

اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزاء عملکرد، پایداری غشای سلول و محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L. Moench)

علی آذری نصرآباد^{۱*}، سید محسن موسوی نیک^۲، محمد گلوی^۳، علیرضا سیروس مهر^۴، سید علیرضا بهشتی^۵
۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل و عضو هیئت‌علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند.
۲. دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل. ۳. استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.
۴. استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.
۵. دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد.

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۰

چکیده

عملکرد گیاهان زراعی از جمله سورگم تحت شرایط تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده، محدود می‌شود. اگرچه سورگم توانایی مقابله با تنش‌های محیطی از جمله خشکی را دارد اما در نواحی خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر تنش خشکی، عملکرد محصول کاهش می‌یابد. به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه، پایداری غشای سلول و محتوای رطوبت نسبی برگ ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۹۳ در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی اجرا گردید. تیمارهای تنش خشکی شامل آبیاری نرمال (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (مرحله رویت آخرین برگ به‌صورت لوله‌ای) و قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (۵۰ درصد بوته‌ها در مرحله آغاز گلدهی) به‌عنوان عامل اصلی و ۱۰ ژنوتیپ سورگم دانه‌ای شامل MGS2، KGS33، KGS27، MGS5، KGFS17، KGFS13، KGFS30 و به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در پانیکول، نفوذپذیری غشای سلول و محتوای نسبی آب برگ (RWC) داشته و سبب کاهش آن‌ها گردید. حداکثر عملکرد دانه در تیمار آبیاری نرمال با میانگین ۳۲۰۱ کیلوگرم در هکتار و میزان کاهش عملکرد دانه در بالاترین سطح تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد معادل ۴۹ درصد بود. ژنوتیپ‌ها نیز از نظر کلیه صفات فوق تفاوت معنی‌دار نشان دادند. ژنوتیپ KGFS13 دارای بالاترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بذر بود. اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ در صفات فوق به‌جز وزن هزار دانه و نفوذپذیری غشاء تفاوت معنی‌دار نشان داد. بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار آبیاری نرمال و کمترین آن مربوط به تیمار تنش خشکی شدید بود. همچنین با افزایش تنش خشکی، تراوش غشای سلول افزایش یافت به‌طوری‌که کمترین میزان تراوش غشاء و در نتیجه بیشترین پایداری غشاء مربوط به تیمار آبیاری نرمال و بیشترین میزان تراوش غشاء و در نتیجه کمترین پایداری غشاء مشترکاً مربوط به تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید بود. در مجموع می‌توان از ویژگی‌های مربوط به روابط آبی برگ پرچم و نفوذپذیری غشاء سلول به‌عنوان معیارهایی علاوه بر عملکرد دانه در ارزیابی تحمل به خشکی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: سورگم، عملکرد بیولوژیک، قطع آبیاری، نفوذپذیری غشاء.

مقدمه

سابقه کشت سورگم در جهان به ۷۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد و در هند و اروپا، در اوایل میلاد مسیح وجود داشته است. سطح زیرکشت این گیاه در دنیا حدود ۴۸ میلیون هکتار و در ایران حدود ۴۰۰۰۰ هکتار می‌باشد (FAO, 2012). در منابع دیگر آمده است که اهلی شدن سورگم در مناطقی نظیر ایتوبی و مصر حدود ۳۰۰۰ سال

سورگم می‌تواند به‌صورت تابعی از ماده خشک تسهیم یافته به دانه توصیف شود. در شرایط تنش خشکی، تأکید بر اجزای عملکرد به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌ها و تعیین مناسب‌ترین ژرم‌پلاسماها برای استفاده به‌عنوان والدین روش آسان و مؤثری است (Richards, 1996). طول پانیکول صفتی وابسته به ژنوتیپ بوده و سهم عمده‌ای در عملکرد نهایی و تعداد دانه در پانیکول دارد (Abbad et al., 2004).

در تحقیق دیگری گزارش شد که تعداد پانیکول در مترمربع نقش مهمی در دستیابی به عملکرد دانه بالا از طریق تأثیر بر تعداد دانه در مترمربع داشت (Vanoosterom and Hammer, 2008). اطلاعات در مورد همبستگی معنی‌دار بین صفات برای شروع یک برنامه اصلاحی مهم است؛ زیرا این موضوع احتمال انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب با صفات مطلوب و دلخواه را به‌طور هم‌زمان فراهم می‌کند (Ali et al., 2009). در تحقیقی، همبستگی مثبت بین صفات دخیل در عملکرد نظیر ضخامت پانیکول و وزن دانه در بوته نشان داد که این صفات برای انتخاب مستقیم ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در سورگم مهم‌اند (Aruna and Audilakshmi, 2008).

پژوهشگران بیان نموده‌اند که تنش خشکی تعداد دانه در پانیکول را کاهش می‌دهد (Sinclair et al., 1990). در تحقیقی گزارش شد که قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گرده‌افشانی تا انتهای دوره رشد زایشی سورگم فقط بر تعداد دانه در پانیکول و عملکرد دانه تأثیرگذار بوده و بر سایر صفات چندان تأثیرگذار نبوده است (Beheshti and Behboodi, 2010). عملکرد گیاهان زراعی از جمله سورگم تحت تأثیر تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محدود می‌شود (Kebede et al., 2001; Ejeta and Knoll, 2007).

عملکرد دانه یا عملکرد نسبی دانه یکی از مهم‌ترین صفات گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است و در اصلاح نباتات، ایجاد ژنوتیپ‌های با پتانسیل تولید بیشتر در شرایط خشکی و به‌طور هم‌زمان در شرایط آبیاری مناسب یک هدف است؛ بنابراین گزینش برای سایر صفات تحمل به خشکی بدون در نظر گرفتن عملکرد نتیجه‌چندانی نخواهد داشت (Schaffert et al., 2011). اگرچه سورگم توانایی سازش با بسیاری از تنش‌ها مثل گرما، خشکی و شوری را دارد (Ejeta and Knoll, 2007)؛ اما در نواحی خشک و

قبل از میلاد مسیح شروع شده است. واپولوف موطن اصلی این گیاه را حبشه تعیین نمود (House, 1985).

عملکرد هر محصول زراعی توسط عوامل متعددی تعیین می‌شود که بر رشد و نمو گیاه مؤثرند. این عوامل شامل عوامل محیطی، مدیریتی و گیاهی می‌باشند. از مهم‌ترین عوامل محیطی می‌توان به تنش‌های محیطی اشاره نمود، از جمله تنش‌های بسیار مهم تنش خشکی است. آگاهی از محدودیت‌های منبع یا مخزن در عملکرد محصول سورگم دانه‌ای برای طراحی منطقی فعالیت‌های کشاورزی و استراتژی‌های اصلاحی حیاتی است. محدودیت عملکرد در این گیاه به خاطر ظرفیت مخزن یا منبع در طی چرخه محصول متفاوت است (Gambin and Borrás, 2007). تحقیقات بسیاری حاکی از وجود همبستگی بالا و مثبت بین بهبود ژنتیکی عملکرد دانه با تعداد دانه در مترمربع و شاخص برداشت می‌باشد (Slafer and Savin, 1994).

در مجموع، عملکرد دانه به اجزاء متفاوتی بستگی دارد و در واقع اثرات متقابل بین منبع و مخزن نتیجه نهایی عملکرد دانه را نشان می‌دهد. مخزن یا اجزاء عملکرد دانه شامل تعداد پانیکول در مترمربع، تعداد دانه در پانیکول و نیز وزن هزار دانه می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که طول دوره رشد رویشی نیز بر عملکرد مؤثر است. با توجه به روند افزایش خشکی یقیناً یکی از محورهای اساسی مقابله با خشکی توسعه ارقام مقاوم به خشکی است. سورگم دانه‌ای رشد یافته در نواحی خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر تنش آبی در مراحل انتهایی رشد قرار می‌گیرد که اثرات منفی بر عملکرد دارد (Prasad et al., 2008; Tuinstra et al., 1997).

تفاوت عملکرد سورگم با تعداد پانیکول در مترمربع یا تعداد پانیکول در بوته، تعداد دانه در پانیکول و وزن دانه مرتبط می‌باشد (Maman et al., 2004). از آنجا که اجزای عملکرد باهم ارتباط داشته و اثرات جبرانی دارند و به‌صورت سلسله وار در مراحل مختلف رشد توسعه می‌یابند می‌توانند برای تعیین تنوع عملکرد و افزایش شناخت فیزیولوژیکی از مورفولوژی محصول سورگم استفاده شوند (Maman et al., 2004).

از نقطه‌نظر فیزیولوژیکی دو روش اصلی به‌منظور دستیابی به عملکردهای دانه بالاتر وجود دارد که شامل افزایش شاخص برداشت (HI) و افزایش در تجمع ماده خشک می‌باشند (Specht et al., 1999). عملکرد دانه

کوتیکولی نیز به حداقل برسد این اثر محسوس تر خواهد بود (Kramer, 1983).

در تحقیقی ۱۵ صفت مورفولوژیک از جمله محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ های سورگم تحت شرایط تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفتند و اعلام شد که ژنوتیپ هایی با میانگین محتوای نسبی آب برگ بالا، شاخص حساسیت به تنش خشکی کمتری داشته، عملکرد نسبی و شاخص مقاومت به خشکی بالاتری نشان دادند (Kumari, Vinodhana and Ganesamurthy, 2010).

بعضی از محققین بر روی ویژگی های برگ پرچم مخصوصاً روابط آب برگ به خاطر اثر متقابل قابل توجه آن با مقاومت به خشکی تأکید کردند (Aggarwal and Sinha, 1984). مرور منابع نشان می دهد که صفات مورفوفیزیولوژیک از جمله محتوای نسبی آب برگ به طور گسترده به عنوان پارامتر انتخابی سهمیم در جهت مقاومت به خشکی برای محصولات زراعی متنوع علاوه بر عملکرد دانه مورد استفاده قرار گرفتند (Fischer and Wood, 1979; Colom and Vazzana, 2003).

بهر حال، افزایش عملکرد محصولات در نواحی خشک به علت غیرقابل پیش بینی بودن دوره های تنش خشکی در این نواحی و خلأهای علمی موجود در زمینه خشکی کار آسانی نیست. مشکل اصلی از تنوع استراتژی های سازگاری گیاهان در مقابله با تنش خشکی بسته به زمان، شدت و مرحله رشد گیاه ایجاد می شود (Vinod et al., 2006).

اندازه گیری میزان تراوش الکتروولت از ریشه ذرت به عنوان شاخصی از میزان خسارت وارده به نفوذپذیری غشاء ناشی از تنش خشکی و شوری استفاده شده است. در تحقیقی با بررسی اثر تنش خشکی بر وضعیت آب برگ، نفوذپذیری غشاء و سیستم آنزیمی آنتی اکسیدان در ذرت اعلام شد که تنش خشکی متوسط در خلال مرحله گلدهی باعث تغییر معنی دار محتوای نسبی آب برگ نشد ولی باعث تغییر معنی دار هدایت نسبی برگ گردید، گرچه تنش خشکی شدید باعث کاهش RWC برگ و افزایش نفوذپذیری غشاء (هدایت نسبی برگ) گردید (Bai Li, Ping et al., 2006).

محتوای نسبی آب برگ (Colom and Vazzana, 1979; Fisher and Wood, 2003) و ثبات و پایداری دیواره سلول (Ali et al., 1992; Premachandra et al., 2009) صفات مطلوب و مورد علاقه بودند و به صورت

نیمه خشک این گیاه معمولاً در مرحله زایشی و مرحله بعد از گلدهی تحت تأثیر تنش آبی قرار می گیرد و عملکرد آن کاهش می یابد (Kebede et al., 2001).

تعداد پانیکول در مترمربع تحت تأثیر تنش های رطوبتی قرار نمی گیرد، مگر اینکه تنش به حدی باشد که از شکل گیری پانیکول جلوگیری به عمل آورد. در سورگم حساس ترین مرحله برای پر شدن دانه حدود ۱۰ روز قبل از گلدهی تا پایان گلدهی است که مواجهه با تنش خشکی در این دوره حساس می تواند بیشترین خسارت را به عملکرد دانه وارد سازد (Prasad et al., 2008).

حساسیت مراحل مختلف رشد و نمو گیاه سورگم به خشکی، متفاوت است (Jaleel et al., 2009). در تحقیق دیگری بیان شد که تنش شدید خشکی در مرحله رشد رویشی سورگم و همچنین تنش متوسط در مرحله زایشی منجر به کاهش عملکرد محصول می شوند اما این کاهش با افزایش کارایی مصرف آب بوده و به آستانه اقتصادی نمی رسد (Khalili et al., 2008).

شرایط محیطی در زمان توسعه و تشکیل هر جزء از اجزاء عملکرد بر سهم آن جزء اثر می گذارد و کاهشی که در یک جزء به علت شرایط نامطلوب محیطی به وجود می آید می تواند پس از رفع شرایط تنش به وسیله سایر اجزاء جبران شود؛ اما این جبران کامل نیست و به ژنوتیپ و شدت و مرحله آن بستگی دارد (Mattews et al., 2004). تحمل به خشکی، عبارت از حفظ فعالیت های فیزیولوژیکی گیاه، تکمیل دوره رشد و زنده ماندن یک ژنوتیپ از نسلی به نسل دیگر تحت شرایط محدودیت آب قابل دسترسی است و از دیدگاه زراعی می تواند به صورت تولید اقتصادی یک محصول در شرایط محدودیت آب تعریف شود (Blum, 2011).

پتانسیل آب برگ نتیجه جذب آب و ذخیره آن در گیاه و هدر رفت آن از طریق تعرق می باشد هر عاملی که بر این فرآیندها تأثیر بگذارد مانند وجود آب در خاک، درجه حرارت، رطوبت نسبی هوا و باد باعث تغییر پتانسیل آب برگ خواهد شد. پتانسیل آب برگ اثر مهمی روی رفتار روزنه می گذارد. کنترلی که روزنه بر قابلیت هدایت برگ اعمال می کند در کاهش تلفات آب از گیاه مؤثر است و از آن به عنوان شاخصی از تنش خشکی استفاده می شود که در مطالعات فتوسنتز اهمیت خاصی دارد (Mc Dermitt, 1990). با بسته شدن روزنه و کاهش تعرق، تلفات آب و در نتیجه پسابیدگی گیاه به تأخیر می افتد، به ویژه اگر تعرق

و کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک انجام گرفت. کود اوره به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۲ نوبت (یک‌سوم هم‌زمان با کاشت و دوسوم باقی‌مانده به فاصله یک ماه بعد)، کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیز هم‌زمان با کاشت به زمین داده شد.

در تمام مدت آزمایش کنترل علف‌های هرز به‌صورت دوره‌ای و به‌صورت وجین دستی انجام گرفت. کاشت در اردیبهشت‌ماه پس از رسیدن دمای خاک به ۱۲ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای (۱۰ ژنوتیپ شامل KGS29, MGS2, KGS33, سپیده, KGFS27, MGS5, KGFS5, KGFS17, KGFS13 و KGFS30 در معرض سطوح مختلف تنش خشکی (آبیاری نرمال (بدون تنش)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (مرحله رؤیت آخرین برگ به‌صورت لوله‌ای) به‌عنوان تنش خشکی شدید و قطع آبیاری در مرحله آغاز گلدهی (۵۰ درصد بوته‌ها در مرحله آغاز گلدهی) به‌عنوان تنش خشکی متوسط قرار گرفتند (Wardlaw and Willenbrink, 1994).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد، سطوح مختلف تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های مختلف سورگم دانه‌ای به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. هر کرت شامل ۴ خط به طول ۶ متر و فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۱۶۶ هزار بوته در هکتار) در نظر گرفته شد. ضمناً بین هر کرت و کرت مجاور یک خط نکاشت در نظر گرفته شد.

برای تعیین اجزای عملکرد دانه از هر کرت نیم متر طولی برداشت و تعداد بوته، تعداد پانیکول، تعداد دانه پانیکول، وزن هزار دانه، تعداد دانه در مترمربع تعیین گردیدند. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت پس از حذف ۲ خط حاشیه و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت از سطح ۳ مترمربع برداشت انجام شد و پس از خشک شدن کامل، کل نمونه‌ها توزین و عملکرد بیولوژیک تعیین شد و سپس نمونه‌ها با دست کوبیده شده و دانه‌ها جدا و توزین گردید و شاخص برداشت محاسبه شد.

گسترده به‌عنوان مارکرهای قابل‌اعتماد مورفوفیزیولوژیک مؤثر بر تحمل به خشکی برای محصولات زراعی متنوع از جمله سورگم مورد استفاده قرار گرفتند. گیاهان در هنگام تنش خشکی تغییرات فیزیولوژیکی در خود ایجاد می‌کنند و به این وسیله به تنش پاسخ می‌دهند؛ مثلاً نشان داده شده است که در ژنوتیپ‌های گندم با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Rascio et al., 1998).

یکی از راهکارهای مهم گیاهان در تحمل به تنش خشکی، تنظیم اسمزی است که همبستگی زیادی با محتوای نسبی آب برگ دارد. همچنین محققین اعلام کرده‌اند که ژنوتیپ‌هایی که بدون بستن روزنه‌ها به میزان زیادی آب را حفظ می‌کنند برای مناطق خشک مناسب‌ترند (Schonfeld et al., 1988).

همچنین در پژوهشی دیگر اعلام شد که بیشتر این صفات می‌تواند برای انتخاب در زمینه تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های سورگم در مراحل مختلف رشدی بکار گرفته شوند (Ali et al., 2009). هدف از این تحقیق، ارزیابی برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیک برگ پرچم از جمله پایداری غشای سلول و محتوای نسبی آب برگ علاوه بر عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای در شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف نموی گیاه و مقایسه اثر اعمال تنش در این مراحل بر خصوصیات فوق است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی (عرض جغرافیایی ۳۲ و ۵۲ و طول جغرافیایی ۵۹ و ۵۸ و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۸۱ متر) انجام گردید. اقلیم منطقه معتدل خشک بوده، میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۷ میلی‌متر می‌باشد.

خاک محل آزمایش با داشتن ۵۰/۷ درصد شن، ۲۵/۹ درصد سیلت و ۲۳/۴ درصد رس در رده بافت لومی قرار می‌گیرد. درصد کربن آلی خاک ۰/۱۳، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب به ترتیب ۵/۳۸ و ۲۱۴/۲ قسمت در میلیون و PH خاک ۸/۱۴، هدایت الکتریکی (EC) خاک ۳/۲۱ (mS/cm) بود. نمونه‌گیری از خاک قبل از کاشت در عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم پاییزه و بهاره و دیسک و تسطیح در بهار ۱۳۹۳ انجام

عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش از نظر صفات فوق در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند. اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ نیز از نظر کلیه صفات مورد بررسی به جز وزن هزار دانه بسیار معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین صفات در سال ۹۳ (جدول ۲) با استفاده از آزمون LSD نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه کاهش پیدا کرده است، به گونه‌ای که در تیمار آبیاری نرمال (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله رویشی (تنش شدید) و قطع آبیاری در مرحله زایشی (تنش متوسط) عملکرد دانه به ترتیب ۳۳۳۵، ۱۶۴۱ و ۲۴۸۸ کیلوگرم در هکتار بود. کاهش عملکرد نسبی در تنش خشکی متوسط و شدید در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۵ و ۵۱ درصد بوده است. در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ KGFS13 با میانگین عملکرد ۵۰۶۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین میزان عملکرد دانه و ژنوتیپ KGS33 با میانگین عملکرد ۱۷۴۱ کیلوگرم در هکتار با تفاوت معنی‌دار نسبت به یکدیگر کمترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی از نظر صفات فوق در سال ۹۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ KGFS13 در شرایط تنش خشکی متوسط و آبیاری نرمال، تواما بالاترین عملکرد دانه را داشته و ژنوتیپ KGFS5 در شرایط تنش خشکی شدید کمترین میزان را از این نظر به خود اختصاص داد (جدول ۳).

در خصوص عملکرد بیولوژیک نیز همین روند مشاهده گردید، به گونه‌ای که آبیاری نرمال (شاهد) با میانگین عملکرد بیولوژیک ۱۸۶۱۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین میزان و تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب با میانگین ۱۵۱۷۶ و ۱۲۹۹۱ کیلوگرم در هکتار مشترکا کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را نشان دادند.

درواقع کاهش عملکرد ناشی از کاهش تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه به عنوان اجزای عملکرد دانه می‌باشد. ژنوتیپ KGFS13 که دارای عملکرد بیولوژیک بالاتری می‌باشد دارای عملکرد دانه بالاتری نیز بود. محققین گزارش نموده‌اند که تنش خشکی هم رشد و هم فتوسنتز خالص را کاهش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش بیومس و

برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ (RWC)، در مرحله دانه‌بندی از هر کرت و از برگ پرچم^۱ مربوط به ۳ بوته نمونه‌گیری شد. نمونه‌ها سریعاً توزین شدند و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای یخچال نگهداری شدند تا آماس کامل پیدا نمایند و سپس از آب خارج و آب اضافی آن‌ها توسط دستمال کاغذی گرفته و توزین گردید و سپس نمونه‌ها در داخل پاکت کاغذی و در داخل آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و پس از خشک شدن نمونه‌ها مجدداً توزین گردید و محتوای نسبی آب برگ یا آماس نسبی از طریق فرمول وزرلی (Weatherley, 1950) محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{(WF - Wd)}{(Wt - Wd)} \quad [1]$$

که در آن RWC محتوای نسبی آب برگ، WF وزن تازه برگ، Wt وزن برگ پس از آماس کامل، و Wd وزن خشک برگ می‌باشند.

برای محاسبه میزان خسارت به غشاء یا تراوایی غشاء، هم‌زمان با نمونه‌گیری جهت محاسبه (RWC) ابتدا سه بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و برگ پرچمی آن‌ها جدا شد. سپس توسط دستگاه کاغذ سوراخ‌کن تعداد ۴ عدد دیسک از این برگ‌ها تهیه و در داخل آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. هدایت الکتریکی آبی که برگ‌ها در آن گذاشته شده بود توسط دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی^۲ اندازه‌گیری شده و از اعداد حاصل برای محاسبات استفاده شد (Sairam et al., 2002).

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به عملکرد و اجزاء آن با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ مورد تجزیه واریانس ساده قرار گرفت. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

الف) عملکرد و اجزای آن

نتایج تجزیه واریانس ساده و مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی در آزمایش در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است. بر اساس جدول تجزیه واریانس ساده در سال ۹۳ اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد و از نظر

¹. Flag Leaf

². EC meter

نیز کاهش دوره رشد دانه باشد و ممکن است وقایع اولیه مربوط به رشد دانه شامل تقسیم سلولی و شکل‌گیری اندازه مخزن کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گیرد. یافته‌های سایر محققین نیز این موضوع را تأیید می‌کند (Yang and Zang, 2006; Saeidi et al., 2010).

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز ژنوتیپ KGFS13 با میانگین عملکرد بیولوژیک ۲۲۳۶۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین و رقم سپیده با میانگین ۹۷۵۸ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. کاهش نسبی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد در تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب ۲۳ و ۴۳ درصد بود. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی در سال ۹۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ KGFS13 به همراه ژنوتیپ‌های KGFS17 و KGFS5 مشترکاً در شرایط آبیاری نرمال، بالاترین عملکرد بیولوژیک را داشته و ژنوتیپ سپیده در شرایط تنش خشکی متوسط کمترین عملکرد بیولوژیک را دارا بود (جدول ۳).

عملکرد دانه می‌شود (Ali et al., 2009). بیومس، معیاری مناسب برای انتخاب ارقام مقاوم حتی در شرایط نرمال (بدون تنش) می‌باشد. تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه از طریق کاهش رشد برگ‌ها (Gan and Amasino, 1997; Galle et al., 2010)، کاهش غلظت کلروفیل (Brevedan and Egli, 2003)، کاهش هدایت روزنه‌ای (Liang et al., 2002)، کاهش غلظت پروتئین‌های محلول (Rodriguez et al., 2007) و نهایتاً کاهش سرعت فتوسنتز (Yang and Zang, 2006) و تسریع پیری برگ‌ها (Martinez et al., 2003) میزان تولید بیومس و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

البته میزان خسارت به شدت و مدت‌زمان اعمال تنش و همچنین مقاومت گیاه و مرحله رشدی که گیاه در آن قرار دارد بستگی دارد (Thomas Robertson et al., 2004). کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی ممکن است بیشتر به علت تأثیر بر تأمین مواد پرورده مورد نیاز برای پر شدن دانه‌ها، کاهش قدرت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی و

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و سایر صفات در ژنوتیپ‌های سورگم دانه‌ای (۱۳۹۳).

Table 1. Analysis of variance (Mean square) of Water stresses on Grain yield and other traits in grain sorghum genotypes (2014).

S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد دانه در پانیکول Seeds per panicle	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	محتوای نسبی آب برگ RWC	هدایت الکتریکی غشاء EC of Electrolite
تکرار Replication(R)	2	85266*	42.2 ^{ns}	0.0019 ^{ns}	63730557 ^{ns}	3340778*	42.4 ^{ns}	42.4 ^{ns}
تنش خشکی Water stress(S)	2	85564*	124.3*	0.0211*	241020281*	18650348**	697.2*	163.5*
خطای (a) Error a(rxa)	4	8589.4	31.92	0.0041	21730823	166040	140.16	32.2
ژنوتیپ Genotype(G)	9	319251**	153.1**	0.0167**	201170802**	8294654**	217.2**	22.9**
تنش خشکی ژنوتیپ SxG	18	39641*	13.87 ^{ns}	0.0097**	36664160**	2742474**	70.85**	4.4 ^{ns}
خطای (b) Error b	54	17760	8.98	0.0018	9727844	432066	5.34	4.9

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

Ns, * and **: Not-significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و سایر صفات (۱۳۹۳).

Table 2. Mean comparison of the effect of water stress and genotype on yield and other traits (2014).

Treatments	تیمار	تعداد دانه در پانیکول		شاخص برداشت	عملکرد		محتوای نسبی آب برگ	هدایت الکتریکی الکترولیت غشاء (دسی زمینس بر متر)
		Seeds per panicle	1000 Seed Weight (gr)		Biological yield (Kg/ha)	Grain yield (Kg/ha)		
تنش خشکی								
Water stress								
S1	۱	439 a	25.4 a	17.7 ab	18613 a	3335 a	75.9 a	27.3 b
S2	۲	338 b	21.3 b	13.3 b	12991 b	1641 c	66.87 b	31.5 a
S3	۳	361 b	23.2 ab	18.1 a	15176 b	2488 b	68.6 ab	31.3 ab
ژنوتیپ ها								
Genotypes								
KGS29	۱	240 de	24.6 ab	18.7 a	12345 c	2352 bc	62.7 g	30.9 abcd
MGS2	۲	373 cd	23.4 ab	21.6 a	10288 c	2141 cd	70.6 e	30.3 bcde
KGS33	۳	253 de	23.1 b	13.6 c	12796 c	1741 d	64.8 f	30.2 bcde
Sepideh	۴	224 e	23.3 ab	19.4 a	9758 c	1784 cd	64.2 f	30.9 abc
KGFS27	۵	814 a	11.9 c	18.5 ab	11953 c	2055 cd	74.5 bc	32.6 a
MGS5	۶	287 cde	26 a	14.5 bc	16216 b	2349 bc	75.6 ab	31.9 ab
KGFS5	۷	317 cde	25.4 ab	11 c	19266 a	2370 bc	72.9 cd	27.6 f
KGFS17	۸	421 c	23.9 ab	13.7 c	20555 a	2880 b	76.9 a	28.3 ef
KGFS13	۹	594 b	25.8 ab	22.5 a	22360 a	5060 a	70.6 e	29.9 cdef
KGFS30	۱۰	274 de	25.4 ab	10.4 c	20396 a	2149 cd	71.2 de	28.8 def

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند. قطع آبیاری در مرحله زایشی= تنش خشکی ۳، قطع آبیاری در مرحله رویشی= تنش خشکی ۲، آبیاری نرمال= تنش خشکی ۱

Means in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability LSD Test. S1=Normal Irrigation, S2=Irrigation cut off in vegetative stage S3= Irrigation cut off in generative stage.

اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی از نظر شاخص برداشت بذر در سال ۹۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ KGFS13 در شرایط تنش خشکی متوسط، بالاترین شاخص برداشت و ژنوتیپ KGFS5 در شرایط تنش خشکی شدید، کمترین میزان را از این نظر دارا بود (جدول ۳).

در خصوص وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از اجزای عملکرد دانه، تیمار آبیاری نرمال با میانگین ۲۵/۴ گرم بالاترین و تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب با میانگین ۲۳/۲ و ۲۱/۳ گرم کمترین میزان را از این نظر به خود اختصاص دادند. کاهش نسبی وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد در تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب ۹ و ۱۹ درصد بود. کاهش وزن هزار دانه ژنوتیپ ها

از نظر شاخص برداشت بذر، تیمار آبیاری نرمال و تنش خشکی متوسط بدون تفاوت معنی‌دار نسبت به هم مشترکا بالاتر از تنش خشکی شدید قرار گرفتند. در خصوص شاخص برداشت نیز محققین گزارش کرده‌اند که چون این شاخص نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی در عملکرد اقتصادی است، مقادیر بالای آن در شرایط آبیاری نرمال در یک ژنوتیپ می‌تواند عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی را نیز به همراه داشته باشد (Richards et al., 2002).

در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بیشترین شاخص برداشت به ترتیب مربوط به ژنوتیپ های KGFS13، MGS2 و KGS29 و کمترین شاخص برداشت مربوط به ژنوتیپ های KGFS30 و KGFS5 بود. مقایسه میانگین

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ KGFS27 با میانگین ۸۱۴ بذر در پانیکول بیشترین تعداد دانه و رقم سپیده با میانگین ۲۲۴ بذر در پانیکول کمترین تعداد دانه در پانیکول را داشتند. کاهش نسبی تعداد دانه در پانیکول در مقایسه با شاهد در تیمار تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب ۲۲ و ۳۰ درصد بود. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی در سال ۹۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ KGFS27 در شرایط تنش خشکی شدید نیز بیشترین تعداد دانه در پانیکول را داشته، همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد این ژنوتیپ در این شرایط از شاخص برداشت بذر مطلوبی (۰/۲۹) نیز برخوردار است، ژنوتیپ MGS5 در شرایط تنش خشکی شدید کمترین تعداد دانه در پانیکول را داشت (جدول ۳).

ب) محتوای نسبی آب برگ

اثر تنش خشکی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردیده است. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز از این نظر در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت آماری معنی‌دار نشان دادند.

اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ از این نظر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها به روش LSD نشان می‌دهد که بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ پرچمی مربوط به تیمار آبیاری نرمال با میانگین ۷۵/۹ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار تنش خشکی شدید با میانگین ۶۶/۹ درصد بود (جدول ۲). کاهش مقدار نسبی آب برگ در اثر تنش خشکی در واقع یکی از تغییرات فیزیولوژیکی است که گیاه در مواجهه با تنش خشکی از خود بروز می‌دهد. چنین واکنشی در گیاهان دیگر نیز توسط محققین گزارش شده است (Ali et al., 2009).

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ‌های KGFS17 و MGS5 بالاترین محتوای نسبی آب برگ را داشته و ژنوتیپ‌های KGS33 و سپیده کمترین میزان را از این نظر دارا بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی از نظر محتوای نسبی آب برگ در سال ۹۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ KGFS17 در تیمار آبیاری نرمال، بالاترین میزان RWC و ژنوتیپ KGS29 در تیمار تنش خشکی شدید، کمترین میزان را از این نظر دارا بود (جدول ۳).

در شرایط تنش خشکی مربوط به انتقال کمتر کربوهیدرات‌ها به دانه می‌باشد؛ زیرا مرحله پر شدن دانه در سورگم هم‌زمان با رقابت شدید برای مصرف متابولیت‌ها است. اندام‌های فتوسنتز کننده مقداری از متابولیت‌ها را خود مصرف می‌کنند و از طرفی سطح اندام‌های فتوسنتز کننده در این مرحله بر اثر مرگ تعداد زیادی از برگ‌ها بسیار کاهش پیدا می‌کند و راندمان فتوسنتزی برگ‌های باقیمانده و انتقال کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی از ساقه به دانه کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که نمی‌تواند تأمین ذخیره دانه را به حد طبیعی انجام دهد، سایر محققین نیز این موضوع را تأیید می‌کنند (Bdulki et al., 2007).

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ MGS5 با میانگین ۲۶ گرم بیشترین وزن هزار دانه و ژنوتیپ KGFS27 با میانگین ۱۱/۱ گرم کمترین میزان وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی در سال ۹۳ از نظر وزن هزار دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

از نظر صفت تعداد دانه در پانیکول به‌عنوان جزء دیگر عملکرد دانه نیز آبیاری نرمال با میانگین ۴۳۹ بذر در پانیکول بالاترین و تنش خشکی متوسط و شدید با میانگین ۳۶۱ و ۳۳۸ دانه در پانیکول مشترکا کمترین میزان را دارا بودند. مقایسه کاهش نسبی وزن هزار دانه و تعداد دانه در پانیکول در تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید نسبت به شاهد نشان می‌دهد که تعداد دانه در پانیکول بیشتر تحت تأثیر تنش خشکی واقع شده است، این موضوع توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Vanoosterom and Hammer, 2008).

خشکی، بیشتر از آنکه وزن دانه را کاهش دهد موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد و این موضوع در مورد سورگم و محصولات زراعی دیگر نظیر گندم نشان‌دهنده اثر تنش خشکی بر تمایز سنبلیچه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد دانه در پانیکول می‌باشد. علت کاهش تعداد دانه در پانیکول در اثر تنش خشکی، کمبود شیره پرورده در دوره قبل از ظهور گل‌آذین می‌باشد. برخی از محققین گزارش نموده‌اند که مقدار تولید شیره پرورده در این دوره برای رشد تمامی گل‌هایی که در شرایط نرمال تبدیل به دانه می‌شوند کافی نیست (Blum, 1996).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و سایر صفات (۱۳۹۳).

Table 3. Mean comparison of interaction between water stress and genotypes on yield and other traits (2014).

تنش خشکی	ژنوتیپ	تعداد دانه در پانیکول	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	محتوای نسبی آب
Water stress	genotypes	Number of seed per panicle	Harvest Index	Biologic yield (Kg/ha)	Grain yield (Kg/ha)	RWC
S1	KGS29	274 ghi	0.23 abc	14680 defg	3390 de	72 efghi
S1	MGS2	445 cdefg	0.17 cdef	11670 efg	1977 fghij	75 cdef
S1	KGS33	278 ghi	0.16 cdefg	13730 efg	2234 defghij	64 lm
S1	Sepideh	188 i	0.22 abc	11140 fg	2097 efghij	72 efghi
S1	KGFS27	773 b	0.18 cde	12740 efg	2281 defghij	78 abcd
S1	MGS5	419 defgh	0.17 cdef	17620 cdef	2969 defg	81 ab
S1	KGFS5	336 fghi	0.12 defgh	26070 ab	3580 cd	79 abc
S1	KGFS17	663 bc	0.19 cd	25550 ab	4899 bc	82 a
S1	KGFS13	659 bc	0.2 bed	30540 a	6756 a	80 abc
S1	KGFS30	364 fghi	0.14 cdefg	22410 bc	3171 def	78 abcd
S2	KGS29	186 i	0.12 defgh	12270 efg	1502 hijk	55 p
S2	MGS2	290 ghi	0.19 cd	10470 g	1988 efghij	70 ghijk
S2	KGS33	200 i	0.07 gh	13040 efg	984 jk	68 hijk
S2	Sepideh	267 ghi	0.15 cdefgh	9417 g	1327 ijk	66 jklm
S2	KGFS27	1043 a	0.29 ab	9729 g	2703 defgh	73 defg
S2	MGS5	179 i	0.09 efgh	18060 cde	1684 ghijk	76 bcde
S2	KGFS5	181 i	0.04 h	10540 g	452 k	69 ghijk
S2	KGFS17	240 ghi	0.12 defgh	15070 defg	1889 fghij	73 efgh
S2	KGFS13	532 cdef	0.18 cde	13620 efg	2509 defghi	56 op
S2	KGFS30	265 ghi	0.08 fgh	17680 cdef	1411 hijk	65 klm
S3	KGS29	262 ghi	0.21 abcd	10080 g	2163 efghij	62 mn
S3	MGS2	385 efghi	0.29 ab	8730 g	2459 defghi	67 ijkl
S3	KGS33	281 ghi	0.17 cdef	11620 efg	2041 efghij	63 lmn
S3	Sepideh	218 hi	0.22 abc	8718 g	1928 fghij	59 no
S3	KGFS27	625 bcd	0.09 efgh	13390 efg	1181 ijk	73 efgh
S3	MGS5	262 ghi	0.18 cde	12970 efg	2392 defghi	70 ghijk
S3	KGFS5	436 defgh	0.17 cdef	21190 bcd	3079 cd	71 fghij
S3	KGFS17	359 fghi	0.09 efgh	21040 bcd	1851 fghij	76 bcde
S3	KGFS13	590 bcde	0.3 a	22910 bc	5915 ab	77 bcde
S3	KGFS30	193 i	0.09 efgh	21100 bcd	1865 fghij	70 fghijk

میانگین‌ها در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

قطع آبیاری در مرحله زایشی= تنش خشکی ۳، قطع آبیاری در مرحله رویشی= تنش خشکی ۲، آبیاری نرمال= تنش خشکی ۱

Means in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability LSD Test. S1=Normal Irrigation, S2=Irrigation cut off in vegetative stage S3= Irrigation cut off in generative stage.

بیشترین آن مشترکا مربوط به تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید بود.

محققین از تراوش الکترولیت‌ها به‌عنوان شاخصی از میزان خسارت وارده به نفوذپذیری غشاء ناشی از تنش خشکی و شوری در ریشه‌های ذرت استفاده کردند. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ KGFS27 دارای بالاترین هدایت الکتریکی الکترولیت و در نتیجه بیشترین میزان تراوش غشاء بود و ژنوتیپ KGFS5 کمترین هدایت الکتریکی الکترولیت و کمترین میزان تراوش غشاء را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

در مجموع، ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفوفیزیولوژیک متفاوت بوده که حاکی از وجود تنوع بالا از این نظر است، ضمناً می‌توان از ویژگی‌های مربوط به روابط آبی برگ پرچم و نفوذپذیری غشاء سلول به‌عنوان معیارهایی علاوه بر عملکرد دانه و اجزای آن در ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها استفاده نمود.

یکی از راهکارهای مهم گیاهان در تحمل به تنش خشکی، تنظیم اسمزی است که همبستگی زیادی با محتوای نسبی آب برگ دارد. همچنین محققین اعلام کرده‌اند که ژنوتیپ‌هایی که بدون بستن روزنه‌ها به میزان زیادی آب را حفظ می‌کنند برای مناطق خشک مناسب‌ترند (Schonfeld et al., 1988). در مجموع، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد.

ج) تراوش غشاء سلول

نتایج تجزیه واریانس ساده صفات در سال ۹۳ نشان می‌دهد که اثر تنش خشکی بر تراوش غشاء سلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از این نظر در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت آماری معنی‌دار نشان دادند ولی اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی در سال ۹۳ از این نظر معنی‌دار نگردید (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها به روش LSD نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی تراوش غشاء افزایش یافت بطوری که کمترین میزان تراوش غشاء در تیمار آبیاری نرمال و

منابع

- Abbad, H., Jafari, E.L., Bort, S.A., Araus, J.L., 2004. Comparative relationship of the flag leaf and the ear photosynthesis with the biomass and grain yield of durum wheat under a range of water conditions and different genotypes. *Agronomie*. 24, 19-28.
- Aggarwal, P.K., Sinha, S.K., 1984. Differences in water relations and physiological characteristics in leaves of wheat associated with leaf position on the plant. *Plant Physiology*. 74, 1041-1045.
- Ali, M.A., Abbas, A., Niaz, S., Zulkiffal, M., Ali, S., 2009. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages. *International Journal of Agricultural Biology*. 11, 647-680.
- Aruna, C., Audilakshmi, S., 2008. A strategy to identify potential germplasm for improving yield attributes using diversity analysis in sorghum. *Plant Genetic Resources*. 6, 187-194.
- Baili, P., Sui Fang, G., Geti, D., Sunzhao, H., Lu Yin, Y., Zhou Guang, S., 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. *Pedosphere*. 16(3), 326-332.
- Beheshti, A.R. and Behboodi, B. 2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*sorghum bicolor* L. Monech) under drought stress condition. *Australian Journal of Crop Science*, 4(3), 185-189.
- Bdukli, E., Celik, N., Turk, M., Bayram, G., Tas, B., 2007. Effects of post anthesis drought stress on the stem- reserve mobilization supporting grain filling of two-rowed barley cultivars at different levels of nitrogen. *Bio Science*. 7(6), 949-953.
- Blum, A., 1996. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve utilization. In: Braun, H.J., Altay, F., Kronstas, W.E., Beniwal, S.P.S., McNab, A. (eds), *Prospects for Global Improvement*. Proceedings of the 5th International Wheat Conference. Ankara, Turkey. pp.135-142.
- Brevedan, R.E., Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf

- senescence, and yield of soybean. *Crop Science*. 43, 2083-2088.
- Colom, M.R., Vazzana, C., 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental Experiments of Botany*. 49, 135-144.
- Ejeta, G. Knoll, J.E., 2007. Marker-assisted selection in sorghum. In: Varshney, R.K., Tuberosa, R. (eds.), *Genomic-assisted Crop Improvement. Genomics Applications in Crops*. 2, 187-205.
- FAO. 2012. *Statistical Book*.
- Fischer, R.A., Wood, J.T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. yield association with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*. 30, 1001-1020.
- Gambin, B.L., Borrás, L., 2007. Plasticity of sorghum kernel weight to increased assimilate availability. *Field Crops Research*. 100, 272-284.
- Gan, S., Amasino, R.M., 1997. Making sense of senescence. *Plant Physiology*. 113, 313-319.
- House, L.R., 1985. *A Guide to Sorghum Breeding*. ICRISAT. Patancheru P.O. Andhrapradesh. 344-502. India.
- Jaleel C, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Somasundaram R and Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11:100-105.
- Kebede, H., Subudhi, P.K., Rosenow, D.T., Nguyen, H.T., 2001. Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Theor. Appl. Genet*. 103, 266-276.
- Khalili, A., Akbari, N., Chaichi, M.R., 2008. Limited irrigation and phosphorus fertilizer effects on yield and yield components of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. var. Kimia). *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*. 3(5), 697-702.
- Kumari Vinodhana, N., Ganesamurthy, K., 2010. Evaluation of morpho-physiological characters in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes under post-flowering drought stress. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 1(4), 585-589.
- Kramer, P.J., 1983. *Water relation of plants*. Academic Press, INC. USA.
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M., Zhang, J., 2002. The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 43, 187-192.
- Maman, N., Mason, S.C., Lyon, D.J., Dhungana, P., 2004. Yield Components of Pearl millet and Grain Sorghum across Environments in the Central Great Plains. *Crop Science*. 44, 2138-2145.
- Martinez, D.E., Luquez, V.M., Bartoli, C.G., Guiamet, J.J., 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Physiology*. 119, 1-7.
- Matthews, K.B., Reddy, D.M., Ranj., Peacock, J.K., 2004. Response of four Sorghum lines to mid season drought. I. Growth, water use and yield. *Field Crop Research*. 25, 279-296.
- Mc Dermitt, D.K., 1990. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. *Horticultural Science*. 25, 1538-1548.
- Prasad, P.V.V., Pisipati, S. R., Mutava, R.N., Tuinstra, M.R., 2008. Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. *Crop Science*. 48, 1911-1917.
- Premachandra, G.S., Saneoka, H., Fujita, K., Ogata, S., 1992. Leaf drought relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing drought deficits in sorghum. *Journal of Experimental Botany*. 43, 1569-1576.
- Rascio, A., Russo, M., Platani, C., Difonzo, N., 1998. Drought intensity effects on genotypic differences in tissue affinity for strongly bound water. *Plant Science*. 132, 121-126.
- Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Van Herwaarden, A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*. 42, 111-131.
- Richards, R.A., 1996. Increasing the yield potential of wheat: Manipulating sources and sinks. In: Reynolds, MP., Rajaram, S.,

- Macnab, A. (eds). Increasing yield potential in wheat: Breaking the barriers. Mexico: CIMMYT. pp.134-149.
- Rodriguez, D.J., Romero-Garcia, J., Rodriguez-Garcia, R., Sanchez, J.A.L., 2002. Characterization of proteins from sunflower leaves and seeds: Relationship of biomass and seed yield. Trends in New Crops and New Uses. 1, 143-149.
- Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, Spheri, R., Najafian, G., Shabani, A., 2010. The effect of terminal water stress on physiological characteristics and sink-source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. Iranian Journal of Crop Science. 12(4), 392-408. [In Persian with English Summary].
- Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163. 1037-1046.
- Schaffert, R.E., Albuquerque, P.E.P., Duarte, J.O., Garcia, J.O., Gomide, R.L., Guimares, C.T., Magalhes, P.C., Magalhes, J.V., Queiroz, V.A.V., 2011. Phenotyping sorghum for adaptation to drought, Part II. In Monneveux, P., Ribaut, J.M. (eds), Drought Phenotyping in Crops: from Theory to Practice. Generation Challenge Programme.
- Sinclair, T., Bennetto, R.D.M., Muchow, R.O., 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. Crop Science. 30, 690- 693.
- Slafer, G.A., Savin, R., 1994. Sink-source relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. Field Crops Research. 37, 39-49.
- Specht, J.E., Hume, D.J., Kumudini, S.V., 1999. Soybean yield potential-a genetic and physiological perspective. Crop Science. 39, 1560-1570.
- Thomas Robertson, M.J., Fukai, S., Peoples, M.B., 2004. The effect of timing and severity of water deficit on growth development, yield accumulation and nitrogen fixation of mung bean. Field Crops Research. 86(1), 67-80.
- Tuinstra, M.R., Grote, E.M., Goldsbrough, P.B., Ejeta, G., 1997. Genetic analysis of postflowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Molecular Breeding. 3, 439-448.
- Van Oosterom, E.J., Hammer, G.L., 2008. Determination of grain number in sorghum. Field Crop Research. 108, 259-268.
- Vinod, M.S., Sharma, N., Manjunatha, K., Kanbar, A., Prakash, N.B., Shashidhar, H.E., 2006. Candidate genes for drought tolerance and improved productivity in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Bioscience. 31, 69-74.
- Wardlaw, I.F., Willenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. Australian Journal of Plant Physiology. 21, 255-271.
- Weatherley, P.E. 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. New Phytologist, 49, 81-87.
- Yang, J., Zang, J., 2006. Grain filling of cereals under soil drying. New Phytologist. 169, 223-236.