مقاله پژوهشی

تأثیر نیتروژن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های سورگوم (*Sorghum* sp.) تحت تنش خشکی

مرضیه اسدی و حمیدرضا عشقی‌زاده*

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و کاربرد نیتروژن بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های سورگوم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رژیم آبیاری (تخلیه ۵۰ و ۸۵ درصد از رطوبت قابل استفاده در خاک)، دو سطح کود نیتروژن (مقدار موجود، ۱۱۲/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره) و ۱۵ ژنوتیپ سورگوم (پگاه، سپیده، GS4، GS5، GS24، GS25، GS26، GS28، KGS29، KGS33، MGS1، MGS5، SF001، SF002، SF003) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی با کاهش سطح برگ بوته، ارتفاع بوته، کارایی کوانتومی فتوسیستم II و محتوای کلروفیل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد. در مقابل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌کسیدانی شامل کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد کود نیتروژن در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی منجر به افزایش کلیه صفات مذکور بجز نسبت کلروفیل a/b و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد ولی میزان این افزایش در شرایط تنش خشکی کمتر بود. بنابراین کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب تعدیل اثر تنش و افزایش عملکرد شود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های SF001، SF002 و MGS5 از نظر صفات مورد بررسی بیشترین واکنش به کود نیتروژن و در عین حال کمترین حساسیت به تنش خشکی را داشتند. بنابراین می‌توانند در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سورگوم، نیتروژن، محتوای کلروفیل، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

تنش خشکی تأثیرگذارترین تنش غیرزنده محیطی است، که از طریق تأثیر بر فرآیندهای متعدد فیزیولوژیکی و نهایتاً رشدی، میزان تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی میزان تأثیر آن بسته به گونه، زمان وقوع تنش خشکی و شدت آن متفاوت است (Askari and Ehsanzadeh, 2015; Thomas Robertson *et al.*, 2004). تنش خشکی تأثیر مستقیمی بر دستگاه فتوسنتزی دارد و با مختل‌کردن کلیه مؤلفه‌های اصلی فتوسنتز از جمله انتقال الکترونی تیلاکوئید، چرخه کربن و تبادل CO_2 می‌تواند منجر به توقف فتوسنتز شود. به‌طور کلی، کاهش میزان فعالیت فتوسنتزی در اثر تنش خشکی به‌دلیل مکانیسم‌های روزنه یا غیرروزنه‌ای است. از جمله مکانیزم‌های غیرروزنه‌ای می‌توان

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: hr.eshghizadeh@ iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

به اختلال در تولید کلروفیل اشاره کرد. کاهش کلروفیل در طول تنش خشکی، بسته به مدت و شدت خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است. بنابراین کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند به‌طور مستقیم پتانسیل فتوسنتزی و از این‌رو تولید اولیه را محدود کند (Anjum *et al.*, 2011).

علاوه بر این، در تنش خشکی، سطح گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به‌طور چشمگیری افزایش و درنتیجه تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن شامل یون‌های اکسیژن، رادیکال‌های آزاد و پراکسیدها هستند که موجب آسیب به پروتئین‌ها، DNA و لیپیدها می‌شوند (Apel and Hirt, 2004). گیاهان در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن دارای سیستم دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی هستند و بنابراین عملکرد طبیعی سلول را تضمین می‌کنند. سیستم دفاعی آنزیمی شامل آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) است (Anjum *et al.*, 2011; Apel and Hirt, 2004).

یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی، معرفی ارقام متحمل و سازگار با تنش است. بنابراین، با توجه به اینکه امروزه گیاه سورگوم تحمل بالایی به خشکی و گرما دارد، در شرایط تغییر اقلیم و کم‌آبی پیش‌بینی شده در آینده نزدیک، مدیریت کودی مناسب، این گیاه زراعی می‌تواند راهگشا باشد (معاونی و حیدری، ۱۳۸۳). سورگوم دارای دو استراتژی برای انطباق با شرایط کم‌آبی است؛ تحمل کاهش پتانسیل آب و مکانیسم فرار از تنش کمبود آب به‌دلیل ایجاد ریشه عمیق و گسترده (Tari *et al.*, 2013). به‌طور کلی سیستم فتوسنتزی، نحوه فعالیت روزنه‌ای و سیستم ریشه‌ای گیاه سورگوم به گونه‌ای است که این گیاه قادر است آب را بهتر جذب کند و هم این که تلفات آب به اتمسفر را کمتر نماید و حتی بعد از یک دوره خشکی طولانی روزنه‌ها قادر خواهند بود فعالیت دوباره خود را بدون آسیب شروع کند. ویژگی دیگری که باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاه سورگوم می‌شود وجود پوشش مومی بر سطح برگ‌ها است که تلفات تعرقی آب را کاهش می‌دهد (کوچکی، ۱۳٦٤).

علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن مورد نیاز می‌تواند فشار مضاعفی را بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد. نیتروژن عنصر ضروری برای رشد بوده و تغییر در مقادیر قابل دسترس آن به‌ویژه در شرایط تنش آب، عملکرد گیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مقدار مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر بوده و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (سپهری و همکاران، ۱۳۸۱). بنابراین افزایش نیتروژن منجر به گسترش و حجیم‌شدن ریشه‌ها، جذب بیشتر رطوبت از خاک، تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش حجم بخش هوایی گیاه و تولید مقدار بیشتر ماده خشک و عملکرد دانه می‌شود (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۵). گزارشات متعددی در خصوص تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش عملکرد ثبت شده است، از این‌رو تمایل به استفاده از مقادیر بیشتر کود نیتروژن وجود دارد (Beyaert and Roy, 2005). از طرف دیگر، تحت شرایط کمبود آب در خاک که جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن کاهش می‌یابد، لزوم برقراری تناسب میان فراهمی رطوبت در خاک و نیتروژن مصرفی ضروری به‌نظر می‌رسد (علیزاده اقیانوس و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به اهمیت مطالب ذکرشده، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام سورگوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، ۱٦۳۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد، میانگین دمای سالانه ۱٤/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱٤۰ میلی‌متر بارندگی سالانه) به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش تأثیر دو سطح کود نیتروژن (مقدار موجود، ۱۱۲/۵ کیلوگرم نیتروژن خالص از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	پتاسیم (میلی-گرم/کیلوگرم)	فسفر (میلی-گرم/کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	ماده آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس/متر)	pH	بافت خاک
۰-۳۰	۳۲۵	٤۸/۷	۰/۰۳	۰/٥٤	۲/۱٦	۷/۷	لومی‌رسی

منبع اوره) بر پانزده ژنوتیپ سورگوم (پگاه، سپیده، GS4، GS5، GS24، GS25، GS26، GS28، KGS29، KGS33، MGS1، MGS5، SF001، SF002، SF003)، تحت دو رژیم آبیاری (تخلیه ۵۰ و ۸۵ درصد از رطوبت قابل استفاده در خاک) مورد بررسی قرار گرفت. قبل از کاشت گیاه، خاک مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج در جدول ۱ گزارش شده است. دو رژیم آبیاری (آبیاری نرمال و کم آبیاری به‌ترتیب پس از تخلیه ۵۵ و ۸۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک) براساس حداکثر تخلیه رطوبتی مجاز از خاک برای گیاه سورگوم طی دوره رشد اعمال شدند. از زمان کاشت تا استقرار کامل گیاه (مرحله ٦-٤ برگی)، هر دو محیط رطوبتی همزمان و به یک میزان آبیاری شدند و بعد از مرحله استقرار (مرحله ٦-٤ برگی)، رژیم‌های آبیاری در نظر گرفته شد. تیمار نیتروژن نیز دو هفته پس از کاشت، در مرحله به ساقه‌رفتن و ظهور خوشه همراه با آب آبیاری اعمال شد.

اندازه‌گیری صفات، عملکرد بیولوژیک: پس از رسیدن کامل محصول و حذف اثر حاشیه، خطوط وسط در هر واحد آزمایشی برداشت شد. سپس نمونه‌های برداشت‌شده به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و با ترازوی دقیق توزین شدند.

اندازه‌گیری سطح برگ بوته: برای این منظور، برگ‌های ۵ بوته در هر واحد آزمایشی به‌روش تخریبی جدا و سطح برگ آنها با دستگاه سطح برگ‌سنج الکترونیکی (Model Winarea-ut-11 made in Iran)، برحسب سانتی‌متر مربع در بوته اندازه‌گیری شد.

ارتفاع بوته: ۵ بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب شد و میانگین ۵ بوته برای صفت مذکور ثبت شد.

محتوای کلروفیل برگ: برای این منظور از روش Arnon (۱۹٦۷) استفاده شد. در این روش ۰/۳ گرم از قسمت پهنک برگ به قطعات کوچکی خرد و در داخل هاون چینی به‌وسیله استون ۸۰٪ له می‌شود. عصاره حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب نوری هر یک از عصاره‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Hitachi-U-1800, Made in Japan) در طول‌موج ٦٦۳ و ٦٤٥ نانومتر خوانده شد. داده‌های حاصل جهت محاسبه غلظت کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) به‌ترتیب در روابط زیر وارد شدند.

$$\text{Chl a} = ((0.0127 \times Abs663) - (0.00269 \times Abs645)) \times \text{ml acceton/ mgleaf}$$

$$\text{Chl b} = ((0.0229 \times Abs645) - (0.00468 \times Abs663)) \times \text{ml acceton/mg leaf}$$

$$\text{Chl total} = 0.0202 \times Abs645 + 0.00802 \times Abs663$$

در این روابط Chl a، Chl b و Chl total به‌ترتیب کلروفیل a، b و کل و Abs٦٤٥ و Abs٦٦۳ جذب در طول‌موج‌های ٦٤٥ و ٦٦۳ نانومتر است.

حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m): از تقسیم فلورسانس کلروفیل متغیر (F_v) به فلورسانس کلروفیل بیشینه (F_m)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II محاسبه می‌شود. برای این منظور، سه برگ جوان و کاملاً توسعه‌یافته از هر واحد آزمایشی انتخاب و به‌مدت ۲۰ دقیقه با تاریکی سازگار شد. سپس حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II با استفاده از کلروفیل فلورومتر (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, USA) بین ساعت ۱۲-۱۰ اندازه‌گیری و میانگین هر سه اندازه‌گیری برای هر واحد آزمایشی استفاده شد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی: برای این منظور از برگ‌های جوان بالغ نمونه‌گیری صورت گرفت. به‌منظور استخراج آنزیم‌های مورد بررسی بافر استخراجی به‌روش تغییریافته Nakano و Asada (۱۹۸۱) تهیه شد. بعد از تهیه بافر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

استخراج، ۰/۱ گرم از نمونه برگی با استفاده از نیتروژن مایع درون هاون، پودر شده و به آن ۱ میلی‌لیتر از بافر استخراج اضافه شد و درون ویال‌های استریل ریخته و ویال‌ها به دستگاه سانتریفیوژ مدل Eppendorf 5810 R به‌مدت ۳۰ دقیقه با ۱٤۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد، منتقل شد. بعد از گذشت این مدت از قسمت رویی محلول موجود در ویال برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد.

اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز (CAT): اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با روش تغییریافته Aebi (۱۹۸۳) در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر خوانده شد. درنهایت میزان فعالیت آنزیم به‌صورت $\Delta A_{240}\ min^{-1}.\ Mg^{-}\ protein$ بیان شد.

اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX): فعالیت آنزیم طبق روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) با کمی تغییرات در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم به‌صورت $\Delta A_{290}\ min^{-1}.\ Mg^{-}\ protein$ گزارش شد.

اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز (POX): به‌منظور تعیین مقدار فعالیت پراکسیداز در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر، از روش تغییریافته Herzog و Fahimi (۱۹۷۳) استفاده شد. در نهایت فعالیت آنزیم به‌صورت $\Delta A_{470}\ min^{-1}.\ Mg^{-}\ protein$ بیان شد.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک: اثر اصلی رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و اثر متقابل رژیم آبیاری × نیتروژن، ژنوتیپ × رژیم آبیاری و ژنوتیپ × نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش ٤۳ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با آبیاری نرمال شد (جدول ۳). با کاربرد کود نیتروژن در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۳۳ و ۱۷٪ افزایش یافت (جدول ٤). Azizian و Sepaskhah (۲۰۱٤) نیز در تحقیقی واکنش ذرت به سطوح کم آبیاری و نیتروژن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در سیستم کم آبیاری با کاربرد کود نیتروژن به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم درهکتار ماده خشک گیاه افزایش یافت.

در بین ژنوتیپ‌ها، بیشترین (۵۹٪) و کمترین (۳۳٪) درصد کاهش عملکرد بیولوژیک درنتیجه تنش خشکی به‌ترتیب در ژنوتیپ MGS1 و KGS33 مشاهده شد (جدول ۵). کاهش ناشی از تنش خشکی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌تواند به بسته‌شدن روزنه‌ها در پاسخ به کاهش محتوای آب خاک، که باعث کاهش مصرف CO_2 و درنتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود، نسبت داده شود. به‌طور خلاصه، خشکی با کاهش رشد و توسعه گیاه، منجر به اختلال در تولید گل و پرشدن دانه می‌شود (Anjum *et al.*, 2011). در عین حال، تحمل به خشکی تقریباً در تمام گیاهان دیده می‌شود، اما میزان آن از گونه‌ای به گونه دیگر و حتی در درون گونه‌ها متفاوت است (Jaleel *et al.*, 2009). در مطالعه Nxele و همکاران (۲۰۱۷) نیز تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد گیاه سورگوم شد. همچنین، آذری نصرآباد و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های سورگوم بیان کردند که ژنوتیپ KGFS13 با میانگین ۲۲۳٦۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین و ژنوتیپ سپیده با میانگین ۹۷۵۸ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. علاوه بر این، احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۹٦) گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری کاهش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک ارقام سورگوم مشاهده شد.

با کوددهی نیتروژن، ژنوتیپ‌های MGS5 و MGS1 به‌ترتیب با ۳۹ و ۱۷٪، بیشترین و کمترین افزایش عملکرد را داشتند (جدول ٦). Beyaert و Roy (۲۰۰۵) نیز با بررسی تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد سورگوم گزارش کردند که حداکثر عملکرد با ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. در مطالعه کرامت (۱۳۹٤) نیز کاربرد کود نیتروژن منجر به افزایش ماده خشک تولیدی در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شد.

سطح برگ بوته: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری‌شده در ارقام سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد بیولوژیک	سطح برگ بوته	ارتفاع	F_v/F_m	کلروفیل a	کلروفیل b
بلوک (ب)	۲	۰/۱۲۲**	۲۲۰۵۵۳/۵۷*	۵۲۶/۶۰**	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۳۱**	۰/۰۰۷**
آبیاری (آ)	۱	۲۴/۴۵۷**	۳۸۲۶۵۵۲۵/۵۲**	۱۱۸۸۸۸/۲۰**	۰/۵۲۹**	۲/۸۶۳**	۰/۵۹۰**
خطای اصلی (آ×ب)	۲	۰/۰۰۷	۲۶۲۸۶/۷۹	۱۲۶/۸۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲
نیتروژن (ن)	۱	۴/۷۷۲**	۶۷۷۵۶۱۸/۵۲**	۱۲۹۳۷/۰۸**	۰/۱۹۰**	۰/۶۷۱**	۰/۱۳۶**
آ×ن	۱	۱/۲۶۲**	۱۶۰۳۵۱۰/۴۳**	۱۸۶۸/۸۸**	۰/۰۱۹**	۰/۱۳۲**	۰/۰۳۲**
خطای فرعی (ن×ب(آ))	۱	۰/۰۴۰	۵۰۱۷/۶۴	۳۴/۱۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱
ژنوتیپ(ژ)	۱۴	۲/۶۱۰**	۱۹۸۳۷۸۲/۸۹**	۲۴۹۶۸/۳۲**	۰/۰۰۶**	۰/۰۲۶**	۰/۰۰۸**
ژ×آ	۱۴	۰/۱۶۹**	۱۳۱۰۲۸/۴۵**	۴۸۵/۵۵**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۱^{ns}
ژ×ن	۱۴	۰/۰۷۷**	۶۸۳۳۹/۷۹^{ns}	۱۹۰/۰۶*	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}
ژ×آ×ن	۱۴	۰/۰۱۲^{ns}	۸۳۹۷/۹۵^{ns}	۱۱/۷۹^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
خطای فرعی فرعی	۱۱۲	۰/۰۲۵	۵۱۶۵۷/۹۳	۱۰۲/۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل (a+b)	کلروفیل a/b	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
بلوک (ب)	۲	۰/۰۷۰**	۰/۲۵۸^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۶۴**	۰/۰۱۶^{ns}
آبیاری (آ)	۱	۰/۰۳۸**	۰/۵۰۷*	۱۱۶/۲۲۶**	۵/۰۱۲**	۱۸۷/۱۰۸**
خطای اصلی (آ×ب)	۲	۰/۰۰۲	۰/۱۲۰	۰/۰۵۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۶
نیتروژن (ن)	۱	۱/۴۰۴**	۰/۰۷۳^{ns}	۰/۷۴۷**	۰/۲۶۸**	۰/۸۰۲**
آ×ن	۱	۰/۲۹۲**	۰/۰۲۰^{ns}	۰/۱۶۶*	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۱۸۱*
خطای فرعی (ن×ب(آ))	۱	۰/۰۰۱	۰/۱۴۷	۰/۰۵۳	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۲۲
ژنوتیپ(ژ)	۱۴	۰/۰۶۰**	۰/۳۰۰**	۰/۲۵۲**	۰/۱۵۰**	۰/۲۴۴**
ژ×آ	۱۴	۰/۰۰۹*	۰/۰۵۵^{ns}	۰/۱۷۶**	۰/۰۳۲**	۰/۱۲۴**
ژ×ن	۱۴	۰/۰۰۷*	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۱۰^{ns}
ژ×آ×ن	۱۴	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}
خطای فرعی فرعی	۱۱۲	۰/۰۰۴	۰/۱۰۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹

ns، * و ** به¬ترتیب عدم معنی¬داری، معنی¬داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن و ژنوتیپ × رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). کوددهی نیتروژن نسبت به عدم‌کاربرد آن سبب افزایش ۲۷ و ۱۴ درصدی سطح برگ بوته به‌ترتیب در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ٤). نیتروژن به‌دلیل افزایش توسعه و دوام سطح برگ باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر صفات اندازه‌گیری‌شده در ارقام سورگوم

عوامل آزمایش	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمربع)	سطح برگ بوته (سانتی‌مترمربع)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	F_v/F_m	کلروفیل a (میلی¬گرم بر گرم برگ تازه)	کلروفیل b (میلی¬گرم بر گرم برگ تازه)
رژیم آبیاری						
نرمال	۱/۷۰۰^{a}	۲٤۱۹^{a}	۱٤۷/۱^{a}	۰/۷۱۳^{a}	۰/۷۰٥^{a}	۰/۲۹۸^{a}
تنش خشکی	۰/۹٦۳^{b}	۱٤۹۷^{b}	۱۳۰/۲^{b}	۰/٦۰٥^{b}	۰/٤٥۲^{b}	۰/۱۸٤^{b}
کود نیتروژن						
صفر	۱/۱٦۹^{b}	۱۷٦٤^{b}	۱۳۰/۲^{b}	۰/٦۲۷^{b}	۰/٥۱۷^{b}	۰/۲۱٤^{b}
۱۱۲/٥	۱/٤۹٥^{a}	۲۱٥۲^{a}	۱٤۷/۱^{a}	۰/٦۹۲^{a}	۰/٦٤۰^{a}	۰/۲٦۹^{a}
ژنوتیپ						
پگاه	۲/۷۳۲^{a}	۲۷۳٥^{a}	۱۸۸/۹^{b}	۰/٦۳۲^{de}	۰/٥۰٤^{g}	۰/۲۳۱^{defg}
سپیده	۱/۰۲٦^{hi}	۱٦۹۱^{f}	۱۰۲/۰^{fg}	۰/٦۳٥^{de}	۰/٥۲۷^{fg}	۰/۲۲٥^{defg}
GS4	۱/۲۱٥^{ef}	۱۷۰۱^{f}	۱۲۱/۹^{e}	۰/٦٥۱^{bcde}	۰/٥۸۰^{cde}	۰/۲۳۲^{def}
GS5	۰/۹۱۱^{ij}	۱٤٤۲^{g}	۱۱۷/۱^{e}	۰/٦٤۱^{de}	۰/٥٤۳^{ef}	۰/۲۱٥^{efg}
GS24	۱/۹۲۸^{b}	۲٥۷۲^{ab}	۱۷۷/۲^{c}	۰/٦٦۱^{abcd}	۰/٥۷۷^{cde}	۰/۲٤۰^{cde}
GS25	۱/۰٦۱^{gh}	۱٥۸۱^{fg}	۱۰۰/۷^{fg}	۰/٦۹۱^{a}	۰/٥۹۸^{bcd}	۰/۲٦۳^{bc}
GS26	۱/۲۹۱^{def}	۱۹۹٥^{e}	۹۹/۰^{g}	۰/٦۷۸^{a}	۰/٥۱۰^{fd}	۰/۲۰٥^{g}
GS28	۱/۳۰۷^{de}	۲۰٥۰^{e}	۱٤۰/۲^{d}	۰/٦٤۰^{cde}	۰/٥٦۷^{de}	۰/۲۳۲^{def}
KGS29	۰/۸٦٥^{j}	۱٤٤٥^{g}	۱۰۸/٤^{f}	۰/٦٤۹^{bcde}	۰۰/٥٤۷^{ef}	۰/۲۱۲^{fg}
KGS33	۱/۱۷٦^{fg}	۱٦٦۸^{f}	۱۰۲/۳^{fg}	۰/٦۷۰^{abc}	۰/٦۰۹^{bc}	۰/۲٦۱^{bc}
MGS1	۱/۰٦٦^{gh}	۱٦۸٤^{f}	۱۰٤/۱^{fg}	۰/٦۲۲^{e}	۰/٥۸۰^{cde}	۰/۲٤۸^{cd}
MGS5	۱/۳۹۱^{dc}	۲۱۱۱^{de}	۹۷/٤^{g}	۰/٦۷۸^{a}	۰/٦٥٥^{a}	۰/۲۷٦^{ab}
SF001	۱/٥۱۳^{c}	۲۲۸٥^{cd}	۲۲۰/۸^{a}	۰/٦۷۲^{ab}	۰/٦٥۱^{a}	۰/۳۰۲^{a}
SF002	۱/۳۰٦^{de}	۲٤۳۳^{bc}	۲۱۸/۰^{a}	۰/٦٦٥^{abc}	۰/٦۲۸^{ab}	۰/۲٦۰^{bc}
SF003	۱/۱۸۹^{efg}	۱۹۷۷^{e}	۱۸۱/۷^{b}	۰/٦۸٦^{a}	۰/٦۰۱^{bcd}	۰/۲۱٥^{efg}

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون **LSD** در سطح ٥ درصد هستند.

(Valadabadi and Farahani, 2010). Moosavi (۲۰۱۲) نیز گزارش کرد که با افزایش مقدار کود نیتروژن (۷٥، ۱٥۰ و ۲۲٥ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) تحت شرایط تنش خشکی، سطح برگ ذرت افزایش یافت.

تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ بوته در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شد و ژنوتیپ‌های MGS5 و KGS29 به‌ترتیب با ۲٤ و ٥۰٪ کاهش ناشی از تنش کم‌آبی، متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ بودند (جداول ۳ و ٥).

سطح برگ تعیین‌کننده فعالیت فتوسنتزی است و برای تولید زیست‌توده و عملکرد دانه، بسیار مهم است (Rosenthal and Vanderlip, 2004). تنش خشکی از طریق تغییر در اندازه و تعداد برگ می‌تواند سطح برگ گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Khan *et al*., 2001). در مطالعه Borrell و همکاران (۲۰۰۰) نیز تنش خشکی از طریق کاهش اندازه برگ موجب کاهش سطح برگ ارقام سورگوم شد. Khan و همکاران (۲۰۰۱) نیز کاهش سطح برگ ذرت درنتیجه تنش خشکی را گزارش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

ادامه جدول ۳-

عوامل آزمایش	کلروفیل (a+b) (میلی¬گرم بر گرم برگ تازه)	کلروفیل a/b	کاتالاز (میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی¬گرم پروتئین در دقیقه)	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
رژیم آبیاری					
نرمال	۱/۰۰۳^{a}	۲/۵۰^{a}	۰/٦٤٦^{b}	۰/۳۷۹^{b}	۰/۸٦۲^{b}
تنش خشکی	۰/٦۳۷^{b}	۲/۳۹^{b}	۲/۲۵۳^{a}	۰/۷۱۳^{a}	۲/۹۰۱^{a}
کود نیتروژن					
صفر	۰/۷۳۱^{b}	۲/٤۲^{a}	۱/۳۸۵^{b}	۰/۵۰۷^{b}	۱/۸۱۵^{b}
۱۱۲/۵	۰/۹۰۸^{a}	۲/٤٦^{a}	۱/۵۱٤^{a}	۰/۵۸٤^{a}	۱/۹٤۸^{a}
ژنوتیپ					
پگاه	۰/۷۳٦^{i}	۲/۲۰^{de}	۱/۵۵۷^{bc}	۰/٤٤۱^{def}	۱/۸۸۱^{de}
سپیده	۰/۷٤۹^{hi}	۲/٤۱^{bcde}	۱/۲٦۲^{f}	۰/۵۵۰^{c}	۱/۷۷۸^{e}
GS4	۰/۸۱۲^{efg}	۲/۵۱^{bc}	۱/۳۷۹^{def}	۰/۳۹۸^{fg}	۱/۷٦۷^{e}
GS5	۰/۷۵۹^{ghi}	۲/۵۵^{abc}	۱/۲۷۸^{f}	۰/۳٦۵ ^{g}	۱/۷۹٤^{de}
GS24	۰/۸۱۸^{def}	۲/٤۳^{bcde}	۱/٤۵۰^{cde}	۰/۵۰۰^{cd}	۱/۸۱۰^{de}
GS25	۰/۸٦۱^{cde}	۲/۳۱^{cde}	۱/٤۵۲^{cde}	۰/۵۳۱^{c}	۱/۸۱٤^{de}
GS26	۰/۷۱٦^{i}	۲/۵۲^{bc}	۱/۳۲٦^{ef}	۰/٤۷۰^{de}	۱/۷۸۹^{e}
GS28	۰/۷۹۹^{fgh}	۲/٤۹^{bc}	۱/٤۹٦^{bcd}	۰/٦٦۹^{b}	۱/۸۸۰^{de}
KGS29	۰/۷۵۹^{ghi}	۲/٦۳^{ab}	۱/۳۷۰^{def}	۰/٦۵٤^{b}	۱/۷٤۹^{e}
KGS33	۰/۸۷۰^{cd}	۲/۳۹^{bcde}	۱/٤۱۸^{de}	۰/۵٤۷^{c}	۱/۸۳۳^{de}
MGS1	۰/۸۲۸^{def}	۲/۳۵^{cde}	۱/۲۵٤ ^{f}	۰/٤۲۵^{efg}	۱/۷۹۵^{de}
MGS5	۰/۹۳۱^{ab}	۲/٤۳^{bcde}	۱/۷۰۱ ^{a}	۰/٦۱۱^{b}	۲/۲۱۳^{a}
SF001	۰/۹٤۵^{a}	۲/۱۷^{e}	۱/٦۱۰^{ab}	۰/٦۳۹^{b}	۲/۱٤۷^{ab}
SF002	۰/۸۸۹^{bc}	۲/٤۵^{bcd}	۱/٦۹۳^{a}	۰/۷٤۰^{a}	۲/۰٤۲^{bc}
SF003	۰/۸۱٦^{def}	۲/۸۰^{a}	۱/٤۹۷^{bcd}	۰/٦٤٦^{b}	۱/۹۳۰^{cd}

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون **LSD** در سطح ۵ درصد هستند.

کردند.

ارتفاع بوته: اثر اصلی عوامل آزمایشی و اثر متقابل رژیم آبیاری × نیتروژن، ژنوتیپ × رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ژنوتیپ × نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). با کاربرد کود نیتروژن، ارتفاع بوته ۱۵ درصد در شرایط آبیاری نرمال و ۹ درصد در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (جدول ٤).

تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های GS5، GS26، KGS29 و GS4 به‌ترتیب با ۳۹، ۳۸، ۳۷ و ۳۵٪، شد (جدول ۵). کاهش در ارتفاع بوته می‌تواند به کاهش در آماس سلولی رشد و تعداد سلول‌های ساقه، در گیاه تحت تنش خشکی نسبت داده شود (Khan *et al.*, 2001). در آزمایش احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۹٦) نیز ارتفاع بوته‌های سورگوم تحت شرایط تنش شدید خشکی، ٤۱٪ کاهش یافت. علاوه بر این، حیدری و همکارن (۱۳۹۳) بیان کردند که بین ژنوتیپ‌های سورگوم در پاسخ به تنش خشکی تفاوت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر صفات مختلف

عوامل آزمایش		عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمربع)	سطح برگ بوته (سانتی‌مترمربع)	ارتفاع (سانتی‌متر)	F_v/F_m
رژیم آبیاری	کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)				
نرمال	صفر	۱/٤٥٤ b	۲۱۳۱ b	۱٥۲/٦۸ b	۰/٦۷۰ b
	۱۱۲/٥	۱/۹٤۷ a	۲۷۰۷ a	۱۷٦/۰۸ a	۰/۷٥٦ a
تنش خشکی	صفر	۰/۸۸٤ d	۱۳۹۷ d	۱۰۷/۷۳ d	۰/٥۸۳ d
	۱۱۲/٥	۱/۰٤۲ c	۱٥۹۷ c	۱۱۸/۲٤ c	۰/٦۲۷ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ٥ درصد هستند.

ادامه جدول ٤-

عوامل آزمایش		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل (a+b)	کاتالاز	پراکسیداز
رژیم آبیاری	کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	(میلی¬گرم بر گرم برگ تازه)			(میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی¬گرم پروتئین در دقیقه)	
نرمال	صفر	۰/٦۱٦ b	۰/۲٥۸ b	۰/۸۷٤ b	۰/٦۱۲ c	۰/۸۲۷ c
	۱۱۲/٥	۰/۷۹۳ a	۰/۳۳۹ a	۱/۱۳۲ a	۰/٦۸۰ c	۰/۸۹۷c
تنش خشکی	صفر	۰/٤۱۸ d	۰/۱۷۰ d	۰/٥۸۹ d	۲/۱٥۸ b	۲/۸۰۲ b
	۱۱۲/٥	۰/٤۸٦ c	۰/۱۹۸ c	۰/٦۸٥ c	۲/۳٤۸ a	۳/۰۰۰ a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ٥ درصد هستند.

معنی‌داری از نظر ارتفاع وجود داشت به‌طوری که بیشترین کاهش مربوط به ژنوتیپ KS4 بود.

ارتفاع بوته در اثر کاربرد کود نیتروژن نسبت به عدم‌کاربرد آن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی میزان این افزایش در ژنوتیپ‌ها یکسان نبود به‌طوری که ژنوتیپ MGS5 با ۱۷ درصد، بیشترین افزایش را داشت (جدول ۳ و ٦). Uchino و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که با مصرف ۹۰ و ۱٥۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به سایر تیمارها (صفر، ۳۰، ٦۰ و ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، بیشترین ارتفاع بوته در گیاه سورگوم شیرین مشاهده شد.

حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II: اثر اصلی رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن و ژنوتیپ × رژیم آبیاری بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد نیتروژن به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۲ و ۷ درصد کارایی کوانتومی فتوسیستم II در رژیم آبیاری نرمال و تنش خشکی شد (جدول ٤).

تنش خشکی در ژنوتیپ‌های MGS1 و SF003 به‌ترتیب با ۲٥ و ٦٪، موجب بیشترین و کمترین کاهش در کارایی کوانتومی فتوسیستم II گردید (جدول ٥). بیشترین کارایی کوانتومی فتوسیستم II در ژنوتیپ GS26 و آبیاری نرمال (۰/۷٥٤) و کمترین مقدار آن در ژنوتیپ SF003 تنش خشکی (۰/٦٦۳) مشاهده شد (جدول ٥). فلورسانس کلروفیل با راندمان فتوسنتزی گیاه ارتباط داشته و به‌طور غیرمستقیم امکان ارزیابی کارکرد کوانتومی فتوسیستم II در گیاه را تحت شرایط مختلف محیطی فراهم می‌کند (Li *et al.*, 2006). از این‌رو،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر صفات مختلف

عوامل آزمایش		عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر مترمربع)	سطح برگ بوته (سانتی‌مترمربع)	ارتفاع (سانتی‌متر)	F_v/F_m
رژیم آبیاری	ژنوتیپ				
نرمال	پگاه	۳/٤۳۸ a	۳۳۰٦ a	۲۲۳/۱ b	۰/٦۹۱ cde
	سپیده	۱/۳۰۱ ijk	۲۱۸۸ efg	۱۲۳/۳ hij	۰/٦۹٤ cde
	GS4	۱/٥٦۰ efg	۲۲۱۹ ef	۱٤۸/٦ ef	۰/۷۰۷ bc
	GS5	۱/۲۸٥ ijk	۱۸۹۲ i	۱٤٦/۰ ef	۰/۷۱۹ abc
	GS24	۲/٤۱۷ b	۳۱٥٤ a	۲۱۲/۸ b	۰/۷۰۷ bcd
	GS25	۱/۷۰۹ ed	۱۹٤۱ ghi	۱۱۹/۳ ij	۰/۷۳٤ ab
	GS26	۱/۳٤۱ hij	۲٦۳٤ bc	۱۲۲/۸ hij	۰/۷٥٤ a
	GS28	۱/۷۱۰ de	۲٥٦۷ bcd	۱٦۲/۰ d	۰/۷۰۸ bc
	KGS29	۱/۱۸٥ jkl	۱۹۳۱ ghi	۱۳۳/٥ gh	۰/۷۲۱ abc
	KGS33	۱/٤۰۹ ghi	۲۰۰۷ fghi	۱۱۹/۳ ij	۰/۷۱۲ abc
	MGS1	۱/٥۱٦ fgh	۲۲۳٤ ef	۱۲٦/۱ hi	۰/۷۱۳ abc
	MGS5	۱/۷۱۲ de	۲٤۰۷ cde	۱۱۳/۱ j	۰/۷۲۱ abc
	SF001	۱/۸۸۳ cd	۲٦٤۷ bc	۲٥۲/۰ a	۰/۷۰٦ bcd
	SF002	۱/٥۹٥ ef	۲۷۹۳ b	۲٥۰/۳ a	۰/۷۰٤ bcd
	SF003	۱/٤٤٥ fghi	۲۳٦٤ de	۲۱۳/۱ b	۰/۷۰۹ bc
تنش خشکی	پگاه	۲/۰۲٦ c	۲۱٦٤ efgh	۱٥٤/٦ de	۰/٥۷۲ ijk
	سپیده	۰/۷٥۱ pq	۱۱۹۳ mno	۸۰/٦ lm	۰/٥۷٦ ij
	GS4	۰/۸۷۱ nop	۱۱۸٤ mno	۹٥/۱ k	۰/٥۹٤ hij
	GS5	۰/٥۳٦ r	۹۹۲ no	۸۸/۳ kl	۰/٥٦٤ ijk
	GS24	۱/٤۳۹ fghi	۱۹۸۹/٥ fghi	۱٤۱/٦ fg	۰/٦۱٥ ghi
	GS25	۰/۷۸۱ opq	۱۲۲۱ mn	۸۲/۱ lm	۰/٦٤٤ fg
	GS26	۰/۸۷۲ nop	۱۳٥٥ klm	۷٥/٥ m	۰/٦۲۱ fgh
	GS28	۰/۹۰٥ mnop	۱٥۳۳ kl	۱۱۸/٥ ij	۰/٥۷۳ ijk
	KGS29	۰/٥٤٥ r	۹٥۹ o	۸۳/۳ lm	۰/٥۷۷ ij
	KGS33	۰/۹٤۳ mno	۱۳۲۹ lm	۸٥/۳ klm	۰/٦۲۷ fgh
	MGS1	۰/٦۱٦ qr	۱۱۳۳ mno	۸۲/۱ lm	۰/٥۳۲ ijk
	MGS5	۱/۰۷۱ lm	۱۸۱٤ ij	۸۱/٦ lm	۰/٦٥۳ efg
	SF001	۱/۱٤۳ kl	۱۹۲۳ hi	۱۸۹/٦ c	۰/٦۳۸ fg
	SF002	۱/۰۱٦ lmn	۲۰۷۳ fghi	۱۸٥/٦ c	۰/٦۲۷ fgh
	SF003	۰/۹۳۳ mno	۱٥۹۱ jk	۱٥۰/۳ ef	۰/٦٦۳ def

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

ادامه جدول ۵-

عوامل آزمایش		کلروفیل a	کلروفیل (a+b)	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
رژیم آبیاری	ژنوتیپ	(میلی¬گرم بر گرم برگ تازه)		(میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی¬گرم پروتئین در دقیقه)		
نرمال	پگاه	۰/۶۱۶ g	۰/۹۰۲ g	۰/۶۷۵ j	۰/۲۹۵ op	۰/۸۸۱ e
	سپیده	۰/۶۵۰ efg	۰/۹۲۱ fg	۰/۵۹۶ j	۰/۳۸۰ jklmn	۰/۸۳۶ e
	GS4	۰/۷۲۲ abcd	۱/۰۰۷ bcde	۰/۶۳۸ j	۰/۳۰۱ nop	۰/۸۱۶ e
	GS5	۰/۶۷۳ def	۰/۹۵۰ efg	۰/۶۲۳ j	۰/۲۷۱ p	۰/۸۴۰ e
	GS24	۰/۷۰۲ bcde	۰/۹۹۷ cde	۰/۶۲۰ j	۰/۳۵۱ lmnop	۰/۸۴۵ e
	GS25	۰/۷۲۱ abcd	۱/۰۵۰ abc	۰/۶۴۵ j	۰/۳۹۸ jkl	۰/۸۵۵ e
	GS26	۰/۶۴۵ fg	۰/۹۰۹ g	۰/۶۳۱ j	۰/۳۶۰ lmno	۰/۸۱۶ e
	GS28	۰/۶۹۴ cdef	۰/۹۸۸ cdef	۰/۶۶۳ j	۰/۴۴۶ ijk	۰/۸۸۰ e
	KGS29	۰/۶۹۷ cdef	۰/۹۷۲ defg	۰/۶۴۵ j	۰/۴۸۸ hi	۰/۸۸۰ e
	KGS33	۰/۷۲۳ abcd	۱/۰۵۳ abc	۰/۶۱۱ j	۰/۳۶۶ klmno	۰/۹۵۳ e
	MGS1	۰/۷۶۱ a	۱/۰۸۸ a	۰/۶۱۳ j	۰/۳۱۰ mnop	۰/۸۲۵ e
	MGS5	۰/۷۵۳ ab	۱/۰۸۱ ab	۰/۷۰۳ j	۰/۳۹۰ jklm	۰/۹۶۶ e
	SF001	۰/۷۵۶ a	۱/۱۰۸ a	۰/۷۰۶ j	۰/۴۰۱ jkl	۰/۹۴۶ e
	SF002	۰/۷۴۱ abc	۱/۰۴۵ abcd	۰/۶۴۳ j	۰/۵۰۳ ghi	۰/۸۵۶ e
	SF003	۰/۷۱۷ abcd	۰/۹۷۱ defg	۰/۶۸۰ j	۰/۴۲۳ ijkl	۰/۹۱۵ e
تنش خشکی	پگاه	۰/۳۹۳ no	۰/۵۷۰ lmn	۲/۴۴۰ cd	۰/۵۸۸ def	۲/۸۸۰ cd
	سپیده	۰/۴۰۴ mno	۰/۵۷۷ lmn	۱/۹۲۸ hi	۰/۷۲۱ c	۲/۷۲۰ d
	GS4	۰/۴۳۸ lmn	۰/۶۱۷ jklm	۲/۱۲۰ fg	۰/۴۹۵ hi	۲/۷۱۸ d
	GS5	۰/۴۱۴ mno	۰/۵۶۷ lmn	۱/۹۳۳ ghi	۰/۴۶۰ hij	۲/۷۴۸ d
	GS24	۰/۴۵۲ klm	۰/۶۳۸ jkl	۲/۲۸۱ def	۰/۶۴۸ cde	۲/۷۷۶ cd
	GS25	۰/۴۷۵ jkl	۰/۶۷۲ ijk	۲/۲۶۰ def	۰/۵۸۰ efg	۲/۷۷۳ cd
	GS26	۰/۳۷۶ o	۰/۵۲۲ n	۲/۰۲۱ ghi	۰/۶۶۵ cd	۲/۷۶۱ cd
	GS28	۰/۴۴۰ lmn	۰/۶۱۰ klm	۲/۳۳۰ cde	۰/۸۹۱ b	۲/۸۸۰ cd
	KGS29	۰/۳۹۷ no	۰/۵۴۶ mn	۲/۰۹۵ fgh	۰/۸۲۰ b	۲/۶۹۸ d
	KGS33	۰/۴۹۵ ijk	۰/۶۸۷ ij	۲/۲۲۵ ef	۰/۷۲۸ c	۲/۸۱۳ cd
	MGS1	۰/۳۹۹ no	۰/۵۶۸ lmn	۱/۸۹۵ hi	۰/۵۴۰ fgh	۲/۷۶۶ cd
	MGS5	۰/۵۵۷ h	۰/۷۸۲ h	۲/۷۰۰ ab	۰/۸۳۳ b	۳/۴۶۰ a
	SF001	۰/۵۴۷ hi	۰/۸۰۰ h	۲/۵۱۵ bc	۰/۸۷۶ b	۳/۳۴۸ ab
	SF002	۰/۵۱۶ hij	۰/۷۳۲ hi	۲/۷۴۳ a	۰/۹۷۸ a	۳/۲۲۸ b
	SF003	۰/۴۸۶ jkl	۰/۶۶۲ jkl	۲/۳۱۵ de	۰/۸۶۸ b	۲/۹۴۶ c

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود نیتروژن و ژنوتیپ بر صفات مختلف

عوامل آزمایش		عملکرد بیولوژیک	ارتفاع	کلروفیل (a+b)
کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	ژنوتیپ	(کیلوگرم بر مترمربع)	(سانتی‌متر)	(میلی‌گرم بر گرم برگ تازه)
صفر	پگاه	۲/۳۷٦ b	۱۷٦/۳ ef	۰/٦٥۳۲ n
	سپیده	۰/۹۱۸ qrs	۹٦/۸ nop	۰/٦۷۲ n
	GS4	۱/۰۹۹ lmnopq	۱۱٦/۸ ijk	۰/۷٤۸ jklm
	GS5	۰/۸۳۳ rs	۱۱۰/۱ klm	۰/٦۹۲ mn
	GS24	۱/٦٦۹ de	۱٦۷/۰ f	۰/۷۱۸ klmn
	GS25	۰/۹٥۱ pqrs	۹٥/٥ op	۰/۷۷٦ ijk
	GS26	۱/۱٦۷ jklmn	۹٤/۸ op	۰/٦٦۳ n
	GS28	۱/۱٥۰ klmno	۱۲۹/۸ h	۰/۷۱۲ klmn
	KGS29	۰/۷۸٦ s	۱۰٤/۱ lmno	۰/٦۹٥ lmn
	KGS33	۱/۰٤۲ mnopq	۹٤/٦ op	۰/۷٦۹ ijkl
	MGS1	۰/۹۸۲ opqr	۹۹/٥ mnop	۰/۷٦۱ ijklm
	MGS5	۱/۱٦۱ jklmno	۸۹/٦ p	۰/۸۰۲ hij
	SF001	۱/۲٦٤ ijkl	۲۰٦/۸ b	۰/۸۱۳ ghij
	SF002	۱/۱۰۲ lmnop	۲۰۱/۱ bc	۰/۷۷۱ ijk
	SF003	۱/۰۳۹ mnopq	۱٦۹/۸ f	۰/۷۲٥ klmn
۱۱۲/٥	پگاه	۳/۰۸۸ a	۲۰۱/٥ bc	۰/۸۱۹ ghij
	سپیده	۱/۱۳٤ klmno	۱۰۷/۱ klmn	۰/۸۲٦ fghi
	GS4	۱/۳۳٥ ghij	۱۲۷/۰ hi	۰/۸۷٦ efgh
	GS5	۰/۹۸۸ nopqr	۱۲٤/۱ hij	۰/۸۲٥ fghi
	GS24	۲/۱۸۷ c	۱۸۷/٥ de	۰/۹۱۷ de
	GS25	۱/٤۱٥ ghi	۱۰٦/۰ klmno	۰/۹٤۷ cde
	GS26	۱/۱۷۱ jklm	۱۰۳/٥ lmno	۰/۷٦۹ ijkl
	GS28	۱/٤٦٤ fgh	۱٥۰/٦ g	۰/۸۸٦ efg
	KGS29	۰/۹٤۳ pqrs	۱۱۲/٦ jkl	۰/۸۲۳ fghi
	KGS33	۱/۳۱۰ hijk	۱۱۰/۰ klm	۰/۹۷۱ cd
	MGS1	۱/۱٥۰ klmno	۱۰۸/۸ klm	۰/۸۹٥ def
	MGS5	۱/٦۲۲ def	۱۰٥/۱ lmno	۱/۰٦۱ ab
	SF001	۱/۷٦۲ d	۲۳٤/۸ a	۱/۰۹٥ a
	SF002	۱/٥۰۹ efg	۲۳٤/۸ a	۱/۰۰٦ bc
	SF003	۱/۳٤۰ ghij	۱۹۳/٦ cd	۰/۹۰۷ de

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

تجزیه و تحلیل پارامترهای فلورسانس کلروفیل (مانند F_V/F_m) برای ارزیابی کارکرد مطلوب فرایند فتوسنتز در برگ مهم بوده و تکنیکی با سرعت بالا برای تشخیص تحمل گیاهان به تنش خشکی ارائه می‌دهد (Li *et al.*, 2006; Percival and Sheriffs, 2002). در مطالعه‌ای بر روی ذرت نیز اعمال تنش خشکی در مرحله رویشی و زایشی منجر به کاهش کارایی کوانتومی فتوسیستم II شد (منصوری‌فر و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این، Paknejad و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که تنش خشکی، فلورسانس متغیر (F_V) و F_V/F_M ارقام گندم را کاهش داد.

محتوای کلروفیل: محتوای کلروفیل a، b و کل (a+b) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری، نیتروژن، ژنوتیپ و برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن قرار گرفتند (جدول ۲). همچنین، برهمکنش ژنوتیپ × نیتروژن بر محتوای کلروفیل کل و برهمکنش ژنوتیپ × رژیم آبیاری بر محتوای کلروفیل a و کل معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای کلروفیل a، b و کل در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد کود نیتروژن به‌ترتیب ۲۸، ۳۱ و ۲۹٪ افزایش یافتند، در حالی که در اثر تنش خشکی به‌ترتیب ۱۵، ۱٦ و ۱۵٪ افزایش نشان دادند (جدول ٤). Schlemmer و همکاران (۲۰۰۵) نیز تأثیر سطوح مختلف نیترون را در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بر میزان کلروفیل ذرت بررسی کردند و نتایج نشان داد که با افزایش میزان نیتروژن محتوای کلروفیل برگ در شرایط نرمال افزایش یافت ولی در شرایط تنش خشکی تاثیر نیتروژن کمتر بود. علاوه بر این، Pandey و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که کاهش محتوای کلروفیل ذرت در پاسخ به کمبود آبیاری در تیمار عدم‌نیتروژن نسبت به تیمارهای ۱۲۰ یا ۱٦۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود.

به‌طور کلی محتوای کلروفیل a، b و کل در اثر تنش خشکی به‌ترتیب ۳۵، ۳۸ و ۳٦ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت (جدول ۳). ریاحی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان کردند که غلظت کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۲۸ و ۳۳ درصد کاهش یافت. کلروفیل یکی از اجزای عمده کلروپلاست و دارای رابطه مثبت با میزان فتوسنتز است. کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی به‌عنوان یک علامت تنش اکسیداتیو مورد توجه قرار گرفته که طی آن اکسیداسیون نوری رنگدانه و تجزیه کلروفیل صورت می‌گیرد (Anjum *et al.*, 2011). در بین ژنوتیپ‌های سورگوم، SF001 در هر دو شرایط آبیاری نرمال و کمبود آبیاری دارای بالاترین محتوای کلروفیل a و کل بود (جدول ۵).

محتوای کلروفیل a، b و کل در شرایط کاربرد کود نیتروژن نسبت به عدم‌کاربرد آن به‌ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۲٤ درصد افزایش یافت (جداول ۳). این نتایج تأثیر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر محتوای کلروفیل را نشان می‌دهد. نیتروژن عنصر مهمی در ساختار کلروفیل است. کاهش رطوبت موجود در خاک توأم با کاهش جذب نیتروژن، منجر به مضاعف‌شدن تأثیر منفی آن بر میزان کلروفیل می‌شود. بنابراین با مصرف کود نیتروژن تا حدودی می‌توان از خسارت‌های ناشی از تنش خشکی جلوگیری کرد (Osborne *et al.*, 2002). منصوری‌فر و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که کاهش مقدار نیتروژن موجود در خاک منجر به کاهش میزان کلروفیل در برگ‌های ذرت گردید.

در این آزمایش، ژنوتیپSF001 در هر دو شرایط کاربرد و عدم‌کاربرد کود نیتروژن دارای بالاترین محتوای کلروفیل کل بود (جدول ٦). همچنین این ژنوتیپ با ۳۳٪ افزایش، بیشترین حساسیت را نسبت به کود نیتروژن داشت (جدول ٦). کرامت (۱۳۹٤) گزارش کرد که بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل کل (a+b) با کاربرد نیتروژن به فرم ورمی‌کمپوست و نیترات آمونیوم به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ٤ و ۲۸ بود.

نسبت کلروفیل a/b: اثر اصلی رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش ٤ درصدی این نسبت شد (جدول ۳). کاهش نسبت کلروفیل a/b می‌تواند به‌دلیل افزایش کلروفیل b در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک مکانیسم دفاع احتمالی باشد. همچنین، اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر نسبت کلروفیل a/b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و ژنوتیپ SF003 دارای بیشترین نسبت کلروفیل a/b بود (جدول ۲).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: اثر اصلی عوامل آزمایشی و اثر متقابل ژنوتیپ × رژیم آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز) معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش رژیم آبیاری × نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۲). فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز با کاربرد کود نیتروژن به‌ترتیب ۹، ۱۵ و ۷ درصد افزایش یافت (جدول ۳). همچنین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد کود نیتروژن به‌ترتیب ۱۱ و ۸٪ افزایش یافتند و در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۸ و ۷٪ افزایش نشان دادند (جدول ٤). در آزمایش کرامت (۱۳۹٤) فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با کاربرد نیتروژن به فرم ورمی‌کمپوست و نیترات آمونیوم افزایش یافت. همچنین، Huang و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که در اثر کمبود نیتروژن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (CAT، POD و SOD) کاهش یافت.

به‌طور کلی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در اثر تنش خشکی به‌ترتیب ٤۸۲، ۸۸ و ۲۳٦٪ افزایش یافتند (جدول ۳). تنش خشکی با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. بنابراین آنتی‌اکسیدان‌ها یک سیستم دفاعی در گیاهان برای جلوگیری از آسیب‌های اکسیژن فعال، درنتیجه تضمین عملکرد طبیعی سلول هستند (Anjum *et al*., 2011). تنش خشکی به ترتیب سبب افزایش ۳۲٦ و ۲۷٦ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در ژنوتیپ SF002 شد (جدول ۵). در مطالعه دیگری نیز فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در شرایط تنش آبی در هر دو ژنوتیپ متحمل و حساس ذرت افزایش یافت (Moussa and Abdel-Aziz, 2008).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد بیولوژیک، سطح برگ بوته، نسبت F_v/F_m، ارتفاع بوته و محتوای کلروفیل شد ولی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. کاربرد کود نیتروژن سبب افزایش معنی‌داری در تمام صفات مورد مطالعه بجز نسبت کلروفیل a/b، شد. همچنین، کاربرد کود نیتروژن در رژیم آبیاری نرمال و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مذکور داشت. بنابراین کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی، استراتژی مناسبی برای جبران کاهش عملکرد است. به‌طور کلی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت تنش خشکی، ژنوتیپ‌های KGS33، SF001، SF002، SF003 و MGS5 از نظر عملکرد و اجزای عملکرد کمترین کاهش و تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی داشتند. در مقابل ژنوتیپ‌های GS5، GS25، GS26، MGS1 و KGS29 تحت شرایط تنش خشکی، بیشترین کاهش را از نظر عملکرد و اجزای عملکرد نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های SF001، SF002 و MGS5 از نظر کل صفات مورد بررسی بیشترین واکنش به کود نیتروژن را داشتند.

منابع

آذری نصرآباد، ع.، موسوی‌نیک، س. م.، گلوی، م.، سیروس‌مهر، ع. ر.، و بهشتی، س. ع. ر. (۱۳۹۵) اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزا عملکرد، پایداری غشای سلول و محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench). مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۹: ۲۲۸-۲۱۷.

احمدی‌زاده، ا.، خواجویی‌نژاد، غ. ر. و عبدالشاهی، ر. ا. (۱۳۹٦) تأثیر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ارقام سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. تحقیقات غلات ۷: ٦۰۳-۵۹۱.

حیدری، ی.، معاونی، پ. و بدرقه، ع. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم علوفه‌ای. نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران ۹: ۱۳٦-۱۲۸.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

ریاحی‌نیا، ش.، خزاعی، ح. ر.، کافی، م. و نظامی، ا. (۱۳۹۲) تأثیر تنش خشکی و سطوح مختلف نیتروژن خاک بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام سورگوم دانه‌ای در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱٤: ۷۰-٦۱.

سپهری، ع.، مدرس ثانوی، ع. م.، قره یاضی ب. و یمینی، ی. (۱۳۸۱) تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.). مجله علوم زراعی ایران ٤: ۲۰۱-۱۸٤.

علیزاده اقیانوس، پ.، آذری، آ. و سلیمی، م. (۱۳۸۸) بررسی واکنش عملکرد دانه لاین‌ها و هیبریدهای ذرت به اثر متقابل تنش رطوبتی و مقادیر کود نیتروژن. اولین همایش ملی تنش‌های محیطی در علوم کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

فولادمند، ح. ر.، نیازی، ج. ا.، کشاورزی شیرازی، ه. و جوکار، ل. (۱۳۸۵) اثر متقابل مقادیر مختلف آبیاری و ازت بر عملکرد گندم. مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی ۱۲: ۷۸٦-۷۷۹.

کرامت، ص. (۱۳۹٤) پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم به شوری و نیتروژن در شرایط معمول و غنی‌شده دی‌اکسید کربن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

کوچکی، ع. ر. (۱۳٦٤) زراعت در مناطق خشک. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه مشهد.

معاونی، پ. و حیدری، ی. (۱۳۸۳) تأثیر تراکم کاشت و دور آبیاری بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی در سورگوم علوفه‌ای. مجله علوم زراعی ایران ٦: ۳۸۲-۳۷٤.

منصوری‌فر، س.، مدرس ثانوی، س. ع. م. و محمدی، خ. (۱۳۸۹) تأثیر تنش کم‌آبی و نیتروژن بر عملکرد دانه و متابولیت‌های سازگاری دو رقم ذرت هیبرید میان‌رس. مجله دانش آب و خاک ۲۰: ٤٥-۲۹.

Aebi, H. E. (1983) Catalase. Methods of Enzymatic Analysis, 3rd Ed. Weinheim, Verlag Chemie.

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.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-399.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

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.

Azizian, A. and Sepaskhah, A. R. (2014) Maize response to different water, salinity and nitrogen levels: Agronomic behavior. International Journal of Plant Production 8: 107-130.

Beyaert, R. P. and Roy, R. C. (2005) Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum–sudangrass yield and nitrogen use. Agronomy Journal 97: 1493-1501.

Borrell, A. K., Hammer, G. L. and Henzell, R. G. (2000) Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. Crop Science 40: 1037-1048.

Herzog, V. and Fahimi, H. D. (1973) A new sensitive colorimetric assay for peroxidase using 3, 3′-diaminobenzidine as hydrogen donor. Analytical Biochemistry 55: 554-562.

Huang, Z. A., Jiang, D. A., Yang, Y., Sun, J. W. and Jin, S. H. (2004) Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. Photosynthetica 42: 357-364.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim Al-Juburi, H., Somasundaram, R. A. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.

Khan, M. B., Hussain, N. and Iqbal, M. (2001) Effect of water stress on growth and yield components of maize variety YHS 202. Journal of Research Science 12: 15-18.

Li, R. H., Guo, P. G., Michael, B., Stefania, G. and Salvatore, C. (2006) Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. Agricultural Sciences in China 5: 751-757.

Moosavi, S. G. (2012) The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize. Pakistan Journal of Botany 44: 1351-1355.

Moussa, H. R. and Abdel-Aziz, S. M. (2008) Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science 1: 31-36.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.

Nxele, X., Klein, A. and Ndimba, B. K. (2017) Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. South African Journal of Botany 108: 261-266.

Osborne, S. L., Schepers, J. S., Francis, D. D. and Schlemmer, M. R. (2002) Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen-and water-stressed corn. Crop Science 42: 165-171.

Paknejad, F., Nasri, M., Moghadam, H. T., Zahedi, H. and Alahmadi, M. J. (2007) Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. Journal of Biological Sciences 7: 841-847.

Pandey, R. K., Maranville, J. W. and Chetima, M. M. (2000) Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. Agricultural Water Management 46: 15-27.

Percival, G. C. and Sheriffs, C. N. (2002) Identification of drought-tolerant woody periennials using chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture 28: 215-223.

Rosenthal, W. D. and Vanderlip, R. L. (2004) Simulation of individual leaf areas in grain sorghum. Agronomie 24: 493-501.

Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F. and Schepers, J. S. (2005) Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal 97: 106-112.

Tari, I., Laskay, G., Takacs, Z. and Poor, P. (2013) Response of sorghum to abiotic stresses: A review. Journal of Agronomy and Crop Science 199: 264-274.

Thomas 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.

Uchino, H., Watanabe, T., Ramu, K., Sahrawat, K. L., Marimuthu, S., Wani, S. P. and Ito, O. (2013) Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the semi-arid tropical zone of India. Japan Agricultural Research Quarterly 47: 65-73.

Valadabadi, S. A. and Farahani, H. A. (2010) Effects of planting density and pattern on physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) under nitrogenous fertilizer application. Journal of Agricultural Extension and Rural Development 2: 40-47.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]

Effect of nitrogen on yield and some physiological characteristics of sorghum (*Sorghum sp.*) genotypes under drought stress

Marziyeh Asadi and Hamid Reza Eshghizadeh*

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

(Received: 06/12/2019, Accepted: 12/02/2020)

Abstract

In order to investigate the effect of drought stress and nitrogen application on growth and some physiological characteristics of sorghum genotypes, an experiment was conducted in a split-split plot with randomized complete block design in three replications at research farm of collage of agriculture, Isfahan University of Technology. Experimental treatments consisted of two irrigation regimes (50% and 85% depletion of available soil water), two levels of nitrogen fertilizer (available rate, 121.5 kg ha^{-1}, nitrogen from Urea fertilizer, N= 45%) and 15 sorghum genotypes (Pegah, Sepideh, GS4, GS5 , GS24, GS25, GS26, GS28, KGS29, KGS33, MGS1, MGS5, SF001, SF002, SF003). The results showed that drought stress significantly decreased biological yield by decreasing plant leaf area, plant height, quantum efficiency of photosystem II and chlorophyll content. In contrast, the activity of antioxidant enzymes including catalase, ascorbate peroxidase and peroxidase was significantly increased under drought stress conditions. On the other hand, application of nitrogen under normal irrigation and drought stress increased all of the above traits except chlorophyll a/b ratio and ascorbate peroxidase activity, however, this increase was less in drought condition. Therefore, application of nitrogen fertilizer under drought stress can modulate the effect of stress and increase yield. Among the studied genotypes, SF001, SF002 and MGS5 genotypes had the highest response to nitrogen and the least sensitivity to drought stress. Therefore, they can be used in areas of water scarcity.

Keywords: Drought stress, Sorghum, Nitrogen, Chlorophyll content, Antioxidant enzymes

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.38.23.0]