

بررسی اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک شش رقم جو

سیاوش برده‌جی، حمیدرضا عشقی‌زاده* و مرتضی زاهدی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۰۶)

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک شش رقم جو در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو رژیم آبیاری (تخلیه ۵۵ و ۸۵ درصد از رطوبت قابل استفاده خاک به ترتیب برای شرایط بدون تنش و تنش خشکی)، دو سطح کود نیتروژن (مقدار موجود در خاک (۸۴ کیلوگرم در هکتار) و ۶۲/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره با ۴۵ درصد نیتروژن) و ارقام جو (پنج رقم جو خارجی شامل: Amistar، Campagen، Funky، Mastesca و Shangrila و یک رقم جو ایرانی یوسف) بود. نتایج نشان داد تنش خشکی با کاهش محتوای کلروفیل a و b، محتوای کاروتنوئیدها و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو و همچنین افزایش محتوای پرولین و مالون دی‌آلدئید سبب کاهش عملکرد دانه و بیوماس شد. در اثر تنش خشکی عملکرد دانه به میزان ۵۸ و ۴۰ درصد به ترتیب در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کود نیتروژن کاهش یافت. کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری بدون تنش منجر به افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیوماس، ارتفاع، کلروفیل a و کاهش مالون دی‌آلدئید شد ولی در شرایط تنش خشکی منجر به افزایش مالون دی‌آلدئید، کلروفیل a و کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیوماس و ارتفاع گیاه در تمامی ارقام جو شد. در بین ارقام مورد مطالعه رقم یوسف بیشترین عملکرد دانه و رقم Funky بیشترین میزان بیوماس را تولید کردند. بیشترین عملکرد دانه و بیوماس در کلیه ارقام در آبیاری بدون تنش و با کاربرد نیتروژن به دست آمد. نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد نیتروژن در شرایط تنش خشکی راهکار مناسبی جهت کاهش خسارت تنش و افت عملکرد ناشی از آن در ارقام جو مورد مطالعه نمی‌باشد.

کلمات کلیدی: بیوماس، پرولین، عملکرد دانه، مالون دی‌آلدئید

مقدمه

فیزیولوژیکی گوناگون، میزان تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی میزان تأثیر آن بسته به نوع گونه گیاهی، زمان وقوع تنش خشکی و شدت آن متفاوت است. پاسخ گیاهان به تنش خشکی پیچیده است و به عوامل متعددی مانند دما و جذب عناصر غذایی از خاک بستگی دارد (Askari and Ehsanzadeh, 2015; Thomas Robertson et al., 2004). تنش

شرایط محیطی عامل مهمی در رشد و تولید گیاهان است. خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که به‌عنوان اصلی‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته شده است (نوری‌پور و احسان‌زاده، ۱۳۹۱). تنش خشکی از طریق تأثیر بر فرآیندهای

رشد غلات زمستانه باعث افزایش تولید زیست‌توده گیاه می‌شود که این امر سبب تخلیه بیشتر رطوبت خاک از طریق تعرق گیاه و در نتیجه باعث کاهش میزان آب در دسترس گیاه به‌خصوص در شرایط تنش خشکی می‌شود (Van Herwaarden *et al.*, 1998).

کمبود منابع آب و افزایش غیرمنطقی کاربرد کودهای شیمیایی از جمله دلایلی هستند که ایجاب می‌کند تا تغییراتی در استراتژی کشت و مدیریت کاربرد آب و کود شیمیایی به وجود آید. این تغییرات باید با هدف افزایش راندمان مصرف این دو نهاده با ارزش و جایگزین کردن محصولات با پتانسیل عملکرد بالا و سازگار با شرایط آب‌وهوایی کشور صورت گیرد. بنابراین با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور و لزوم استفاده بهینه از آب موجود و همچنین مدیریت کاربرد نیتروژن در شرایط مختلف رطوبتی این آزمایش با هدف بررسی واکنش ارقام جو به اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن و بررسی تأثیر کود نیتروژن در شرایط تنش و بدون تنش خشکی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک چند رقم جو در شرایط آب‌وهوایی اصفهان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر رژیم آبیاری و کاربرد نیتروژن بر ارقام جو، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در منطقه لورک نجف‌آباد (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، ۱۶۳۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد، میانگین دمای سالانه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۴۰ میلی‌متر بارندگی سالانه) طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل دو رژیم آبیاری (آبیاری بدون تنش و تنش)، کرت فرعی شامل دو سطح کود نیتروژن شامل مقدار موجود در خاک (۸۴ کیلوگرم در هکتار) و ۶۲/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره با ۴۵ درصد نیتروژن و کرت

خشکی تأثیر بسزایی در مراحل اولیه رشد و استقرار گیاه دارد و باعث ایجاد اختلال در جوانه‌زنی و استقرار گیاه می‌شود (De Souza *et al.*, 2015; Anjum *et al.*, 2011). تنش خشکی همچنین سبب کاهش اندازه بوته، کاهش تعداد برگ، اندازه و طول عمر برگ و در نهایت کاهش فتوسنتز و عملکرد می‌شود (Anjum *et al.*, 2011). بنابراین آنچه مسلم است کشورهای ایران که در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارند و یا از کمبود آب رنج می‌برند می‌بایست راهبردهای خاصی را در جهت استفاده صحیح و مطلوب از منابع آب به عمل آورند که از مهم‌ترین آن‌ها تولید ارقامی با عملکرد بالا و متحمل به کم آبی است.

جو از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و بیش‌ترین سازش را نسبت به دیگر گیاهان زراعی و در مقایسه با سایر غلات به خشکی نشان می‌دهد (Bothmer *et al.*, 1991). این گیاه از لحاظ اهمیت بعد از برنج، ذرت و گندم رتبه چهارم را دارد و از آن به‌عنوان غذای انسان، حیوان و مرغ استفاده می‌شود (Dhillon and Uppal, 2019). جو در مناطقی با حداقل بارندگی، ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر رشد کرده و نسبت به شرایط آب‌وهوایی مختلف سازگاری دارد (Samarah, 2005).

کود نیتروژن از عوامل زراعی مهم می‌باشد که اثر قابل توجهی بر عملکرد و رشد گیاه دارد و در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش اساسی ایفا می‌کند. از این‌رو محققان به‌طور گسترده‌ای تأثیر کودهای نیتروژنی بر رشد گیاهان زراعی مختلف را مورد مطالعه قرار می‌دهند. Leitch و Ofosu-Anim (۲۰۰۹) طی مطالعه‌ای روی جو بهاره بیان کردند که کوددهی نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته، میزان کلروفیل برگ و عملکرد جو بهاره می‌شود. همچنین Yadav و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که نیتروژن بر واکنش‌های بیوشیمیایی، شدت فتوسنتز، افزایش دوره رویش و افزایش تجمع ماده خشک در اندام‌های هوایی و در نتیجه بر بهبود اجزای عملکرد گندم مؤثر است. از طرفی کاربرد زیاد کود نیتروژن سبب کاهش کیفیت دانه گیاه جو می‌شود (Malesevic *et al.*, 2010). همچنین استفاده زیاد از کود نیتروژن در مراحل ابتدایی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

| عمق خاک (cm) | بافت خاک | پتاسیم (mg/kg) | فسفر (mg/kg) | pH | EC (dS/m) | نیتروژن کل | کربن آلی | رس % | سیلت | شن |
|--------------|----------|----------------|--------------|------|-----------|------------|----------|------|------|------|
| ۳۰-۰ | لوم رسی | ۳۷۹ | ۴۰/۰ | ۸/۳۰ | ۱/۱۸ | ۰/۰۶۳ | ۰/۶۹۱ | ۳۳/۳ | ۵۰/۰ | ۱۶/۷ |

Zr عمق مؤثر نفوذ ریشه (با توجه به مرحله رشدی، ۱ الی ۱/۵ متر در حالت ماکسیمم (Allen et al., 1998)) است. تیمار نیتروژن همراه با آب آبیاری و در سه مرحله (دو هفته پس از کاشت، مرحله ساقه‌رفتن و مرحله ظهور سنبله) اعمال شد.

اندازه‌گیری صفات: به‌منظور اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی، در زمان ظهور سنبله از برگ پرچم گیاه نمونه‌برداری انجام شد. برای تعیین غلظت پرولین از روش Bates (۱۹۷۳) استفاده شد. میزان جذب محلول‌های استاندارد و نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (HITACHI. UV-VIS. U-1800) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. پس از خنک‌شدن میزان مالون دی‌آلدئید در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید نمونه‌ها به روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. در این روش، بعد از تهیه عصاره، میزان نور جذب‌شده با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شده و توسط رابطه‌های زیر محاسبه شد:

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll } a &= 12.25A_{663.2} - 2.798A_{646.8} \\ \text{Chlorophyll } b &= 21.50A_{646.8} - 5.10A_{663.3} \\ \text{Carotenoids} &= (1000A_{470} - 1.82\text{Ch } a - 85.02\text{Ch } b) / 198 \\ A &= \text{میزان جذب نور در طول موج‌های } 663, 645, \text{ و } 470 \text{ نانومتر.} \end{aligned}$$

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm) با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورومتر (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, USA) بین ساعت ۱۲-۱۰ اندازه‌گیری شد. به این منظور با استفاده از گیره‌های دستگاه قسمت میانی برگ‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی کامل قرار گرفتند و سپس نوری با

فرعی - فرعی شامل ارقام جو (۶ رقم جو ۶ ردیفه، پنج رقم خارجی شامل Mastesca, Funky, Campagen, Amistar, Shangrila و یک رقم ایرانی یوسف) بود. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. مساحت هر واحد آزمایشی ۲ مترمربع و شامل ۱۴ ردیف کاشت با فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر و با تراکم کاشت ۳۵۰ بوته در مترمربع بود. در ابتدای آزمایش و تا زمان استقرار کامل گیاه، هر دو محیط رطوبتی همزمان و به یک میزان، بسته به نیاز گیاه، آبیاری شدند. رژیم‌های آبیاری براساس درصد حداکثر تخلیه رطوبتی مجاز (Maximum allowable depletion) اعمال شدند، به‌طوری‌که آبیاری پس از تخلیه ۵۵ و ۸۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (Available soil water) به‌ترتیب برای آبیاری بدون تنش و تنش در نظر گرفته شد. آبیاری با استفاده از نوارهای آبیاری پلی‌اتیلنی با قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله بین قطره چکان‌های ۱۵ سانتی‌متر صورت گرفت. اعمال رژیم آبیاری به روش وزنی، با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک در عمق نفوذ ریشه در طول دوره رشد گیاه انجام شد و میزان حجم آب مصرفی با استفاده از کنتور به طور دقیق اندازه‌گیری و اعمال شد. عمق آب آبیاری مورد استفاده در این آزمایش مطابق معادله زیر انجام شد (قربانی و صمدی، ۱۳۹۲):

$$d = [(FC - PWP) \times MAD \times BD \times Zr] / 100$$

d عمق آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر، FC درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، PWP درصد وزنی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، DB وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۳۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، MAD درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک (۵۵ و ۸۵ درصد) و

به کاربرد نیتروژن بسته به نوع رقم و میزان آب در دسترس گیاه متفاوت است (براتی و غدیری، ۱۳۹۵). کاربرد نیتروژن در مراحل اولیه رشد سبب افزایش رشد رویشی گیاه شده و آب بیشتری از طریق تعرق نسبت به شرایط عدم کاربرد نیتروژن از دست می‌دهد و میزان آب در دسترس گیاه را کاهش می‌دهد.

در رژیم آبیاری بدون تنش کمترین میزان بیوماس با ۱۸ درصد کاهش نسبت به حداکثر عملکرد مربوط به رقم Shangrila بود. همچنین در تیمار تنش خشکی بین حداکثر (۶۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) و حداقل (۵۳۱۹ کیلوگرم) مقدار بیوماس، ۲۲ درصد تفاوت دیده شد (جدول ۴). در تحقیق انجام‌شده توسط امام و همکاران (۱۳۸۶) بر روی ارقام مختلف گندم، نیز تفاوت معنی‌داری بین عملکرد ماده خشک در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی مشاهده شد.

عملکرد دانه: اثر رژیم آبیاری، رقم و برهمکنش آبیاری × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). در بین ارقام مختلف رقم یوسف با عملکرد ۳۳۴۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را داشت و رقم Funky بیشترین اختلاف عملکرد را (۲۰٪) با رقم یوسف نشان داد (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش ۵۸ و ۴۰ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کود نیتروژن شد. کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری بدون تنش عملکرد دانه را ۱۱ درصد افزایش ولی در شرایط تنش خشکی ۲۱ درصد کاهش داد. به‌طور کلی در بین سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بیشترین عملکرد دانه به میزان ۴۱۷۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری بدون تنش و کاربرد نیتروژن و کمترین آن به میزان ۱۷۷۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تنش خشکی و کاربرد نیتروژن بود (شکل ۱).

پاک‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی بر روی ۱۲ رقم گندم زمستانه بیان کردند که تنش خشکی موجب کاهش شدید وزن هزار دانه، وزن دانه در هر سنبله و عملکرد دانه می‌شود. براتی و غدیری (۱۳۹۵) نیز در آزمایش خود بر روی دو رقم جو تحت تنش خشکی و سطوح مختلف کود نیتروژن بیان

شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه بر روی برگ‌ها به مدت ۴ ثانیه تأیید شد و حداکثر میزان کارایی فتوسنتز دو اندازه‌گیری شد.

مقدار هیدروژن پراکسید (H_2O_2) براساس روش Velikova و همکاران (۲۰۰۰) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. میزان جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و محتوای هیدروژن پراکسید با استفاده از یک منحنی استاندارد محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب شدند و ارتفاع گیاه از سطح زمین تا انتهای سنبله اصلی برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و میانگین ۱۰ بوته برای صفت مذکور در هر واحد آزمایشی ثبت شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و بیوماس، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه و پس از حذف اثر حاشیه، مساحت یک مترمربع در هر کرت برداشت شد و پس از توزین، بذور جداسازی و وزن شدند و عملکرد دانه و بیوماس در هکتار محاسبه شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.4) مورد تجزیه قرار گرفتند و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از برنامه گرافیکی ۲۰۱۶ Microsoft Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

بیوماس: اثر رژیم آبیاری، رقم و همچنین برهمکنش آبیاری × کود نیتروژن و آبیاری × رقم بر بیوماس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی به ترتیب سبب کاهش ۵۰ و ۳۷ درصدی بیوماس در شرایط کاربرد و عدم کاربرد نیتروژن شد (شکل ۱). کاربرد نیتروژن در آبیاری بدون تنش تأثیر معنی‌داری بر میزان بیوماس نداشت، در صورتی که در شرایط تنش خشکی، کاربرد نیتروژن میزان بیوماس تولیدی را ۹۵۴ کیلوگرم در هکتار کاهش داد (شکل ۱). پاسخ گیاه نسبت

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و صفات فیزیولوژیک شش رقم جو تحت سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن

| منابع تغییر | Df | بیوماس | عملکرد دانه | شاخص برداشت | ارتفاع بوته | مالون دی آلدئید |
|--------------|------|-------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| تکرار (R) | ۲ | ۵۴۹۲۶۷ ^{ns} | ۴۹۴۹۱ ^{ns} | ۶/۱۲ ^{ns} | ۸/۵۱ ^{ns} | ۱/۳۰ ^{ns} |
| آبیاری (I) | ۱ | ۴۰۳۹۶۱۸۸۸ ^{**} | ۶۸۹۵۴۸۹۶ ^{**} | ۲۵۰ ^{ns} | ۶۱۲۳ [*] | ۴۶۴ ^{**} |
| I × R | ۲ | ۲۳۸۲۳۰ ^{ns} | ۱۰۸۴۸۸ ^{ns} | ۳۵/۷ [*] | ۷۰/۱ ^{**} | ۰/۱۶۵ ^{ns} |
| نیتروژن (N) | ۱ | ۱۰۱۱۰۰ ^{ns} | ۱۸۸۵۰ ^{ns} | ۱۰/۰ ^{ns} | ۵/۵۶ ^{ns} | ۰/۷۶۹ ^{ns} |
| I × N | ۱ | ۱۳۸۹۱۷۲۰ ^{**} | ۳۶۲۲۰۸۶ ^{**} | ۵۵/۶ ^{ns} | ۵۱۲ ^{**} | ۶۳/۳ ^{**} |
| N × R (I) | ۴ | ۳۵۳۳۵۴ ^{ns} | ۱۳۴۸۹ ^{ns} | ۱۶/۴ ^{ns} | ۱/۵۳ ^{ns} | ۰/۶۰۸ [*] |
| رقم (C) | ۵ | ۳۶۶۶۰۰۹ ^{**} | ۷۵۸۹۰ ^{**} | ۷۵/۲ ^{**} | ۸۵/۰ ^{**} | ۲۶/۲ ^{**} |
| I × C | ۵ | ۱۳۵۰۱۷۵ ^{**} | ۴۱۵۲۱ ^{ns} | ۱۵/۸ ^{ns} | ۵۵/۶ ^{**} | ۵/۸۶ ^{**} |
| N × C | ۵ | ۴۹۴۰۱۱ ^{ns} | ۷۱۵۵۹ ^{ns} | ۲۳/۹ ^{ns} | ۶۳/۴ ^{**} | ۱/۸۶ ^{**} |
| I × N × C | ۵ | ۲۰۳۵۰۸ ^{ns} | ۳۸۰۹۴ ^{ns} | ۳۹/۳ ^{ns} | ۴۳/۵ ^{**} | ۱/۵۱ ^{**} |
| خطا | ۴۰ | ۲۰۰۸۲۲ | ۵۳۰۲۲ | ۷/۱۲ | ۸/۵۳ | ۰/۱۹۶ |
| ضریب تغییرات | ۶/۴۶ | ۷/۷۰ | ۷/۶۶ | ۴/۱۷ | ۵/۲۱ | |

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی دار

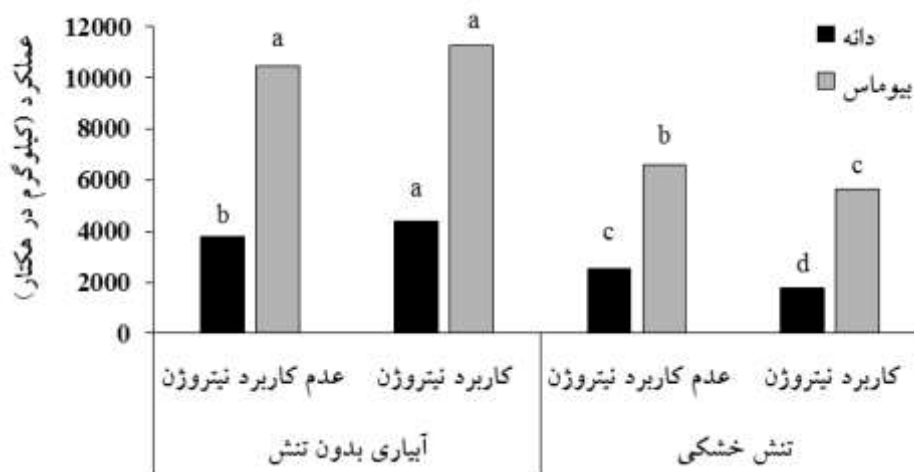
ادامه جدول ۲-

| منابع تغییر | Df | پرولین | F _v /F _m | کلروفیل a | کلروفیل b | کاروتنوئیدها |
|--------------|------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| تکرار (R) | ۲ | ۰/۲۵۳ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۰۱۳ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} |
| آبیاری (I) | ۱ | ۴۶۰ ^{**} | ۰/۰۵۹ [*] | ۱/۳۶ ^{**} | ۰/۲۸۶ ^{**} | ۰/۱۲۶ ^{**} |
| I × R | ۲ | ۰/۹۶۳ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۸ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} |
| نیتروژن (N) | ۱ | ۱۳۸ ^{**} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۴۲۳ ^{**} | ۰/۱۲۵ ^{**} | ۰/۰۶۴ ^{**} |
| I × N | ۱ | ۲/۵۵ ^{ns} | ۰/۰۱۶ ^{**} | ۰/۰۰۴ ^{ns} | ۰/۰۰۴ [*] | ۰/۰۰۰ ^{ns} |
| N × R (I) | ۴ | ۳/۹۵ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} |
| رقم (C) | ۵ | ۶۲/۲ ^{**} | ۰/۰۰۲ ^{**} | ۰/۱۲۷ ^{**} | ۰/۰۲۸ ^{**} | ۰/۰۰۹ ^{**} |
| I × C | ۵ | ۱۰/۶ ^{**} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۹ [*] | ۰/۰۰۱ ^{**} | ۰/۰۰۰ [*] |
| N × C | ۵ | ۱/۸ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۰۰۳ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} |
| I × N × C | ۵ | ۳/۸۸ ^{ns} | ۰/۰۰۰ ^{ns} | ۰/۰۰۷ [*] | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۲ ^{ns} |
| خطا | ۴۰ | ۱/۸۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۷ |
| ضریب تغییرات | ۱۰/۹ | ۳/۵۹ | ۵/۶۹ | ۴/۴۱ | ۴/۱۵ | |

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی دار

تحت تأثیر تنش خشکی می‌تواند به دلیل عقیم شدن دانه‌های گرده در زمان تنش و ایجاد حالت غیرعادی در فتوسنتز و کاهش انتقال مواد به دانه و در نتیجه کاهش وزن و عملکرد دانه باشد.

کردند که استفاده از سطوح نیتروژن بالاتر میزان افت عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی را افزایش می‌دهد. Mollasadeghi و Dadbakhsh (۲۰۱۱) گزارش کردند که کاهش عملکرد دانه



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه و بیوماس برهمکنش تیمارهای آبیاری و کود نیتروژن

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری، نیتروژن و رقم بر صفات اندازه‌گیری شده

| عوامل آزمایش | بیوماس (kg/ha) | عملکرد دانه (kg/ha) | شاخص برداشت (%) | ارتفاع بوته (cm) | مالون دی‌آلدهید (nm/gFW) |
|--------------|----------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| آبیاری | بدون تنش | ۳۹۶۹ ^a | ۳۶/۷ ^a | ۷۹/۳ ^a | ۵/۹ ^b |
| | تنش | ۶۱۱۴ ^b | ۲۰۱۲ ^b | ۶۰/۸ ^b | ۱۱/۰ ^a |
| نیتروژن | کاربرد | ۸۵۲۰ ^a | ۳۰۰۷ ^a | ۷۰/۳ ^a | ۸/۶۰ ^a |
| | عدم کاربرد | ۸۴۴۵ ^a | ۲۹۷۵ ^a | ۶۹/۸۳ ^a | ۸/۳۹ ^a |
| ارقام جو | Amistar | ۸۷۵۸ ^a | ۳۰۵۴ ^b | ۷۰/۱ ^b | ۷/۱۵ ^d |
| | Campagen | ۸۶۹۲ ^a | ۳۱۲۹ ^b | ۷۴/۷ ^a | ۹/۹۱ ^a |
| | Funky | ۸۶۰۴ ^a | ۲۶۵۵ ^c | ۳۰/۴ ^c | ۹/۴۰ ^b |
| | Mastesca | ۸۶۹۹ ^a | ۳۰۱۵ ^b | ۳۴/۶ ^b | ۶/۶۳ ^e |
| | Shangrila | ۷۳۶۲ ^b | ۲۷۵۱ ^c | ۳۶/۵ ^{ab} | ۷/۸۵ ^c |
| | یوسف | ۸۷۸۱ ^a | ۳۳۴۱ ^a | ۳۷/۸ ^a | ۱۰/۰ ^a |

در هر صفت، برای هر عامل آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

هستند.

ارتفاع بوته: اثر آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم و همچنین برهمکنش آبیاری × نیتروژن، آبیاری × رقم، نیتروژن × رقم و آبیاری × نیتروژن × رقم بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته در ارقام مختلف در هر دو سطح نیتروژن شد. کاربرد نیتروژن در هر سطح آبیاری بدون تنش

شاخص برداشت: اثر رقم در سطح احتمال یک درصد بر

شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۲). در بین ارقام مختلف رقم Funky (۳۰/۴ درصد) کمترین میزان شاخص برداشت را دارا بود و دارای ۲۰ درصد اختلاف نسبت به بیشترین شاخص برداشت (۳۷/۸) بود (جدول ۳). صنوبر و همکاران (۱۳۹۰) نیز در آزمایش خود روی ژنوتیپ‌های گندم بیان کردند که ژنوتیپ‌های مختلف دارای میزان شاخص برداشت متفاوتی

ادامه جدول ۳-

| عوامل آزمایش | پرولین ($\mu\text{mole/gFW}$) | F_v/F_m | کلروفیل a (mg/gFW) | کلروفیل b (mg/gFW) | کارتنویید (mg/gFW) |
|--------------|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| آبیاری | بدون تنش | ۰/۷۳۹ ^a | ۱/۰۴ ^a | ۰/۴۷۱ ^a | ۰/۳۵۱ ^a |
| | تنش | ۰/۶۸۲ ^b | ۰/۷۶۶ ^b | ۰/۳۴۵ ^b | ۰/۲۶۷ ^b |
| نیتروژن | کاربرد | ۰/۷۱۲ ^a | ۰/۹۸۲ ^a | ۰/۴۵۲ ^a | ۰/۳۴۱ ^a |
| | عدم کاربرد | ۰/۷۱۰ ^a | ۰/۸۲۳ ^b | ۰/۳۶۸ ^b | ۰/۲۸۱ ^b |
| ارقام جو | Amistar | ۰/۷۱۱ ^{bc} | ۰/۹۹۲ ^b | ۰/۴۳۹ ^b | ۰/۳۵۱ ^a |
| | Campagen | ۰/۷۰۶ ^{bc} | ۰/۸۰۴ ^e | ۰/۳۵۴ ^d | ۰/۲۹۹ ^d |
| | Funky | ۰/۶۹۲ ^c | ۱/۰۴ ^a | ۰/۴۷۵ ^a | ۰/۳۳۰ ^b |
| | Mastesca | ۰/۷۳۵ ^a | ۰/۷۷۸ ^e | ۰/۳۸۱ ^c | ۰/۲۷۴ ^e |
| | Shangrila | ۰/۷۱۵ ^{ab} | ۰/۹۳۰ ^c | ۰/۴۴۳ ^b | ۰/۳۱۱ ^c |
| | یوسف | ۱/۶/۶ ^a | ۰/۷۰۵ ^{bc} | ۰/۳۷۱ ^c | ۰/۳۰۳ ^{cd} |
| | | | | | |

در هر صفت، برای هر عامل آزمایشی میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و رقم بر صفات بیوماس، پرولین، کلروفیل b و کارتنویید

| ارقام | آبیاری بدون تنش | | | تنش خشکی | | | |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| | بیوماس (kg/ha) | پرولین ($\mu\text{mole/gFW}$) | کلروفیل b (mg/gFW) | کارتنویید (mg/gFW) | بیوماس (kg/ha) | پرولین ($\mu\text{mole/gFW}$) | کلروفیل b (mg/gFW) |
| Amistar | ۱۰۷۱۲ ^b | ۷/۵۱ ^h | ۰/۵۰۷ ^b | ۰/۳۸۶ ^a | ۶۸۲۰ ^g | ۱۳/۱ ^{bc} | ۰/۳۱۶ ^d |
| Campagen | ۱۰۹۴۶ ^{ab} | ۹/۴۲ ^{fg} | ۰/۴۰۸ ^d | ۰/۳۴۸ ^c | ۶۴۴۰ ^{de} | ۱۳/۴ ^{bc} | ۰/۲۵۰ ^g |
| Funky | ۱۱۲۵۲ ^{ab} | ۱۱/۱ ^{de} | ۰/۵۴۲ ^a | ۰/۳۶۴ ^b | ۵۹۵۶ ^{ef} | ۱۴/۱ ^b | ۰/۲۹۶ ^e |
| Mastesca | ۱۱۴۷۰ ^a | ۹/۹۲ ^{ef} | ۰/۴۳۷ ^c | ۰/۳۱۷ ^d | ۵۹۲۹ ^{ef} | ۱۴/۳ ^b | ۰/۲۳۱ ^h |
| Shangrila | ۹۴۰۵ ^c | ۸/۲۸ ^{gh} | ۰/۵۲۶ ^{ab} | ۰/۳۵۳ ^{bc} | ۵۳۱۹ ^f | ۱۳/۳ ^{bc} | ۰/۲۶۹ ^f |
| یوسف | ۱۱۳۲۵ ^{ab} | ۱۲/۴ ^{cd} | ۰/۴۲۲ ^{cd} | ۰/۳۵۳ ^{bc} | ۶۲۳۷ ^{de} | ۲۰/۵ ^a | ۰/۲۵۴ ^{fg} |

در هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیطی نظیر رطوبت، نور، تغذیه و کمیت و کیفیت نور قرار می‌گیرد. معمولاً ارتفاع بوته جز مهمی در تعیین عملکرد دانه نیست ولی ارقامی که ارتفاع بلندتری دارند دارای عملکرد بیولوژیک بیشتری هستند. به نظر می‌رسد رقابت بین بوته‌ها برای به‌دست‌آوردن آب در تیمارهای تنش خشکی، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به‌دنبال داشته که این امر

باعث افزایش ارتفاع بوته شد ولی در آبیاری تنش ارتفاع بوته را در ارقام مختلف کاهش داد. در آبیاری بدون تنش، در شرایط عدم کاربرد نیتروژن ارقام Campagen و Mastesca و در شرایط کاربرد نیتروژن رقم Campagen بیشترین ارتفاع بوته را در بین ارقام داشتند. در تیمار تنش خشکی ارقام Mastesca و Amistar به‌ترتیب بیشترین و کمترین واکنش را نسبت به کاربرد نیتروژن از خود نشان دادند (جدول ۵). ارتفاع گیاهان

جدول ۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، مالون دی آلدئید و کلروفیل a ارقام جو در برهمکنش آبیاری، نیتروژن و رقم

| آبیاری بدون تنش | | | | | | ارقام |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| کاربرد نیتروژن | | | عدم کاربرد نیتروژن | | | |
| کلروفیل a (mg/gFW) | MDA (nm/gFW) | ارتفاع بوته (cm) | کلروفیل a (mg/gFW) | MDA (nm/gFW) | ارتفاع بوته (cm) | |
| ۱/۱۵ ^{ab} | ۵/۳۰ ⁱ | ۷۷/۳ ^{d-g} | ۱/۰۴ ^{c-e} | ۶/۱۲ ^{gh} | ۷۵/۰ ^{f-g} | Amistar |
| ۱/۰۴ ^{cd} | ۵/۰۶ ⁱ | ۸۷/۶ ^a | ۰/۸۶ ^{hi} | ۷/۸۵ ^f | ۸۲/۳ ^{bc} | Campagen |
| ۱/۲۱ ^a | ۵/۷۸ ^{g-i} | ۸۰/۶ ^{b-e} | ۱/۰۸ ^{b-d} | ۷/۷۲ ^f | ۷۶/۰ ^{e-g} | Funky |
| ۱/۰۰ ^{d-f} | ۳/۲ ^j | ۸۱/۳ ^{b-d} | ۰/۸۲ ^{gi} | ۵/۵۴ ^{hi} | ۷۸/۰ ^{c-f} | Mastesca |
| ۱/۱۶ ^{ab} | ۳/۸۳ ^j | ۷۹/۰ ^{c-f} | ۱/۰۴ ^{cd} | ۵/۷۶ ^{g-i} | ۷۲/۶ ^g | Shangrila |
| ۱/۱۰ ^{bc} | ۶/۳۴ ^g | ۸۴/۳ ^{ab} | ۰/۹۵ ^{fg} | ۹/۰۰ ^e | ۷۷/۶ ^{c-f} | یوسف |

در هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

ادامه جدول ۵-

| تنش خشکی | | | | | | ارقام |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------|
| کاربرد نیتروژن | | | عدم کاربرد نیتروژن | | | |
| کلروفیل a (mg/gFW) | MDA (nm/gFW) | ارتفاع بوته (cm) | کلروفیل a (mg/gFW) | MDA (nm/gFW) | ارتفاع بوته (cm) | |
| ۰/۹۵ ^{e-g} | ۹/۱۹ ^e | ۶۱/۰ ^{jk} | ۰/۸۲ ^{gi} | ۷/۱۰ ^f | ۶۷/۰ ^{hi} | Amistar |
| ۰/۷۲ ^{ji} | ۱۳/۵ ^a | ۶۱/۳ ^{jk} | ۰/۵۸ ^{kl} | ۱۲/۹ ^b | ۶۷/۶ ^h | Campagen |
| ۱/۰۲ ^{c-f} | ۱۳/۹ ^a | ۵۸/۳ ^{kl} | ۰/۸۴ ^{hi} | ۱۰/۲ ^d | ۶۷/۰ ^{hi} | Funky |
| ۰/۶۹ ^{jk} | ۱۰/۳ ^d | ۴۹/۰ ⁿ | ۰/۵۹ ^l | ۷/۴ ^{gf} | ۶۲/۳ ^{ki-k} | Mastesca |
| ۰/۹۱ ^{gh} | ۱۱/۴ ^c | ۵۳/۳ ^{mnn} | ۰/۶۰ ^{kl} | ۱۰/۴۱ ^d | ۶۴/۳ ^{hj-j} | Shangrila |
| ۰/۸۲ ⁱ | ۱۲/۶ ^b | ۶۴/۶ ^{hj-j} | ۰/۶۳ ^{kl} | ۱۲/۲۵ ^b | ۵۴/۶ ^{lm} | یوسف |

در هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشابه، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

یک درصد و برهمکنش آبیاری × نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب افزایش محتوای مالون دی آلدئید شد (جدول ۵). همچنین کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری بدون تنش موجب کاهش و در شرایط تنش خشکی باعث افزایش محتوای مالون دی آلدئید شد (جدول ۵). در شرایط آبیاری بدون تنش بیشترین و کمترین محتوای مالون دی آلدئید در شرایط عدم کاربرد نیتروژن مربوط به رقم یوسف و در شرایط کاربرد نیتروژن مربوط به ارقام یوسف و Mastesca بود (جدول ۵). در شرایط

کوتاه قدی گیاه را سبب می‌شود (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۲). Kilic و Yagbasanlar (۲۰۱۰) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه و طول پدانکل می‌شود. همچنین اسدی و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که کاربرد نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته‌های گندم می‌شود.

مالون دی آلدئید: اثر آبیاری و رقم و همچنین برهمکنش آبیاری × رقم، نیتروژن × رقم و برهمکنش سه گانه آبیاری × نیتروژن × رقم بر محتوای مالون دی آلدئید در سطح احتمال

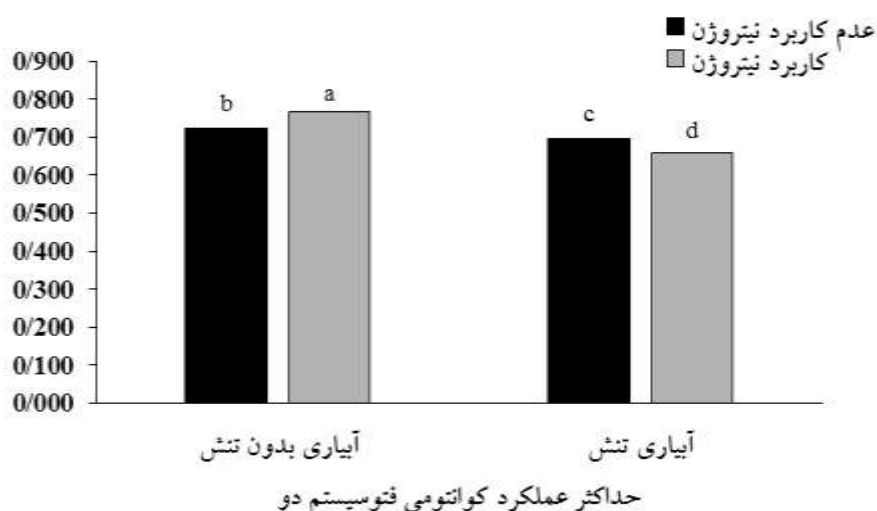
مجبای زمانی و همکاران (۱۳۹۴) در آزمایش خود بر روی ۱۰ ژنوتیپ گندم نشان دادند که ژنوتیپ‌های مختلف مقادیر متفاوتی از Fv/Fm را دارا بودند. تنش خشکی سبب کاهش Fv/Fm در هر دو سطح نیتروژن شد (شکل ۲). در حالی که کاربرد نیتروژن به ترتیب سبب افزایش ۴/۳ و کاهش ۳/۹ درصدی Fv/Fm در شرایط آبیاری بدون تنش و تنش خشکی شد (شکل ۲). مطالعه انجام شده توسط اردلانی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که در نتیجه تنش خشکی، کارایی فتوسیستم ۲ در ژنوتیپ‌های گندم کاهش یافت.

کلروفیل a، b و کارتنوئید: اثر آبیاری، نیتروژن و رقم در سطح احتمال یک درصد و همچنین برهمکنش آبیاری × رقم و آبیاری × نیتروژن × رقم بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). تنش خشکی در هر دو سطح نیتروژن سبب کاهش محتوای کلروفیل a در تمامی ارقام شد. Nematpour و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی اثر سطوح آبیاری و نیتروژن بر ارقام ارزن بیان کردند که تنش خشکی سبب کاهش کلروفیل و کارتنوئید در سطوح مختلف نیتروژن شد. کاربرد نیتروژن محتوای کلروفیل را در هر دو سطح آبیاری در تمامی ارقام افزایش داد (جدول ۵). در شرایط آبیاری بدون تنش ارقام Campagen و Shangrila به ترتیب بیشترین و کمترین و در شرایط تنش خشکی ارقام Shangrila و Mastesca به ترتیب بیشترین و کمترین میزان واکنش را نسبت به کاربرد نیتروژن نشان دادند (جدول ۵). نیتروژن از جمله عناصر تشکیل دهنده کلروفیل است، بنابراین افزایش سطح نیتروژن در محیط رشد گیاه، باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ می‌شود (Adiku et al., 2006). کلروفیل a یکی از اجزای ساختار فتوسنتز در گیاه است و به واسطه ارتباط مستقیم بین غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ، افزایش در مقدار نیتروژن گیاه، شاخص مقدار کلروفیل را نیز افزایش می‌دهد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۷۳). محمدی و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند که غلظت کلروفیل a در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم کود نیتروژن در کیلوگرم خاک در مقایسه با سطح شاهد یا عدم مصرف کود به ترتیب حدود ۵۱، ۸۳ و ۵۹

تنش خشکی ارقام یوسف و Campagen و ارقام Campagen Funky بیشترین محتوای مالون دی‌آلدید را به ترتیب در شرایط عدم کاربرد و کاربرد نیتروژن داشتند (جدول ۵). مالون دی‌آلدید محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غیراشباع سلول است. از این رو به عنوان یک نشانگر زیستی مناسب، جهت تعیین میزان آسیب وارده به سلول گیاهی در نتیجه انواع تنش‌ها به کار برده می‌شود (زینالی یادگاری و همکاران، ۱۳۸۸). تخریب غشاهای سلول یکی از پیامدهای مستقیم کمبود آب است و بنابراین بین محتوای مالون دی‌آلدید و شدت تنش خشکی رابطه مستقیمی وجود دارد (Sofa et al., 2004).

پروکلین: اثر آبیاری، نیتروژن، رقم و برهمکنش آبیاری × رقم بر محتوای پروکلین گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). کاربرد نیتروژن منجر به افزایش ۲۶ درصدی محتوای پروکلین شد (جدول ۳). تنش خشکی سبب افزایش محتوای پروکلین در ارقام مختلف شد (جدول ۴). ارقام Amistar و Funky به ترتیب بیشترین (۴۳٪) و کمترین (۲۱٪) افزایش را از این نظر در اثر تنش خشکی از خود نشان دادند (جدول ۴). پروکلین کمترین اثر بازدارندگی را بر رشد سلول‌ها دارد و پایدارترین اسید آمینه‌ای است که در برابر هیدرولیز اکسیداتیو مقاومت کرده و نقش مهمی در حفاظت گیاه از طریق پایداری غشا سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد دارد (غفاری زاده و همکاران، ۱۳۹۷). Stroinski و Bandurska (۲۰۰۳) نشان دادند که محتوای پروکلین برگ‌های گیاه جو تحت تأثیر تنش خشکی به میزان دو برابر افزایش پیدا کرد. همچنین Mallick و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که میزان پروکلین در برخی از ژنوتیپ‌های گندم در اثر تنش خشکی افزایش یافت.

حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm): اثر آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم و برهمکنش آبیاری × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو معنی دار شد (جدول ۲). در بین ارقام مختلف ارقام Mastesca و Shangrila بیشترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو را داشتند (جدول ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در ارقام جو در برهمکنش آبیاری و کود نیتروژن بر. کلروفیل a, b و کارتنوئید

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده (پیرسون) بین صفات اندازه‌گیری شده ارقام مختلف در شرایط آبیاری بدون تنش (بالای قطر) و تنش خشکی (پایین قطر)

| | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| بیوماس | ۰/۶۶۵** | ۰/۶۳۶** | ۰/۶۲۵** | ۰/۶۱۷** | ۰/۶۱۰* | ۰/۶۰۳* | ۰/۵۹۶* | ۰/۵۸۸** | ۰/۵۸۱** | ۰/۵۷۴** |
| عملکرد دانه | ۰/۹۴۷** | ۰/۹۳۷** | ۰/۹۲۷** | ۰/۹۱۷** | ۰/۹۰۷** | ۰/۸۹۷** | ۰/۸۸۷** | ۰/۸۷۷** | ۰/۸۶۷** | ۰/۸۵۷** |
| شاخص برداشت | ۰/۳۲۱** | ۰/۳۱۱** | ۰/۳۰۱** | ۰/۲۹۱** | ۰/۲۸۱** | ۰/۲۷۱** | ۰/۲۶۱** | ۰/۲۵۱** | ۰/۲۴۱** | ۰/۲۳۱** |
| ارتفاع بوته | ۰/۹۱۳** | ۰/۹۰۳** | ۰/۸۹۳** | ۰/۸۸۳** | ۰/۸۷۳** | ۰/۸۶۳** | ۰/۸۵۳** | ۰/۸۴۳** | ۰/۸۳۳** | ۰/۸۲۳** |
| MDA | ۰/۷۹۶** | ۰/۷۸۶** | ۰/۷۷۶** | ۰/۷۶۶** | ۰/۷۵۶** | ۰/۷۴۶** | ۰/۷۳۶** | ۰/۷۲۶** | ۰/۷۱۶** | ۰/۷۰۶** |
| پرولین | ۰/۵۸۸** | ۰/۵۷۸** | ۰/۵۶۸** | ۰/۵۵۸** | ۰/۵۴۸** | ۰/۵۳۸** | ۰/۵۲۸** | ۰/۵۱۸** | ۰/۵۰۸** | ۰/۴۹۸** |
| FV/FM | ۰/۸۶۸** | ۰/۸۵۸** | ۰/۸۴۸** | ۰/۸۳۸** | ۰/۸۲۸** | ۰/۸۱۸** | ۰/۸۰۸** | ۰/۷۹۸** | ۰/۷۸۸** | ۰/۷۷۸** |
| کلروفیل a | ۰/۶۳۴** | ۰/۶۲۴** | ۰/۶۱۴** | ۰/۶۰۴** | ۰/۵۹۴** | ۰/۵۸۴** | ۰/۵۷۴** | ۰/۵۶۴** | ۰/۵۵۴** | ۰/۵۴۴** |
| کلروفیل b | ۰/۵۸۱** | ۰/۵۷۱** | ۰/۵۶۱** | ۰/۵۵۱** | ۰/۵۴۱** | ۰/۵۳۱** | ۰/۵۲۱** | ۰/۵۱۱** | ۰/۵۰۱** | ۰/۴۹۱** |
| کارتنوئید | ۰/۶۷۰** | ۰/۶۶۰** | ۰/۶۵۰** | ۰/۶۴۰** | ۰/۶۳۰** | ۰/۶۲۰** | ۰/۶۱۰** | ۰/۶۰۰** | ۰/۵۹۰** | ۰/۵۸۰** |

**،* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار

× رقم بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش محتوای کلروفیل b و کارتنوئید در تمامی ارقام شد (جدول ۴). بیشترین کاهش محتوای کلروفیل b و کارتنوئید تحت تنش خشکی به ترتیب در رقم Shangrila با ۳۲ درصد کاهش و در

درصد افزایش یافت. اثر آبیاری، نیتروژن و رقم در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل b و کارتنوئید و برهمکنش آبیاری × نیتروژن و آبیاری × رقم در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۲). همچنین برهمکنش آبیاری

بر اساس نتایج به دست آمده، تنش خشکی عملکرد دانه، بیوماس، کلروفیل a، b، کارتنوئید و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو را کاهش ولی محتوای مالون دی آلدئید و پرولین را افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه و بیوماس در شرایط آبیاری بدون تنش و کاربرد نیتروژن به دست آمد. کاربرد نیتروژن سبب تأثیر معنی داری بر صفات پرولین، کلروفیل a، b و کارتنوئید شد. همچنین در بین ارقام مختلف از نظر تمام صفات اندازه گیری شده اختلاف معنی داری وجود داشت و بیشترین عملکرد دانه متعلق به رقم ایرانی یوسف بود. کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری بدون تنش باعث افزایش میزان عملکرد دانه و بیوماس در تمامی ارقام شد اما در شرایط تنش خشکی عکس این نتیجه به دست آمد. به نظر می رسد کاربرد نیتروژن با تأثیر منفی بر میزان آب در دسترس گیاه از طریق افزایش رشد رویشی در اوایل دوره رشد و افزایش تعرق، باعث افت عملکرد دانه و میزان بیوماس شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت در شرایط تنش خشکی شدید کاربرد نیتروژن نمی تواند راهکار مناسبی جهت کاهش خسارت تنش خشکی و افت عملکرد ناشی از آن باشد.

رقم Mastesca با ۲۸ درصد کاهش مشاهده شد (جدول ۴). Gupta و Nayyar (۲۰۰۶) اعلام کردند که محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ در شرایط تنش خشکی کاهش می یابد. همچنین Lonbani و Arzani (۲۰۱۱) در آزمایش خود بر روی ارقام مختلف گندم و تریکاله، بیان کردند که تأثیر تنش خشکی بر محتوای کلروفیل در ارقام مختلف متفاوت است.

همبستگی بین صفات: بر اساس نتایج جدول ۶ در شرایط آبیاری بدون تنش صفات بیوماس و عملکرد دانه با صفات MDA و پرولین همبستگی منفی و معنی دار و با سایر صفات اندازه گیری شده، همبستگی مثبت و معنی داری داشتند. ولی در شرایط تنش خشکی صفت بیوماس با عملکرد دانه و ارتفاع همبستگی مثبت و معنی دار و با صفات MDA، کلروفیل b و کارتنوئید همبستگی منفی و معنی داری داشت که احتمالاً به دلیل کاهش رشد رویشی و سطح برگ گیاه در اثر تنش خشکی (Banerjee et al., 2018) و افزایش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در واحد سطح برگ در نتیجه ی کاربرد نیتروژن (Skudra and Ruza, 2017) است. میزان بیوماس نیز با ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و با محتوای پرولین همبستگی منفی و معنی داری داشت (جدول ۶).

نتیجه گیری

منابع

- اردلانی، ش.، سعیدی، م.، جلالی هنرمند، س. و قبادی، م. ا. (۱۳۹۴) اثر تنش خشکی پس از گرده افشانی بر برخی ویژگی های فیزیولوژیک و کیفیت دانه ژنوتیپ های مختلف گندم. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۲۱: ۱۹-۵.
- اسدی، س.، آینه بند، ا. و راهنما قهفرخی، ا. (۱۳۹۲) مطالعه واکنش عملکرد گندم به تنش رقابت و سطوح مختلف نیتروژن. نشریه پژوهش های زراعی ایران ۱۱: ۳۷۶-۳۶۵.
- امام، ی.، رنجبری، ع.، بحرانی، م. ج. (۱۳۸۶) ارزیابی عملکرد دانه و اجزای آن در ژنوتیپ های گندم تحت تأثیر تنش خشکی پس از گل دهی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱: ۳۲۷-۳۱۷.
- براتی، و. و غدیری، ح. (۱۳۹۵) اثرات تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزاء عملکرد و محتوای پروتئین دانه دو رقم جو. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۲۱: ۲۰۶-۱۹۱.
- پاک نژاد، ف.، جامی الاحمدی، م.، وزان، س. و اردکانی، م. ر. (۱۳۸۸) بررسی تأثیر تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ارقام گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۲: ۳۶-۱۷.

- زینالی یادگاری، ل.، حیدری، ر. و کاراپتیان، ژ. (۱۳۸۸) تغییر نفوذپذیری غشاهای زیستی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه سویا در پاسخ به دمای پایین. مجله زیست‌شناسی ایران ۲۲: ۲۳۶-۲۲۹.
- صنوبر، ع.، طباطبایی، ع. و دهقانی، ف. (۱۳۹۰) اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص برداشت ژنوتیپ‌های گندم نان در منطقه یزد. تنش‌های محیطی در علوم زراعت ۳: ۱۰۴-۹۵.
- غفاری‌زاده، ا.، سیدنژاد، س. م. و گیلانی، ع. (۱۳۹۷) بررسی اثر کود مایع جلبکی *Nizamuddiniana zanardinii* در سطوح مختلف اوره بر برخی شاخص‌های رشد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه رست‌های گندم رقم چمران ۲. مجله زیست‌شناسی کاربردی ۳۱: ۲۲۷-۲۰۷.
- قربانی، ب. ی. و صمدی بروجنی، ح. (۱۳۹۲) فرهنگ استفاده بهینه آب آبیاری. انتشارات نیوشه، شهرکرد، ایران.
- کوچکی، ع. و بنایان اول، م. (۱۳۷۳) فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۷۲) رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- مجتبایی زمانی، م.، نبی‌پور، م. و مسکرباشی، م. (۱۳۹۴) اثر تنش گرما در دوره پرشدن دانه بر فوتوستز و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.). مجله علوم زراعی ایران ۱۷: ۱۷-۱.
- محمدی، ن.، عشقی‌زاده، ح. ر.، احسان‌زاده، پ.، شریعتمداری، ح. و برده‌جی، س. (۱۳۹۸) تأثیر دمای محیط و نیتروژن خاک بر برخی صفات فیزیولوژیکی و تولید ماده خشک در گندم رقم بهار (*Triticum aestivum* cv. Bahar). مجله فرایند و کارکرد گیاهی ۸: ۲۱۷-۲۰۵.
- نوری‌پور سی‌سخت، ج. و احسان‌زاده، پ. (۱۳۹۱) تغییر برخی آنتی‌اکسیدانت‌ها در کنجد و ارتباط آن با صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۴۳: ۹۱-۸۱.
- Adiku, S. G. K., Reichstein, M., Lohila, A., Dinh, N. Q., Aurelab, M., Laurila, T., Lueers, J. and Tenhunen, J. D. (2006) PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growing of spring barley. *Ecological Modelling* 190: 260-276.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) FAO Irrigation and drainage paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations 56: 190.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6: 2026-2032.
- Askari, E. and Ehsanzadeh, P. (2015) Effectiveness of exogenous salicylic acid on root and shoot growth attributes, productivity, and water use efficiency of water-deprived fennel genotypes. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 56: 687-696.
- Bandurska, H. and Stroinski, A. (2003) ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum*) and cultivated (*Hordeum vulgare* 'Maresi') barley genotypes under water deficit conditions. *Acta Physiologiae Plantarum* 25: 55-61.
- Banerjee, K., Krishnan, P. and Mridha, N. (2018) Application of thermal imaging of wheat crop canopy to estimate leaf area index under different moisture stress conditions. *Biosystems Engineering* 166: 13-27.
- Bates, L. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Bothmer, R. V., Jacobsen, N., Baden, C., Jorgensen, R. B. and Linde, L. (1991) An Ecogeographical Study of the Genus *Hordeum*. International Board for Plant Genetic Resources.
- De Souza, A. P., Cocuron, J. C., Garcia, A. C., Alonso, A. P. and Buckeridge, M. S. (2015) Changes in whole-plant metabolism during the grain-filling stage in sorghum grown under elevated CO₂ and drought. *Plant Physiology* 169: 1755-1765.
- Dhillon, B. S. and Uppal, R. S. (2019) Influence of cutting management on photosynthetic parameters, heat use efficiency and productivity of barley (*Hordium vulgare* L.) under variable sowing dates. *Journal of Agrometeorology* 21: 51-57.
- Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Plant Physiology and Biochemistry* 125: 189-198.

- Kilic, H. and Yagbasanlar, T. (2010) The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38: 164-170.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio-membranes. In *methods in enzymology*. Academic Press 148: 350-382.
- Lonbani, M. and Arzani, A. (2011) Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy Research* 9: 315-329.
- Malesevic, M., Glamoclija, D., Przulj, N., Popovic, V., Stankovic, S., Zivanovic, T. and Tapanarova, A. (2010) Production characteristics of different malting barley genotypes in intensive nitrogen fertilization. *Genetika* 42: 323-330.
- Mallick, S. A., Gupta, M., Mondal, S. K. and Sinha, B. K. (2011) Characterization of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes on the basis of metabolic changes associated with water stress. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 81: 767.
- Mollasadeghi, V. and Dadbakhsh, A. (2011) Evaluation of some yield components in wheat genotypes under the influence of drought stress after flowering. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5: 1137-1142.
- Nayyar, H. and Gupta, D. (2006) Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany* 58: 106-113.
- Nematpour, A., Eshghizadeh, H. R. and Zahedi, M. (2019) Drought-tolerance mechanisms in foxtail millet (*Setaria italica*) and proso millet (*Panicum miliaceum*) under different nitrogen supply and sowing dates. *Crop and Pasture Science* 70: 442-452.
- Ofosu-Anim, J. and Leitch, M. (2009) Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. *Australian Journal of Crop Science* 3: 13-19.
- Robertson, M. J., Fukai, S. and Peoples, M. B. (2004) The effect of timing and severity of water deficit on growth, development, yield accumulation and nitrogen fixation of mungbean. *Field Crops Research* 86: 67-80.
- Samarah, N. H. (2005) Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development* 25: 145-149.
- Skudra, I. and Ruza, A. (2017) Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat. *Rural Sustainability Research* 37: 29-37.
- Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. and Masia, A. (2004) Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. *Physiologia Plantarum* 121: 58-65.
- Van Herwaarden, A. F., Angus, J. F., Richards, R. A. and Farquhar, G. D. (1998) 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertiliser II. Carbohydrate and protein dynamics. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 1083-1094.
- Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A. (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science* 151: 59-66.
- Yadav, R. D., Keshwa, G. L. and Yadva, S. S. (2002) Effect of integrated use of FYM, urea and sulphur on growth and yield of isabgol (*Plantago ovata*). *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences* 25: 668-671.

Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on yield and physiological traits of six barley cultivars

Siavash Bardehji, Hamid Reza Eshghizadeh*, Morteza Zahedi

Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

(Received: 18/01/2020, Accepted: 25/02/2020)

Abstract

To evaluate the effect of drought stress and nitrogen fertilizer this experiment was arranged as a split-split plot in a randomized complete block design with three replications at the research farm of Isfahan University of Technology in 2017 on yield and some physiological traits of six barley cultivars. Experimental factors included two irrigation regimes (55 and 85 percent of available soil water), two levels of nitrogen fertilizer (The available amount in the soil (84kg / ha) and 62.5 kg nitrogen from the urea source containing 45% nitrogen) and foreign (Amistar, Campagen, Funky, Mastesca, Shangrila) and Iranian (Yousef) barley cultivars. The results showed that drought stress decreased grain and straw yield by reducing the content of chlorophyll a and b, carotenoid content and the maximum potential quantum efficiency of photosystem II but increased proline and malondialdehyde contents. Meanwhile, nitrogen application increased grain and straw yields under normal irrigation conditions while the opposite effects were observed under drought stress condition. Among the studied cultivars, Yousef had the highest grain yield and Funky produced the highest amount of straw under normal irrigation conditions. Normal irrigation and nitrogen application increased the plant height, chlorophyll a but decreased malondialdehyde in all cultivars. The highest grain and straw yield of cultivars were obtained by nitrogen application under normal irrigation. The results from this experiment showed that nitrogen application was not an appropriate strategy to reduce the negative effects of drought stress on the yield of the studied barley cultivars.

Keywords: Biomass, Grain yield, Malondialdehyde, Proline

Corresponding author, Email: hr.eshghizadeh@iut.ac.ir