بررسی تغییرات روابط آبی، تنظیم اسمزی و سبزمانی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در تنش خشکی پس از گلدهی

سپیده سنجری[۱]، رضا شیرزادیان خرم‌آباد[۱]، زهرا سادات شبّر[۲] و مریم شهبازی[۳،٤*]

[۱] گروه بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، [۲] گروه زیست شناسی سیستم¬ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، [۳]دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ گرگان، ایران، [٤] گروه فیزیولوژی مولکولی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٦/۱۱/۱۰)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی پس از گلدهی بر روابط آبی، تنظیم اسمزی و سبزمانی ژنوتیپ‌های سورگوم و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۹٤ به اجرا درآمد. عامل اصلی سه تیمار آبی شامل شاهد (آبیاری پس از ٦۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) ، تنش ملایم (آبیاری معمول تا زمان ۵۰٪ گلدهی و پس از آن، اعمال آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، تنش شدید (آبیاری معمول تا زمان ۵۰٪ گلدهی و قطع کامل آبیاری پس از آن) بود و پنج ژنوتیپ سورگوم (کیمیا، سپیده، KGS15، KGS23 و KGS32) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نمونه برداری‌ها در زمان ۱٤، ۲۱ و ۲۸ روز پس از گلدهی صورت گرفت. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ، افزایش دمای کانوپی و میزان تنظیم اسمزی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد ($P<0.01$). ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 براساس عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی، محتوای نسبی آب برگ و تنظیم اسمزی به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند. علاوه‌بر آن، ژنوتیپ KGS23 قابلیت سبزمانی بالاتری نیز از خود نشان داد. نتایج بررسی صفات، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P<0.01$) بین عملکرد دانه با محتوای نسبی آب برگ، وزن هزار دانه، میزان کلروفیل و همبستگی منفی و معنی‌داری ($P<0.01$) با دمای کانوپی نشان داد. نتایج این بررسی نشان داد که علاوه بر اهمیت روابط آبی و تنظیم اسمزی، سبزمانی یکی از مهمترین فرآیندهای مرتبط با حفظ عملکرد در شرایط تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های متحمل سورگوم می‌باشد.

کلمات کلیدی: دمای کانوپی، شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد دانه، کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ

مقدمه

خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیر زنده است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود می‌سازد (Valliyodan and Nguyen, 2006). افزایش روز افزون جمعیت جهان و تقاضای جهانی برای تولید غلات از یک‌سو (Rosegrant and Cline, 2003) و تغییرات اقلیمی جهان مانند افزایش تنش خشکی از

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: maryam.shahbazi@gau.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

سوی دیگر موجب شده است که توانایی سازگاری گیاهان و تولید محصول تحت چنین شرایط محیطی بسیار مورد توجه قرار گیرد (Dalal *et al*., 2012). سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) یکی از گیاهان پر اهمیت در این زمینه است.

سورگوم چهارمین غله مهم جهان بعد از گندم، برنج و ذرت می‌باشد (FAO, 2009). سورگوم متعلق به تیره Poaceae، زیر تیره Panicoideae بوده و به دلیل تکامل در آفریقا در شرایط با بارش کم و نامنظم، به عنوان مدل برای مطالعات سازوکارهای ژنتیکی و فیزیولوژی تحمل به خشکی در گونه‌های غلات محسوب می‌شود (Kapanigowda *et al.* 2012). در سورگوم تنش خشکی قبل از گلدهی (Pre-flowering) بر بیوماس، اندازه پانیکول، تعداد دانه و عملکرد تأثیر می‌گذارد (Sanchez *et al*., 2002)، درحالی که تنش خشکی بعد از گلدهی (Post- flowering) موجب پیری زودرس ساقه و برگ، و کاهش اندازه دانه می‌شود (Borrell *et al*., 1977). هر چند به طور کلی سورگوم در مقایسه با دیگر محصولات زراعی مقاوم به خشکی است، اما تنش خشکی قبل و بعد ازگلدهی به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه آن را کاهش می‌دهد (Mutava *et al*., 2011). نرخ فتوسنتز برگ، افزایش زنده‌مانی گرده، بهبود خروج پانیکول و دمای کانوپی کمتر در تحمل به خشکی قبل از گلدهی و عمق ریشه، سبزمانی، افزایش نرخ پرشدگی دانه و دوره زمانی پر شدن دانه طولانی‌تر در تحمل به خشکی پس از گلدهی نقش مهمی دارند (Harris *et al*., 2007; Lawlor and Cornic, 2002).

تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content) می‌شود، اما به‌طور معمول، ژنوتیپ‌های دارای محتوای نسبی آب برگ بالاتر در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل‌تری نسبت به تنش خشکی محسوب می‌شوند (Sairam and Srivastava, 2002; Reddy *et al*., 2003; Pask *et al*., 2012; Eppel *et al*., 2013). همچنین مشخص شده است که کاهش محتوی آب نسبی برگ در اثر تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها را تحریک کرده (Cornic, 2000) و بسته شدن روزنه‌ها موجب کاهش تعرق و جذب دی‌اکسیدکربن (Hnilicka *et al*., 2008) می‌شود. از سوی‌دیگر، افزایش درجه حرارت برگ را در پی خواهد داشت (Matuz *et al*., 2008). گزارش شده است که ارقامی از گندم با دمای کانوپی کمتر در شرایط تنش رطوبتی، تحمل بیشتری به تنش خشکی داشتند (Balota *et al*., 2007).

تنش خشکی بر فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز تأثیر به‌سزایی می‌گذارد (Wahid *et al*., 2005). کاهش میزان فتوسنتز در ذرت تحت تنش خشکی در مقایسه با شاهد گزارش شده است (Anjum *et al*., 2011). وقوع خشکی در زمان پر شدن دانه، پیری برگ را تسریع می‌کند که منجر به مرگ زودرس گیاه می‌شود (Rosenow and Clark, 1982). در سورگوم، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی پس از گلدهی، به‌دلیل حفظ کلروفیل خود نسبت به ژنوتیپ‌های حساس، مدت زمان بیشتری قادر به فتوسنتز تحت شرایط خشکی هستند، از این‌رو به تیپ سبزمان (Stay-green) معروف هستند (Cha *et al*., 2002; Thomas and Howarth, 2000). سازگاری به تنش خشکی پس از گلدهی در سورگوم، با فنوتیپ سبزمانی همبستگی دارد (Sabadin *et al*., 2012). علاوه بر سورگوم (Borrell and Douglas, 1997)، در سایر غلات نظیر گندم (Bogard *et al*., 2011)، ذرت (Zheng *et al*., 2009) و برنج (Hoang and Kobata, 2009)، در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، سبزمانی منجر به افزایش محصول شده‌است. سبزمانی و تنظیم اسمزی (Osmotic adjustment) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارند (Jongdee *et al*., 2006; Cattivelli *et al*., 2008).

تنظیم اسمزی یکی از اجزای مهم سازوکار تحمل به خشکی می‌باشد (Zhang *et al*., 1999) که تجمع فعال مواد محلول در سلول‌ها، در پاسخ به کاهش پتانسیل آبی صورت می‌گیرد (Daneshmand *et al*., 2010). گیاهان در تنش‌های محیطی مختلف، مواد محلول آلی با وزن مولکولی کم را تجمع می‌دهند که عموماً مواد محلول سازگار نامیده می‌شوند و شامل آمینو اسیدها، بتائین‌ها و قندها می‌باشند. علاوه بر مواد آلی، برخی مواد محلول غیر آلی نیز سهم قابل توجهی در تنظیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

اسمزی سلول‌های گیاه را تشکیل می‌دهند (Bajji *et al.*, 2001). تنظیم اسمزی به‌عنوان یک سازوکار مؤثر در تحمل به خشکی در گیاهان زراعی با اثر مثبت و مستقیم یا غیر مستقیم بر تولیدات گیاهانی که در شرایط تنش خشکی رشد می‌کنند، شناخته شده است (Hamidou *et al.*, 2007; Sa´nchez *et al.*, 2004). هرچند که مطالعات نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های گندم (Morgan, 1995; Blum *et al.*, 1999)، جو (Gonzalez *et al.*, 1999; González *et al.*, 2008) و سورگوم (Ludlow *et al.*, 1990; Santamaria *et al.*, 1990) با توانایی تنظیم اسمزی، عملکرد بیشتری تولید می‌کنند، اما برخی پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که تنظیم اسمزی نتیجه کاهش رشد القا شده تحت خشکی است (Munns, 1988) و بعضی مطالعات گزارش کرده‌اند که تنظیم اسمزی تنها در شرایط تنش خشکی شدید که بقای گیاه به‌خطر افتاده و عملکرد به‌شدت کاهش یافته است، عمل می‌کند (Serraj and Sinclair, 2002). به‌این‌ترتیب به‌نظر می‌رسد که سودمندی تنظیم اسمزی به‌عنوان سازوکار تحمل به خشکی هنوز جای بحث و بررسی دارد (Sa´nchez *et al.*, 2004).

لذا هدف از انجام این پژوهش ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های امیدبخش، بررسی روند روابط آبی و تنظیم اسمزی در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در شرایط تنش خشکی آخر فصل و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه و مطالعه رابطه سبزمانی برگ و میزان تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. در این پژوهش، عامل اصلی شامل سه تیمار آبی بود: شاهد به شکل آبیاری پس از ٦۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A ، تنش ملایم: به صورت ادامه آبیاری معمول تا زمان ۵۰٪ گلدهی و اعمال آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A پس از ۵۰٪ گلدهی تا زمان برداشت، تنش شدید: به شکل آبیاری معمول تا زمان ۵۰٪ گلدهی و قطع کامل آبیاری پس از ۵۰٪ گلدهی بود. پنج ژنوتیپ سورگوم شامل: کیمیا، سپیده، KGS15، KGS23 و KGS32 به‌عنوان عامل فرعی مورد مطالعه قرار گرفتند. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی- شنی، هدایت الکتریکی ۰/۷۵ دسی زیمنس بر متر و pH برابر ۷/۵ بود. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول ۵ متر با فاصله ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خط ۸ سانتی‌متر بود. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آورده شده است و براساس آزمون خاک، کود آمونیوم فسفات ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به عنوان سرک در زمانی که ارتفاع بوته‌ها به حدود ۳۵ سانتی‌متر رسید، داده شد.

نمونه برداری پس از اعمال تنش‌های آبی ١٤، ۲۱ و ۲۸ روز پس از ۵۰٪ گلدهی صورت گرفت. نمونه برداری‌ها از برگ پرچم (۷ عدد در هر تکرار) در ساعت ۹ صبح انجام شد. ابتدا و انتهای برگ پرچم بریده شد و بافت میانی به دو نیم تقسیم گردید و برای سنجش محتوای نسبی آب برگ و تنظیم اسمزی مورد استفاده قرار گرفت.

برای اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، وزن تازه، وزن آماس و وزن خشک برگ اندازه گیری و درصد محتوای نسبی آب با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید (Pask *et al.*, 2012):

محتوای نسبی آب برگ(%) = [(وزن تازه برگ) – وزن خشک] / (وزن آماس - وزن خشک) × 100 (۱)

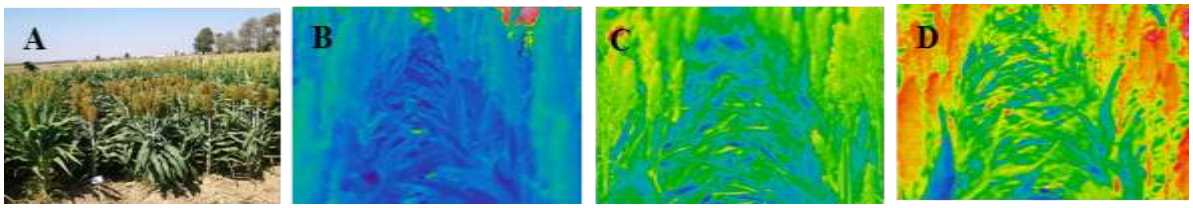
تنظیم اسمزی: نمونه‌های آماس یافته در دمای ٤ درجه سانتیگراد و ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و عصاره سلولی خارج شده با استفاده از دستگاه اسمومتر (مدل-Wescor 5520) بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم خوانده شد. با استفاده از فرمول وانت هوف (۲) مقدار پتانسیل اسمزی برگ بر حسب مگاپاسگال محاسبه گردید (Nobel, 1991).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

جدول ۱- نتایج آزمون نمونه خاک مزرعه

فسفر قابل استفاده (ppm)	پتاسیم قابل استفاده (ppm)	درصد ازت کل (N٪)	عنوان نمونه
۱۲/۵	۲۳٤/٦	۰/۱۳	خاک
۱۵-۲۰	۱۵۰-۲۲۰	>۰/۳	دامنه مطلوب



شکل ۱- نمونه‌ای از عکس مزرعه و عکس‌های دوربین حرارتی مادون قرمز مزرعه سورگوم: مزرعه (A)، عکس دوربین حرارتی در شرایط شاهد (B)، عکس دوربین حرارتی در تنش خشکی ملایم (C) و عکس دوربین حرارتی در تنش خشکی شدید (D)

$$\Psi = - M I R T \quad (۲)$$

که در آن Ψ: پتانسیل اسمزی (برحسب مگاپاسکال)، M: مولاریته محلول (بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم)، I: ضریب یونیزاسیون (۱ درنظر گرفته می‌شود)، R: ثابت عمومی گازها (برابر با ۰/۰۰۸۳۱٤)، T: دما (بر حسب درجه کلوین (۲۷۳+)) می‌باشد.

میزان تنظیم اسمزی در گیاه از اختلاف پتانسیل اسمزی برگ‌های گیاهان شاهد و تحت تنش در شرایط آماس کامل با استفاده از فرمول ۳ محاسبه شد (Blum, 1989):

$$OA = \Psi S_{c100} - \Psi S_{s100} \quad (۳)$$

OA: مقدار تنظیم اسمزی، ΨS_{c100}: مقدار پتانسیل اسمزی گیاه شاهد در صد در صد آماس، ΨS_{s100}: مقدار پتانسیل اسمزی گیاه تحت تنش در صد در صد آماس

سنجش دمای کانوپی: با استفاده از دوربین حرارتی مادون قرمز (Infrared Thermal Imager) مدل IVN 770-P بین ساعات ۱۲ الی ۱۳ ظهر که بیشترین تشعشع خورشید وجود دارد، از هر کرت عکس تهیه شد و سپس عکس‌ها با نرم‌افزار دوربین مورد ارزیابی قرار گرفتند و دمای کانوپی برحسب درجه سانتیگراد برای هر کرت ثبت شد (شکل ۱).

اندازه‌گیری کلروفیل برگ: ابتدا مقدار ۰/۱ گرم برگ پرچم تازه به‌همراه ۳ میلی لیتر استون ۸۰٪ (v/v) در هاون چینی کاملاً سائیده شد. نمونه‌ها در دمای ٤ درجه سانتیگراد و ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۲۵۰ میکرولیتر از مایع رویی را با ۷۵۰ ماکرولیتر استون ۸۰٪ درون کووت ریخته و در مقابل شاهد (Blank) که یک میلی لیتر استون ۸۰٪ بود، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. غلظت کلروفیل a، b وکل براساس روابط ٤- ٦ (بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) به‌دست آمد (Arnon, 1949):

حجم نهایی نمونه (A_{645}) ۲/٦۹ – (A_{663}) ۱۲/۷ = کلروفیل a (٤) وزن تر× ۱۰۰۰ /استخراج شده ×(

حجم نهایی نمونه (A_{663}) ٤/٦۹ – (A_{645}) ۲۲/۹ = کلروفیل b (۵) وزن تر× ۱۰۰۰ /استخراج شده ×(

حجم نهایی نمونه (A_{663}) ۸/۰۲ + (A_{645}) ۲۰/۲ = کلروفیل کل (٦) وزن تر× ۱۰۰۰ /استخراج شده ×(

عملکرد و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی: پس از رسیدگی فیزیولوژیک، گیاهان هر کرت با حذف اثر حاشیه برداشت و سپس وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. همچنین با استفاده از عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش، شاخص‌های کمی تحمل به خشکی با استفاده از روابط مربوطه به شرح زیر محاسبه شدند:

میانگین بهره‌وری (Mean Productivity; MP) و شاخص تحمل (Tolerance Index; TOL) براساس روش Rosielle و Hamblin (۱۹۸۱) و طبق معادلات ۷ و ۸ محاسبه شدند:

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

$$TOL= Yp - Ys \quad (۷)$$

$$MP= (Yp + Ys)/2 \quad (۸)$$

میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity; GMP) و شاخص تحمل تنش (Stress Tolerance Index; STI) براساس روش Fernandez (۱۹۹۲) و طبق معادلات ۹ و ۱۰ محاسبه شدند:

$$GMP= (Yp \times Ys)^{1/2} \quad (۹)$$

$$STI= (Yp \times Ys)/Yp^2 \quad (۱۰)$$

میانگین هارمونیک (HARM) براساس روش ایزانلو و همکاران (۱۳۸۱) و طبق معادل ۱۱ محاسبه گردید:

$$HARM= 2 (Yp \times Ys)/(YP + Ys) \quad (۱۱)$$

شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index; SSI) براساس روش Maurer و Fischer (۱۹۷۸) و طبق معادل ۱۲ محاسبه گردید:

$$SSI= [1-(Ys/Yp)]/SI \quad (۱۲)$$

شدت تنش (Stress Index; SI) طبق معادل ۱۳ محاسبه گردید:

$$SI= 1- (Ys/Yp) \quad (۱۳)$$

Yp: عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، Ys: عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش، Yp: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش، Ys: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver 9.1) صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. نقشه حرارتی (Heat map) همبستگی میان صفات توسط MetaboAnalyst ترسیم شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار آبی بر محتوای نسبی آب برگ در ۱٤ روز پس از گلدهی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد و همچنین، اثر این تیمار در زمان‌های ۲۱ و ۲۸ روز پس از گلدهی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اثر ژنوتیپ در کلیه زمان‌های نمونه برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تقریباً در هر سه زمان نمونه برداری تیمارهای تنش خشکی ملایم و شدید موجب کاهش محتوای آب نسبی برگ نسبت به تیمار شاهد گردید و اما بیشترین کاهش در محتوای نسبی آب برگ در زمان ۲۸ روز پس از گلدهی در تیمار تنش خشکی شدید نسبت به تیمار کنترل بود (جدول ۳).

بررسی روند تغییر محتوای نسبی آب برگ در هر سه تیمار آبیاری نشان داد که در تنش خشکی شدید با گذشت زمان، کاهش شدیدتری در محتوای نسبی آب برگ در کلیه ژنوتیپ‌ها مشاهده شد و کمترین محتوای نسبی آب برگ ۲۸ روز پس از گلدهی در ژنوتیپ‌های سپیده و KGS32 به ترتیب به میزان ۵۵/۹۱ و ٦۲/۰۵ درصد و در همین مرحله بیشترین محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 به ترتیب به میزان ۷۵/۹۱ و ۷۱/۹۸ درصد بود (شکل ۲).

کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Sairam and Srivastava, 2002; Reddy *et al.*, 2003; Eppel *et al.*, 2013). از این‌رو، ژنوتیپی با توانایی کاهش شدت تنش از طریق نگهداری فشار تورژوسانس در برگ‌ها در شرایط تنش مزایای فیزیولوژیکی خواهد داشت (به‌عنوان مثال، ممکن است اجازه دهد فرآیندهای مرتبط با آماس مانند رشد، فعالیت روزنه به منظور حفاظت و نگهداری از فتوسیستم ادامه یابند). لذا ژنوتیپ‌های دارای آب نسبی برگ بالاتر در شرایط تنش خشکی مطلوب‌تر خواهند بود (Sairam and Srivastava, 2002; Pask *et al.*, 2012).

دمای کانوپی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در هر سه مرحله نمونه برداری تیمار تنش آبی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر دمای کانوپی داشت، با این حال ژنوتیپ‌ها فقط در مرحله ١٤ روز پس از گلدهی با هم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشتند ولی اثر متقابل تیمار آبی و ژنوتیپ بر صفت دمای کانوپی تأثیر معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۲).

تنش خشکی ملایم و شدید هر دو موجب افزایش دمای کانوپی در کلیه ژنوتیپ‌ها گردید و مقایسه میانگین اثر تیمار آبی بر دمای کانوپی در هر سه زمان نمونه‌برداری در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین دمای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط شاهد، تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید

		میانگین مربعات (MS)					
	درجه آزادی	کلروفیل ۱۴ روز پس از گلدهی	دمای کانوپی ۲۸ روز پس از گلدهی	دمای کانوپی ۲۱ روز پس از گلدهی	دمای کانوپی ۱۴ روز پس از گلدهی	محتوای نسبی آب برگ ۲۸ روز پس از گلدهی	محتوای نسبی آب برگ ۲۱ روز پس از گلدهی	محتوای نسبی آب برگ ۱۴ روز پس از گلدهی
بلوک	۲	۰/۰۰۰۰۴**	۴/۹۱**	۱۰/۹۳**	۲/۰۸**	۲۹/۷۲**	۱/۶۸**	۲۷/۵۴*
تیمار آبی	۲	۰/۰۰۰۱**	۲۰۵/۲۲**	۸۳/۲۲**	۵۵/۸۵**	۹۹۹/۱۲**	۹۶/۲۷**	۲۳/۶۲*
خطای a	۴	۰/۰۰۰۱	۶/۶۴	۱/۹۷	۱/۸۹	۴/۹۸	۳/۰۴	۳/۹۲
ژنوتیپ	۴	۰/۰۰۰۷**	۰/۸۲**	۰/۷۷**	۰/۸۲*	۲۸۱/۶۹**	۱۶۹/۳۹**	۱۸۶/۰**
تیمار آبی × ژنوتیپ	۸	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۲۳**	۰/۲۸**	۰/۳۹**	۲۷/۵۰**	۹/۶۸**	۸/۰۷**
خطای b	۲۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۵۷	۰/۳۹	۰/۲۸	۳۷/۷۳	۷/۹۸	۵/۲۹
ضریب تغییرات (%C.V)		۱۵/۲۷	۲/۵۶	۲/۱۸	۱/۷۹	۸/۱۰	۳/۴۸	۲/۷۳

^{ns} غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ادامه جدول ۲-

		میانگین مربعات (MS)						
	درجه آزادی	کلروفیل b ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل a ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل کل ۲۱ روز پس از گلدهی	کلروفیل b ۲۱ روز پس از گلدهی	کلروفیل a ۲۱ روز پس از گلدهی	کلروفیل کل ۱۴ روز پس از گلدهی	کلروفیل b ۱۴ روز پس از گلدهی
بلوک	۲	۰/۰۰۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷^{ns}
تیمار آبی	۲	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۲۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۹^{ns}
خطای a	۴	۰/۰۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۰۰۰۸
ژنوتیپ	۴	۰/۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰۰۰۰۷**
تیمار آبی × ژنوتیپ	۸	۰/۰۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۵^{ns}
خطای b	۲۴	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۶
ضریب تغییرات (%C.V)		۹/۲۳	۱۸/۳۳	۱۱/۱۸	۱۰/۹۱	۱۱/۰۶	۱۵/۴۰	۱۶/۵۸

^{ns} غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

کانوپی در همه زمان‌های نمونه برداری در ژنوتیپ سپیده مشاهده شد ولی اختلاف معنی داری در بین ژنوتیپ‌ها روی دمای کانوپی در ۲۸ روز پس از گلدهی بر دمای کانوپی مشاهده نشد (جدول ۳ و شکل ۲).

از آنجایی که درجه حرارت سطح کانوپی به میزان تعرق بستگی دارد و در شرایط تنش خشکی دمای کانوپی با ظرفیت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و یا کارآیی مصرف آب مرتبط است (Pask *et al.*, 2012) بنابراین اندازه‌گیری‌هایی مانند دمای کانوپی می‌تواند به‌طور غیر مستقیم بیانگر جذب آب توسط ریشه‌ها باشد (Reynolds and Toberosa, 2008). همچنین از آنجایی که دمای کانوپی با وضعیت آبی گیاه و عملکرد همبستگی دارد، لذا به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی با دمای کانوپی پایین‌تر، وضعیت بهتر آبی را نشان می‌دهند (Pask *et al.*, 2012) و تحمل بیشتری به تنش خشکی خواهند داشت (Balota *et al.*, 2007)، به‌طوری که نتایج این آزمایش نشان می‌دهد، ژنوتیپ سپیده با داشتن بیشترین دمای کانوپی،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

ادامه جدول ۲-

	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		عملکرد دانه	وزن هزار دانه	کلروفیل کل ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل b ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل a ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل کل ۲۱ روز پس از گلدهی
بلوک	۲	۵٤٤۰۲۲٦۹/۲**	۵۰/٤۲*	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}
تیمار آبی	۲	٦٤۸۹۳٤۳۷/٦**	٤۷۷/۷۰**	۰/۰۰٤۰**	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۱۳**
خطای a	٤	۳٦۰۸۲٤۷/۵	۳۳/۸٤	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰٤	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲
ژنوتیپ	٤	۷۹٤۳۹۱۰/۸**	۱٦۷/۳۸**	۰/۰۰۳۰**	۰/۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰٦**	۰/۰۰۱۱**
تیمار آبی × ژنوتیپ	۸	۲۷۷۵۸۲۰/۸^{ns}	۱۷/۳۵^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۲*
خطای b	۲٤	۱۳۹۷۸۵۹/۸	۹/۸۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۹
ضریب تغییرات (%C.V)		۱٤/۲۹	۱۰/٦٦	۱۰/۹۹	۹/۲۳	۱۸/۳۳	۱۱/۱۸

^{ns} غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمار آبی و ژنوتیپ بر صفات مورد بررسی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه سورگوم

	محتوای نسبی آب برگ ۱٤ روز پس از گلدهی	محتوای نسبی آب برگ ۲۱ روز پس از گلدهی	محتوای نسبی آب برگ ۲۸ روز پس از گلدهی	دمای کانوپی ۱٤ روز پس از گلدهی	دمای کانوپی ۲۱ روز پس از گلدهی	دمای کانوپی ۲۸ روز پس از گلدهی	تنظیم اسمزی ۱٤ روز پس از گلدهی
تیمار آبی							
کنترل	۸۵/۵۲^{a}	۸۳/۷۳^{a}	۸۲/۱۳۱^{a}	۲۷/۳٤^{b}	۲۵/۹۸^{c}	۲۵/۹٦^{c}	
تنش خشکی ملایم	۸٤/۲۷^{ab}	۸۱/۰۸۸^{b}	۷۸/٦٦۹^{b}	۳۰/٦۰^{a}	۲۹/۰۳^{b}	۲۹/۳۹^{b}	۰/۱۲۳۸^{a}
تنش خشکی شدید	۸۳/۰۱^{b}	۷۸/٦٦٤^{c}	٦٦/۵۸^{c}	۳۰/۷۷^{a}	۳۰/٦۱^{a}	۳۳/۳۵^{a}	۰/۱۲۳۸^{a}
ژنوتیپ							
کیمیا	۸۸/۱۷^{a}	۸٤/۱٤^{ab}	۸۱/۵۳^{a}	۲۹/٤٤^{b}	۲۸/٤۷^{ab}	۲۹/٦۱^{a}	۰/۱۸۲۵^{a}
سپیده	۷۷/۱۹^{c}	۷٤/۱۷^{d}	٦۸/۵۵^{b}	۳۰/۰۷^{a}	۲۸/۹۳^{a}	۲۹/۸۳^{a}	۰/۰۹٦۲^{c}
KGS15	۸٦/٦۰۸^{a}	۸۱/۷۵^{bc}	۷۸/۷۸^{a}	۲۹/۲٦^{b}	۲۸/۲٤^{b}	۲۹/۰۷^{a}	۰/۱۳٤۰^{b}
KGS23	۸۷/۰۹^{a}	۸۵/۲۵^{a}	۷۸/۹۱^{a}	۲۹/۵٤^{ab}	۲۸/۷۵^{ab}	۲۹/۷۸^{a}	۰/۱۲۹٤^{b}
KGS32	۸۲/۲۹^{b}	۸۰/٤۹^{c}	۷۱/۱۹^{b}	۲۹/۵۳^{ab}	۲۸/۳۱^{ab}	۲۹/۵٤^{a}	۰/۰٦۷۲^{d}

هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ۵٪ >P)

کمترین محتوای نسبی آب برگ را در شرایط تنش خشکی شدید بعد از گلدهی از خود نشان داد (شکل ۲).

تنظیم اسمزی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در صفت تنظیم اسمزی در کلیه مراحل نمونه‌برداری با هم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشتند و تیمار آبی نیز در مراحل ۲۱ و ۲۸ روز پس از گلدهی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر تنظیم اسمزی داشت (جدول ٤). بررسی روند تنظیم اسمزی در طول زمان در هر دو سطح تنش ملایم و شدید به‌وضوح نشان داد که در شرایط تنش خشکی شدید و در طول زمان کلیه ژنوتیپ‌ها افزایش معنی‌داری در میزان تنظیم اسمزی نشان دادند و بالاترین میزان تنظیم اسمزی در مرحله ۲۸ روز پس از گلدهی از ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 به‌ترتیب به میزان ۰/۵٤ و ۰/۳۸ مگاپاسکال به‌دست آمد (شکل ۳). نکته قابل توجه این است که این دو ژنوتیپ بیشترین محتوای نسبی آب برگ را نیز در شرایط تنش آبی شدید و در مرحله ۲۸ روز پس از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

ادامه جدول ۳

	تنظیم اسمزی ۲۱ روز پس از گلدهی	تنظیم اسمزی ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل a ۱٤ روز پس از گلدهی	کلروفیل b ۱٤ روز پس از گلدهی	کلروفیل کل ۱٤ روز پس از گلدهی	کلروفیل a ۲۱ روز پس از گلدهی	کلروفیل b ۲۱ روز پس از گلدهی
تیمار آبی							
کنترل			۰/۰٤۸۳^{a}	۰/۰۰٤۸۵^{a}	۰/۰۹۲۰^{a}	۰/۰٤۵٦^{a}	۰/۰۰٤۳۸^{a}
تنش خشکی ملایم	۰/۱۵٦۲^{b}	۰/۱۹۵۵^{b}	۰/۰٤۳۰^{a}	۰/۰۰٤۵۷^{a}	۰/۰۸٤۲^{a}	۰/۰٤۲۳^{a}	۰/۰۰٤۲۲^{a}
تنش خشکی شدید	۰/۱۹۵۱^{a}	۰/۳۳۰٦^{a}	۰/۰٤۵۱^{a}	۰/۰۰٤۳۷^{a}	۰/۰۸۹۰^{a}	۰/۰۳۷۱^{b}	۰/۰۰۳٦۷^{b}
ژنوتیپ							
کیمیا	۰/۲۷۰۱^{a}	۰/۳۹۷۱^{a}	۰/۰٤۱۰^{b}	۰/۰۰٤۰۷^{bc}	۰/۰۸۰۳^{b}	۰/۰٤۱۳^{b}	۰/۰۰٤۱۰^{a}
سپیده	۰/۱۲٦۱^{c}	۰/۱۹٦۱^{d}	۰/۰٤۵۱^{b}	۰/۰۰۳۳۳^{ab}	۰/۰۸۸۷^{b}	۰/۰۳۷۹^{bc}	۰/۰۰۳٦۱^{c}
KGS15	۰/۱۷۸۷^{b}	۰/۲٤٦۷^{c}	۰/۰۳۳۱^{c}	۰/۰۰٤۷۰^{c}	۰/۰٦٤۸^{c}	۰/۰٤۱۸^{b}	۰/۰۰٤۱٦^{b}
KGS23	۰/۱۷۳۸^{b}	۰/۲۸۵۹^{b}	۰/۰۵۲٦^{a}	۰/۰۰۵٤۳^{a}	۰/۱۰۳۷۱۵^{a}	۰/۰۵۱۱^{a}	۰/۰۰۵۰۰^{a}
KGS32	۰/۱۲۹٦^{c}	۰/۱۸۹۳^{d}	۰/۰۵۵٦^{a}	۰/۰۰۵٤۷^{a}	۰/۱۰٤٤^{a}	۰/۰۳٦۱^{c}	۰/۰۰۳۵۷^{c}

هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ۵٪ >P)

ادامه جدول ۳-

	کلروفیل کل ۲۱ روز پس از گلدهی	کلروفیل a ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل b ۲۸ روز پس از گلدهی	کلروفیل کل ۲۸ روز پس از گلدهی	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (Kg. ha^{-1})
تیمار آبی						
کنترل	۰/۰۹۰۵^{a}	۰/۰۵۱۰^{a}	۰/۰۰۵۲٦^{a}	۰/۰۹۹۳^{a}	۳۳/۱۵^{a}	۱۰۱۱۲/۰^{a}
تنش خشکی ملایم	۰/۰۸۳٦^{ab}	۰/۰۳۸۳^{b}	۰/۰۰۳۷۵^{b}	۰/۰۷۵۸^{b}	۳۲/۲^{a}	۸٦۸۱/۵^{a}
تنش خشکی شدید	۰/۰۷۳٦^{b}	۰/۰۳۱۰^{c}	۰/۰۰۲۹۸^{c}	۰/۰٦۱۷^{c}	۲۲/۹۳^{b}	٦۰۱۳/۹^{b}
ژنوتیپ						
کیمیا	۰/۰۸۱۹^{b}	۰/۰۳۵۳^{b}	۰/۰۰۳٤۷^{b}	۰/۰٦۹۸^{bc}	۳۵/۲٤^{a}	۹۳۱۱/۷^{a}
سپیده	۰/۰۷۵٦^{bc}	۰/۰۳۷۲^{b}	۰/۰۰۳۷۳^{b}	۰/۰۷۳٤^{b}	۲۵/۱۱^{c}	۷٦۲۳/۵^{b}
KGS15	۰/۰۸۲۷^{b}	۰/۰۳٤۲^{b}	۰/۰۰۳٤٦^{b}	۰/۰٦۲۹^{c}	۳۱/۸۹^{b}	۷۵٤۹/٤^{b}
KGS23	۰/۱۰۱۳^{a}	۰/۰۵٦۸^{a}	۰/۰۰۵۵۲^{a}	۰/۱۱۵۳^{a}	۲۵/٤٤^{c}	۹۲۸٤/۰^{a}
KGS32	۰/۰۷۱۳^{c}	۰/۰۳۷۲^{b}	۰/۰۰۳۷۹^{b}	۰/۰۷۳۲^{b}	۲۹/٤٤^{b}	۷۵۷۷/۲^{b}

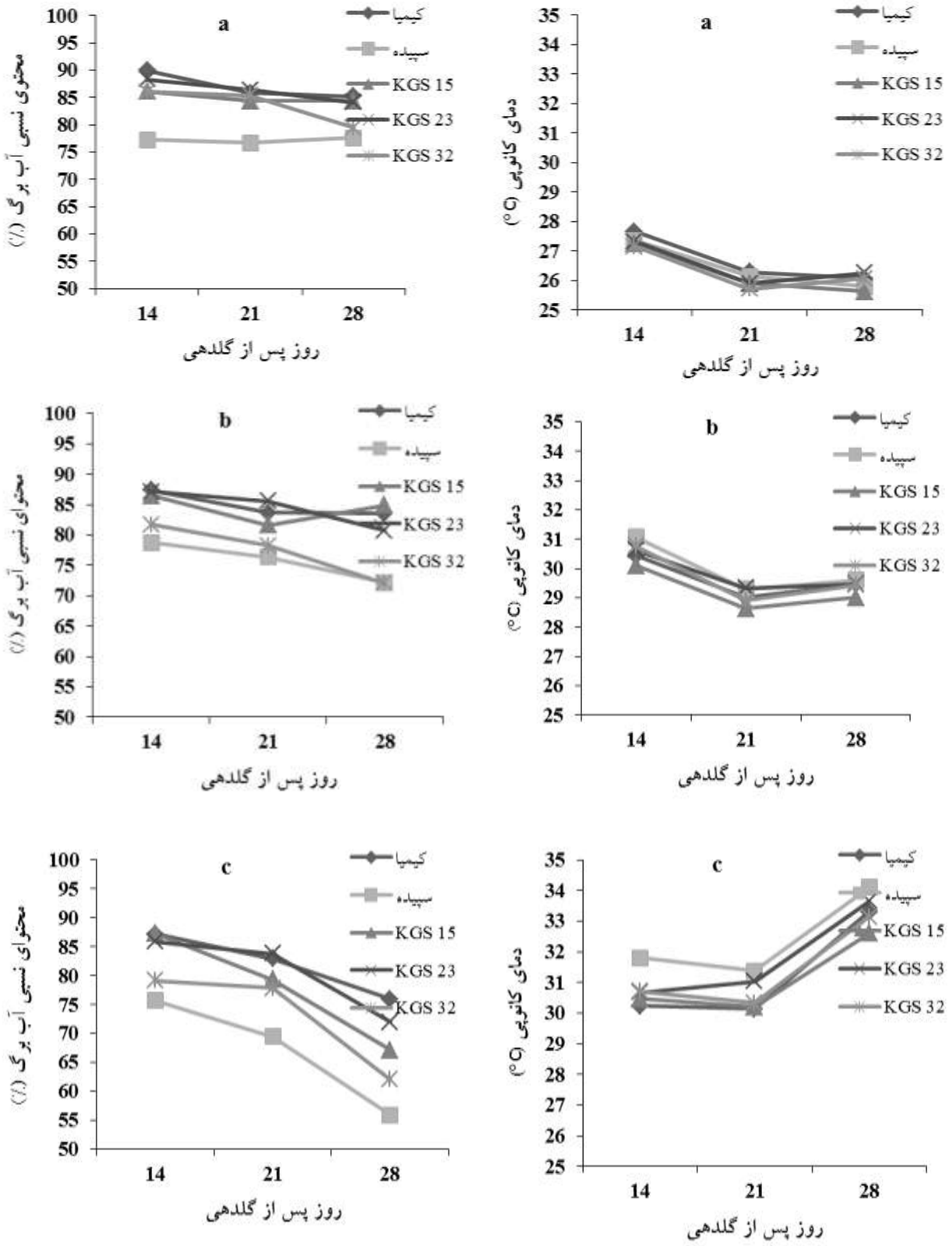
هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ۵٪ >P)

گلدهی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به‌خود اختصاص دادند، لذا می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که تنظیم اسمزی ارتباط تنگاتنگی با محتوای نسبی آب برگ دارد.

تنظیم اسمزی با انباشت متابولیت‌های سازگار به‌عنوان یکی از سازوکارهای سازگاری گیاهان زراعی در برابر خشکی شناخته شده است (Nayyar and Walia, 2004; Hamidou *et al.*, 2007). از آنجایی که از یک‌طرف تنظیم اسمزی فرآیندی نیازمند زمان است به‌این مفهوم که کاهش ناگهانی و شدید وضعیت آبی گیاه موجب ایجاد تنظیم اسمزی نمی‌گردد (Blum, 1996) و از طرف دیگر تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی شدید عمل می‌کند (Serraj and Sinclair, 2002)، لذا منطقی به نظر می‌رسد که در ۲۸ روز پس از گلدهی و در تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

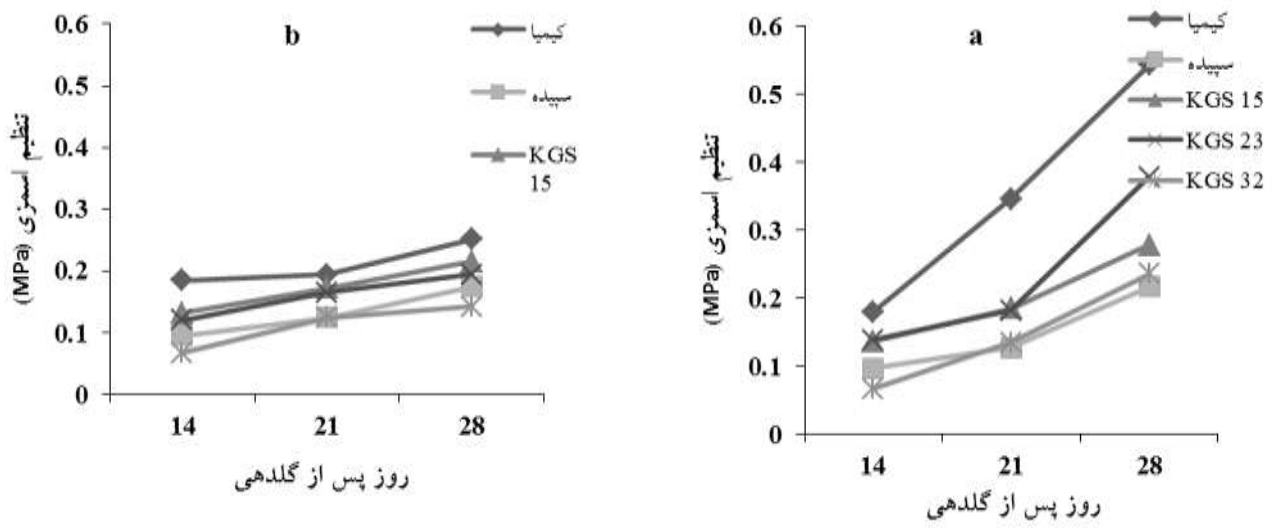


شکل ۲- روند تغییرات محتوای نسبی آب برگ و دمای کانوپی ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط شاهد (A)، تنش خشکی ملایم (B) و تنش خشکی شدید (C)

آبی شدید بالاترین میزان این صفت به‌دست آید همچنین در این مرحله تفاوت بین ژنوتیپ‌ها به خوبی مشخص شده است

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]



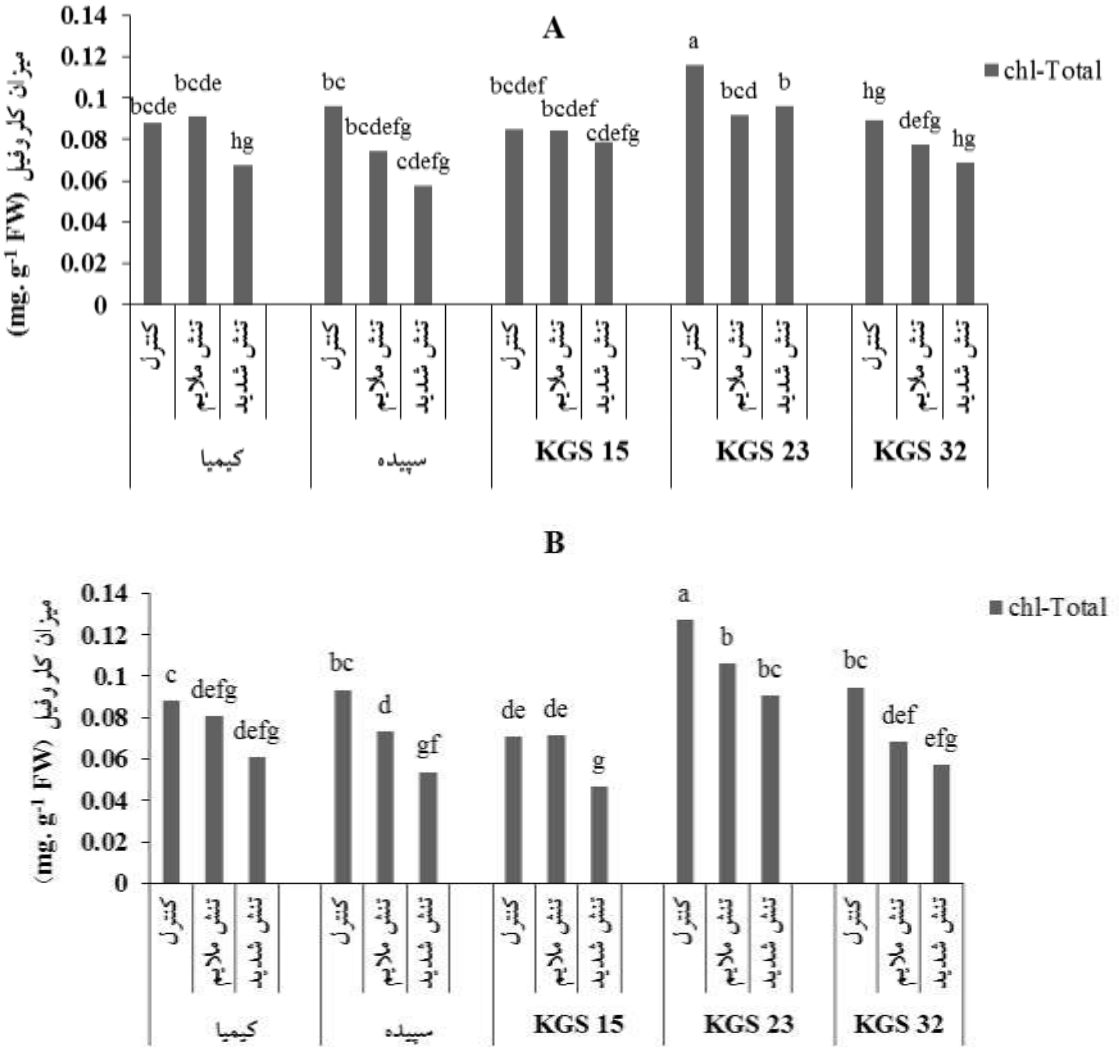
شکل ۳- روند تغییرات تنظیم اسمزی ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط تنش خشکی ملایم (A) و تنش خشکی شدید (B)

(شکل ۳). تنظیم اسمزی تحت تنش خشکی آخر فصل می‌تواند به نگهداری تورژسانس سلول‌ها در طول دوره پر شدن دانه کمک کند (Gonzalez *et al.*, 2008) و با تأخیر در بسته شدن روزنه‌ها می‌تواند به‌عنوان مزیتی برای فتوسنتز بالاتر در شرایط محدودیت آبی در نظر گرفته شود (Zivcak *et al.*, 2009)، لذا ژنوتیپ‌هایی که دارای تنظیم اسمزی بالاتر هستند می‌توانند از مزایای گفته شده در جهت افزایش عملکرد بهره‌مند گردند.

کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار آبی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در زمان ۲۱ و ۲۸ روز پس از گلدهی ایجاد کرد و ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز در این صفات در کلیه مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک درصد با هم تفاوت معنی‌دار داشتند، همچنین اثر متقابل تیمار آبی در ژنوتیپ در مرحله ۲۱ و ۲۸ روز پس از گلدهی بر میزان کلروفیل کل اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ایجاد کرد (جدول ۳). بررسی اثر متقابل تیمار آبی در ژنوتیپ در زمان ۲۱ و ۲۸روز پس از گلدهی نشان داد که تیمار تنش خشکی ملایم و شدید موجب کاهش کلروفیل کل در کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی گردید، با این حال بالاترین مقدار کلروفیل کل از ژنوتیپ KGS 23 به دست آمد (شکل ٤). تغییرات میزان کلروفیل کل در شکل ٤ نشان می‌دهد که کمترین میزان کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی شدید و نیز بیشترین درصد کاهش میزان آن مربوط به ژنوتیپ‌های KGS 15، سپیده و KGS 32 می‌باشد (شکل ٤). مطالعات نشان داده‌اند که محتوای کلروفیل ارقام متحمل و حساس در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد، اما ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش محتوای کلروفیل بالاتری دارند (Shamsi, 2010).

میزان کلروفیل در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang and Huang, 2001)، همچنین کلروفیل برگ یکی از مهمترین شاخص‌های نشان دهنده تنش‌های محیطی وارد بر گیاهان می‌باشد (Pask *et al.*, 2012). کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی در بسیاری مطالعات گزارش شده است (Castrillo and Turujillo, 1994; Behera *et al.*, 2002; Jung, 2004; Gong *et al.*, 2005). از جمله دلایلی که برای کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی عنوان شده است می‌توان به تخریب غشاهای تیلاکوئید کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر گونه‌های فعال اکسیژن (Castrillo and Turujillo, 1994; Schütz and Fangmeier, 2001; Reddy *et al.*, 2004) و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز اشاره کرد (Ala *et al.*, 1994; Ranjan *et al.*, 2001). همچنین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]



شکل ٤- مقایسه میانگین میزان کلروفیل کل ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط شاهد، تنش ملایم و تنش شدید. ۲۱ روز پس از گلدهی (A) و ۲۸ روز پس از گلدهی (B). (مقایسه میانگین هر یک از صفات مذکور به‌صورت جداگانه صورت گرفته است). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن ٥٪ >P).

مطالعات نشان داده‌اند که فنوتیپ سبزمانی سورگوم به تنش خشکی پس از گلدهی سازگاری داشته (Sabadin *et al.*, 2012) که این موضوع موجب حفظ عملکرد در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی شده است (Borrell and Douglas, 1997).

وزن هزار دانه و عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار آبی و ژنوتیپ بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). تیمار تنش خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار هر دو صفت مذکور نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ کیمیا به ترتیب به میزان ۳۵/۲٤ گرم و ۹۳۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار است (جدول ۳). تنش خشکی ملایم و شدید هر دو موجب کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به تیمار شاهد شدند (به استثنای ژنوتیپ KGS15 در شرایط تنش ملایم) و بیشترین درصد کاهش عملکرد از ژنوتیپ سپیده به میزان ٦۱/۱۳ درصد در شرایط تنش خشکی شدید به‌دست آمد (جدول ٤ و ٥).

کاهش عملکرد دانه و وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی، در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (میری، ۱۳۸۹؛ Ji *et al.*, 2010). میزان فتوسنتز گیاهان در معرض تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

جدول ٤- شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های سورگوم در تنش شدید

ژنوتیپ	Yp (Kg. ha^{-1})	Ys (Kg. ha^{-1})	Yield Reduction (%)	GMP	SSI	TOL	MP	STI	HARM
کیمیا	۱۱۳۷۹/٦	٦۹۹۰/۷٤	۳۸/۵۷	۸۹۱۹/۲۰	۰/۹۵۲	٤۳۸۸/۸۹	۹۱۸۵/۱۹	۰/۷۷۸	۸٦٦۰/۹۱
سپیده	۱۰٤۵۸/۳٤	٤۰٦٤/۸۲	٦۱/۱۳	٦۵۲۰/۰٦	۱/۵۰۸	٦۳۹۳/۵۲	۷۲٦۱/۵۸	۰/٤۱٦	۵۸۵٤/۲۷
KGS 15	۸٤۱٦/٦۷	۵۱۳۸/۸۹	۳۸/۹٤	٦۵۷٦/٦۵	۰/۹٦۱	۳۲۷۷/۷۸	٦۷۷۷/۷۸	۰/٤۲۳	٦۳۸۱/٤۹
KGS 23	۱۰۸٦۲/۱۱	۷٦۳٤/۲٦	۲۹/۷۱	۹۱۰۵/۸۵	۰/۷۳۳	۳۲۲٦/۸۵	۹۲٤۷/٦۹	۰/۸۱۱	۸۹٦٦/۱۹
KGS 32	۹٤٤٤/٤۵	٦۲٤۰/۷٤	۳۳/۹۲	۷٦۷۷/۲٦	۰/۸۳۷	۳۲۰۳/۷۱	۷۸٤۲/۵۹	۰/۵۷٦	۷۵۱۵/٤۱

$\overline{Yp}$ = ۱۰۱۱۲/۰٤ و $\overline{Ys}$ = ٦۰۱۳/۸۹ و SI = ۰/٤۰۵

Yp و Ys به ترتیب عملکرد در شرایط شاهد و تنش، $\overline{Yp}$ و $\overline{Ys}$ به‌ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط شاهد و تنش، SI: شدت تنش

SSI: Stress Susceptibility Index: شاخص حساسیت به تنش | **TOL: Tolerance**: شاخص تحمل

STI: Stress Tolerance Index: شاخص تحمل به تنش | **MP: Mean Productivity**: بهره‌وری میانگین

HARM: Harmonic Mean: میانگین هارمونیک | **GMP: Geometric Mean Productivity**: میانگین هندسی بهره‌وری

جدول ۵- همبستگی عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط شاهد و تنش خشکی شدید

	Yp	Ys	GMP	SSI	TOL	MP	STI	HARM
Yp	۱							
Ys	۰/٤٦	۱						
GMP	۰/۷۰	۰/۹۵**	۱					
SSI	۰/۰٦	-۰/۸٦	-۰/٦٦	۱				
TOL	۰/۳۸	-۰/٦۵	-۰/۳۹	۰/۹٤**	۱			
MP	۰/۸۲	۰/۸۸*	۰/۹۸**	-۰/۵۱	-۰/۲۱	۱		
STI	۰/۷۱	۰/۹٤**	۰/۹۹**	-۰/٦۵	-۰/۳۷	۰/۹۸**	۱	
HARM	۰/٦۰	۰/۹۸**	۰/۹۹**	-۰/۷٦	-۰/۵۱	۰/۹۵**	۰/۹۹**	۱

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

خشکی به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و فرآیندهای غیرروزنه‌ای کاهش می‌یابد (Aranjuelo *et al.*, 2007; Chaves *et al.*, 2009; Lawlor and Tezara, 2009)، که در نهایت منجر به کاهش میزان رشد و عملکرد نهایی محصول می‌شود (Guo *et al.*, 2009; Kamran *et al.*, 2009; Ashraf, 2010). همچنین در تنش‌های شدید، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین و ترکیبات قندی همانند ساکاروز و فروکتوز می‌کند که بتواند شرایط لازم برای ادامه حیات خود در این شرایط را فراهم کند. این ترکیبات برای گیاه هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را گاهی به بهای کاهش عملکرد جبران می‌کند (Munns, 1993). همچنین کاهش سرعت فتوسنتزی و پیر شدن سریع برگ‌ها در اثر تنش خشکی به عنوان عامل مؤثر در کاهش وزن دانه و در نهایت عملکرد دانه، عنوان شده است (امام و نیک نژاد، ۱۳۷۳).

شاخص‌های تحمل به خشکی: حفظ عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به‌عنوان یک معیار فیزیولوژیک تحمل به تنش خشکی در نظر گرفت به‌نظر می‌رسد که ارقام با درصد کاهش عملکرد دانه بالا در شرایط تنش خشکی به‌عنوان ارقام حساس به تنش مطرح شوند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۷). از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

طرف دیگر استفاده از عملکرد اقتصادی و شاخص‌های تحمل که براساس عملکرد ارقام در هر دو محیط تنش و بدون تنش تنظیم شده‌اند، مهم‌ترین استراتژی به‌منظور بهبود پتانسیل عملکرد تحمل ارقام نسبت به تنش خشکی می‌باشند. مقادیر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (Ys)، درصد کاهش عملکرد دانه و شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۵ شده است. در هر دو شرایط شاهد و تنش خشکی شدید ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 بالاترین عملکرد دانه را به‌خود اختصاص دادند (جدول ٤).

شاخص SSI که نشان دهنده حساسیت به تنش و تحمل نسبی به تنش رطوبتی ژنوتیپ‌ها است، هر چه کوچکتر باشد به همان اندازه نیز حساسیت آن ژنوتیپ به خشکی کمتر خواهد بود. در این آزمایش استفاده از شاخص SSI نشان داد که سطح تنش شدید ژنوتیپ KGS23 متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی انتهای فصل بود (جدول ٤).

استفاده از شاخص TOL در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در واقع حساسیت ژنوتیپ‌ها را به شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد. براساس شاخص TOL، تحمل نسبی بیشتر متعلق به ژنوتیپی است که TOL کوچکتری داشته باشد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های KGS23 و KGS32 در شرایط تنش شدید متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ٤).

براساس شاخص MP از میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 بالاترین بهره‌وری میانگین در تنش شدید را به خود اختصاص دادند (جدول ٤).

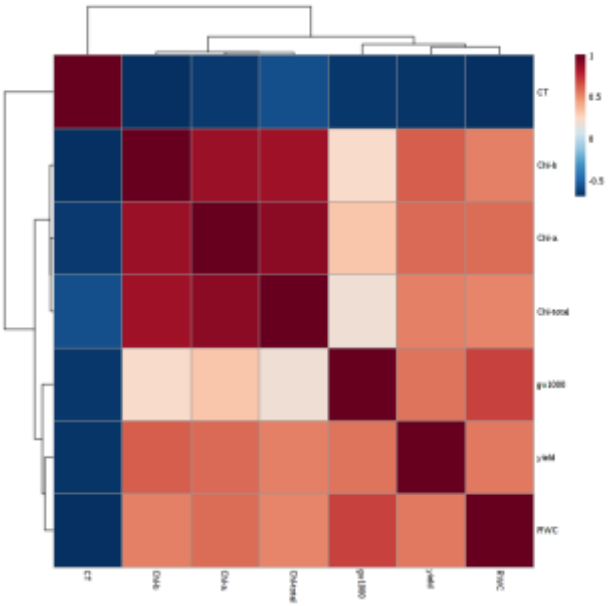
شاخص STI در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کارآیی زیادی دارد و مقدار بالای شاخص STI حاکی از تحمل بیشتر ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی است (شیرین زاده و همکاران، ۱۳۸۷). ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 در تنش شدید بالاترین مقدار STI را به‌خود اختصاص دادند (جدول ٤). شاخص‌های GMP و HARM نیز مانند شاخص‌های STI و MP هر چه بالاتر باشند، تحمل در برابر تنش خشکی بیشتر است (Fernaandez *et al.*, 1996; Blum, 2001). در هر دو شاخص در تنش شدید، ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 بالاترین مقدار را کسب کردند (جدول ٤).

با توجه به‌این موضوع که شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با در نظر گرفتن شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و یا عملکرد دانه به‌طور مجزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی مشکل است و ممکن است با نتایج متناقضی مواجه شود، لذا به‌منظور تعیین بهترین و مناسب‌ترین شاخص، همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش محاسبه گردید (جدول۵). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی شدید با شاخص‌های GMP،MP، STI و HARM، این شاخص‌ها به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط بدون تنش و تنش شدید انتخاب شدند. سایر پژوهشگران نیز شاخص‌های کمی تحمل به خشکی MP، GMP، STI و HARM را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو متحمل به خشکی (حصادی، ۱۳۸۵؛ واعظی و احمدی خواه، ۱۳۸۹) و شاخص‌های MP، GMP و STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی ارقام سورگوم دانه‌ای شناسایی و مورد استفاده قرار دادند (خزائی و فومن، ۱۳۹۱).

روابط همبستگی میان صفات: در این مطالعه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با محتوای نسبی آب برگ، وزن هزار دانه و میزان کلروفیل (سطح احتمال یک درصد) و همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) با دمای کانوپی در ۲۸ روز پس از گلدهی مشاهده شد. وزن هزار دانه همبستگی معنی‌دار – مثبت و منفی (سطح احتمال یک درصد) به‌ترتیب با محتوای نسبی آب برگ و دمای کانوپی دارد. علاوه بر آن، همبستگی منفی و معنی داری بین دمای کانوپی (سطح احتمال یک درصد) با کلیه صفات و همچنین همبستگی مثبت و معنی داری میان کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ (سطح احتمال یک درصد) مشاهده گردید. همبستگی معنی‌داری بین تنظیم اسمزی با سایر صفات دیده نشد (شکل ۵).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]



شکل ۵- همبستگی بین صفات در ۲۸ روز پس از گلدهی (CT: دمای کانوپی، Chl-a: کلروفیل a، Chl-b: کلروفیل b، chl-total: کلروفیل کل، gw1000: وزن هزار دانه، yield: عملکرد، RWC: محتوای نسبی آب برگ) که به صورت نقشه Heat Map ارائه شده است. قدر مطلق ضرایب همبستگی بالاتر از ۰/۳ در سطح احتمال پنج درصد و ضرایب همبستگی بالاتر از ۰/٤ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند.

تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، افزایش درجه حرارت برگ، کاهش میزان فتوسنتز، پیری زود رس، کاهش وزن هزار دانه و عملکرد می‌شود (Balota *et al.*, 2007; Ji *et al.*, 2010; Anjum *et al.*, 2011; Reddy *et al.*, 2003). از سوی دیگر در سورگوم، سازگاری به تنش خشکی پس از گلدهی با فنوتیپ سبزمانی پیوسته است و صفت سبزمانی همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه (Sabadin *et al.*, 2012) دارند در نتیجه ژنوتیپ KGS23 با بالاترین سطح کلروفیل و بیشترین عملکرد در تنش خشکی به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی پس از گلدهی شناخته شد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌عنوان نتیجه گیری کلی از این آزمایش می‌توان این گونه بیان داشت که از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های کیمیا و KGS23 براساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند. اما نکته قابل توجه اینکه به نظر می‌رسد ژنوتیپ کیمیا با داشتن محتوای نسبی آب برگ و تنظیم اسمزی بالا با خشکی مقابله می‌کند و ژنوتیپ KGS23 علاوه بر داشتن محتوای نسبی آب برگ و تنظیم اسمزی بالا، با دارا بودن بیشترین میزان کلروفیل به‌عنوان فنوتیپ سبزمان به مقابله با تنش خشکی می‌پردازد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان کرد که تنظیم اسمزی با محتوای نسبی آب برگ و دمای کانوپی ارتباط دارد و ژنوتیپ‌های سورگوم متحمل به خشکی آخر فصل با تنظیم اسمزی بالاتر، محتوای نسبی آب برگ بیشتر، دمای کانوپی کمتر و در مجموع روابط آبی بهتری را نشان دادند. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که سبزمانی یکی از مهمترین فرآیندهای مرتبط با حفظ عملکرد در شرایط تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های متحمل سورگوم می‌باشد.

منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

احمدی، ع.، جودی، م.، توکلی، ا. و رنجبر، م. (۱۳۸۷) بررسی عملکرد و برخی واکنش‌های مورفولوژیکی مرتبط با آن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط تنش و عدم تنش خشکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵۵- ۱۶۵.

امام، ع. و نیک نژاد، م. (۱۳۷۳) مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز.

ایزانلو، ع.، زینالی خانقاه، ح.، حسین زاده، ع. و مجنون حسینی، ن. (۱۳۸۱) تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در ارقام تجارتی سویا. چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران.

حصادی، پ. (۱۳۸۵) انتخاب برای تحمل به خشکی در لاین‌های جو در شرایط اقلیمی کرمانشاه. مجله علوم کشاورزی ۱۲: ۱۴۳- ۱۵۳.

خزائی، ع. و فومن، ع. (۱۳۹۱) ارزیابی تحمل به خشکی در ارقام و لاین‌های پیشرفته سورگوم دانه‌ای در شرایط تنش کم آبیاری. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۵: ۶۳- ۷۹.

شیرین زاده، ع.، ضرغامی، ر. و شیری، م. ر. (۱۳۸۷) ارزیابی تحمل به خشکی در هیبریدهای دیررس و متوسط رس ذرت با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله علوم زراعی ایران ٤: ٤١٦- ٤٢٧.

میری، ح. ر. (۱۳۸۹) تأثیر تنش خشکی بعد از گلدهی بر میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه ارقام گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ۳: ۱- ۱۹.

واعظی، ب. و احمدی خواه، ا. (۱۳۸۹) ارزیابی تحمل دوازده ژنوتیپ اصلاح شده جو در برابر تنش خشکی در شرایط خشک و گرم. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۱۷: ۲۳- ٤٤.

Ala, S. A., Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. (1994) Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta physiologiae plantarum 16: 185-191.

Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., Zou, C. M. (2011) Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177-185.

Aranjuelo, I., Irigoyen, J. J., Sanchez-Diaz, M. (2007) Effect of elevated temperature and water availability on CO_2 exchange and nitrogen fixation of nodulated alfalfa plants. Environmental and Experimental Botany 59: 99-108.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiology 24: 1.

Ashraf, M. (2010) Inducing drought tolerance in plants: recent advances. Biotechnology advances 28: 169-183.

Bajji, M., Lutts, S., Kinet, J. M. (2001) Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science 160: 669-681.

Balota, M., Payne, W. A., Evett, S. R., Lazar, M. D. (2007) Canopy temperature depression sampling to assess grain yield and genotypic differentiation in winter wheat. Crop Science 47: 1518-1529.

Behera, R. K., Mishra, P. C., Choudhury, N. K. (2002) High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. Journal of Plant Physiology 159: 967-973.

Blum, A. (1989) Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. Crop Science 29: 230-233.

Blum, A. (1996) Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation 20: 135-148.

Blum, A., Klueva, N., Nguyen, H. T. (2001) Wheat cellular thermotolerance is related to yield under heat stress. Euphytica 117: 117-123.

Blum, A., Zhang, J., Nguyen, H. T. (1999) Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. Field Crops Research 64: 287-291.

Bogard, M., Jourdan, M., Allard, V., Martre, P., Perretant, M. R., Ravel, C., Gaju, O. (2011) Anthesis date mainly explained correlations between post-anthesis leaf senescence, grain yield, and grain protein concentration in a winter wheat population segregating for flowering time QTLs. Journal of Experimental Botany 62: 3621-3636.

Borrell, A. K., and Douglas, A. C. I. (1997) Maintaining green leaf area in grain sorghum increases nitrogen uptake under post-anthesis drought. International Sorghum and Millets Newsletter (USA).

Castrillo, M. and Trujillo, I. (1994) Ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetica 30: 175-181.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Stanca, A. M. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research 105: 1-14.

Cha, K. W., Lee, Y. J., Koh, H. J., Lee, B. M., Nam, Y. W., Paek, N. C. (2002) Isolation, characterization, and mapping of the stay green mutant in rice. TAG Theoretical and Applied Genetics 104: 526-532.

Chaves, M. M., Flexas, J., and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of botany 103: 551-560.

Cornic, G. (2000) Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture–not by affecting ATP synthesis. Trends in Plant Science 5: 187-188.

Dalal, M., Mayandi, K., and Chinnusamy, V. (2012) Sorghum: improvement of abiotic stress tolerance. Improving Crop Resistance to Abiotic Stress 2: 923-950.

Daneshmand, F., Arvin, M. J., Kalantari, K. M. (2010) Physiological responses to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. Acta physiologiae plantarum 32: 91.

Eppel, A., Keren, N., Salomon, E., Volis, S., and Rachmilevitch, S. (2013) The response of *Hordeum spontaneum* desert ecotype to drought and excessive light intensity is characterized by induction of O_2 dependent photochemical activity and anthocyanin accumulation. Plant Science 201: 74-80.

FAO. (2009) Food outlook, Global Market Analysis. http://www.Fao.Food outlook.Com.

Fernaandez, C. J., McInnes, K. J., and Cothren, J. T. (1996) Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. Crop science 36: 1224-1233.

Fernandez, G. C. (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress 257-270.

Fischer, R. A., and Maurer, R. (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., Zhang, C. (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science 169: 313-321.

Gonzalez, A., Martin, I. and Ayerbe, L. (1999) Barley yield in water-stress conditions: The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. Field crops research 62: 23-34.

Gonzalez, A., Martin, I. and Ayerbe, L. (2008) Yield and osmotic adjustment capacity of barley under terminal water-stress conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 194: 81-91.

Gonzalez, A., Martin, I. and Ayerbe, L. (2008) Yield and osmotic adjustment capacity of barley under terminal water-stress conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 194: 81-91.

Guo, P., Baum, M., Grando, S., Ceccarelli, S., Bai, G., Li, R. and Valkoun, J. (2009) Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley genotypes in response to drought stress during the reproductive stage. Journal of Experimental Botany 60: 3531-3544.

Hamidou, F., Zombre, G., Braconnier, S. (2007) Physiological and biochemical responses of cowpea genotypes to water stress under glasshouse and field conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 193: 229-237.

Harris, K., Subudhi, P. K., Borrell, A., Jordan, D., Rosenow, D., Nguyen, H., Mullet, J. (2007) Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senescence. Journal of Experimental Botany 58: 327-338.

Hnilicka, F., Hnilickova, H., Hola, D., Kocova, M. and Rothova, O. (2008) The effect of soil drought on gases exchange in the leaves of maize (Zea mays L.). Cereal Research Communications 36: 895-898.

Hoang, T. B., Kobata, T. (2009) Stay-green in rice (Oryza sativa L.) of drought-prone areas in desiccated soils. Plant Production Science 12: 397-408.

Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L., Condon, A. G. and Dolferus, R. (2010) Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell and Environment 33: 926-942.

Jiang, Y., Huang, B. (2001) Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science 41: 436-442.

Jongdee, B., Pantuwan, G., Fukai, S. and Fischer, K. (2006) Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: an example from Thailand. Agricultural Water Management 80: 225-240.

Jung, S. (2004) Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought. Plant Science 166: 459-466.

Kamran, M. U. H. A. M. M. A. D., Shahbaz, M., Ashraf, M. U. H. A. M. M. A. D., Akram, N. A. (2009) Alleviation of drought-induced adverse effects in spring wheat (Triticum aestivum L.) using proline as a pre-sowing seed treatment. Pakistan Journal of Botany 41:621-632.

Kapanigowda, M. H., Payne, W. A., Rooney, L. W., Mullet, J. E. (2012) Transpiration ratio in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for increased water-use efficiency and drought tolerance. Journal of Arid Land Studies 21: 175-178.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, cell and environment 25: 275-294.
Lawlor, D. W. and Tezara, W. (2009) Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. Annals of botany 103: 561-579.
Ludlow, M. M., Santamaria, J. M., Fukai, S. (1990) Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. II. Water stress after anthesis. Australian Journal of Agricultural Research 41: 67-78.
Matuz, J., Cseuz, L., Fonad, P., and Pauk, J. (2008) Wheat breeding for drought resistance by novel field selection methods. Cereal Research Communications 36: 123-126.
Morgan, J. M. (1995) Growth and yield of wheat lines with differing osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. Field Crops Research 40: 143-152.
Munns, R. (1988) Why measure osmotic adjustment? Functional Plant Biology 15: 717-726.
Munns, R. (1993) Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell and Environment 16: 15-24.
Mutava, R. N., Prasad, P. V. V., Tuinstra, M. R., Kofoid, K. D., Yu, J. (2011) Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. Field Crops Research 123: 10-18.
Nayyar, H., Walia, D. P. (2004) Genotypic variation in wheat in response to water stress and abscisic acid-induced accumulation of osmolytes in developing grains. Journal of Agronomy and Crop Science 190: 39-45.
Nobel, P. S. (1991) Cells and diffusion. Physicochemical and Environmental Plant Physiology 1-46.
Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M. and Reynolds, M. P. (2012) Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping. CIMMYT.
Ranjan, R., Bohra, S. P. and Jeet, A. M. (2001) Book of plant senescence. Jodhpur Agrobios New York 18-42.
Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
Reddy, T. Y., Reddy, V. R. and Anbumozhi, V. (2003) Physiological responses of groundnut (Arachis hypogea L.) to drought stress and its amelioration: a critical review. Plant Growth Regulation 41: 75-88.
Reynolds, M., and Tuberosa, R. (2008) Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. Current Opinion in Plant Biology 11: 171-179.
Rosegrant, M. W. and Cline, S. A. (2003) Global food security: challenges and policies. Science 302: 1917-1919.
Rosenow, D. T., and Clark, L. E. (1982) Drought tolerance in sorghum [through breeding]. In: Proceedings of the. annual corn and sorghum industry research conference-American Seed Trade Association, Corn and Sorghum Division. Corn and Sorghum Research Conference (USA).
Rosielle, A. A. and Hamblin, J. (1981) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21 : 943-946.
Sabadin, P. K., Malosetti, M., Boer, M. P., Tardin, F. D., Santos, F. G., Guimaraes, C. T. and Mollinari, M. (2012) Studying the genetic basis of drought tolerance in sorghum by managed stress trials and adjustments for phenological and plant height differences. Theoretical and Applied Genetics 124: 1389-1402.
Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2002) Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science 162: 897-904.
Sanchez, A. C., Subudhi, P. K., Rosenow, D. T. and Nguyen, H. T. (2002) Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Plant Molecular Biology 48: 713-726.
Sanchez, F. J., De Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. (2004) Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. Field Crops Research 86: 81-90.
Santamaria, J. M., Ludlow, M. M., Fukai, S. (1990) Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. I. Water stress before anthesis. Australian Journal of Agricultural Research 41: 51-65.
Schutz, M. and Fangmeier, A. (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution 114: 187-194.
Serraj, R., and Sinclair, T. R. (2002) Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. Plant, cell and environment 25: 333-341.
Shamsi, K. (2010) The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant Sciences 8: 1051-1060.
Thomas, H., and Howarth, C. J. (2000) Five ways to stay green. Journal of Experimental Botany 51: 329-337.
Valliyodan, B. and Nguyen, H. T. (2006) Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. Current Opinion in Plant Biology 9: 189-195.
Wahid, A., Rasul, E., Rao, R. A. and Iqbal, R. M. (2005) Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit. Handbook of Photosynthesis 2: 479-497.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

Zhang, J., Nguyen, H. T. and Blum, A. (1999) Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. Journal of Experimental Botany 50: 291-302.

Zheng, H. J., Wu, A. Z., Zheng, C. C., Wang, Y. F., Cai, R., Shen, X. F. and Dong, S. T. (2009) QTL mapping of maize (*Zea mays*) stay-green traits and their relationship to yield. Plant Breeding 128: 54-62.

Zivcak, M., Repkova, J., Olsovska, K. and Brestic, M. (2009) Osmotic adjustment in winter wheat varieties and its importance as a mechanism of drought tolerance. Cereal Research Communications 37: 569-572.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]

Evaluation of changes in the water relations, osmotic adjustment and stay- green of different genotypes of sorghum under post-flowering drought stress

Sepideh Sanjari[1], Reza Shirzadian-Khoramabad[1], Zahra-Sadat Shobbar[2] and Maryam Shahbazi *[3,4]

[1]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
[2] Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[3] Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[4] Department of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Received: 09/12/2017, Accepted: 30/01/2018)

Abstract

To investigate the effects of drought stress on the water stress, osmotic adjustment and stay green of sorghum genotypes and their relationship with grain yield, a split-plot on randomized complete block design with three replications was conducted at the experimental field of Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran in 2015. The main factor included three treatments: control (irrigation after 60 mm evaporation from the surface evaporation pan), mild stress (routine irrigation until 50% flowering stage followed by irrigation after 120 mm evaporation from surface evaporation pan). Extreme stress (routine irrigation until 50% flowering stage and water holding after it) and five sorghum genotypes (Kimia, Sepideh, KGS15, KGS23 and KGS32) were considered as sub-plots. Samples were taken at 14, 21 and 28 days after 50% flowering stage. The results showed that drought stress significantly reduced leaf relative water content whereas increased canopy temperature in all genotypes and significantly increased osmotic adjustment in most genotypes under severe drought stress. Kimia and KGS23 genotypes were identified as the most tolerant genotypes based on the of grain yield, drought tolerance indice, leaf relative water content and osmotic adjustment. Additionally, KGS23 genotype with the highest chlorophyll content as a stay green phenotype was proved to cope with drought stress. There was a positive significant correlation between grain yield and leaf relative water content, weight of the thousand grains, chlorophyll content and negative and significant correlation with canopy temperature. The results of this study showed that in addition to the importance of water relations and osmotic adjustment, stay green was one of the most important process related to yield in terminal drought stress in drought tolerant genotypes of sorghum.

Key words: Canopy temperature, Drought tolerance indices, Grain yield, Chlorophyll, Leaf relative water content

***Corresponding author, Email: maryam.shahbazi@gau.ac.ir**

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.30.24.8]