فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۲، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۵۱-۶۳
https://doi.org/10.22034/13.62.51

مقاله پژوهشی

اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام سورگوم دانه‌ای در کشت تابستانه

معصومه بازگیر[۱]، مسعود رفیعی*[۲] و علی خورگامی[۱]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

[۲] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴)

چکیده

انتخاب رقم سازگار به شرایط تنش خشکی در هر منطقه نقش مهمی در دست‌یابی به پتانسیل تولید در آن منطقه دارد. به‌این منظور اثر تنش خشکی از طریق دور آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۱۰ (تنش ملایم)، ۱۴۰ (تنش نسبتاً شدید) و ۱۷۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف روی چهار رقم سورگوم دانه‌ای؛ سپیده، کیمیا، پیام و KGS32 در کشت تابستانه در خرم‌آباد لرستان بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، کاروتن و گزانتوفیل) و مقدار نشاسته، پروتئین، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم با تشدید تنش خشکی کاهش یافت، اما مقدار نیترات، پرولین و پتاسیم در اندام هوایی سورگوم افزایش نشان داد. تشدید تنش خشکی سرکوب کاتالاز را به‌همراه داشت، اما موجب عمل‌کردن مکانیسم دفاع آنتی‌اکسیدانی از طریق افزایش تولید پراکسیداز شد. بیشترین میزان قندهای محلول غیرساختاری، پراکسیداز و پرولین اندام هوایی از ارقام KGS23 و پیام در شرایط تنش شدید خشکی حاصل شد، درحالی‌که بیشترین مقدار نشاسته در شرایط معمول آبیاری از رقم سپیده و بیشترین مقدار کاتالاز و پروتئین کل اندام هوایی در شرایط معمول آبیاری در ارقام پیام و KGS23 مشاهده شد. روند تغییرات عملکرد دانه همه ارقام سورگوم دانه‌ای تحت تأثیر تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و منفی پیروی کرد، اما تغییرات پراکسیداز و پرولین با افزایش تنش خشکی یک رابطه خطی معنی‌دار و مثبت داشت. در مجموع، ارقام سورگوم دانه‌ای KGS23 و سپیده با داشتن مکانیسم‌های مختلف تحمل تنش خشکی برای شرایط معمول و تنش در منطقه معتدل خرم‌آباد قابل توصیه‌اند.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تنظیم اسمزی، دور آبیاری، رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه، عناصر ریزمغذی

مقدمه

تنش خشکی را می‌توان به‌صورت فقدان آب کافی مورد نیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاه تعریف کرد که روی فرایندهای رشد و نمو مؤثر است و به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بروز می‌کند (Jabereldar *et al.*, 2017). مکانیسم‌های دفاعی متعددی در گیاهان وجود دارد که موجب تحمل به تنش کمبود آب می‌شوند؛ همچون تنظیم اسمزی، هومئوستازی یون، و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و هورمونی (Mahajan and Tuteja, 2005) که به بقا و رشد گیاهان تحت شرایط محیطی سخت پیش از مرحله رشد زایشی‌شان کمک می‌کنند. تنظیم اسمزی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: rafieemasoud@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

یک فرآیند فیزیولوژیک است که در طی آن گیاه با انباشت یک‌سری مواد اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول در سلول‌ها، پتانسیل اسمزی سلول‌ها در بافت‌های تحت تنش خشکی را کاهش می‌دهد تا فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب باقی بماند. با کاهش رطوبت خاک، مقدار پرولین برگ‌ها افزایش می‌یابد که نقش کلیدی در تنظیم اسمزی ایفا می‌نماید (Cha-um and Kirdmanee, 2009). پراکسیدازها در جذب H_2O_2 و پراکسیدازهای آلی که تحت شرایط تنش مختلف تشکیل می‌شوند اهمیت دارند؛ برای مثال، در آزمایشی تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین شد (خلیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). تنش خشکی موجب ایجاد رادیکال‌های فعال اکسیژن در اثر تنش اکسیداتیو می‌شود که این رادیکال‌ها بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی اثر گذاشته و همچنین موجب پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (امینی و حداد، ۱۳۹۲). تنش خشکی همچنین جذب عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم، به‌عنوان دو عنصر پرمصرف و مهم در رشد گیاه را کاهش می‌دهد (سیروس‌مهر و روشن ضمیر، ۱۳۹۳). کاهش در مقدار فسفر برگ گیاه ریحان با افزایش دور آبیاری از چهار روز به ۱۲ روز (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۰) گزارش شده است.

سورگوم پنجمین غله مهم در جهان است و جز غذای اصلی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در بیش از ۳۰ کشور است و چهارمین دانه غذایی در جهان محسوب می‌شود (El Naim *et al.*, 2012; Ahmed *et al.*, 2016). گیاهان متحمل به خشکی، مانند سورگوم، نیازمند به کارگیری مدیریت بهتر در شرایط تغییرات آب‌وهوایی هستند (Menezes *et al.*, 2015). خشکی از نظر شدت، زمان، طول مدت و ارتباطش با دیگر عوامل مانند یخبندان و درجه حرارت بسیار بالا پیچیدگی خاصی در تولید و رشد سورگوم دارد (Assefa and Staggenborg, 2010). سورگوم نسبتاً مقاوم به خشکی بوده و برای رشد و تولید در شرایط تنش خشکی که سایر محصولات غالب مانند ذرت و گندم قادر به زنده ماندن نیستند، سازگار است (Yahaya and Shimelis, 2022). نتایج یک پژوهش ۵۲ ساله روی سورگوم نشان داد که تنش خشکی مهمترین عامل محدودکننده عملکرد سورگوم در حدود ۳۰ سال از ۵۲ سال مطالعه بود. این نتایج نشان‌دهنده پیچیدگی خشکی از نظر شدت، زمان، طول مدت، و ارتباطش با دیگر عوامل مانند یخبندان و حرارت (درجه حرارت‌های شدید) است (Assefa and Staggenborg, 2010). در بررسی اثر تنش خشکی و درجه حرارت بالا بر ۴۹ هیبرید سورگوم دانه‌ای معلوم شد که رشد و عملکرد تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و برخی ژنوتیپ‌ها از کاهش عملکرد کمتری برخوردار بودند (Menezes *et al.*, 2015). خلاصه داده‌های ۳۰ ساله منطقه کنزاس آمریکا نشان داد که سورگوم به کمبود آب در مراحل مشخصی از رشد حساسیت بیشتری دارد (Stone and Schlegel, 2006). سورگوم می‌تواند دوره‌های کوتاه کمبود شدید آب را تحمل کند؛ هر چند، حساسیت سورگوم به تنش خشکی در طول مراحل رشد زایشی نسبت به مرحله رشد رویشی بیشتر بوده و تنش شدید و بلند مدت بر رشد و تولید نهایی سورگوم مؤثر است (Assefa and Staggenborg, 2010). در سطح جهانی معلوم شده است که راندمان مصرف آب سورگوم در شرایط تنش خشکی در اواخر دوره رشد رویشی در مقایسه با شرایط نرمال آبیاری و یا تنش خشکی در اوایل دوره رشد رویشی بالاتر است، که خود نشان‌دهنده بحرانی بودن این مرحله از رشد گیاه است و برای اطمینان از عملکرد و راندمان مصرف آب بهتر بایستی از تنش خشکی در این مرحله اجتناب شود (Tovignan *et al.*, 2023).

یکی از مشکلات اصلی کشور، از جمله استان لرستان، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و حتی خشک‌شدن بسیاری از چاه‌ها در اثر مصرف زیاد آب برای محصولاتی همچون ذرت است. سورگوم دانه‌ای نسبت به ذرت در شرایط کمبود آب از برتری عملکرد و اقتصادی برخوردار است، زیرا تحمل بهتری به خشکی دارد (Stone and Schlegel, 2006). لذا به‌عنوان جایگزین ذرت معرفی شده است (رفیعی، ۱۳۹۳). هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر تنش خشکی از طریق رژیم آبیاری بر خصوصیات بیوشیمیایی چهار رقم سورگوم دانه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

سپیده، کیمیا، پیام و KGS32 در شرایط آب‌وهوایی معتدل خرم‌آباد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۵ در شهرستان خرم‌آباد با ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۱۱۷۱ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. براساس آمار بلند مدت متوسط حداقل، حداکثر و متوسط حرارت به‌ترتیب ۹/۲، ۲۵/۲ و ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم معتدل با متوسط بارش سالیانه ۵۲۵ میلی‌متر و میانگین رطوبت نسبی ۴۶/۷ درصد است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به‌صورت اسپلیت پلات با چهار تکرار اجرا شد. تنش خشکی از طریق رژیم آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۱۰ (تنش ملایم)، ۱۴۰ (تنش نسبتاً شدید) و ۱۷۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف (نجفی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸) در کرت‌های اصلی و چهار رقم سورگوم دانه‌ای سپیده، کیمیا، پیام و KGS32 در کشت تابستانه در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

زمین قبل از اجرای آزمایش طی هر دو سال زیر کشت گندم بود. ویژگی‌های خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک مزرعه، لومی بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، نیمی از کود شیمیایی نیتروژن و تمام فسفر براساس آزمون خاک به ترتیب ۱۴۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار و از منبع اوره و سوپرفسفات تریپل در زمان کاشت تأمین شد. نیم دیگر کود اوره به‌صورت سرک در مرحله ۶-۴ برگی مصرف شد. فاصله ردیف‌های کاشت، ۵۰ سانتی‌متر و هر کرت مشتمل بر شش خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله تکرارها دو متر، بین پلات‌های اصلی دو متر و بین پلات‌های فرعی یک متر در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ دهم تیر ماه انجام شد. تراکم مورد استفاده، ۱۸۰ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته شد. وجین علف‌های هرز دو بار به‌فاصله ۲۰ روز پس از سبزشدن انجام شد.

تیمارهای مختلف تنش خشکی در مرحله ۶-۴ برگی، یعنی پس از استقرار کامل گیاه در مزرعه اعمال شد. مقدار آب آبیاری تکمیلی برای هر پلات اصلی براساس فرمول $VW = (FC - \theta) \times BD \times A \times D/Ea$ محاسبه شد که در آن VW، حجم آب آبیاری (مترمکعب)؛ FC، درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (۲۷ درصد)؛ θ، درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری؛ BD، وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛ A، مساحت پلات اصلی آزمایش؛ D، عمق نفوذ ریشه در خاک در مرحله سنبله‌دهی (متر) و Ea، راندمان کاربرد آب آبیاری (۹۰ درصد) بود. پس از محاسبه مقدار آب لازم، کرت‌های اصلی با استفاده از پمپ آب که از دبی خروجی مشخص برخوردار بود تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه آبیاری شد. برای تعیین طول مدت (t) آبیاری هر پلات از رابطه $t = V/Q$ استفاده شد که در آن V، حجم آب آبیاری بر حسب لیتر و Q، دبی خروجی پمپ آب بر حسب لیتر در ثانیه بود. با توجه به محصور بودن کرت‌های آزمایشی، هدررفت آب صفر بود. به منظور توزیع یکنواخت آب در هر پلات، ابتدا و انتهای کرت‌ها مسدود گردید. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج استفاده شد.

در مرحله گلدهی نمونه‌هایی از برگ‌های جوان گیاه از هر کرت جهت انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. برای سنجش میزان رنگیزه‌ها (Arnon, 1967)، نمونه برگ‌های گیاه پس از توزین، در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به خوبی ساییده شد. پس از صاف‌کردن محلول، حجم نهایی با استفاده از استون ۸۰٪ به ۱۵ میلی‌لیتر رسید. برای انجام محاسبات مربوط به تعیین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل (a+b) برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه به ترتیب از روابط زیر استفاده شد:

$$C_a = 0.0127A_{663} - 0.00269A_{645}$$

$$C_b = 0.0229A_{645} - 0.00468A_{663}$$

$$C(a+b) = 0.0202A_{645} + 0.00802A_{663}$$

در روابط فوق، A_{645} و A_{663} به ترتیب میزان جذب در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ با استفاده از اسپکتروفتومتر هستند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عناصر قابل جذب خاک مزرعه

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	pH	کربن	آهن	منگنز	روی	مس	بافت
(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		(دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر)		آلی	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				خاک
۰/۳۱	۱۲/۱	۳۳۲	۱/۲۷	۷/۶	۰/۹۲	۷/۱	۶/۲	۰/۲۵	۰/۷۴	لومی

جهت اندازه‌گیری پتاسیم عصاره نمونه‌ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک تهیه گردید و مقدار پتاسیم موجود در عصاره تهیه‌شده به روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم‌فتومتر انجام شد.

برای سنجش کربوهیدرات (Nandi *et al.*, 2001) ابتدا یک گرم نمونه خشک با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر الکل ۷۰ درصد به مدت یک هفته در دمای چهار درجه قرار گرفت. بعد از صاف کردن و هموژن کردن نمونه‌ها در ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آب مقطر، در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. بعد از سانتریفیوژ و جداسازی عصاره آبی، به ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر از عصاره آبی، نیم میلی‌گرم در لیتر الکل، نیم میلی‌گرم در لیتر آب، ۱ میلی‌گرم در لیتر فنل و ۵ میلی‌گرم در لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه و سپس جذب نوری آنها در ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. بعد از رسم منحنی استاندارد، غلظت قندهای محلول مشخص شد. برای سنجش محتویات پروتئین (Lawry *et al.*, 1951)، نمونه‌های خشک در بافر تریس اسید کلریدریک همگن شدند. سپس، نمونه‌ها سانتریفیوژ گردیدند و بعد از برداشتن ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر از محلول بالایی، یک میلی‌لیتر معرف D و سپس ۳ میلی‌لیتر معرف E (فولین) به نمونه‌ها اضافه شد. معرف D ترکیبی از معرف A (کربنات سدیم و سود نیم نرمال)، معرف B (سولفات مس یک درصد) و معرف C (تارتارات سدیم و پتاسیم دو درصد) بود. نمونه‌ها بعد از قرارگرفتن در بن‌ماری در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه، جذب نوری آنها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر خوانده و با استفاده از منحنی استاندارد، میزان پروتئن دانه مشخص شد.

برای سنجش محتویات نیتروژن بعد از هضم‌شدن نمونه‌ها در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه از روش کجل تک اتوآنالیزر استفاده شد. برای سنجش پرولین (Bates *et al.*, 1973) ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه تر در ۱۰ سی‌سی محلول ۳ درصد اسید سالفوسالسیلیک ساییده شد، بعد از صاف‌کردن محلول، دو میلی‌گرم در لیتر از محلول برداشته و به آن ۲ میلی‌گرم در لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌گرم در لیتر اسید استیک خالص اضافه شد، بعد از قراردادن نمونه‌ها در بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه به مدت یک ساعت، آنگاه ۰/۵ ساعت در حمام یخ قرار گرفتند. سپس ۴ میلی‌گرم در لیتر تولوئن به نمونه‌ها اضافه شده بعد از تکان‌دادن در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر، جذب لایه رنگی فوقانی خوانده و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت پرولین مشخص شد.

برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (Mae-Adam and Nelson, 1992)، ابتدا عصاره گیاهی آماده شد. برای تهیه معرف، بافر استات (۲ میلی‌لیتر)، آب اکسیژنه (۰/۲ میلی‌لیتر) و بنزیدین (۰/۲ میلی‌لیتر) در حمام یخ با یکدیگر مخلوط و بلافاصله ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۵۳۰ نانومتر خوانده و فعالیت آنزیمی بر حسب واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محاسبه شد.

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش تیتراسیون یا رنگ‌سنجی (Dhindsa *et al.*, 1981)، ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی با ۳۰۰۰ میکرومول بافر فسفات یک دهم مولار با اسیدیته خنثی و ۱۰۰ میکرومولار آب اکسیژنه خالص مخلوط شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک دو درصد به مخلوط بدست آمده اضافه شد و با پرمنگنات پتاسیم یک صدم مولار تا تشکیل رنگ صورتی کم‌رنگ (حداقل ۳۰ ثانیه با رنگ ثابت) تیتر گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز بر حسب حجم مصرفی محلول پرمنگنات پتاسیم بر حسب درصد کنترل محاسبه شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر ساده تنش خشکی بر کلروفیل a، b و کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، کاروتن و گزانتوفیل معنی‌دار بود (جدول ۲). این نتایج نشان داد که رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر ژنوتیپ قرار نگرفتند؛ به‌عبارت دیگر، ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده مورد استفاده در این آزمایش از مکانیسم فتوسنتزی یکسانی برخوردار بودند و واکنش یکسانی به تنش خشکی داشتند.

مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی با تشدید تنش خشکی کاهش یافت. میزان کاهش کلروفیل a در شرایط تنش ملایم، شدید و خیلی شدید به‌ترتیب ۱۲/۰، ۲۸/۲ و ۴۶/۹ درصد؛ کلروفیل b به‌ترتیب ۱۱/۱، ۲۶/۳ و ۴۰/۲ درصد؛ کلروفیل کل به‌ترتیب ۱۱/۷، ۲۷/۶ و ۴۵/۰ درصد؛ نسبت کلروفیل a/b به‌ترتیب ۶/۲، ۶/۴ و ۲/۵ درصد؛ کاروتن به‌ترتیب ۲۲/۱، ۳۹/۴ و ۵۹/۲ درصد و گزانتوفیل به‌ترتیب ۱۹/۸، ۳۹/۳ و ۵۹/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). کاهش در رنگیزه‌های فتوسنتزی ناشی از تنش خشکی پیش از این در سورگوم (الفی و عزیزی، ۱۳۹۴)، سویا (صادقی و همکاران، ۱۴۰۰) و گندم دیم (رشیدیان و همکاران، ۱۴۰۱) گزارش شده است.

ترکیبات قندی اندام هوایی: براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، مقدار قندهای محلول غیرساختاری و نشاسته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی و اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم قرار گرفت. علاوه‌براین، اثر رقم بر مقدار نشاسته معنی‌دار بود. مقدار قندهای محلول غیرساختاری با افزایش تنش خشکی افزایش نشان داد، لیکن مقدار نشاسته کاهش معنی‌داری یافت. افزایش قندهای محلول غیرساختاری در شرایط تنش ملایم، شدید و خیلی شدید به‌ترتیب ۲۷/۷، ۴۱/۵ و ۷۲/۲ درصد بود؛ اما مقدار نشاسته کاهشی به‌ترتیب ۱۳/۸، ۲۴/۳ و ۴۰/۰ درصدی داشت (جدول ۳). مقدار نشاسته اندام هوایی در ارقام سپیده و کیمیا بیشترین (به‌ترتیب ۳۲/۲ و ۳۲/۳ درصد) و در پیام و KGS32 کمترین (به‌ترتیب ۲۹/۵ و ۲۹/۷ درصد) بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین میزان قندهای محلول غیرساختاری اندام هوایی (۰/۱۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بدون تفاوت معنی‌دار از ارقام KGS23 و پیام در شرایط تنش شدید خشکی حاصل شد، درحالی‌که بیشترین میزان نشاسته اندام هوایی (۰/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط معمول آبیاری از رقم سپیده به‌دست آمد. از طرفی، کمترین میزان قندهای محلول غیرساختاری (۰/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از رقم سپیده در شرایط معمول آبیاری مشاهده شد، اما کمترین میزان نشاسته (۲۲/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید خشکی از رقم KGS23 بدون تفاوت معنی‌دار با سایر ارقام بدست آمد (شکل ۱- A و B). در مجموع ارقام سورگوم دانه‌ای واکنش متفاوتی به سطوح مختلف تنش خشکی از نظر میزان قندهای محلول غیرساختاری و نشاسته نشان دادند. به‌عبارت دیگر، تغییرات میزان نشاسته و قندهای محلول غیرساختاری تحت تأثیر هر دو عامل ژنتیک و محیط قرار گرفت.

در شرایط تنش کم آبی، گیاهان مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب مانند گلوکز، فروکتوز و ساکارز را جهت تنظیم اسمزی افزایش می‌دهند (خاکشور مقدم و همکاران، ۱۳۹۰؛ Debaeke and Aboudrare, 2004). تجمع ساکارز و قند باعث تقویت عملکرد حفاظت‌کننده‌های اسمزی می‌شود که در واقع به‌دنبال آن موجب ثبات غشای سلولی و حفظ فشار تورگر می‌گردد (Emami Bistgani *et al.*, 2017).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار پراکسیداز و کاتالاز اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی و اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم قرار گرفت (جدول ۲). مقدار پراکسیداز اندام هوایی در شرایط تنش ملایم، شدید و خیلی شدید افزایشی به‌ترتیب ۵/۸، ۱۸/۲ و ۴۲/۱ درصدی داشت؛ اما مقدار کاتالاز اندام هوایی کاهشی به‌ترتیب ۷/۸، ۱۴/۷ و ۲۳/۵ درصدی نشان داد (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین میزان پراکسیداز اندام هوایی بدون تفاوت معنی‌دار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی و دانه سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کاروتن	گزانتوفیل	قندهای محلول	نشاسته
تکرار	۳	۰/۰۰۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۰۵	۸۹۶/۴	۱۱/۹۵
تنش خشکی	۳	۰/۰۰۰۳۲**	۰/۰۰۰۵۳**	۰/۰۰۰۰۲۹**	۰/۰۰۱۸**	۰/۶۱۰**	۰/۹۸**	۲۰۳۴/۷**	۹۴۶/۹۷**
خطای ۱	۹	۰/۰۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۴۱	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۰۳۴	۴۶۱/۳	۳۵/۷۴
رقم	۳	۰/۰۰۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲۱	۲۱۵۳۶۰	۴۲/۶۳**
تنش خشکی×رقم	۹	۰/۰۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۵۱	۰/۰۰۳۵	۱۲۳۶۵**	۱۲۳/۰۷**
خطای ۲	۳۶	۰/۰۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۰۶۲	۰/۰۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۴	۳۱۵/۸	۱۴/۱۵
ضریب تغییرات	درصد	۸/۸	۷/۱	۱۵/۳	۹/۷	۸/۷۶	۱۱/۹	۱۲/۷	۹/۵

*** و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		پراکسیداز	کاتالاز	نیترات	پروتئین	پرولین	سدیم	پتاسیم	پتاسیم/سدیم
تکرار	۳	۰/۰۰۷۴*	۰/۰۰۴۵*	۰/۰۰۰۴۲**	۰/۰۰۷۶	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۱۲۳**	۰/۲۳**	۰/۰۰۰۱۴
تنش خشکی	۳	۰/۰۲۱۲**	۰/۰۳۲۴**	۰/۰۹۸**	۰/۰۲۳۶**	۰/۰۰۷**	۰/۲۴**	۸/۶**	۰/۰۰۱**
خطای ۱	۹	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۱/۳۷	۰/۰۰۰۰۳۶
رقم	۳	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۸	۰/۰۰۰۰۱۶
تنش خشکی×رقم	۹	۰/۰۱۵۹**	۰/۰۲۴۵**	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۳۱**	۰/۰۱۱۷**	۰/۰۰۰۹۱*	۰/۹۵۱**	۰/۰۰۰۰۰۵۲
خطای ۲	۳۶	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۵۲	۰/۲۱۵	۰/۰۰۰۰۰۹۶
ضریب تغییرات	درصد	۸/۷	۱۰/۷	۸/۵	۹/۷	۶/۷	۵/۳	۴/۷	۶/۷

*** و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.**

از ارقام پیام و KGS23 (به‌ترتیب ۰/۱۹۵ و ۰/۱۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید خشکی به‌دست آمد، در صورتی‌که، بیشترین میزان کاتالاز اندام هوایی در شرایط معمول آبیاری از ارقام پیام و KGS23 بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر (به‌ترتیب ۰/۲۴۸ و ۰/۲۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. همچنین، کمترین میزان پراکسیداز (۰/۱۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در رقم سپیده در شرایط معمول آبیاری مشاهده شد، ولی کمترین میزان کاتالاز (۰/۱۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید خشکی در رقم کیمیا مشاهده شد (شکل ۲- C و D). در مجموع ارقام سورگوم دانه‌ای واکنش متفاوتی به سطوح مختلف تنش خشکی از نظر میزان کاتالاز نشان دادند.

آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور مؤثری آسیب‌های حاصل از اکسیداسیون ایجادشده توسط رادیکال‌های آزاد را کاهش و یا متوقف می‌کنند و از این طریق به سلامت سلول‌ها کمک می‌کنند (بیات و سپهری، ۱۳۹۳). تلفیقی از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، گلوتامین ردوکتاز (GR)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) عامل مهمی در تحمل به تنش‌های محیطی در گیاهان مختلف است (Jithesh *et al*., 2006). بین ژنوتیپ‌های لوبیا، سطوح تنش و اثرات متقابل آنها از لحاظ تغییرپذیری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تفاوت مشاهده شد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۷).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی اندام هوایی سورگوم

تیمارها		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	کاروتن	گزانتوفیل	قندهای محلول	نشاسته
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)	۸۰	۰/۰۱۵۹^{a}	۰/۰۰۶۵^{a}	۰/۰۲۲۵^{a}	۲/۶۴۱^{a}	۰/۲۶۷^{a}	۰/۸۵۱^{a}	۸۱/۵۵^{c}	۳۸/۴۲^{a}
	۱۱۰	۰/۰۱۴^{b}	۰/۰۰۵۸^{b}	۰/۰۱۹۸^{b}	۲/۴۷۶^{b}	۰/۲۰۸^{b}	۰/۶۸۲^{ab}	۱۰۴/۱۱^{bc}	۳۳/۱۱^{b}
	۱۴۰	۰/۰۱۱^{c}	۰/۰۰۴۸^{c}	۰/۰۱۶۲^{c}	۲/۴۷۲^{b}	۰/۱۶۲^{c}	۰/۵۱۶^{bc}	۱۱۵/۴۰^{ab}	۲۹/۰۶^{c}
	۱۷۰	۰/۰۰۸^{d}	۰/۰۰۳۹^{d}	۰/۰۱۲۳^{d}	۲/۵۷۶^{c}	۰/۱۰۹^{d}	۰/۴۶۱^{c}	۱۴۰/۴۰^{a}	۲۳/۰۶^{d}
رقم	سپیده	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۲/۴۷۰	۰/۱۸۸	۰/۶۲۷	۹۴/۹۸۴	۳۲/۱۸^{a}
	کیمیا	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۷	۲/۴۹۴	۰/۱۹۰	۰/۶۳۳	۱۰۵/۸۸۶	۳۲/۲۷^{a}
	پیام	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۲/۵۹۵	۰/۱۹۱	۰/۶۳۸	۱۱۹/۱۸۲	۲۹/۴۸^{b}
	KGS32	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸	۲/۶۰۸	۰/۱۷۹	۰/۶۱۴	۱۲۱/۴۱۷	۲۹/۷۳^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ هستند.

ادامه جدول ۳-

تیمارها		پراکسیداز	کاتالاز	پرولین	نیترات	پروتئین	سدیم	پتاسیم	پتاسیم/سدیم
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)				
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)	۸۰	۰/۱۳۳^{c}	۰/۲۴۰^{a}	۰/۰۷۱^{c}	۰/۱۲۴^{c}	۰/۱۱۴^{a}	۰/۴۹۶^{a}	۲/۱۶۹^{c}	۰/۲۲۹^{a}
	۱۱۰	۰/۱۴۱^{bc}	۰/۲۲۱^{b}	۰/۰۷۵^{c}	۰/۱۳۵^{bc}	۰/۰۹۴^{b}	۰/۴۲۴^{b}	۲/۳۹۹^{bc}	۰/۱۷۷^{ab}
	۱۴۰	۰/۱۵۸^{b}	۰/۲۰۴^{c}	۰/۰۸۹^{b}	۰/۱۵۰^{b}	۰/۰۷۸^{c}	۰/۳۳۶^{c}	۲/۴۷۰^{ab}	۰/۱۳۶^{bc}
	۱۷۰	۰/۱۹۰^{a}	۰/۱۸۳^{d}	۰/۱۱۳^{a}	۰/۱۷۸^{a}	۰/۰۶۱^{d}	۰/۲۷۵^{d}	۲/۷۱۰^{a}	۰/۱۰۲^{c}
رقم	سپیده	۰/۱۴۹	۰/۲۰۷	۰/۰۷۶	۰/۱۴۹	۰/۰۸۰	۰/۳۹۳	۲/۳۸۰	۰/۱۶۹
	کیمیا	۰/۱۵۰	۰/۲۰۸	۰/۰۸۸	۰/۱۴۸	۰/۰۸۷	۰/۳۹۵	۲/۴۱۵	۰/۱۶۷
	پیام	۰/۱۶۱	۰/۲۱۷	۰/۰۹۴	۰/۱۴۹	۰/۰۹۱	۰/۳۸۱	۲/۴۵۶	۰/۱۵۹
	KGS32	۰/۱۶۲	۰/۲۱۹	۰/۰۹۲	۰/۱۴۷	۰/۰۹۱	۰/۳۶۶	۲/۴۹۸	۰/۱۵۱

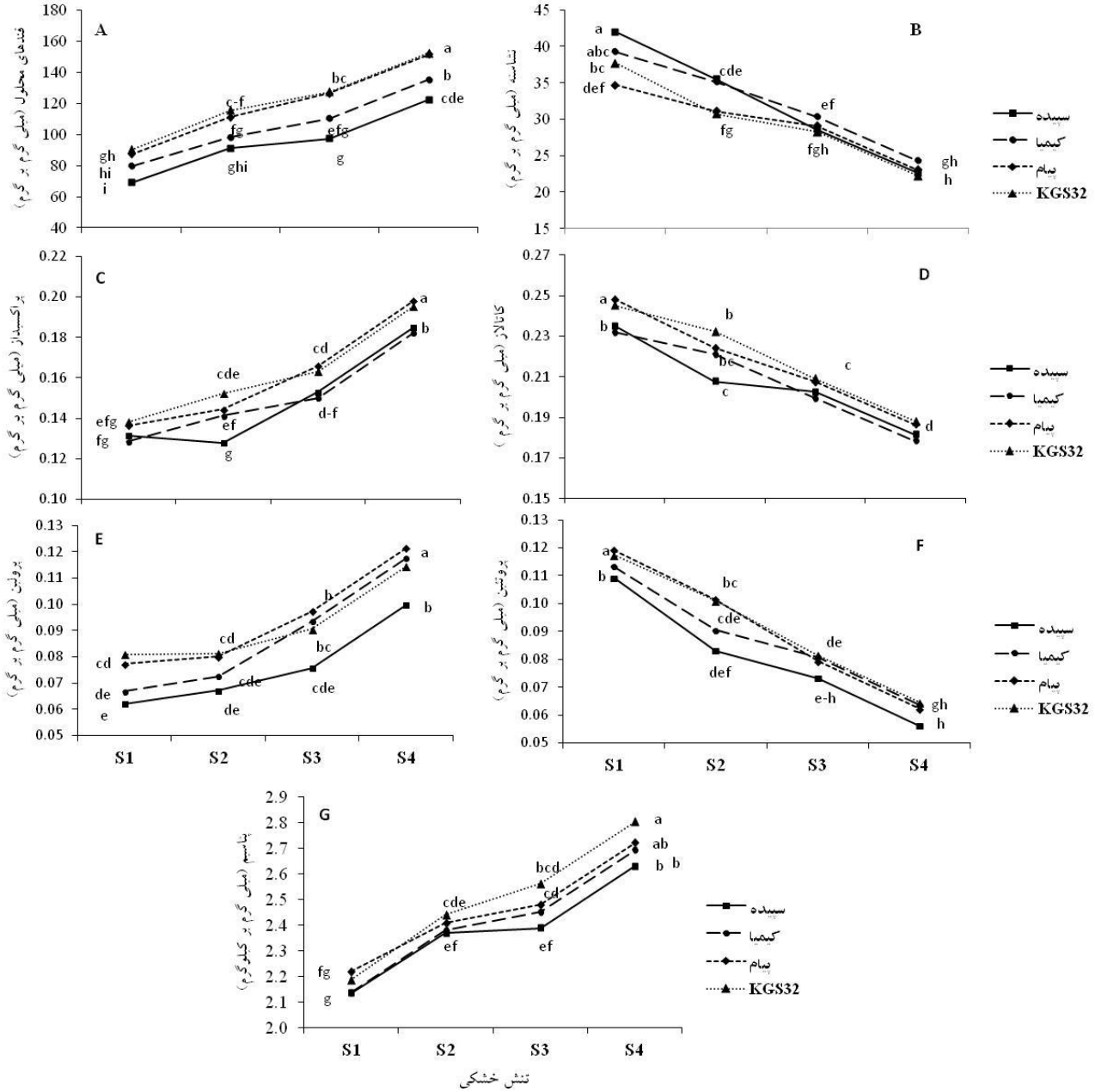
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ هستند.

افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سطوح مختلف خشکی و یا وجود برهمکنش میان ژنوتیپ و محیط در سویا (صادقی و همکاران، ۱۴۰۰) و ذرت (رفیعی، ۱۳۹۳) گزارش شده است. خلیل‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) دریافتند که محدودیت آبیاری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و محتوی پرولین در گیاه گندم شد.

ترکیبات نیتروژنه: تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیترات، پروتئین و پرولین اندام هوایی و اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم تأثیر معنی‌داری بر پروتئین و پرولین داشت (جدول ۲). در شرایط تنش ملایم، شدید و خیلی شدید مقدار نیترات به‌ترتیب ۸/۲، ۲۰/۵ و ۴۲/۹ درصد افزایش؛ مقدار پروتئین به‌ترتیب ۱۸/۱، ۳۱/۵ و ۴۶/۳ درصد کاهش و مقدار پرولین به‌ترتیب ۴/۹، ۲۴/۶ و ۵۸/۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). همانند ترکیبات قندی، در ترکیبات نیتروژنه نیز مشاهده شد با تشدید تنش خشکی از کمپلکس پروتئین کاسته شده و بر ترکیبات ساده‌تر نیترات و پرولین جهت بکارگیری مکانیسم تنظیم اسمزی در مواجهه با تنش خشکی افزوده شده است.

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین میزان پرولین اندام هوایی (۰/۱۲۱ میلی‌گرم بر گرم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

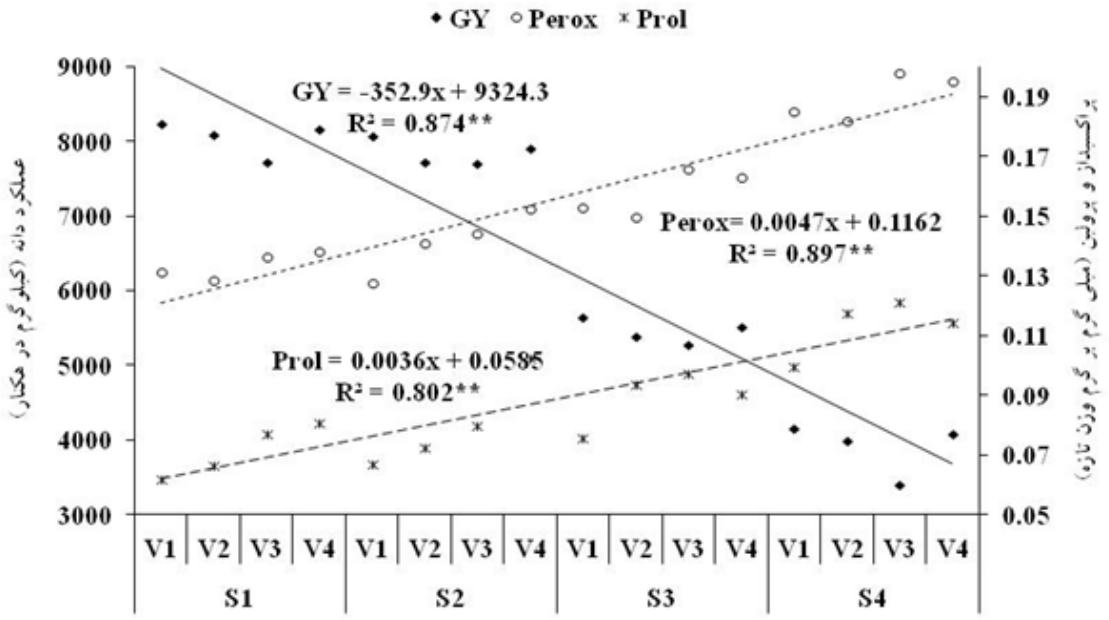


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه رژیم آبیاری (S) در رقم بر برخی صفات بیوشیمیایی اندام هوایی سورگوم دانه‌ای. S1، S2، S3 و S4: به‌ترتیب تنش خشکی از طریق رژیم آبیاری پس از ۸۰، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف. میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

وزن تر) از رقم پیام و بدون تفاوت معنی‌دار با ارقام کیمیا و KGS23، در شرایط تنش شدید خشکی به‌دست آمد، درحالی‌که بیشترین میزان پروتئین کل اندام هوایی در شرایط معمول آبیاری از ارقام پیام و KGS23 بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر (به‌ترتیب ۰/۱۱۹ و ۰/۱۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. کمترین میزان پرولین (۰/۰۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از رقم سپیده در شرایط معمول آبیاری به‌دست آمد و کمترین میزان پروتئین کل (۰/۰۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش شدید خشکی از رقم سپیده مشاهده شد (شکل ۲- E و F).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]



شکل ۲- روند تغییرات عملکرد دانه (GY)، پراکسیداز (Perox) و پرولین (Prol) سورگوم دانه‌ای در سطوح مختلف اثر متقابل رژیم آبیاری × رقم. S1، S2، S3 و S4: به‌ترتیب رژیم آبیاری از طریق آبیاری پس از ۸۰، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف؛ V1 الی V4: به‌ترتیب ارقام سپیده، کیمیا، پیام و KGS32

افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان پروتئین‌های محلول برگ در شرایط تنش در مراحل رویشی و زایشی می‌تواند اثرهای سوء ناشی از تنش را کاهش دهد (حشمتی و همکاران، ۱۳۹۵). از آنجایی که مقادیر پرولین توسط تعادل بین بیوسنتز و کاتابولیسم تعیین می‌شود، لذا کاهش مصرف پرولین نیز در شرایط تنش از دلایل تجمع آن در گیاه است، به‌طوری‌که توقف در اکسایش پرولین در پتانسیل‌های آب پایین اتفاق می‌افتد (Jain *el al.*, 2016).

یون‌ها: اثر تنش خشکی بر مقدار یون‌های سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم/سدیم و اثر متقابل دو گانه تنش خشکی در رقم بر مقدار پتاسیم معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط تنش ملایم، شدید و خیلی شدید مقدار سدیم به‌ترتیب ۱۴/۵، ۳۲/۲ و ۴۴/۵ درصد کاهش؛ مقدار پتاسیم به‌ترتیب ۱۰/۶، ۱۳/۹ و ۲۴/۹ درصد افزایش و نسبت پتاسیم/سدیم به‌ترتیب ۲۲/۷، ۴۰/۳ و ۵۵/۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). افزایش جذب پتاسیم می‌تواند به‌منظور حفظ فشار تورژسانس در شرایط تنش خشکی صورت گرفته باشد. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم اندام هوایی (۲/۸۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از رقم KGS23 در شرایط تنش شدید خشکی به‌دست آمد و کمترین میزان پتاسیم (۲/۱۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) از رقم سپیده در شرایط معمول آبیاری مشاهده شد (شکل ۲- G). در مجموع، ارقام سورگوم دانه‌ای واکنش متفاوتی به سطوح مختلف تنش خشکی از نظر میزان پتاسیم نشان دادند.

کاهش جذب عناصر در اندام هوایی در اثر تنش خشکی توسط رفیعی و همکاران (۱۳۸۲) در ذرت و غلامی و همکاران (۱۴۰۱) در کلزا گزارش شده است، اما افزایش جذب پتاسیم در شرایط تنش خشکی را می‌تواند ناشی از رقابت میان عناصر (رفیعی، ۱۳۹۳) باشد. کاهش در جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف از خاک و رقابت میان آنها در آویشن باغی (Sharafi *et al.*, 2019) و سویا (صادقی و همکاران، ۱۴۰۰) گزارش شده است.

روند تغییرات عملکرد دانه، پراکسیداز و پرولین: روند تغییرات عملکرد دانه سورگوم دانه‌ای تحت تأثیر متقابل تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

خشکی در رقم نشان داد که عملکرد دانه کلیه ارقام با افزایش تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و منفی (R^2= 0.874**) پیروی نمود (شکل ۲). تنش خشکی ناشی از رژیم‌های آبیاری ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر موجب کاهش عملکرد به‌ترتیب ۲/۵، ۳۲/۲ و ۵۱/۵ درصدی نسبت به آبیاری معمول (رژیم آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر) شد (شکل ۲). در میان ارقام، بیشترین مقدار عملکرد دانه در کلیه سطوح تنش خشکی به رقم سپیده و کمترین آن به رقم پیام تعلق داشت. به‌عبارت دیگر، عامل رقم مستقل از تنش خشکی بود. کمترین کاهش عملکرد دانه ناشی از تنش خشکی در رژیم‌های آبیاری ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر متعلق به رقم پیام (به‌ترتیب ۰/۱۹، ۳۱/۷ و ۴۷/۲ درصد) و بیشترین کاهش عملکرد دانه به رقم کیمیا (به‌ترتیب ۴/۴، ۳۳/۳ و ۵۰/۶ درصد) تعلق داشت (شکل ۲). رقم پیام علی‌رغم کمترین کاهش عملکرد در سطوح تنش خشکی، از کمترین عملکرد دانه برخوردار بود؛ که علت آن زودرسی این رقم نسبت به ارقام دیگر است. عموماً ارقام زودرس از عملکرد کمتری نسبت به ارقام دیررس برخوردارند و چون مدت زمانی که در معرض تنش قرار می‌گیرند کوتاه‌تر است، خسارت کمتری از تنش خشکی می‌بینند (Rafiee and Kalhor, 2015). از سوی دیگر، به‌دلیل کاهش غیرمعنی‌دار عملکرد ارقام در شرایط تنش خشکی ملایم ناشی از رژیم آبیاری ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به شرایط معمول رطوبتی، مشخص شد که با اعمال تنش ملایم خشکی می‌توان سورگوم را تولید و موجب صرفه‌جویی در آب مصرفی شد (رفیعی، ۱۳۹۳).

بر خلاف عملکرد دانه، روند تغییرات پراکسیداز و پرولین تحت تأثیر متقابل سطوح رژیم آبیاری در رقم نشان داد که مقدار این دو عامل مؤثر در مکانیسم دفاعی، با افزایش تنش خشکی از یک رابطه خطی معنی‌دار و مثبت (به‌ترتیب R^2= 0.897** و R^2= 0.802**) پیروی نمود (شکل ۲). هر چند مقدار پراکسیداز و پرولین در ارقام متفاوت بود (نقاط واقعی)، لیکن میزان فعالیت‌شان در همه ارقام با افزایش تنش خشکی زیاد شد (شکل ۲).

نتایج تحقیقات مختلف نیز حاکی از افزایش پراکسیداز و پرولین (حشمتی و همکاران، ۱۳۹۵) و کاهش عملکرد دانه در گیاه سورگوم (Ahmed *et al.*, 2016; Jabereldar *et al.*, 2017) با تشدید تنش خشکی است، که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با تشدید تنش خشکی، فعالیت آنزیم پراکسیداز و مقدار قندهای محلول، پرولین و پتاسیم افزایش یافت؛ اما مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، نشاسته، پروتئین و در نهایت عملکرد دانه گیاه سورگوم دانه‌ای کاهش نشان داد. در میان ارقام، رقم پیام به دلیل زودرسی از کمترین کاهش عملکرد در سطوح تنش خشکی و کمترین عملکرد دانه برخوردار بود. در مجموع، رقم سپیده در شرایط تنش خشکی ملایم، از مکانیسم‌های دفاعی مناسب در مواجهه با تنش خشکی و عملکرد دانه بالاتر برخوردار بود که برای مناطق با شرایط آب‌وهوایی معتدل همچون خرم‌آباد قابل توصیه است.

منابع

اصلانی، زهرا، حسنی، عباس، رسولی صدقیانی، میرحسن، سفیدکن، فاطمه، و برین، محسن (۱۳۹۰). تأثیر دو گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا (*Glomus mosseae* L.) و (*Glomus intraradices* L.) بر رشد، مقادیر کلروفیل و جذب فسفر در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت شرایط تنش خشکی. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۷(۳)، ۴۸۶-۴۷۱. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6388

الفی، شهرام، و عزیزی، فرهاد (۱۳۹۴). بررسی اثر تنش خشکی و استفاده از زئولیت بر برخی صفات کمی و کیفی سه رقم ذرت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

امینی، زهرا، و حداد، رحیم (۱۳۹۲). نقش رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مقابل تنش اکسیداسیون. *مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، *۲۶*(۳)، ۲۵۱-۲۶۵. DOR: 20.1001.1.23832738.1392.26.3.2.7

بیات، سمیه، و سپهری، علی (۱۳۹۳). اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه و انتقال مجدد ماده خشک ذرت در شرایط تنش خشکی. *مجله تحقیقات غلات*، ۴، ۱۲۷-۱۳۹. DOR: 20.1001.1.22520163.1393.4.2.4.0

حشمتی، سیاوش، امینی دهقی، مجید، و فتحی امیرخیز، کیوان (۱۳۹۵). بررسی اثر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۶، ۲۰۳-۲۱۳. https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.19.203/

حیدری، مریم، طالعی، علی‌رضا، و عباسی، علی‌رضا (۱۳۹۷). بررسی تأثیر تنش خشکی بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده در ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). مجله *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۹(۱)، ۲۷-۱۱. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.209308.654148

خاکشور مقدم، زهرا، لاهوتی، مهرداد، و گنجعلی، علی (۱۳۹۰). بررسی اثرات تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول بر جوانه‌زنی و خصوصیات مورفولوزیکی گیاه شوید (*Anthum graveolens* L.). *نشریه علوم باغبانی*، ۲۵(۲)، ۱۹۳-۱۸۵. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.9989

خلیل‌زاده، راضیه، سید شریفی، رئوف، و جلیلیان، جلال (۱۳۹۶). تأثیر سایکلوسل و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم در شرایط محدودیت آبی. *فرایند و کارکرد گیاهی*، ۶(۲۱)، ۲۴۷-۲۶۶. DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.2.4

رشیدیان، امین، رفیعی، مسعود، خورگامی، علی، میردریکوند، رضا، و وفایی، سیدحسین (۱۴۰۱). اثر تراکم و کائولین بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم. *نشریه فرآیند و کارکردهای گیاهی*، ۱۱(۴۷)، ۱۲۹-۱۴۴. DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.16.5

رفیعی، مسعود، کریمی، محمد مهدی، نورمحمدی، قربان، و نادیان، حبیب‌اله (۱۳۸۲). اثرات تنش خشکی، مقادیر فسفر و روی بر توزیع عمودی سطح برگ، نفوذ نور در سایه‌انداز و رابطه آنها با عملکرد دانه ذرت. *مجله علوم زراعی ایران*، ۵(۱)، ۳۵-۲۲. https://civilica.com/doc/1481997

رفیعی، مسعود (۱۳۹۳). ذرت (مجموعه مقالات- جلد اول). انتشارات سروا، تهران.

سیروس مهر، علی‌رضا، و روشن ضمیر، فاطمه (۱۳۹۳). تأثیر تنش کم آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *نشریه زراعت پژوهش و سازندگی*، ۱۰۵، ۱۳۴-۱۴۰. https://doi.org/10.22092/AJ.2014.103362

صادقی، لیلی، رفیعی، مسعود، و دانشیان، جهانفر (۱۴۰۰). اثرات تنش خشکی و ریزگرد بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک در گیاه سویا (*Glycine max* L.). *نشریه فرآیند و کارکردهای گیاهی*، ۱۰(۴۱)، ۲۶۳-۲۷۷. DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.41.16.6

غلامی، مسعود، کوچک‌زاده، احمد، سیادت، عطاءاله، مرادی تلاوت، محمدرضا، و رفیعی، مسعود (۱۴۰۱). سنجش محتوای عناصر غذایی ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تأثیر ازتوباکتر و آبیاری. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳(۱)، ۳۸-۲۷. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.311630.654762

نجفی‌نژاد، حبیب، راوری، سید ذبیح‌اله، و جواهری، محمدعلی (۱۳۹۸). تغییرات عملکرد علوفه و برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک کوشیا، ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای تحت تنش خشکی. *نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۳، ۵۳۵-۵۵۴. https://doi.org/10.30495/JCEP.2020.671172

Ahmed, A. A., Hassan, M.S. M. & El Naim, A. M. (2016). Evaluation of some local sorghum genotypes in north

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

Kordofan of Sudan semi-arid agro-ecological environment. *International Journal of Agriculture and Forestry, 6*(1), 54-57. https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20160601.06

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal, 23*, 112-121. https://www.ijsr.net/archive/v4i11/NOV151021.pdf

Assefa, Y. & Staggenborg, S. A. (2010). Grain sorghum yield with hybrid advancement and change in agronomic practices from 1957 through 2008. *Agronomy Journal, 102*, 703-706. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0314

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207. https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018060

Cha-um, S. & Kirdmanee, Ch. (2009). Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, *8*(1), 51-58. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60008-0

Debaeke, P. & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water limited environments. *European Journal of Agronomy, 21*, 43-56. https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.07.006

Dhindsa, R. S., Dhindsa, P., & Thorpe, A. T. (1981). Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decrease levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany, 32*, 93-101. https://www.google.com/search?

El Naim, A. M., Baldu, M. A. M., & Zaied, M. M. B. (2012). Effect of tillage depth and pattern on growth and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under rain-fed. *Journal of Novel Applied Sciences, 1*(3), 68-73. https://www.researchgate.net/publication/235764798

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A., & Hashemi, M. (2017). Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Tymus daenesis* Celak. *The Crop Journal, 5*, 407-415. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003

Jabereldar, A. A., El Naim, A. M., Abdalla, A. A., & Dagash, Y. M. (2017). Effect of water stress on yield and water use efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in semi-arid environment. *International Journal of Agriculture and Forestry, 7*(1), 1-6. https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20170701.01

Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L. E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., & HongVing, Z. (2016). Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics 514 and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences, 4*, 42-48. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:131361587

Jithesh, M. N., Prashanth, S. R., Sivaprakash, K. R., & Parida, A. K. (2006). Antioxidative response mechanisms in halophytes: Their role in stress defense. *Journal of Genetics, 85*, 237-254. https://link.springer.com/article/10.1007/BF02935340

Lawry, O. H., Rosebrough, N. J., & Rand, R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry, 193*, 265-273. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14907713/

Mae-Adam, J. W. & Nelson Sharp, C. J. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall Fese Ue. *Journal of Plant Physiology*, *99*, 872-878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872

Mahajan, S. & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives in Biochemistry and Biophysics*, *444*, 139-158. https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.10.018

Menezes, C. B., Saldanha, D. C., Santos, C. V., Andrade, L. C., Mingote Julio, M. P., Portugal, A. F., & Tardin, F. D. (2015). Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. *Genetics and Molecular Research, 14*(4), 12675-12683. https://doi.org/10.4238/2015.October.19.11

Nandi, et al. (2001). High temperature induced free proline accumulation in *Gracilavia tenuistipitata* (Rhodophta). *Botanical Bulletin of Academia Sinica, 40*, 289-294. https://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/1999/4/bot404-06.html

Rafiee, M. & Kalhor, M. (2015). Economic water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) hybrids as affected by irrigation regimes: A case study in West Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1476-3567. https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1105360

Sharafi, Gh. A., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M., & Khagani, Sh. (2019). Investigating the effect of drought stress and vermicompost biofertilizer on morphological and biochemical characteristics of *Thymus vulgaris* L. *Archives of Pharmacy Practice*, *10*(3), 137-145. https://archivepp.com/issue/archiveapp-vol10-iss3

Stone, L. R. & Schlegel, A. J. (2006). Yield-water supply relationship of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal*, *98*, 1359-1366. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0042

Tovignan, T. K., Basha, Y., Augustine, S. M., & Vukasovic, S. (2023) Precision phenotyping of agro-physiological responses and water use of sorghum under different drought scenarios. *Agronomy*, *13*(3), 722. https://doi.org/10.3390/agronomy13030722

Yahaya, M. A., & Shimelis, H. (2022). Drought stress in sorghum: Mitigation strategies, breeding methods and technologies—A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *208*(2), 127-148. https://doi.org 10.1111/jac.12573

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]

Effect of drought stress on the biochemical characteristics of grain sorghum cultivars in summer cultivation

Masoomeh Bazgir[1], Masoud Rafiee[2*], Ali Khorgami[1]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran
[2] Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran
(Received: 2023/03/27, Accepted: 2023/09/05)

Abstract

Selection of cultivars adapted to drought stress conditions in each region plays an important role in achieving production potential in that region. For this purpose, the effect of drought stress through the irrigation cycle after 80 (control), 110 (mild stress), 140 (relatively severe stress) and 170 (severe stress) mm of evaporation from the class A evaporation pan on four grain sorghum cultivars, Sepideh, Kimia, Payam and KGS32, was investigated in summer cultivation in Khorramabad, Lorestan. The results showed that the amount of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll, ratio of chlorophyll a/b, carotene and xanthophyll) and the amount of starch, protein, sodium and the ratio of sodium to potassium decreased with the intensification of drought stress, but the amount of nitrate, proline and potassium increased in the sorghum shoot. Intensification of drought stress was accompanied by the suppression of catalase, which caused the antioxidant defense mechanism to work through increasing peroxidase production. The highest amounts of non-structural soluble sugars, peroxidase and proline in the aerial part were obtained from KGS23 and Payam cultivars under severe drought stress conditions, while the highest amount of starch under normal irrigation conditions was obtained from the Sepideh variety, as were the highest amounts of catalase and total protein in the aerial part under normal conditions. Watering was observed in Payam and KGS23 cultivars. The trend of grain yield changes of all grain sorghum cultivars under the influence of drought stress followed a significant and negative linear relationship, but the changes of peroxidase and proline with increasing drought stress had a significant and positive linear relationship. In general, grain sorghum cultivars KGS23 and Sepideh have different drought stress tolerance mechanisms and can be recommended for normal and stressful conditions in the temperate region of Khorramabad.

Keywords: Antioxidant, Irrigation regime, Micronutrient elements, Osmotic adjustment, Photosynthetic pigments, Seed yield

Corresponding author, Email: rafieemasoud@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: DOI: 10.22034/13.62.51]