌ترتیب با ۱۰ دور آبیاری ۵۷۳۳ مترمکعب و ۹ دور ۴۵۹۱ مترمکعب و برای تنش خشکی از اوایل شیری شدن دانه جو برای کشت‌های آذر و دی‌ماه به‌ترتیب با ۸ دور آبیاری ۴۴۶۵ مترمکعب و ۷ دور آبیاری ۴۲۷۰ مترمکعب در هکتار بود. بر اساس نتایج آزمون خاک تنها کود مورد استفاده ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره بود که به‌صورت سرک در سه مرحله کاشت، پنجه‌دهی و ابتدای ساقه رفتن گیاه جو به کرت‌ها اضافه شد.

اندازه کرت‌های اصلی ۱۴۴ متر و کرت‌های فرعی شش مترمربع (دو متر در سه متر) و در هر یک از کرت‌های فرعی ۸ ردیف کاشت (چهار ردیف جو و چهار ردیف نخود به‌صورت یک در میان) با فاصله ۲۰ سانتی متر ایجاد شد. مزرعه در سال قبل از آزمایش تحت آیش بوده و تاریخ کاشت در ۱۵ آذرماه و ۱۵ دی‌ماه صورت گرفت. نمونه‌برداری در مرحله رسیدگی گیاهان زراعی از سطح یک مترمربع در تاریخ ۲۳ اردیبهشت ماه برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه جو و نخود انجام شد. نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید) دو هفته بعد از اعمال تنش صورت گرفت.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه جو

برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ پرچم با اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شدند. عصاره به‌مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ در دقیقه رسوب داده شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج شده با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) ساخت شرکت Shimadzu کشور ژاپن در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۳):

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3\times A\ 663 - 0.86\times A\ 645)V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3\times A\ 645 - 3/6\times A663)V/100W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoid} = \frac{(100\times A470) - (3.27\times \text{mg chl. } a) - (104\ \text{mg chl. } b)}{227} \quad (3)$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در هر طول موج

W= وزن تر نمونه برحسب گرم

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان داراب در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
حداقل دما (°C)	۱۵/۹	۹/۵	۴/۷	۳/۳	۴/۵	۸/۶	۱۲/۱	۱۶/۹
حداکثر دما (°C)	۳۳	۲۷/۴	۱۹/۵	۲۰/۱	۲۱/۴	۲۲/۵	۲۸/۶	۳۲/۲
متوسط دما (°C)	۲۴/۵	۱۸/۵	۱۲/۱	۱۱/۷	۱۲/۹	۱۵/۶	۲۰/۴	۲۴/۵
بارندگی (mm)	۰/۰	۱/۹	۲۶/۲	۱/۳	۰/۴	۶۲	۶/۴	۱/۷

فعالیت آنزیم کاتالاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ پرچم در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شد. مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH= ۷، ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه با ۰/۲ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط و پس از ۲ دقیقه منحنی تغییرات جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر محاسبه شد (۲):

$$\text{Catalase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times \text{vs} \times \text{FW}} \qquad (۴)$$

Δ = تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳۰ ثانیه جذب دوم قرائت می‌شود)، v = حجم کل عصاره برگ (میلی‌لیتر)، ϵ = ضریب خاموشی (ϵ=39.4mM^{-1} cm^{-1})، vs= حجم نمونه برداشت شده (میلی‌لیتر)، FW= وزن تر نمونه برگ برداشت شده (گرم)

فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ پرچم در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با pH= ۷ همراه با ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و ۰/۲ میلی‌لیتر گلایکول ۱۰ میلی‌مولار را با ۰/۲ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط و پس از سپری شدن دو دقیقه منحنی تغییرات جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۴۷۰ نانومتر به‌دست آمد (۲):

$$\text{Peroxidase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times \text{vs} \times \text{FW}} \qquad (۵)$$

Δ = تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳۰ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، v = حجم کل عصاره برگ (میلی لیتر)، ϵ = ضریب خاموشی (ϵ=26.6 cm^{-1} mM^{-1})، vs = حجم نمونه برداشت شده (میلی لیتر)، FW= وزن تر نمونه برگ برداشت شده (گرم).

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

به‌منظور تعیین محتوای آب نسبی از برگ پرچم گیاه جو نمونه‌برداری دو هفته بعد از اعمال تنش کم‌آبی صورت گرفت و وزن تر تعیین شد. سپس برگ‌ها به‌مدت ۱۸–۱۶ ساعت در دمای اتاق (تقریباً ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و در شدت نور کم در داخل آب مقطر قرار داده شدند پس از این مدت و گرفتن آب برگ‌ها به‌سرعت و با دقت وزن آنها تعیین شد. آنگاه برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آنها نیز اندازه‌گیری شد. درنهایت محتوای نسی آب از رابطه زیر به‌دست آمد (۵).

(۶) = محتوای آب نسبی برگ

۱۰۰× [(ماده خشک برگ –وزن تر پس از اشباع)]/[(وزن خشک برگ –وزن تر)]

اندازه‌گیری انتقال مجدد مواد

برای محاسبه انتقال مجدد ماده خشک، در مرحله ۵۰ درصد گلدهی (ZGS ۶۵) و رسیدگی و فیزیولوژیک (ZGS ۹۹) پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت کف‌بر و توزین شده، اندام هوایی آنها جدا شده و درآون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشکانده و وزن خشک اندازه‌گیری شد (۱۴).

(۷) = انتقال مجدد مواد پرورده (گرم در بوته)

وزن خشک برگ و ساقه و کاه در هنگام رسیدگی –وزن خشک کل گیاه در هنگام گلدهی

(۸) = درصد کارایی انتقال مجدد مواد پرورده
(وزن خشک کل گیاه در هنگام گلدهی/ انتقال مجدد مواد پرورده) × ۱۰۰

(۹) = درصد مشارکت مواد پرورده
۱۰۰ × (عملکرد دانه / انتقال مجدد مواد پرورده)

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه (۹,۴) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئید

اثرات ساده تنش کم‌آبی، کشت مخلوط و برهم‌کنش تنش کم‌آبی در کشت مخلوط و اثر ساده تیمارهای کشت مخلوط اثر معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) بر غلظت کلروفیل a جو داشت (جدول ۲). میزان کاروتنوئید جو تحت تأثیر معنی‌دار (سطح احتمال یک درصد) تیمار کشت مخلوط قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل a در همه تیمارها کاهش یافت و کمترین و بیشترین درصد کاهش غلظت کلروفیل a با ۱۸ و ۲۷/۵ درصد در کشت مخلوط جو و نخود در دی‌ماه و تک‌کشتی جو در آذرماه به‌دست آمد (جدول ۳). به‌طور کلی در این آزمایش در شرایط تنش کم‌آبی تیمارهایی که در آنها جو در دی‌ماه کشت شده بود از غلظت کلروفیل a بالاتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند که به‌نظر می‌رسد علت آن کوتاه شدن طول دوره رشد بوده که در اثر آن گیاه کمتر تحت تأثیر گرمای آخر فصل قرار گرفته است (جدول ۳). رهبریان و همکاران (۲۹) بیان کردند که تغییرات در رنگدانه‌های فتوسنتزی، علاوه بر تنش محیطی، تحت تأثیر نوع ژنوتیپ و مرحله فنولوژیکی گیاه نیز قرار دارد. مطابق با نتایج این آزمایش براتی و همکاران (۶) نیز در پژوهشی که تأثیر تنش کم‌آبی را بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در جو زراعی و وحشی بررسی کردند، گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید کاهش می‌یابد. گروهی از پژوهشگران در پژوهشی بیان کردند که تنش کم‌آبی اثری بر محتوای کلروفیل برگ ذرت نداشته است و نتیجه گرفتند که کاهش در فشار تورگر ناشی از کمبود آب منجر به تغییر در مقدار تابش قرمز دور و تابش عبور یافته از برگ می‌شود؛ به‌عبارت دیگر انعکاس نور در اثر تنش آبی افزایش می‌یابد (۳۱).

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کشت مخلوط بر غلظت کاروتنوئید گیاه جو نشان داد که بیشترین غلظت کاروتنوئید در کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه (۰/۶۳میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان این صفت در کشت مخلوط جو + نخود در آذرماه (۰/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد که با کشت مخلوط جو در دی + نخود در دی‌ماه تفاوت آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۱). نقش اصلی کاروتنوئیدها جلوگیری از آسیب اکسیداتیو است. در واقع کاروتنوئیدها از طریق فروکش کردن سریع وضعیت برانگیخته کلروفیل، حفاظت نوری را انجام می‌دهند. در شرایط تنش کم‌آبی مقدار کاروتنوئیدها کاهش یافته و نمی‌توانند نقش حفاظتی خود را انجام دهند، ولی کاهش غلظت آنها نسبت به کلروفیل‌ها کمتر است (۳۷).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نشان داد که اثرات برهم‌کنش تنش کم‌آبی و کشت مخلوط بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز (سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش کم‌آبی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در همه تیمارها شد که کمترین و بیشترین درصد افزایش فعالیت این آنزیم با ۱۵ و ۲۸۰ درصد به‌ترتیب مربوط به کشت‌های مخلوط جو در آذر + نخود در آذرماه و جو در آذر + نخود در دی‌ماه بود. (جدول ۳). در آزمایشی اثر تنش کم‌آبی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در چند ژنوتیپ جو در شرایط مزرعه بررسی شد و مطابق با نتایج به‌دست آمده از این آزمایش افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را در شرایط تنش کم‌آبی نیز گزارش شد و پژوهشگران بیان داشتند که این افزایش به‌شدت تنش و مرحله وقوع تنش در ارقام مختلف جو بستگی دارد (۳).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی و تیمارهای کشت مخلوط بر انتقال مجدد مواد پرورده، صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه جو

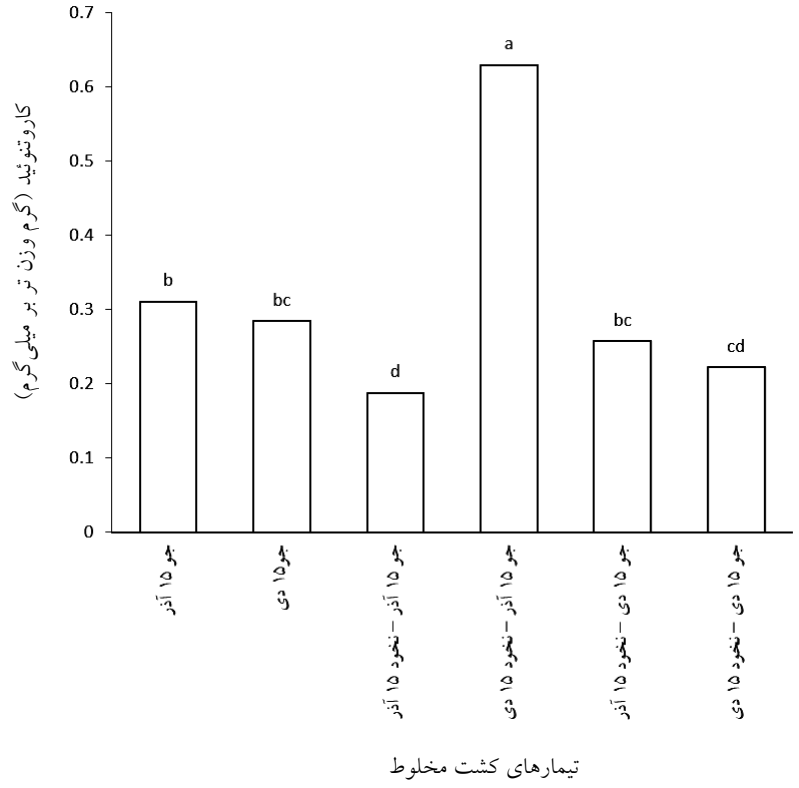
		میانگین مربعات									
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کاتالاز	پراکسیداز	محتوای نسبی آب برگ	انتقال مجدد مواد پرورده	درصد کارایی انتقال مجدد مواد پرورده	درصد مشارکت مواد پرورده	عملکرد دانه جو	عملکرد دانه نخود
بلوک	۲	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}	۴/۱۴^{ns}	۱/۰۶^{ns}	۶/۶۰^{ns}	۲/۱۳^{ns}	۳۱۷۷۱۲/^{ns}	۷۹۳۴/۵^{ns}
تنش کم آبی	۱	۲/۱۰**	۰/۰۵۱^{ns}	۰/۰۲۰^{ns}	۳/۶۴**	۱۶۹**	۱۲۲۹**	۳۶/۲^{ns}	۴/۹۸^{ns}	۱۴۱۱**	۵۷۳۹۶۸^{ns}	۲۰۳۳۴۷۶۰۰*
خطای اول	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۱۳۳	۶/۵۹	۳/۰۵	۵۲/۴	۱۲/۳	۴۷۰۱۷	۵۶۶۰۸/۳
کشت مخلوط	۵	۰/۷۵۸**	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۱۵**	۱/۹۵**	۱۴/۰**	۴۴۷**	۳۷/۹**	۵۴۹**	۳۹۶**	۴۷۰۱۷**	۲۳۸۶۳۸۸/۷**
آبیاری × کشت مخلوط	۵	۰/۱۲۵**	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۳۴۹**	۱۰/۹**	۳۹/۲*	۴۱/۲**	۴۲۱**	۵۱۷**	۲۰۴۸۰۹۵^{ns}	۱۴۵۷۵۴۶/۶**
خطای دوم	۲۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۶	۰/۳۵۱	۹/۸۱	۱/۶۵	۱۵/۱	۱۴/۳	۳۲۷۴۲۲	۹۲۳۱/۰۸
ضریب تغییرات	–	۸/۱۹	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۲/۶	۹/۲۸	۴/۳۱	۱۲/۸	۵/۸۹	۱۴/۶	۱۷/۱	۹/۳۱

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر رژیم تنش کم‌آبی و تیمارهای کشت مخلوط با نخود بر محتوای کلروفیل a، کاتالاز، پراکسیداز، محتوای نسبی آب

		مقایسه میانگین						
تیمار		کلروفیل *a*	کاتالاز	پراکسیداز	محتوای نسبی آب برگ	انتقال مجدد مواد پرورده	کارایی انتقال مجدد مواد پرورده	مشارکت مواد پرورده
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	(واحد بردقیقه بر گرم وزن تر)		(درصد)	(گرم در بوته)	(درصد)	
آبیاری مطلوب	جو آذر	۱/۴۵^{c}	۰/۴۰^{d}	۴/۷^{def}	۶۵/۴^{fg}	۷/۴۶^{ef}	۵۹/۳^{d}	۱۶/۷^{de}
	جو دی	۱/۷۹^{b}	۰/۶۴^{cd}	۱/۳^{g}	۸۴/۲^{b}	۱۰/۷^{cd}	۷۳/۴^{b}	۲۱/۳^{cd}
	جو آذر + نخود آذر	۱/۳۱^{cde}	۱/۴۸^{b}	۴/۱^{fg}	۷۴/۴^{de}	۵/۱۶^{g}	۵۸/۱^{d}	۱۳/۳^{e}
	جو آذر + نخود دی	۰/۶۷۳^{h}	۰/۴۴^{d}	۴/۷^{def}	۷۴/۷^{de}	۱۴/۳۰^{b}	۷۰/۴^{b}	۲۰/۷^{cd}
	جو دی + نخود آذر	۱/۹۹^{a}	۲/۲۴^{a}	۴/۰^{fg}	۹۲/۸^{a}	۹/۴۵^{de}	۷۴/۴^{b}	۲۶/۹^{c}
	جو دی + نخود دی	۱/۴۳^{cd}	۰/۵۱^{d}	۴/۳^{ef}	۷۸/۳^{cd}	۶/۷۷^{fg}	۳۶/۲^{e}	۱۷/۹^{de}
تنش کم آبی	جو آذر	۱/۰۵^{fg}	۰/۸۵۰^{c}	۹/۸^{b}	۵۵/۹^{h}	۱۱/۸^{c}	۶۹/۶^{b}	۳۷/۰^{b}
	جو دی	۱/۲۹^{de}	۱/۴۸^{b}	۵/۲^{de}	۶۵/۱^{fg}	۸/۷۲^{def}	۶۸/۱^{bc}	۲۴/۹^{c}
	جو آذر + نخود آذر	۰/۷۴۰^{h}	۱/۷۰^{b}	۸/۲^{c}	۶۵/۱^{ef}	۱۶/۷۰^{a}	۷۲/۴^{b}	۳۵/۹^{b}
	جو آذر + نخود دی	۰/۴۸۶^{i}	۱/۶۷^{b}	۵/۴^{d}	۶۹/۱^{fg}	۱۴/۴۵^{b}	۸۵/۵^{a}	۶۱/۱^{a}
	جو دی + نخود آذر	۱/۰۰^{g}	۲/۲۶^{a}	۹/۴^{b}	۸۱/۵^{bc}	۷/۴۹^{ef}	۶۱/۴^{d}	۱۷/۰^{de}
	جو دی + نخود دی	۱/۱۸^{ef}	۱/۵۷^{b}	۱۲/۸^{a}	۶۲/۳^{g}	۶/۸۷^{fg}	۶۲/۱^{cd}	۱۶/۱^{de}

در هر ستون برای هر صفت میانگین‌های با حروف یکسان دارای تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد نیست.



شکل ۱. اثر تیمار کشت مخلوط با نخود بر محتوای کاروتنوئید جو تیمارهای کشت مخلوط. میانگین‌های با حروف یکسان دارای تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد نیستند.

همچنین مطابق با نتایج این آزمایش ردی و گاباله (۲۸) افزایش عملکرد جو و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز را در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند.

مقایسهٔ میانگین‌های مربوط به برهم‌کنش تنش کم‌آبی و کشت مخلوط بر مقدار آنزیم پراکسیداز جو نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی فعالیت این آنزیم در همه تیمارها افزایش یافت و کمترین و بیشترین درصد افزایش این آنزیم با ۳۲ و ۷۴ درصد مربوط به کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه و تک‌کشتی جو در دی‌ماه بود (جدول ۳). در این آزمایش با توجه به اینکه میزان افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش کم‌آبی در تک‌کشتی جو در دی‌ماه بیشتر بوده است می‌توان گفت که این تیمار در شرایط تنش کم‌آبی از مقاومت بیشتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بوده است. شریفی و محمدخانی (۳۲) در آزمایشی که اثر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را روی ژنوتیپ‌های گندم بررسی کردند افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تنش کم‌آبی و کشت مخلوط دارای اثر معنی‌دار (سطح احتمال یک درصد) و برهم‌کنش تنش کم‌آبی و کشت مخلوط دارای اثر معنی‌دار (سطح احتمال پنج درصد) بر محتوای نسبی آب برگ گیاه جو بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش کم‌آبی و کشت مخلوط نشان داد در شرایط تنش کم‌آبی محتوای نسبی آب برگ در گیاه جو در همه تیمارها کاهش یافت و کمترین و بیشترین درصد کاهش محتوای نسبی با ۸ و ۲۳ درصد به‌ترتیب مربوط به کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه و تک‌کشتی جو در دی‌ماه بود. (جدول ۳).

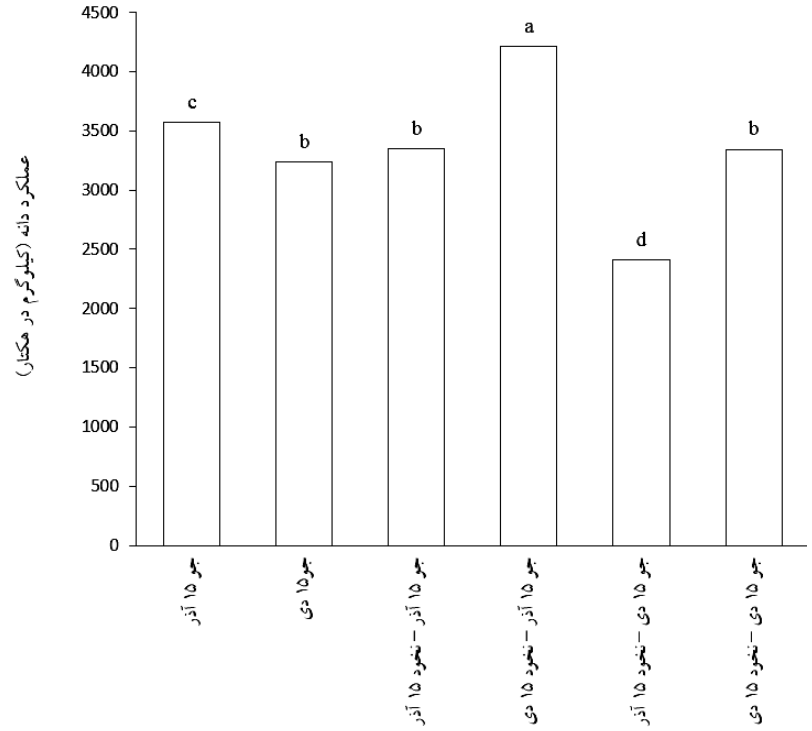
نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی انتهای فصل محتوای نسبی آب برگ در گیاه جو کاهش می‌یابد (۳۶). گروهی از پژوهشگران بیان داشتند که محتوای نسبی آب برگ ممکن است تعادل بین آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزای روابط آبی منعکس کند، لذا آن را شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانستند (۳۰). کاکالوند و همکاران (۲۰) در بررسی کشت مخلوط سیاهدانه و شنبلیله در شرایط تنش کم‌آبی اظهار کردند که بیشترین محتوای نسبی آب برگ برای گیاه شنبلیله مربوط به آرایش‌های کشت مخلوط است و به‌طور معنی‌داری از کشت خالص بیشتر بود و برای گیاه سیاهدانه می‌توان بیان داشت بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار بدون تنش بود و با افزایش تنش کم‌آبی آرایش‌های کشت مخلوط از محتوای آب نسبی برگ بالاتری برخوردار بودند. به‌طوری که، در شرایط عدم تنش کم‌آبی بیشترین محتوای آب نسبی برگ در تیمارهای شنبلیله: سیاهدانه (۱:۲) و (۲:۱) مشاهده شد.

میزان انتقال مجدد مواد پرورده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارهای کشت مخلوط و برهم‌کنش تنش کم‌آبی و کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) بر میزان انتقال مجدد مواد پرورده بودند (جدول ۲). بیشترین میزان انتقال مجدد مواد پرورده در تیمار جو در آذر + نخود در آذرماه در شرایط تنش کم‌آبی به‌دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. (جدول ۳). نتایج پژوهشی روی گندم نشان داد که تنش کم‌آبی باعث افزایش کارایی انتقال مجدد مواد پرورده ذخایر از ساقه به دانه می‌شود (۲۲). مطابق با نتایج پژوهش حاضر عبادی و همکاران (۱) بیان داشتند که تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک از اندام‌های هوایی گیاهی به دانه در ژنوتیپ‌های جو بهاره شد. اثرات ساده رژیم آبیاری، تیمارهای کشت مخلوط و برهم‌کنش رژیم آبیاری و کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر درصد مشارکت مواد پرورده بودند (جدول ۲) که کمترین و بیشترین میزان افزایش این صفت در شرایط تنش کم‌آبی با ۱۷ و ۱۹۵ درصد به‌ترتیب در تک‌کشتی جو در دی‌ماه و کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه به‌دست آمدند (جدول ۳). همچنین نتایج تجزیه واریانس درصد کارایی انتقال مجدد مواد پرورده نشان داد که تیمارهای کشت مخلوط و برهم‌کنش تنش کم‌آبی و تیمارهای کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر این صفت بودند ولی اثر ساده تنش کم‌آبی برای این صفت معنی‌دار نبود. (جدول ۲). در شرایط تنش کم‌آبی، کمترین و بیشترین درصد کارایی انتقال مجدد مواد پرورده به‌ترتیب با ۶۱/۴ و ۸۵/۵ درصد در تیمار جو دی + نخود آذر و جو آذر + نخود دی به‌دست آمد (جدول ۳). مدحج و همکاران (۲۳) با بررسی ژنوتیپ‌های گندم در دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری، افزایش ۲۴ درصدی کارایی انتقال مجدد ماده خشک را در شرایط گرمای انتهای فصل نسبت به شرایط بهینه گزارش کردند و سهم ذخائر ساقه در رشد دانه نیز در شرایط گرمای انتهای فصل در همه ژنوتیپ‌ها افزایش یافت، ولی این افزایش در ژنوتیپ‌های دیررس بیشتر بود. عزت احمدی و همکاران (۱۵) افزایش ۳۲ درصدی کارایی انتقال مجدد ذخائر ساقه و فرایندی مهم و پشتیبانی کننده عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی اعلام کردند که در پژوهش حاضر این افزایش ۵۷ درصد بود.

عملکرد دانه جو

عملکرد دانه جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین (۴۲۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۲۴۰۸/۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه جو به‌ترتیب در کشت‌های مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه و جو در دی + نخود در آذرماه به‌دست آمد (شکل ۲). در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که کشت جو در تاریخ کاشت آذرماه باعث شده است سریع‌تر از نخود که در دی‌ماه



تیمارهای کشت خالص جو و کشت مخلوط

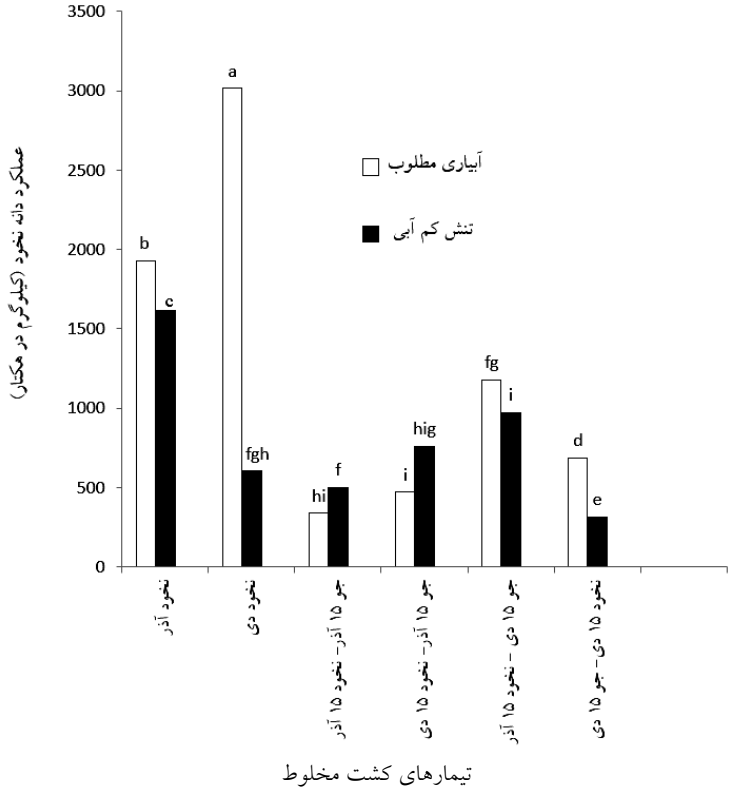
شکل ۲. مقایسه میانگین عملکرد دانه جو در کشت خالص و مخلوط

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند).

کشت شده است رشد کرده و وارد مرحله رشد رویشی و زایشی شود و گیاه غالب بوده و نخود دی‌ماه رقابت کمتری با جو ایجاد می‌کند و باعث دسترسی بیشتر جو به منابع شده و درنهایت باعث افزایش عملکرد در کشت مخلوط جو آذر+ نخود دی‌ماه شد. پیروزی و همکاران (۲۷) اظهار کردند که تأخیر در کشت لوبیا در کشت مخلوط ذرت با لوبیا باعث افزایش عملکرد ذرت نسبت به کشت همزمان و یا کشت تأخیری ذرت در مخلوط ذرت با لوبیا شد. هی و همکاران (۱۷) در بررسی خود نشان دادند که تأخیر در کاشت باعث کوتاه شدن طول دوره کاشت تا گلدهی و رسیدگی می‌شود به‌طوری که کاهش عملکرد ناشی از تأخیر در کاشت در اثر کاهش بیوماس در زمان رسیدگی می‌شود. از دلایل کاهش عملکرد در کشت مخلوط جو دی + نخود آذرماه می‌تواند تأخیر در کاشت جو باشد که با افزایش درجه حرارت در طی دوره گلدهی موجب کاهش طول رسیدگی، وزن دانه و درنهایت کاهش عملکرد شد.

عملکرد دانه نخود

تجزیه واریانس عملکرد دانه نخود نشان داد که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال پنج درصد داشت. همچنین تیمار ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و برهم‌کنش آن با تنش کم‌آبی دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه نخود داشت. (جدول ۲). همچنین بیشترین عملکرد دانه نخود در تک‌کشتی نخود دی‌ماه با ۳۰۱۵/۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد و کمترین میزان آن در شرایط تنش کم‌آبی و در کشت مخلوط جو دی + نخود دی‌ماه با ۳۱۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با کشت مخلوط جو آذر + نخود دی و جو آذر+ نخود آذر در شرایط آبیاری مطلوب اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۳). به‌طور کلی بیشترین عملکرد دانه گیاه نخود در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی با توجه به تراکم کشت بالاتر از تیمارهای



شکل۳. برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و کشت مخلوط بر عملکرد دانه نخود

(میانگین‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند).

تک‌کشتی جو آذر وجو دی‌ماه به‌دست آمد و تیمارهای تک‌کشتی نسبت به کشت مخلوط برتری داشتند؛ که با نتایج نامداری و محمودی (۲۴) در کشت مخلوط نخود و کلزا مطابقت داشت. در این آزمایش پس از اعمال تنش کم‌آبی انتهای فصل عملکرد دانه نخود در همه تیمارها به‌جز در کشت‌های مخلوط جو آذر + نخود دی‌ماه و جو آذر + نخود آذرماه نسبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت (شکل ۳).

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک گیاه جو در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی

نتایج همبستگی در شرایط آبیاری مطلوب نشان داد که عملکرد دانه با محتوای کلروفیل *a* (R^2=۰/۸۷**)، محتوای نسبی آب برگ (R^2=۰/۵۲*)، انتقال مجدد مواد پرورده (R^2=۰/۶۱**) و درصد مشارکت مواد پرورده (R^2=۰/۷۴**) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با فعالیت آنزیم کاتالاز (R^2= -۰/۵۵**) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. نتایج همبستگی در شرایط تنش کم‌آبی نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای نسبی آب (R^2= ۰/۴۷*) برگ داشت (جدول ۴). پژوهشگرانی (۹) در راستای این آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و انتقال مجدد مواد گزارش کردند. گل‌آبادی و همکاران (۱۶) در بررسی که روی صفات فیزیولوژیک گندم در شرایط تنش کم‌آبی انجام دادند همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ گزارش کردند که با یافته‌های این آزمایش مغایرت دارد. در مطالعه‌ای که روی اثر الگوهای کاشت و تراکم بوته بر رشد و انتقال مجدد ماده خشک ذرت دانه‌ای (*Zae mays* L.) انجام شد همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه ذرت گزارش کرد (۳۳). مطابق با نتایج پژوهش حاضر (۲۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری با کلروفیل *a* در شرایط آبیاری مطلوب در گیاه کلزا گزارش کردند. همچنین در بررسی که روی اثر تنش کم‌آبی بر محتوای

جدول ۴. ضرایب همبستگی مورد مطالعه جو.

صفات	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کاتالاز	پراکسیداز	محتوای نسبی آب برگ	میزان انتقال مجدد مواد پرورده	کارایی انتقال مجدد مواد پرورده	مشارکت مواد پرورده	عملکرد دانه
کلروفیل a										
کلروفیل b	۰/۴۶ns									
کاروتنوئید	۰/۵۲*	-۰/۴۰ns								
کاتالاز	-۰/۱۱ns	۰/۴۹*	-۰/۱۰ns							
پراکسیداز	۰/۳۲ns	-۰/۰۴ns	۰/۰۶ns	۰/۱۸ns						
محتوای نسبی آب برگ	۰/۲۴ns	-۰/۰۶ns	-۰/۱۴ns	۰/۵۳*	۰/۰۹ns					
میزان انتقال مجدد مواد پرورده	-۰/۳۱ns	-۰/۲۶ns	-۰/۰۵ns	۰/۲۴ns	-۰/۶۰**	۰/۱۸ns				
کارایی انتقال مجدد مواد پرورده	۰/۱۰ns	۰/۱ns	۰/۰۸ns	۰/۴۱ns	-۰/۴۳ns	۰/۶۷**	۰/۷۵**			
مشارکت مواد پرورده	۰/۱۳ns	-۰/۰۷ns	۰/۱۳ns	۰/۴۳ns	-۰/۱۷ns	۰/۷۱**	۰/۴۱	۰/۶۹**		
عملکرد دانه	-۰/۱۷ns	-۰/۱۱ns	۰/۰۶ns	۰/۲۰ns	-۰/۱۷ns	۰/۴۷۳*	۰/۳۳ns	-۰/۰۳ns	-۰/۳۳ns	

(بالای قطر در شرایط آبیاری مطلوب و پایین قطر در شرایط تنش کم آبی)، ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

نسبی آبی برگ و شاخص کلروفیل در لوبیا چیتی انجام شد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ گزارش کردند (۳۳).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی بر غلظت کلروفیل a، کاتالاز، پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ، درصد مشارکت مواد پرورده در جو وعملکرد دانه نخود اثر معنی‌داری داشت. در شرایط تنش کم‌آبی کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه بیشترین میزان انتقال مجدد مواد پرورده را به‌دست آورد. در مجموع می‌توان چنین بیان کرد که که مقدار ماده خشک تولید شده عامل مهمی در انتقال مجدد ماده خشک به دانه است. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل a و محتوای نسبی آب برگ جو کاهش یافت و بیشترین میزان محتوای کاروتنوئید و آنزیم کاتالاز جو در کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی‌ماه به‌دست آمد.

منابع مورد استفاده

1. Abedi Baba Arabi, S., M. Movahhedi Dehnavi, A. R. Yadavi and E. Adhami. 2011. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production* 4(1): 75-95. (In Farsi).
2. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Methods in Enzymology* 105: 121-126.
3. Ahmed, I. M., H. Dai, W. Zheng, F. Cao, G. Zhang, D. Sun and F. Wu. 2013. Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley. *Plant Physiology and Biochemistry* 63: 49-60.
4. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy* 23: 112-121.
5. Bahrani, A. 2011. Remobilization of dry matter in wheat: effects of nitrogen application and post-anthesis water deficit during grain filling. *International Conference on Biology Environment and Chemistry* 5: 155-160. (In Farsi).
6. Barati, M., M. M. Majidi, M. Safari, A. Mirlohi and K. H. Zeinalinejad. 2017. Evaluation of drought tolerance indices and physiological traits in cultivated and wild barley. *Journal of Crop Production and Processing* 7(2): 1-18. (In Farsi).
7. Barrsu, H. D. and P. E. Weatherley. 1962. Are-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal Biological Sciences* 15: 413-428.
8. Bedoussac, L., E. P. Journet, H. Hauggaard-Nielsen, C. Naudin, G. Corre-Hellou, E. S. Jensen, L. Prieur and E. Justes. 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Journal of Agronomy for Sustainable Development* 35(3): 911-935.
9. Beheshti, A. and B. Behbodifard. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L.) under normal and low water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(4): 717-725. (In Farsi)
10. De La Fuente, E. B., S. A. Suarez, A. E. Lenardis and S. L. Poggio. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. *NJAS-Wageningen Journal of Life Science* 70: 47-52.
11. Duchene, O., J. F. Vian and F. Celette. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Journal of Agriculture Ecosystems Environment* 240: 148-161.
12. Ebadi, A., K. Sahed and A. H. Sanjari. 2011. The effect of irrigation cut on dry matter remobilization and some of agronomy traits on spring barley. *Electronic Journal of Crop Production* 4(4): 19-37. (In Farsi).
13. Emam, Y. 2018. Crop Physiology. Iran: Tehran, Iranian University Press. (In Farsi).
14. Ercolia, L., L. Lullib, M. Mariottib, A. Masonib and I. Arduinib. 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy* 25: 138-147.
15. Ezzat Ahmadi, M., G. H. Noormohammadi, M. Ghodsi and M. Kafi. 2009. Effects of water deficit and spraying of desiccant on yield components and water use efficiency of wheat genotypes. *Pakistan Journal Biological Science* 12: 1399-14707.
16. Golabadi, M., Z. Abbasi and A. R. Golparvar. 2014. Variations in physiological indices of bread wheat flag leaf in

response to drought stress. *Journal of Environmental Stress in Crop Sciences* 7(1): 1-11. (In Farsi).
17. He, D., E. Wang, J. Wang, J. Lilley, Z. Luo, X. Pan and N. Yang. 2017. Uncertainty in canola phenology modelling induced by cultivar parameterization and its impact on simulated yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 163-175.
18. Homayoun, H. 2011. Remobilization of stem reserves in wheat varieties under normal and drought stress conditions. *Advances in Environmental Biology* 5: 1721-1724.
19. Hui-Ping, D., Sh. Chan-juan, W. An-Zhi and Y. Tuxi. 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail (*Setaria italica* L) varieties exposed to drought conditions. *Australian Journal of Crop Science* 6(2): 232-237.
20. Kakulvand, R., S. Fallah and A. Abassi Soyrki. 2017. Effects of species competition on photosynthetic pigments, prolin relative water content, and essence fenugreek (*Trigonella foenum graceum*) and black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions in intercropping system. *Journal of Plant Process and Function* 6(19): 255-269. (In Farsi).
21. Kalantar Ahmadi, S. A., A. Ebadi, J. Daneshian, S. A. Siadat and S. Jahanbakhsh. 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401). *Iranian Journal of Crop Sciences* 18(3): 196-217. (In Farsi).
22. Ma, J., G. B. Huang, D. L. Yang and Q. Chai. 2013. Dry matter remobilization and compensatory effects in various internodes of spring wheat under low water stress. *Journal of Crop Science* 54: 331-339.
23. Modhej, A., Y. Emam and A. Ayenehband. 2011. Effect of nitrogen levels on source restriction and the pattern of assimilate redistribution to grains in wheat genotypes under post-anthesis heat stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(3): 474-485. (In Farsi).
24. Namdari, M. and S. Mohmoodi. 2013. Evaluation of yield and productivity indices in planting ratios of intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Crop Science* 14(4): 346-357. (In Farsi).
25. Netanos, D. A. and S. D. Koutroubas. 2012. Dry matter and N accumulation and translocation For Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 74: 93-101.
26. Omidi, H., F. Movahadi and Sh. Movahadi. 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of Prosopis (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. *Range and Desert Research* 18(4): 608-623.
27. Piroozi, B., S. M. B. Hosseini, D. Mazaheri and H. Heidari. 2012. Evaluation of sowing time and intercropping on vegetative and reproductive traits of bean (*Phaseolus vulgaris*) and biological yield of forage maize (*Zea mays*). *Agronomy Journal* (*Pajouhesh and Sazandegi*) 104: 62-68. (In Farsi).
28. Rady, M. M. and M. S. Gaballah. 2012. Improving barley yield grown under low water stress conditions. *Research Journal of Recent Sciences* 1: 1-6.
29. Rahbarian, R., R. Khavari-Nejad, A. Ganjeali, A. R. Bagheri and F. Najafi. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. *Acta Biological cracoviensia Series Botanica* 53(1): 47-56. (In Farsi).
30. Sanchez-Rodrıguez, E., M. Rubio-Wilhelmi, L. M. Cervilla, J. J. Blasco, Brios, M. A. Rosales, L. Romero and J. M. Ruiz. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Journal of Plant Science* 178: 30-40.
31. Schlemmer, M. R., D. D. Francis, J. F. Shanahan and J. S. Schepers. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Journal of Agronomy* 97: 106-112.
32. Sharifi, P. and N. Mohammad Khani. 2016. Physiological responses and activity of antioxidant enzymes of different wheat genotypes under drought stress. *Journal of Applied Research of plant Ecophysiology* 3(2): 103-126.
33. Soheili Movahhed, S., M. Esmaeili, F. Jabbari, S. Khorramdel and A. Fouladi. 2017. Effects of water deficit on relative water content, chlorophyll fluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. *Journal of Crop Production* 10(1): 169-190. (In Farsi).
34. Sorkhy, F. 2016. Effect of planting pattern and dry matter remobilization and grain yield of maize (*Zae mays* L.). *Journal of Crop Physiology* 9(34): 61-78.
35. Stoltz, E., E. Nadeau and A. Wallenhanmar. 2013. Intercropping Maize and faba bean for silage under swedish climate conditions. *Journal of Agriculture Research* 2(1): 90-97.
36. Vaezi, B., V. Bavei and B. Shiran. 2010. Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research* 5: 881-892. (In Farsi).
37. Wang, L. J., L. Fan, W. Loescher, W. Duan, G. J. Liu, J. S. Cheng, H. B. Luo and S. H. Li. 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. *Journal of BMC Plant Biological* 10: 34-48.
38. Yang, C., G. Huang, Q. Chai and Z. Luo. 2011 Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. *Journal of Field Crops Research* 124: 426432.
39. Zadokes, J. C., T. T. Chang and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Journal of Weed Research* 14: 415-421.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 2, Summer 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Biochemical Traits and Dry Matter Remobilization of Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Relay Intercropping with Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Deficit Water Stress Conditions

N. Mohavieh Asadi[1] and E. Bijanzadeh[2*]

(Received: May 4-2020; Accepted: November 25-2020)

Abstract

In order to investigate the effect of deficit water stress and different combinations of relay intercropping of chickpea with barley on some biochemical traits and grain yield, a field experiment was conducted at College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University during 2017-2018 cropping season, as split plot based on a randomized complete block design with three replications. Treatments included two irrigation regimes (normal irrigation and cutting off irrigation at milk development stage) as main factor and the 6 combinations of cropping systems consisted of cultivation of barley on December, barley on January, and different combinations of intercropping consisted of barley in December + chickpea in December, barley in December + chickpea in January, barley in January + chickpea in December, and barley in January + chickpea in January with a ratio of 1:1 as sub factor. Results showed that deficit water stress had significant effects on chlorophyll *a*, catalase and peroxidase activity, leaf relative water content (RWC) and contribution of current photoassimilates to the grain yield of barley and grain yield of chickpea. Under deficit water stress, barley grain yield had a positive correlation with leaf relative water content (R^2=0.47)*. Also, under deficit water stress condition, the highest carotenoid content was obtained from intercropping of barley in December + chickpea in January. Since intercropping of barley in December + chickpea in January had the highest carotenoid content, remobilization efficiency, and contribution of current photoassimilates to the grain yield of barley and hence grain yield of barley (4215.7 kg/ha), it may be a suitable cultural strategy to be taken under late season deficit water stress conditions.

Keywords: Catalase, Carotenoid, Chlorophylla, Peroxidase, Relative Water content

1, 2. M.Sc. Student and Associate Professor, Respectively, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran
*: Corresponding Author, Email: bijanzd@shirazu.ac.ir