

ارزیابی تحمل به تنش آبی ارقام و لاین‌های سورگوم بر اساس شاخص‌های جوانه‌زنی

افشین زمانی^۱، یحیی امام^{۲*}، احسان شاکری^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.

^۲آستاذ، زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.

^۳دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸

چکیده

تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد اختلال در مراحل رشدی گیاه به‌ویژه مرحله جوانه‌زنی است. به منظور ارزیابی اثر تنش آبی بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه سورگوم، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه غلات دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح تنش آبی (۰، ۱/۰۸- بار و ۴/۳۲- بار) و ۴۳ رقم و لاین سورگوم بودند. نتایج نشان داد اثر رقم، تنش آبی و اثر متقابل دو عامل بر کلیه شاخص‌های مورد بررسی معنی‌دار بود. همچنین نتایج بیانگر تنوع گسترده ارقام و لاین‌ها از نظر بنیه بذر بود. ارزیابی تحمل به تنش نشان داد شاخص STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص بنیه بذر در شرایط عدم تنش و تنش شدید بود. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی سورگوم شیرین، قلمی هرات، اسپیدفید مغان، اسپیدفید و پگاه و لاین شماره ۱۹ (KDFGS19) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. از ویژگی‌های این ژنوتیپ‌ها داشتن بنیه برتر بود. به نظر می‌رسد روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و کاربرد شاخص‌های تحمل نیز بتواند در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در مرحله جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، شاخص بنیه بذر، شاخص تحمل.

در حال حاضر تنش آبی به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده محدود کننده تولید گیاهان به شمار می‌رود. بروز تنش آبی در زمان جوانه‌زنی می‌تواند تا حد زیادی درصد سبز شدن و در نهایت استقرار گیاه را کاهش و یا حتی در برخی از موارد نیز به طور کامل مانع سبز شدن و استقرار گیاه شود (Kaya et al., 2006; Yan, 2015). اثر منفی تنش آبی بر کاهش اجزای جوانه زنی و در نهایت فرایند اصلی جوانه زنی که پدیده ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است، به دلیل کاهش سرعت و میزان جذب آب، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و نیز اثرات منفی پتانسیل‌های اسمزی پایین بر فرایندهای بیوشیمیایی مراحل مختلف جوانه‌زنی است (Neto et al., 2004). علاوه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی نیز از عوامل مهم کیفیت بذر به شمار می‌روند (Soltani et al., 2006). شاخص‌های دیگری مانند طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز در تعیین میزان تحمل گیاهچه به شرایط تنش بسیار حایز اهمیت هستند. در واقع این شاخص‌ها از نظر زمانی و روند فرایندهای فیزیولوژیک زودتر از تجمع وزن خشک رخ می‌دهند و در نتیجه بیشتر از وزن خشک تحت تاثیر منفی تنش قرار می‌گیرند (Atak et al., 2006). در بین گیاهان زراعی، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به‌عنوان پنجمین گیاه زراعی مهم در دنیا بیش از ۶۲ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت را به خود اختصاص داده است (FAO, 2015). گزارش شده است این گیاه در شرایط آب و هوایی گرم و خشک و معتدل از پتانسیل تولید بالایی برخوردار بوده و سازگاری خوبی با این مناطق دارد (Patane, 2008). از دیدگاه تغذیه‌ای نیز، سورگوم در مناطق خشک، نیمه خشک و گرم توان تولید بیشتری در مقایسه با ذرت دارد. همچنین گزارش شده است این گیاه تحمل بیشتری به خاک‌های مرطوب و شرایط غرقابی در مقایسه با دیگر غلات دانه‌ای دارد. علاوه بر این موارد، سورگوم توانایی سازگاری با انواع خاک‌ها با درجه‌های متفاوت سمیت عناصر و همچنین شرایط متفاوت تنش‌ها را دارد (Saadat and Homae, 2015). شواهد فراوانی نیز نشان داده‌اند در بین گیاهان زراعی، سورگوم متحمل‌ترین گیاه به تنش آبی است (Devnarian et al., 2016; Emam, 2013). علی‌رغم تحمل زیاد سورگوم به تنش آبی، پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند این گیاه در مراحل اولیه رشد به تنش آبی حساس بوده و بروز تنش در این مرحله کاهش قابل توجه استقرار گیاه و در نهایت عملکرد آن را در پی خواهد داشت (Wani et al., 2012). گزارش شده است ارقام مختلف یک گونه گیاهی ممکن است در مراحل مختلف زندگی خود شامل جوانه زدن، استقرار و حتی مرحله زایشی مقاومت‌های متفاوتی را به شرایط تنش از خود نشان دهند (Ghasemi and Mostajeran, 2014)، لذا یکی از مهم‌ترین راهکارهایی که می‌توان برای مقابله با شرایط تنش پیشنهاد نمود، شناسایی ارقامی است که تحمل بیشتری به شرایط نامناسب محیطی داشته باشند. به بیان دیگر استفاده از تنوع پاسخ گیاهان به شرایط تنش، می‌تواند به شناسایی و معرفی ارقامی منجر شود که بتوانند در مزرعه از درصد جوانه‌زنی و در نهایت استقرار قابل قبولی برخوردار باشند. به نظر می‌رسد تاکنون پژوهش‌های اندکی در زمینه بررسی واکنش ارقام مختلف سورگوم به تنش آبی در مرحله جوانه‌زنی انجام شده است، لذا با توجه به اهمیت گیاه سورگوم به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان قابل کشت در اراضی خشک و نیمه خشک، پژوهش حاضر در راستای مقایسه لاین‌ها و ارقام رایج سورگوم موجود در کشور از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه غلات بخش زراعت و اصلاح نباتات دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شیراز، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح تنش آبی (۰، ۱/۰۸- بار معادل شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر و ۴/۳۲- بار یا شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و ۳۰ لاین دومنظوره و ۱۳ رقم سورگوم بود که در شرایط آب و هوایی ایران اصلاح و تولید شده‌اند. به طور کلی لاین‌های مورد استفاده در این آزمایش (KDFGS1-KDFGS30) طی یک برنامه به‌نژادی در سال ۱۳۹۲ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تولید شده‌اند. رقم‌های مورد بررسی شامل Speed-feed, Nectar, Jumbo (ارقام استرالیایی)، KFS1, KFS2, KFS4 (رقم‌های خالص داخلی)، رقم KFS3 (که در سال ۱۳۸۵ به عنوان رقم پگه معرفی شد)، رقم قلمی هرات (یک نمونه بومی که از طریق انتخاب بوته و خود تلقیحی خالص گردیده و هم‌اکنون در نواحی شمال کشور مورد کشت و کار قرار می‌گیرد)، سیستان (که مانند رقم قلمی هرات از نمونه بومی انتخاب و خالص گردیده است)، رقم کیمیا (رقم دانه‌ای که در ایران اصلاح و معرفی شده است)، اسپیدفید مغان، جارویی و سورگوم شیرین بودند. اعمال تیمارهای خشکی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول (PEG-6000) انجام شد. ابتدا پتری‌ها را در محلول هیپوکلریت سدیم (وایتکس) ۱۰٪ به مدت ۲۰ دقیقه غوطه ور و ضد عفونی نموده و سپس پتری‌ها با آب مقطر شستشو و خشک شدند. در این آزمایش برای هر سطح تنش ۲۵ عدد بذر یکنواخت انتخاب و ابتدا با آب مقطر شسته شده و بعد با محلول ۵٪ هیپوکلریت سدیم به مدت ۳۰ ثانیه استریل و مجدداً با آب مقطر شستشو داده شدند. به هر پتری دیش ۲۰ سانتی‌متر مکعب از محلول تهیه شده اضافه گردید و در ژرمیناتور در دمای 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰٪ در شرایط تاریکی قرار گرفت. ۲۴ ساعت بعد شمارش بذرهای جوانه زده آغاز شد و تا روز دهم (از زمان آغاز آزمایش) ادامه پیدا کرد؛ در روز آخر علاوه بر شمارش نهایی بذور جوانه زده، وزن خشک، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌ها اندازه‌گیری گردید.

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد. که در آن، درصد جوانه‌زنی N' ، تعداد بذرهای جوانه‌زده و N تعداد کل بذر می‌باشد:

$$GP = 100(N'/N)$$

به منظور اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی^۲ (Maguire, 1962) و نیز متوسط زمان جوانه‌زنی^۳ (Bradford, 1986) از رابطه‌های زیر استفاده شد. که در این روابط (GR) سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر جوانه‌زده در روز)، S_i تعداد بذر جوانه‌زده در هر شمارش، D_i تعداد روز تا شمارش n ام، n تعداد دفعات شمارش، n_d تعداد بذور جوانه‌زده در روز d ام، d شماره روز جوانه‌زنی (از زمان کاشت) و (MGT) میانگین زمان جوانه‌زنی است:

$$MGT = \frac{\sum nd d}{\sum nd}$$

$$GR = \sum_{i=1}^n S_i / D_i$$

همچنین برای محاسبه شاخص بنبه‌ی بذر^۴ (Abdul-Bakri and Anderson, 1970) از رابطه زیر استفاده شد که در آن، R میانگین طول ریشه‌چه (میلی‌متر) و S میانگین طول ساقه‌چه (میلی‌متر) است.

$$VI = (R+S) GP/100$$

- 1- Germination Percentage
- 2- Germination Rate
- 3- Mean Germination Time
- 4- Vigor Index

ضریب سرعت جوانه‌زنی^۱ از رابطه زیر محاسبه شد که در آن G تعداد بذرهاى جوانه زده از روز اول تا روز آخر آزمون و T زمان بر حسب روز است (Scott et al., 1984).

$$CVG = (G1 + \dots + Gn)/(G1T1 + \dots + GnTn) \times 100$$

برای ارزیابی حساسیت ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش از دو شاخص حساسیت به تنش^۲ (Fisher and Maurer, 1978) و شاخص تحمل به تنش^۳ (Fernandez, 1992) استفاده شد.

$$SSI = (1 - (Ys/Yp))/(1 - (\bar{Y}s/\bar{Y}p))$$

$$STI = (Yp \times Ys)/(\bar{Y}p)^2$$

که در این روابط Ys ، Yp ، $\bar{Y}s$ و $\bar{Y}p$ به ترتیب بیانگر بنیه بذر در شرایط نرمال، بنیه بذر در شرایط تنش، میانگین بنیه بذر ارقام در شرایط نرمال و میانگین بنیه بذر ارقام در شرایط تنش هستند. شاخص تنش جوانه‌زنی^۴ (Bouslama and Schapauch, 1984) نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد که در آن VI_s و VI_p به ترتیب بیانگر ویگور بذر در شرایط نرمال و تنش هستند.

$$GSI = (VI_s \times 100) / VI_p$$

شاخص کاهش شاخص ویگور^۵ از تفاضل ویگور در شرایط نرمال و شرایط تنش ضربدر عدد ۱۰۰ به دست آمد. به منظور نرمال شدن توزیع داده‌های درصد جوانه زنی در تجزیه واریانس، از تبدیل زاویه‌ای $\text{Arcsin} \sqrt{x}$ استفاده گردید. برای انجام محاسبات آماری و تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز با استفاده از نرم‌افزار MINITAB نسخه ۱۷ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش آبی، رقم و اثر متقابل دو عامل بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه معنی‌دار بود (جدول ۱). طول ریشه‌چه در شرایط تنش ملایم افزایش یافت ولی در تنش شدید ۲۵/۴۵٪ کاهش یافت (جدول ۲). طول ساقه‌چه نیز در شرایط تنش ملایم و شدید به ترتیب کاهش ۱۶/۷۱ و ۴۲ درصدی را نشان داد (جدول ۲). گزارش شده است در شرایط تنش آبی ملایم افزایش طول ریشه‌چه به دلیل اینکه اولین فرایند مقابله با شرایط تنش است، افزایش می‌یابد (Ramazani and Rezaei Sokht Abanadani, Bagheri Kazemabad and Sarmadian, 2007). همچنین بیان شده است در شرایط تنش آبی معمولاً طول ساقه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه تحت اثر منفی قرار می‌گیرد که این موضوع در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد (جدول ۳). از دلایل کاهش طول ساقه‌چه در اثر تنش آبی ایجاد شده کاهش و یا حتی عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین بیان شده است (Ebadi et al., 2011). به بیان دیگر در این شرایط به دلیل عدم انتقال مناسب مواد غذایی و آنزیم‌ها، رشد اندام هوایی کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج نشان داده است حتی در شرایط تنش آبی ملایم نیز، رشد سلول‌ها نیز به دلیل کاهش فشار تورژسانس (که نیروی لازم برای رشد سلول‌ها را فراهم می‌کند)، کاهش خواهد یافت (Jafarnejad and Rah, 2015).

- 1- Coefficient of Velocity of Germination
- 2- Stress Susceptibility Index (SSI)
- 3- Stress Tolerance Index (STI)
- 4- Germination Stress Index (GSI)
- 5- Reduction of Vigor Index (RVI)

جدول ۱: میانگین مربعات صفت‌های مورد بررسی در آزمایش جوانه‌زنی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					ضریب سرعت جوانه‌زنی	
		طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	درصد جوانه‌زنی	شاخص بذر	سرعت جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی
رقم/لاین	۴۲	۳۵۶/۱۴**	۹۹/۰۶**	۲۶۱۱/۲۹**	۲۹/۹۲۶**	۱۸**	۶/۸۲**	۴/۹۷**
تنش آبی	۲	۴۰۴/۸۸**	۱۷۹/۰۱**	۱۷۹۰/۵۷**	۱۰۳۴/۳۹**	۵۴/۴۵**	۶۱/۸۴**	۴۴/۸۷**
رقم x تنش آبی	۸۴	۳۰/۲**	۹۱/۱۱*	۲۸۶/۹۱**	۱۰۴/۶۶**	۲**	۰/۶۴ ^{ns}	۰/۴**
خطا	۲۵۸	۱۸/۲۴	۸/۸۲	۱/۰۱	۵۵/۹۲	۱/۰۱	۰/۷۱	۰/۴۶
ضریب تغییرات (%)		۱۱/۴۴	۱۳/۵۶	۱۲/۹۹	۱۸/۵۶	۱۱/۶۴	۱۸/۳۶	۱۴/۸۲

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

جدول ۲: اثر تنش آبی بر شاخص‌های جوانه‌زنی

تیمار	صفت	طول	طول	درصد	شاخص	سرعت	میانگین زمان	ضریب سرعت
		ریشه‌چه	ساقه‌چه	جوانه‌زنی	بذر	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی	جوانه‌زنی
		۲۱/۷۶	۱۰/۱۷	۸۱/۷۶	۲۹/۸۶	۳/۸۶	۱/۷۹	۱۴/۷۵
bar ۱/۰۳		۲۱/۸۵	۸/۴۷	۷۲/۰۸	۲۶/۷۶	۳/۱۳	۱/۹۲	۱۴/۶۵
bar ۴/۳۲		۱۶/۲۲	۵/۹	۵۴/۶۳	۱۱/۴۱	۲/۱۶	۳/۰۴	۱۱/۵۱
	۰/۰۵ LSD	۱/۰۴	۰/۷۲	۱۰/۱	۳/۸۳	۰/۲۴	۰/۲	۰/۱۶

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش، رقم و اثر متقابل دو فاکتور بر شاخص‌های درصد، سرعت و ضریب جوانه‌زنی و بینه بذر معنی‌دار بود، همچنین اثر تنش و رقم نیز بر شاخص میانگین زمان جوانه‌زنی معنی‌دار و اثر متقابل دو عامل بر این شاخص معنی‌دار نشد (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین کمترین درصد، سرعت و ضریب جوانه‌زنی در تیمار شدید تنش مشاهده شد (جدول ۲). شدت کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شدید بیش از شیب کاهش درصد جوانه‌زنی بود به طوری که درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش شدید ۳۳/۱۸ درصد کاهش یافت ولی این مقدار در مورد سرعت جوانه‌زنی ۴۴/۰۴٪ بود (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد علی‌رغم پایین بودن پتانسیل آب در تیمار تنش، جذب آب و در نهایت جوانه‌زنی صورت می‌گیرد ولی سرعت جوانه‌زنی به دلیل کمبود آب کاهش خواهد یافت. این نتایج پیش از این نیز توسط پژوهشگران دیگری گزارش شده است (Jajarmi, Shekari et al., 2000; Majidi, 2012; 2012). سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین پارامترهای جوانه‌زنی است که نقش مهمی در استقرار گیاه در مزرعه دارد. همان‌طور که بیان شد نتیجه افزایش شدت تنش آبی کاهش ورود آب به بذر و در نهایت کاهش هدایت هیدرولیکی است که در نتیجه آن فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی تحت تأثیر قرار گرفته و میزان و یا سرعت انجام آنها کاهش می‌یابد. به بیان بهتر اختلال در جذب آب باعث کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی داخل بذر خواهد شد و به متعاقب آن سرعت خروج ریشه‌چه نیز کاهش خواهد یافت (Jamil, 2005). میانگین مدت زمان جوانه‌زنی در اثر بروز تنش آبی افزایش معنی‌داری را نشان داد که این موضوع با توجه به کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی قابل توجه است (Pasandideh et al., 2014; Khajeh Hosseini et al., 2003). در واقع کاهش میزان پویایی ذخایر بذر و یا کاهش تبدیل ذخایر پویا شده باعث افزایش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی خواهد شد (Soltani et al.,

2006). در شرایط تنش شدید ضریب سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش معنی‌داری را نشان داد. ضریب سرعت جوانه‌زنی مشخصه شتاب و سرعت جوانه‌زنی بذرها است (Scott et al., 1984). لذا کاهش ضریب سرعت جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش به دلیل کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی است. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در آزمایش‌های جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر است. در واقع به دلیل اینکه این شاخص بر اساس مشخصات گیاهچه و همچنین درصد جوانه‌زنی برآورد می‌شود، می‌تواند معیار دقیق‌تری از جوانه‌زنی سریع و یکنواخت در مزرعه و همچنین گیاهچه‌های با وزن خشک بالاتر را ارائه دهد (Dhanda et al., 2004). بذرهایی که از شاخص بنیه بیشتری برخوردار باشند علاوه بر قدرت قابل توجه سبز شدن در شرایط مزرعه، سریع‌تر بر روی خاک سایه‌اندازی نموده و همچنین قدرت بیشتری نیز در مقابله با علف‌های هرز خواهند داشت (Hamidi et al., 2005). در پژوهش حاضر در شرایط تنش شدید آبی، شاخص بنیه گیاهچه کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۲). بنیه گیاهچه تحت تاثیر عوامل متعددی مانند عوامل ژنتیکی، محیط، وضعیت تغذیه‌ای گیاه مادر، درجه بلوغ در هنگام برداشت، وزن و اندازه بذر، آسیب‌های مکانیکی، فساد، پیری و عوامل بیماری‌زا قرار دارد (Terkony and Egli, 1991). با توجه به مطالب بیان شده و اهمیت شاخص بنیه بذر به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های جوانه‌زنی، در مرحله بعد ارزیابی حساسیت ارقام و لاین‌ها به تنش آبی بر اساس این شاخص انجام شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین شاخص بنیه بذر در شرایط نرمال و تنش شدید در ارقام سورگوم شیرین، قلمی هرات، اسپیدفید مغان و جامبو و لاین‌های شماره ۱۹ و ۲۶ مشاهده شد (جدول ۳). کمترین مقدار شاخص SSI و شاخص کاهش ویگور و بیشترین مقدار شاخص تنش جوانه‌زنی نیز در لاین‌های شماره ۲۶، ۶، ۲۲، ۷ و ۹ مشاهده شد که بیانگر حساسیت کمتر این لاین‌ها به تنش است (جدول ۳). به طور کلی بهترین شاخص‌ها برای تشخیص متحمل‌ترین ارقام آن‌هایی هستند که بیشترین همبستگی را با شاخص مورد بررسی در هر دو شرایط داشته باشند. در پژوهش حاضر شاخص STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با ویگور بذر در هر دو شرایط نرمال ($r^{**}=0.92$) و شرایط تنش ($r^{**}=0.95$) بود (نتایج نشان داده نشده‌اند)، لذا این شاخص به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته شد. این نتایج پیش از این نیز در بررسی واکنش جوانه‌زنی ۶۰ رقم گندم به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی گزارش شده است (Ghasemi and Mostajersn, 2014) بر اساس شاخص STI ارقام سورگوم شیرین، قلمی هرات، جامبو، اسپیدفید مغان و لاین شماره ۱۹ به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. در مرحله بعد برای شناسایی دقیق‌تر ژنوتیپ‌های متحمل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اول در مجموع ۹۹/۶ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (جدول ۴). مؤلفه اول ۷۴/۱٪ از کل تغییرات را توجیه نمود و دارای همبستگی بالایی با ویگور بذر در شرایط نرمال و تنش، شاخص تنش جوانه‌زنی و شاخص تحمل بود (جدول ۴). مؤلفه دوم نیز دارای همبستگی مثبت با ویگور بذر در شرایط نرمال، شاخص کاهش ویگور بذر و شاخص تحمل بود (جدول ۴). با توجه به اینکه هرچه شاخص کاهش ویگور در شرایط تنش کمتر باشد، نشان دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش است، می‌توان بیان داشت که ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه با مؤلفه اول بیشتر باشند، تحمل بیشتری به تنش خواهند داشت. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده مؤلفه دوم دارای همبستگی منفی با شاخص تنش جوانه‌زنی بود که مقادیر بیشتر این شاخص بیانگر حساسیت کمتر به شرایط تنش است، لذا ژنوتیپ‌های با مؤلفه دوم کمتر، درصد کاهش کمتر ویگور بذر در شرایط تنش را داشتند. به طور کلی ارقام سورگوم شیرین، قلمی هرات، اسپیدفید مغان، لاین شماره ۱۹، اسپیدفید و پگاه به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی می‌شوند. همچنین لاین‌های شماره ۶، ۹، ۲۲، ۲۶ و رقم سیستان کمترین حساسیت را به شرایط تنش داشتند.

جدول ۳: مقادیر ویگور بذر در شرایط نرمال و تنش شدید و مقادیر شاخص‌های تحمل و درصد تغییرات در شرایط تنش

Line/Cultivar	Vip	VIs	SSI	STI	GSI (%)	RVI
KDFGS1 (1)	۳۳/۷۳	۱۵/۲۲	-/۸۹	-/۵۵	۴۵/۶۱	۵۴/۳۹
KDFGS2 (2)	۳۲/۰۷	۱۳/۳۷	-/۹۵	-/۴۶	۴۱/۶۹	۵۸/۳۱
KDFGS3 (3)	۳۲/۱۹	۹/۵۲	۱/۱۵	-/۳۳	۲۹/۵۷	۷۰/۴۳
KDFGS4 (4)	۲۰/۷۸	۷/۶۱	۱/۰۴	-/۱۷	۳۶/۶۲	۶۳/۳۸
KDFGS5 (5)	۲۴/۰۴	۱۰/۵۳	-/۹۲	-/۲۷	۴۳/۸	۵۶/۲
KDFGS6 (6)	۲۷/۵۹	۱۴/۳۶	-/۷۹	-/۴۳	۵۲/۰۵	۴۷/۹۵
KDFGS7 (7)	۲۲/۸۳	۱۱/۲۵	-/۸۳	-/۲۸	۴۹/۲۸	۵۰/۷۲
KDFGS8 (8)	۲۰/۵۱	۹/۴۲	-/۸۹	-/۲۱	۴۵/۹۳	۵۴/۰۷
KDFGS9 (9)	۳۲/۴۲	۱۵/۶۴	-/۸۵	-/۵۵	۴۸/۲۴	۵۱/۷۶
KDFGS10 (10)	۲۱/۵۵	۹/۵۶	-/۹۱	-/۲۲	۴۴/۳۶	۵۵/۶۴
KDFGS11 (11)	۲۱/۹۲	۱۰/۰۶	-/۸۹	-/۲۴	۴۵/۸۹	۵۴/۱۱
KDFGS12 (12)	۳۳/۱۱	۱۱/۷۹	۱/۰۵	-/۴۲	۳۵/۶۱	۶۴/۳۹
KDFGS13 (13)	۲۳/۹۸	۹/۶۸	-/۹۸	-/۲۵	۴۰/۳۷	۵۹/۶۳
KDFGS14 (14)	۲۴/۳	۴/۵۷	۱/۳۳	-/۱۲	۱۸/۸۱	۸۱/۱۹
KDFGS15 (15)	۳۰/۹	۷/۴۴	۱/۲۴	-/۲۵	۲۴/۰۸	۷۵/۹۵
KDFGS16 (16)	۳۹/۶۸	۱۴/۱۶	۱/۰۵	-/۶	۳۵/۶۹	۶۴/۳۱
KDFGS17 (17)	۲۶/۳۸	۵/۶۲	۱/۲۹	-/۱۶	۲۱/۳	۷۸/۷
KDFGS18 (18)	۲۷/۸۳	۱۳/۳۹	-/۸۵	-/۴	۴۸/۱۱	۵۱/۸۹
KDFGS19 (19)	۴۰/۸۱	۱۷/۵	-/۹۴	-/۷۷	۴۲/۸۸	۵۷/۱۲
KDFGS20 (20)	۳۲/۱۲	۱۰/۸	۱/۰۹	-/۳۷	۳۳/۵۳	۶۶/۴۷
KDFGS21 (21)	۲۶/۲۱	۴/۳۹	۱/۳۶	-/۱۲	۱۶/۷۵	۸۳/۲۵
KDFGS22 (22)	۲۹/۱	۱/۷۲	-/۸۱	-/۴۶	۵۰/۵۸	۴۹/۴۲
KDFGS23 (23)	۳۴/۰۶	۱۰/۷۳	۱/۱۲	-/۳۹	۳۱/۵	۶۸/۵
KDFGS24 (24)	۲۲/۵۲	۶/۶۵	۱/۱۵	-/۱۶	۲۹/۵۳	۷۰/۴۷
KDFGS25 (25)	۲۱/۷۹	۴/۲۲	۱/۳۲	-/۱	۱۹/۳۷	۸۰/۶۳
KDFGS26 (26)	۳۲/۲۳	۱۷/۷۳	-/۷۴	-/۶۱	۵۵/۰۱	۴۴/۹۹
KDFGS27 (27)	۳۶/۰۹	۱۳/۴۶	۱/۰۳	-/۵۲	۳۷/۰۳	۶۲/۷
KDFGS28 (28)	۲۳/۰۳	۷/۵۹	۱/۱	-/۱۹	۳۲/۹۶	۶۷/۰۴
KDFGS29 (29)	۲۳/۹۵	۵/۲۵	۱/۲۸	-/۱۴	۲۱/۹۲	۷۸/۰۸
KDFGS30 (30)	۲۳/۷	۱۰/۹۳	-/۸۸	-/۲۸	۴۶/۱۲	۵۳/۸۸
Jumbo (31)	۴۱/۹۴	۱۹/۴۱	-/۸۸	-/۸۸	۴۶/۲۷	۵۳/۷۳
Nectar (32)	۳۹/۵۵	۱۵/۴۴	۱	-/۰۶۶	۳۹/۰۴	۶۰/۹۶
Speed-feed (33)	۳۹/۱۳	۱۷/۳۲	-/۹۱	-/۷۳	۴۴/۲۶	۵۵/۷۴
Sistan (34)	۲۹/۶۹	۱۴	-/۸۷	-/۴۵	۴۷/۱۵	۵۲/۸۵
Ghalami-Herat (35)	۴۲/۹۲	۱۹/۳۲	-/۹	-/۸۹	۴۵/۰۱	۵۴/۹۹
Pegah (36)	۳۸/۹۳	۱۶/۷۱	-/۹۳	-/۷	۴۲/۹۲	۵۷/۰۷
KFS1 (37)	۲۲/۱۹	۷/۸۸	۱/۰۶	-/۱۹	۳۵/۵۱	۶۴/۴۹
KFS2 (38)	۳۷/۸	۱۴/۳۲	۱/۰۲	-/۵۸	۳۷/۸۸	۶۲/۱۲
KFS4 (39)	۲۳/۱۹	۸/۴۹	۱/۰۴	-/۲۱	۳۶/۶۱	۶۳/۳۹
Broom corn (40)	۲۷/۸۵	۹/۴۶	۱/۰۸	-/۲۸	۳۳/۹۷	۶۶/۰۳
Sweet sorghum (41)	۴۴/۰۴	۱۹/۴۶	-/۹۱	-/۹۲	۴۴/۱۹	۵۵/۸۱
Kimia (42)	۳۹/۸۲	۱۳/۰۳	۱/۱	-/۵۶	۳۲/۲۲	۶۷/۲۸
Speed-feed (Moghan) (43)	۴۲/۷۵	۱۸/۳۸	-/۹۳	-/۸۵	۴۲/۹	۵۷/۰۱
	۶/۴	۵/۲	-	-	-	-

Vip: ویگور در شرایط نرمال، VIs: ویگور در شرایط تنش، RVI: شاخص کاهش ویگور در شرایط تنش، GSI: شاخص تنش جوانه‌زنی، STI: شاخص تحمل به تنش.

لاین‌های شماره ۱۴، ۱۷، ۲۱، ۲۵ و ۲۹ نیز با دلیل قرار گرفتن در ناحیه سمت چپ و بالا بیشترین درصد کاهش ویگور در شرایط تنش شدید را داشتند (شکل ۱). استفاده از تجزیه به مرله‌های اصلی و رسم بای‌پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های کلزا در مرحله جوانه‌زنی به تنش آبی پیش از این نیز توسط مجیدی (Majidi, 2012) نیز انجام شده است.

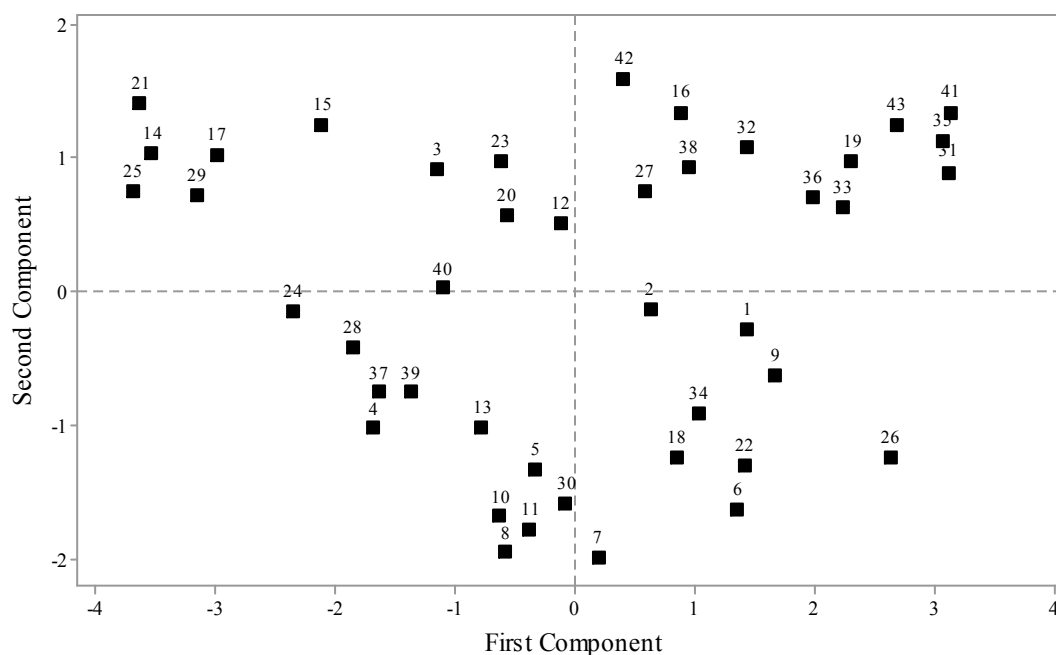
نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج به دست آمده تنوع گسترده‌ای از نظر واکنش به تنش آبی در مرحله جوانه‌زنی بین ارقام و لاین‌های سورگوم مشاهده شد. به طور کلی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ارقام سورگوم شیرین قلمی هرات، اسپیدفید مغان، اسپیدفید و پگاه با توجه به داشتن ویگور بالا در هردو شرایط نرمال و تنش شدید به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در بین لاین‌ها نیز لاین شماره ۱۹ (KDFGS19) برای هردو شرایط مناسب تشخیص داده شد. لاین‌های شماره ۱، ۶، ۹، ۲۲ و ۲۶ نسبت به لاین‌های دیگر از ثبات نسبی بیشتری در شرایط تنش شدید برخوردار بودند که در نتیجه می‌توان این لاین‌ها را برای پژوهش‌های اصلاحی آینده توصیه نمود. ارزیابی تحمل به تنش نشان داد شاخص STI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص بنیه بذر در شرایط عدم تنش و تنش شدید بود.

جدول ۴: نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس شاخص ویگور بذر و شاخص‌های مورد بررسی

PC	EV	V (%)	V _{lp}	V _{is}	RVI	GSI	STI
PC1	۳/۷	۰/۷۴۱	۰/۳۸	۰/۵۱	-۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۴۷
PC2	۱/۲	۰/۲۵۵	۰/۵۸	۰/۰۹	۰/۵۱	-۰/۵۱	۰/۳۳

PC: مؤلفه‌های اصلی، V: واریانس، EV: مقادیر ویژه، V_{lp}: ویگور در شرایط نرمال، V_{is}: ویگور در شرایط تنش، RVI: شاخص کاهش ویگور در شرایط تنش، GSI: شاخص تنش جوانه‌زنی، STI: شاخص تحمل به تنش



شکل ۱: تجزیه بای‌پلات با استفاده از شاخص‌های جوانه‌زنی و تحمل در ۴۳ لاین و رقم سورگوم

بر اساس دو مؤلفه اول. اسامی لاین‌ها و ارقام در جدول ۳ ارائه شده است.

Reference

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Sci.* 13: 630-633.
- Atak, M., Kaya, M.D., Kaya, G., Çikili, Y. and Ciftci, C.Y. 2006. Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. *Turk J. Agri. For.* 30: 39-47.

- Bagheri Kazemabad, A. and Sarmadnia, Gh. 2007.** Studying ability to use polyethylene glycol 6000 to study drynees in (*Onobrychis Viciolis* scoop) in plantlet stage. *Agric. Res. Sci. Mag.* 5(1): 1-9.
- Bouslama, M. and Schapaugh, W.T. 1984.** Stress tolerance in soybeans. 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci.* 24: 933-937.
- Bradford, K. J. 1986.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hortic. Sci.* 21: 1105-1112.
- Devnarian, N., Crampton, B.G., Chikwamba, R., Becker, J.V.W. and O'Kennedy, M.M. 2016.** Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. *South African J. Bot.* 103: 61-69.
- Ebadi, M.T., Azizi, M. and Farzaneh, A. 2011.** Effect of drought stress on germination factors of four improved cultivars of german Chamomile (*Matricaria recutita* L.). *J. Plant Pro.* 18(2): 119-132.
- Dhanda, S., Sethi, G. and Behl, R. 2004.** Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *JAC.* 190: 6-12.
- Emam, Y. 2013.** *Cereal Crop Production* (1st edition). Iran University Press. 190p.
- FAO, 2015.** FAOSTAT online database. <http://faostat.fao.org>.
- Fernandez, G.C.J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceeding of Crop Symposium*, 13-18 Aug., Taiwan, pp: 257-270.
- Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Ghasemi, H.R., and Mostajeran, A. 2014.** Effect of NaCl on germination and early growth of 60 wheat cultivars. *J. Seed Res.* 4(4): 14-26.
- Hamidi, A., Rezazadeh, J. and Asgari, V. 2005.** Study on relationship of hybrid maize (*Zea mays* L. cv. Single Cross 704) field seedling emergence and some related laboratorial measures traits. *Seed and Plant*, 21: 213-240.
- Jafarnejad, A., and Rahchamani, A.A. 2015.** Effect of different levels of water potential on germination stages and seedling of 4 canola cultivars. *Iranian J. Field Crops Res.* 12(4): 852-861.
- Jajarmi, V. 2012.** Effect of drought stress on germination indices in seven wheat cultivars (*T. aestivum* L.). *J. Agronomy and Plant Breeding*, 8(4): 183-192.
- Jamil, M., Lee, C.C., Rehman, S.U., Lee, D.B., Ashraf, M. and Rha, E.S. 2005.** Salinity (NaCl) tolerance of *Brassica* species at germination and early seedling growth. *EJEAF Che.* 4: 970-976.
- Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikli, Y. and Kolsarıcı, O. 2006.** Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Eur. J. Agronomy.* 24 (4), 291-295.
- Khajeh hosseini, A., Powell, A. and Bingham, I.J. 2003.** The interaction between salinity stress and vigour during germination of soybean seeds. *Seed Sci. Technol.* 31: 715-725.
- Maguire, J.D. 1962.** Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177.
- Majidi, M.M. 2012.** Identification of Canola Cultivars for Drought Tolerance in Germination and Seedling Growth Stages Using Principal Component Analysis. *J. Crop Prod. Proc.* 2(4): 41-51.
- Neto, N.B.M., Saturnino, S.M., Bomfim, D.C. and Custodio, C.C. 2004.** Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars. *Brazilian Bio. Tech.* 47: 521- 529.
- Patane, C., Cavallaro, V. and Cosentino, S.L. 2009.** Germination and radicle growth in unprimed and primed seeds of sweet sorghum as affected by reduced water potential in NaCl at different temperatures. *Industrial Crops. products*, 30:1-8.
- Pasandideh, H., Seyed Sharifi, R., Hamidi, A., Mobasser, S. and Sedghi, M. 2014.** Relationship of seed germination and vigour indices of commercial soybean (*Glycine max* L.) cultivars with seedling emergence in field. *Iranian J. seed sci. Res.* 1(1):29-50.
- Ramezani, M. and Rezaei Sokht-Abandani, R. 2011.** Effect of priming on the characteristics of quality grain Sorghum seed germination (Kimia). *J. Seed Sci. Tech.* 3(2):1-12.
- Saadat, S. and Homae, M. 2015.** Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. *Agric. Water Management.* 152:119-124.
- Scott, S.J., Jones, R.A. and Williams, W.A. 1984.** Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Sci.* 24:1192-1199.
- Shekari, F, Khoie, R., Javanshir, A., Alyari, H. and Shkiba, M.R. 2000.** Effect of Sodium chloride salinity on germination of rapeseed cultivars. *Turkish J. Field Crops* 5: 21-28.
- Soltani, A., Ghalipoor, M., and Zeinali, E., 2006.** Seed reserve utilization and seedling of wheat as affected by drought and salinity. *J. Environ. Expe. Botany.* 55: 195-200.

- Tekrony, D.M. and Egli, D.B. 1991.** Relationship of seed vigor to crop yield; a review. *Crop Sci.* 31:816-822.
- Wani, S.P., Albrizio, R. and Vajja, N.R. 2012.** Sorghum. In: Steduto, P., Hsaio, T.C., Fereres, E., Raes, D. (Eds.), *Crop yield response to water stress*. FAO Irrigation and Drainage Paper 66, pp. 144–151.
- Yan, M. 2015.** Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. *South African J. Botany*, 99:88-92.