

مطالعه واکنش جوانه‌زنی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای به تغییرات دما

زهرا خدارحم‌پور*

استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

* نویسنده مسئول: Zahra_khodarahm@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۲۲

چکیده

پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین اهداف محققان بذر است. بنابراین، به منظور ارزیابی دماهای کاردینال و بررسی واکنش لاین‌های امید بخش سورگوم علوفه‌ای به دما، این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، ۱۵ لاین سورگوم علوفه‌ای و نه دمای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مؤلفه‌های جوانه‌زنی مورد بررسی برای فاکتور لاین، دما و برهمکنش لاین در دما معنی‌دار شدند. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و کم‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D_{95}) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بافت دما از ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب سرعت جوانه‌زنی و D_{95} به تدریج کاهش و افزایش یافتند. دمای پایه‌ی (T_b) لاین‌های سورگوم علوفه‌ای از ۹/۳۶ (KFS_{11}) تا ۱۴/۲۸ (KFS_2) درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه (T_0) از ۲۳ (KFS_2) تا ۳۷/۲ (KFS_{11}) درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه (T_c) از ۴۰/۷ (KFS_2) تا ۴۹/۷۶ (KFS_{15}) درجه سانتی‌گراد متغیر بود. تجزیه کلاستر به روش وارد بر اساس ۷ صفت مورد مطالعه باعث تشکیل سه کلاستر شد. کلاستر سوم شامل لاین‌های KFS_6 ، KFS_7 ، KFS_9 و KFS_{10} با بیش‌ترین درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و کم‌ترین D_{95} به‌طور مشترک در دماهای ۲۵، ۳۰، ۳۵ و بعضاً ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود؛ بنابراین این لاین‌ها برای تحقیقات تکمیلی توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: سورگوم علوفه‌ای، مؤلفه‌های جوانه‌زنی و دماهای کاردینال.

مقدمه

دما یکی از عوامل مؤثر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی است (Riemens *et al.*, 2004). اثر دما بر جوانه‌زنی را می‌توان برحسب دماهای کاردینال یعنی دمای کمینه، بهینه و بیشینه که فرآیند جوانه‌زنی در آن‌ها رخ می‌دهد، بیان کرد. دمای مناسب دمایی است که در آن بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین دوره زمانی انجام می‌شود. جوانه‌زنی نه تنها دمای پایه دارد بلکه هر یک از مراحل آن نیز دمای پایه ویژه به خود را دارا است. بنابراین واکنش نسبت به دما ممکن است در طی جوانه‌زنی متفاوت باشد (حجازی، ۱۳۷۳). مرحله جوانه‌زنی در تعیین تراکم بوته در واحد سطح اهمیت زیادی دارد. تراکم کافی زمانی به دست می‌آید که بذرها کشت شده به‌طور کامل و با سرعت کافی جوانه بزنند (باقری کاظم آبادی و همکاران، ۱۳۶۷). جوانه‌زنی بذر در شرایط رطوبت مناسب بسیار به دما وابسته است. دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم کمون بر ظرفیت جوانه‌زنی و هم‌چنین بر سرعت جوانه‌زنی بذرها بدون کمون اثر می‌گذارد (Kebreab and Murdoch, 2001). سورگوم از نظر اهمیت در بین غلات در دنیا، بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد و در بعضی از کشورها از جمله سودان در مقام اول و در ایالات متحده آمریکا، بعد از گندم و ذرت در مقام سوم قرار گرفته است (House, 1985). سورگوم علوفه‌ای چنان‌که از نام آن برمی‌آید برای مصرف علوفه به‌صورت سیلو، چرای مستقیم و یا برداشت به‌صورت علوفه تر یا خشک جهت مصرف در خارج از مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. وارپته‌هایی با ظرفیت تولید بالا و مناسب شرایط آب و هوایی ایران، در ۲-۳ چین، ۱۰۰ تا ۱۵۰ تن در هکتار علوفه تر تولید می‌کنند که ۲۵-۲۰ درصد آن علوفه خشک است. با توجه به کمبود علوفه جهت تولید فرآورده‌های دامی در ایران، لازم است گیاهان علوفه‌ای با ظرفیت تولید بالا و کیفیت مطلوب کشت گردند. در این میان سورگوم علوفه‌ای از ظرفیت تولید بیش‌تری برخوردار بوده، گرچه عملکرد آن همانند اکثر گیاهان زراعی تحت اثر شرایط محیطی قرار می‌گیرد، ولی سازگاری خوبی با شرایط اقلیم‌های مختلف دارد و با تعداد چین‌برداری و نحوه مصارف گوناگون جایگاه خاصی دارد (فومن، ۱۳۸۹). Wade و همکاران (۱۹۹۳) ویژگی‌های جوانه‌زنی ۱۶ هیبرید سورگوم مختلف در دماهای ثابت را بررسی کردند و گزارش دادند که اختلاف دمای پایه هیبریدهای مورد مطالعه تا چهار درجه سانتی‌گراد است. علی‌رغم این گزارش‌ها تحقیقاتی انجام شده که حاکی از تفاوت‌های محدود ژنوتیپ‌های متعلق به یک گونه از نظر دمای پایه است. Blumental و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که تغییرات دمای پایه شش ژنوتیپ شدر پنجه کلاغی (*Lotus sp.*) بین ۱/۰۱ و ۶/۳۸ درجه سانتی‌گراد بود که نشانگر اختلاف بسیار چشم‌گیر دمای پایه ژنوتیپ‌های گونه مورد مطالعه است. غلامی‌تیلبنی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی ۱۵ ژنوتیپ برنج در نه سطح دمایی ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۳، ۳۶ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند که دمای پایه ۱۱/۶۹ - ۱۰/۰۶، دمای بهینه ۳۲/۹۷-۳۰/۴۲ و دمای بیشینه ۴۳/۸۴-۴۰/۱۵ به‌دست آمد. هدف از این مطالعه

بررسی واکنش جوانه‌زنی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای به دما و ارزیابی دماهای کاردینال برای درصد و سرعت جوانه‌زنی این ژنوتیپ‌ها و همچنین بررسی تنوع ژنتیکی بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر مؤلفه‌های جوانه‌زنی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه آزاد اسلامی واحد جامع شوشتر اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار صورت پذیرفت. در این تحقیق جوانه‌زنی ۱۵ لاین سورگوم علوفه‌ای شامل $KFS_1, KFS_2, KFS_3, KFS_6, KFS_7, KFS_8, KFS_9, KFS_{10}, KFS_{11}, KFS_{12}, KFS_{13}, KFS_{15}$ ، KFS_{16} و KFS_{18} (ارسالی از بخش گیاهان علوفه ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج) و در ۱۰ سطح دمای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد در محیط کشت پتری‌دیش در انکوباتور مدل INC 108 با دقت ± 0.5 درجه سانتی‌گراد مطالعه شد.

برای انجام آزمایش جوانه‌زنی بذور از روش استاندارد جوانه‌زنی استفاده شد (ISTA, 1996). برای ضدعفونی بذرها از محلول هیپوکلریت سدیم ۱/۱٪ و قارچ کش بنومیل دو در هزار به ترتیب به مدت سه دقیقه و ۳۰ ثانیه استفاده شد و سپس بذور چند بار با آب مقطر شستشو داده شد. جهت ضدعفونی پتری‌دیش و کاغذ صافی، این وسایل به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در هر پتری‌دیش ۹ سانتی‌متری، ۲۵ عدد بذر ضدعفونی شده روی یک کاغذ صافی واتمن قرار داده و هفت میلی‌لیتر آب مقطر به محیط پتری‌دیش اضافه شد. پتری‌دیش‌ها درون دستگاه ژرمیناتور با تنظیم دمای مورد نظر قرار گرفت. ۲۴ ساعت پس از مرطوب نمودن، شمارش بذور جوانه‌زده برای روزهای متوالی در یک ساعت خاص آغاز شد و این کار تا زمانی که دو روز پیاپی جوانه جدیدی خارج نشود ادامه یافت. معیار بذور جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر بود. در طول آزمایش در صورت نیاز آب مقطر به پتری‌دیش‌ها اضافه شد.

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی بذور از برنامه Germin استفاده شد که این برنامه D_{10} (مدت زمانی (بر حسب ساعت) که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد) و D_{95} (مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۵ درصد حداکثر خود برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه این پارامتر را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Soltani et al., 2006). به منظور توصیف روابط بین دما و سرعت جوانه‌زنی و برآورد دماهای کاردینال (پایه، بهینه و بیشینه) از رگرسیون خطی استفاده شد.

$$R_{50} = \frac{1}{D_{50}} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

شایان ذکر است ۱۰ دمای ثابت در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت اما چون در دمای ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی صورت نگرفت. بنابراین این دو دما برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در نظر گرفته نشدند. قبل از تجزیه واریانس تبدیل آرک سینوس برای داده‌های درصد جوانه‌زنی انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال یک درصد و رگرسیون خطی با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۱، اثر لاین، دما و برهمکنش لاین در دما بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D_{95}) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. از نتایج به‌دست آمده چنین استنباط می‌شود که در غیاب سایر عوامل محدودکننده جوانه‌زنی بذور سورگوم علوفه‌ای توسط دما کنترل می‌شود و معنی‌دار بودن برهمکنش لاین در دما برای کلیه صفات حاکی از واکنش متفاوت ویژگی‌های جوانه‌زنی لاین‌های مختلف به تغییرات دمای محیط است، که با نتایج سایر محققان از جمله غلامی‌تیله‌بنی و همکاران (۱۳۹۰) بر ۱۵ رقم برنج، Kamaha و Maguire (۱۹۹۲) بر شش رقم گندم و Seefeldt و همکاران (۲۰۰۲) روی ارقام گندم بهاره مطابقت داشت. بنابراین، میانگین تغییرات هر یک از این صفات در کل لاین‌ها قابل تعمیم به یکایک لاین‌های مورد مطالعه است. هم‌چنین با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش نمی‌توان ویژگی‌های جوانه‌زنی لاین‌ها را بر اساس مقدار میانگین کل تیمارهای دمایی با یکدیگر مقایسه کرد.

جدول ۱: تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر دما بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای

| منابع تغییرات | درجه آزادی | درصد جوانه‌زنی | سرعت جوانه‌زنی | یکنواختی جوانه‌زنی | مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D_{95}) |
|---------------------|------------|----------------|----------------|--------------------|---|
| لاین | ۱۴ | ۱۰۱۸/۴۷** | ۰/۰۰۰۹۰** | ۴۶۶/۵۴** | ۱۰۹۷/۶۰** |
| دما | ۶ | ۲۰۵۵/۱۳** | ۰/۰۲۰۵** | ۸۵۸۸/۵۷** | ۵۶۸۲۹/۷۱** |
| دما × لاین | ۸۴ | ۷۰/۵۰* | ۰/۰۰۰۲۳** | ۲۴۱/۳۸* | ۴۵۷/۹۸** |
| خطا | ۳۱۴ | ۴۸/۲۶ | ۰/۰۰۰۰۷ | ۱۷/۷۸ | ۲۶/۱۲ |
| ضریب تغییرات (درصد) | | ۱۴/۱۹ | ۲۰ | ۵/۵ | ۱۰/۶۰ |

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

درصد جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در لاین‌های KFS_6 ، KFS_7 ، KFS_9 و KFS_{10} به ترتیب به میزان ۵۴/۳۸، ۵۳/۷۵، ۵۵/۲۶ و ۵۱/۶۱ درصد بود (جدول ۲). هم‌چنین بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد با ۵۴/۳۳ و ۵۳/۸۱ درصد انجام شد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز با ۵۲/۴۲ درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری با دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد نداشت. در دماهای کم‌تر از ۲۰ و بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد درصد

جوانه‌زنی کاهش یافت؛ به طوری که با کاهش دما از ۲۰ به ۱۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی نزدیک به ۸۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲).

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر اصلی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای و دماهای مختلف برای مؤلفه‌های جوانه‌زنی

| فاکتور | درصد جوانه‌زنی | سرعت جوانه‌زنی (تعداد در ساعت) | یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) | مدت زمان برحسب ساعت تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D ₉₅) |
|-------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| KFS ₁ | ۴۳/۱۹cd | ۰/۰۳def | ۴۴/۷۹abc | ۶۸/۵۸a |
| KFS ₂ | ۳۳/۵۴ef | ۰/۰۳f | ۴۴/۹۵abc | ۷۴/۰۸a |
| KFS ₃ | ۴۳/۸۲cd | ۰/۰۳۵ef | ۴۷/۸۹ab | ۷۰/۳۵a |
| KFS ₆ | ۵۴/۳۸a | ۰/۰۴۸ab | ۳۷/۲۰abc | ۶۳/۸۴abcd |
| KFS ₇ | ۵۳/۷۵a | ۰/۰۵۲a | ۳۳/۳۲c | ۵۲/۲۳d |
| KFS ₈ | ۴۸/۰۲bc | ۰/۰۴۹ab | ۳۶/۷۱bc | ۵۳/۷۹bcd |
| KFS ₉ | ۵۵/۲۶a | ۰/۰۴۶bc | ۳۷/۸۵abc | ۵۳/۱۶cd |
| KFS ₁₀ | ۵۱/۶۱ab | ۰/۰۴۵bc | ۳۹/۹۵abc | ۶۴/۴۸abcd |
| KFS ₁₁ | ۴۲/۵۱cd | ۰/۰۴۳bcd | ۳۹/۶۷abc | ۶۶/۰۹abc |
| KFS ₁₂ | ۴۳/۰۳cd | ۰/۰۳۷def | ۴۳/۲۹abc | ۶۶/۹۶abc |
| KFS ₁₃ | ۳۸/۹۹de | ۰/۰۳۶ef | ۴۸/۸۵ab | ۷۴/۰۷a |
| KFS ₁₅ | ۳۸/۷۸de | ۰/۰۳۵ef | ۴۷/۷۶ab | ۷۴/۵۳a |
| KFS ₁₆ | ۳۵/۴۲ef | ۰/۰۳۵ef | ۵۰/۷۹a | ۷۴/۴۱a |
| KFS ₁₇ | ۳۱/۷۶f | ۰/۰۴cde | ۴۰/۸۲abc | ۷۲/۶۴a |
| KFS ₁₈ | ۳۵/۲۴ef | ۰/۰۳۳ef | ۴۲/۹۸abc | ۶۷/۲۳ab |
| ۱۰ | ۹/۱۸e | ۰/۰۰۳f | ۷۵/۰۷a | ۱۴۰/۵۰a |
| ۱۵ | ۴۹/۵۷bc | ۰/۰۱۵e | ۶۸/۷۰a | ۱۳۳/۴۰a |
| ۲۰ | ۵۲/۴۲ab | ۰/۰۲۶d | ۴۴/۳۹b | ۷۷/۹۸b |
| ۲۵ | ۵۴/۳۳a | ۰/۰۴۹c | ۳۷/۸۲bc | ۵۲/۷۷c |
| ۳۰ | ۵۳/۸۱a | ۰/۰۶۲b | ۳۵/۳۴cd | ۴۶/۳۴c |
| ۳۵ | ۴۷/۴۲c | ۰/۰۶۱b | ۳۹/۴۸bc | ۵۱/۲۵c |
| ۴۰ | ۳۶/۲۶d | ۰/۰۶۶a | ۲۹/۰۱d | ۳۶/۸۴d |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

بنابراین اگر شرایط کاشت بذر طوری باشد که جوانه‌زنی در دماهای کم‌تر از ۲۰ و بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام شود، باید مقدار بذر بیش‌تری کاشته شود. غلامی‌تیله‌بندی و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه روی ۱۵ رقم برنج گزارش کردند که در دماهای کم‌تر از ۲۰ و بالاتر از ۳۳ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی به‌طور چشمگیری کاهش یافت. نتایج برهمکنش لاین در دما نشان داد که لاین KFS₉ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد حائز بالاترین رتبه درصد جوانه‌زنی شد (جدول ۳). همچنین در سایر دماهای مورد بررسی بجز دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد با بالاترین رتبه اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین لاین‌هایی از قبیل KFS₇، KFS₆، KFS₁₀ و KFS₈ در اغلب دماها با بالاترین گروه اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی

بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در لاین KFS₇ و پس از آن لاین‌های KFS₆ و KFS₈ به ترتیب به میزان ۰/۰۵۲، ۰/۰۴۸ و ۰/۰۴۹ تعداد در ساعت مشاهده شد (جدول ۲). بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به تعداد ۰/۰۶۶

تعداد در ساعت و پس از آن به ترتیب در دماهای ۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. با افت دما از ۴۰ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی نیز به تدریج کاهش یافت (جدول ۲). غلامی‌تیله‌بندی و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه روی ۱۵ ژنوتیپ برنج گزارش کردند که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد و در دماهای بالا و پایین‌تر از این دما، سرعت جوانه‌زنی کم‌تر بود. نتایج برهمکنش لاین در دما در جدول ۴ نشان داد که لاین KFS₇ در دماهای ۲۵، ۳۰ و به ویژه ۴۰ درجه سانتی‌گراد دارای سرعت جوانه‌زنی در بالاترین رتبه بود.

جدول ۳: مقایسه میانگین برهمکنش درصد جوانه‌زنی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای در دماهای مختلف (درجه سانتی‌گراد)

| لاین | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| KFS ₁ | ۰y | ۵۲/۴۴a-o | ۵۱/۶۷a-p | ۵۹/۸۲a-i | ۵۱/۶۱a-p | ۵۱/۶۳a-p | ۳۵/۱۷n-s |
| KFS ₂ | ۰y | ۴۷/۷۳c-r | ۵۱/۷۴a-p | ۳۴/۲۰o-u | ۴۳/۸۷j-p | ۲۹/۸۳l-t | ۱۷/۳۷u |
| KFS ₃ | ۰y | ۵۹/۱۰a-z | ۵۱/۹۳a-p | ۵۰/۰۸b-q | ۵۲/۱۶a-o | ۵۵/۰۱a-m | ۳۳/۴۳l-t |
| KFS ₆ | ۲۹/۲۲r-x | ۵۸/۱۱a-k | ۵۹/۲۴a-j | ۵۹/۰۴a-j | ۶۵/۶۳a-d | ۵۷/۲۴a-l | ۵۲/۱۶a-o |
| KFS ₇ | ۲۸/۲۱s-x | ۵۶/۴۴a-m | ۵۴/۰۹a-m | ۵۸/۲۳a-k | ۶۸/۰۲ab | ۵۸/۱۱a-k | ۵۳/۱۷a-n |
| KFS ₈ | ۲۹/۰۲s-x | ۶۰/۷۴a-h | ۵۳/۹۸a-m | ۴۸/۵۰c-r | ۵۰/۸۰b-q | ۵۳/۱۷a-n | ۳۹/۹l-t |
| KFS ₉ | ۲۲/۰۲wx | ۵۵/۶۷a-m | ۵۹/۲۳a-i | ۶۹/۶۰a | ۶۴/۶۴a-e | ۶۲/۱۲a-f | ۵۳/۵۴a-n |
| KFS ₁₀ | ۱۴/۸۱xy | ۶۵/۸۷abc | ۶۰/۳۰a-h | ۵۶/۶۲a-m | ۶۲/۵۴a-f | ۵۵/۶۷a-m | ۴۵/۴۴f-r |
| KFS ₁₁ | ۱۴/۴۵xy | ۵۴/۸۸a-m | ۴۳/۸۱f-s | ۵۴/۹۸a-m | ۵۰/۲۲b-q | ۴۰/۰۲l-t | ۳۹/۱۷l-t |
| KFS ₁₂ | ۰y | ۵۳/۲۷a-n | ۴۷/۷۱c-r | ۶۱/۶۷a-f | ۵۶/۴۱a-m | ۴۷/۷۱c-r | ۳۴/۴۶o-s |
| KFS ₁₃ | ۰y | ۵۳/۴۷a-n | ۴۳/۸۶f-s | ۴۴/۶۱f-r | ۵۸/۹۵a-j | ۴۱/۵۰i-s | ۳۰/۵۴r-x |
| KFS ₁₅ | ۰y | ۵۴/۷۹a-m | ۴۱/۵۰i-s | ۵۵/۰۳a-m | ۴۷/۷۳c-r | ۴۰/۷۸j-t | ۳۱/۶۰r-u |
| KFS ₁₆ | ۰y | ۵۰/۲۲b-q | ۴۷/۷۷c-r | ۴۳/۱۱i-s | ۴۶/۹۴e-r | ۳۳/۵۲p-u | ۲۶/۳۸u-x |
| KFS ₁₇ | ۰y | ۳۹/۸۰i-t | ۳۸/۳۴m-t | ۴۴/۶۴e-r | ۴۳/۷۶f-s | ۳۲/۶۴q-u | ۲۳/۱۲w-x |
| KFS ₁₈ | ۰y | ۵۲/۴۴a-o | ۳۸/۴۳l-t | ۴۶/۲۰e-r | ۴۳/۸۴f-s | ۴۲/۳۱i-s | ۲۳/۴۸w-x |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

جدول ۴: مقایسه میانگین برهمکنش سرعت جوانه‌زنی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای در دماهای مختلف

(درجه سانتی‌گراد)

| لاین | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ |
|-------------------|--------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| KFS ₁ | - | ۰/۰۱۵v-z | ۰/۰۲۲t-z | ۰/۰۲۹q-z | ۰/۰۶۴a-i | ۰/۰۶۳a-j | ۰/۰۶۵a-i |
| KFS ₂ | - | ۰/۰۱۱z | ۰/۰۲۱u-z | ۰/۰۲۷s-z | ۰/۰۳۴o-x | ۰/۰۵۳g-n | ۰/۰۶۵a-i |
| KFS ₃ | - | ۰/۰۱۷v-z | ۰/۰۲۳t-z | ۰/۰۲۲p-y | ۰/۰۶۲a-j | ۰/۰۶۸a-h | ۰/۰۴۵i-s |
| KFS ₆ | ۰/۰۰۸z | ۰/۰۱۵v-z | ۰/۰۳۴n-x | ۰/۰۶۷a-h | ۰/۰۷۱a-i | ۰/۰۷۴a-f | ۰/۰۶۹a-g |
| KFS ₇ | ۰/۰۰۶z | ۰/۰۱۶v-z | ۰/۰۳۲p-y | ۰/۰۷۷abcd | ۰/۰۷۷abcd | ۰/۰۷۷a-e | ۰/۰۸۳a |
| KFS ₈ | ۰/۰۰۶z | ۰/۰۲۳t-z | ۰/۰۳۱q-z | ۰/۰۶۳a-j | ۰/۰۶۷a-i | ۰/۰۶۸a-h | ۰/۰۷۹ab |
| KFS ₉ | ۰/۰۰۶z | ۰/۰۲۴s-z | ۰/۰۳۶m-v | ۰/۰۶۲a-j | ۰/۰۷۳a-f | ۰/۰۶۹a-h | ۰/۰۵۱f-p |
| KFS ₁₀ | ۰/۰۰۶z | ۰/۰۱۴xyz | ۰/۰۳۰q-z | ۰/۰۷۲a-g | ۰/۰۶۸a-h | ۰/۰۶۷a-h | ۰/۰۵۵c-m |
| KFS ₁₁ | ۰/۰۰۶z | ۰/۰۱۴w-z | ۰/۰۲۴s-z | ۰/۰۶۹a-h | ۰/۰۵۰g-q | ۰/۰۵۹b-l | ۰/۰۷۸ab |
| KFS ₁₂ | - | ۰/۰۱۴w-z | ۰/۰۲۵s-z | ۰/۰۳۹l-t | ۰/۰۶۳a-j | ۰/۰۵۵c-n | ۰/۰۶۴a-j |
| KFS ₁₃ | - | ۰/۰۱۱z | ۰/۰۲۲t-z | ۰/۰۳۹l-t | ۰/۰۵۹b-l | ۰/۰۶۱b-k | ۰/۰۵۸c-l |
| KFS ₁₅ | - | ۰/۰۱۲yz | ۰/۰۲۵s-z | ۰/۰۴۵i-s | ۰/۰۵۵c-v | ۰/۰۴۰l-t | ۰/۰۷۱a-g |
| KFS ₁₆ | - | ۰/۰۱۱z | ۰/۰۲۳t-z | ۰/۰۳۶m-v | ۰/۰۶۲a-j | ۰/۰۵۰g-q | ۰/۰۶۵a-i |
| KFS ₁₇ | - | ۰/۰۰۹z | ۰/۰۱۶v-z | ۰/۰۴۷h-r | ۰/۰۶۶a-i | ۰/۰۶۸a-h | ۰/۰۷۶a-d |
| KFS ₁₈ | - | ۰/۰۱۵v-z | ۰/۰۲۱t-z | ۰/۰۳۱p-z | ۰/۰۵۷c-l | ۰/۰۴۲j-t | ۰/۰۶۹a-h |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

هم‌چنین لاین‌هایی مانند KFS₆ و KFS₈ در دماهای ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، KFS₉ و KFS₁₀ در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ و اغلب لاین‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با بالاترین رتبه اختلاف معنی‌داری نداشتند.

یکنواختی جوانه‌زنی

یکنواختی جوانه‌زنی در حقیقت طول فاز خطی در منحنی درصد تجمع جوانه‌زنی در مقابل زمان را نشان می‌دهد. هر قدر طول این مرحله کوتاه‌تر باشد، حاکی از جوانه‌زنی هم‌زمان بذور است و برعکس. طولانی بودن این مرحله نشان می‌دهد که بذور به‌طور هم‌زمان جوانه نزده‌اند، بلکه جوانه‌زنی آن‌ها در دوره زمانی بیش‌تر صورت گرفته است. جوانه‌زنی غیر یکنواخت در مدت طولانی‌تر احتمال حمله بیماری‌های خاکزی به بذور گیاهچه و آفت‌ها را افزایش و سبب کاهش استقرار گیاهچه‌ها خواهد شد (غلامی‌تیله‌بنی و همکاران، ۱۳۹۰). بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی در لاین KFS₇ با میانگین ۳۳/۲۲ ساعت مشاهده شد. هم‌چنین این لاین با لاین‌هایی از قبیل KFS₁، KFS₂ و KFS₆ اختلاف معنی‌داری نداشت. اما لاین KFS₁₆ با میانگین ۵۰/۷۹ ساعت حائز کم‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی شد (جدول ۲). هم‌چنین بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین ۲۹/۰۱ ساعت به‌دست آمد؛ و این دما با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نشان نداد. اما دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد حائز کم‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی شدند (جدول ۲). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یکنواختی جوانه‌زنی در دمای کم‌تر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد پایین بودن یکنواختی جوانه‌زنی در دمای پایین به دلیل کاهش سرعت جذب آب باشد که طبیعتاً فرآیندهای فیزیولوژیکی را تحت اثر قرار می‌دهد، زیرا در دماهای پایین تقریباً فعالیت کلیه آنزیم‌ها متوقف می‌شود و بنابراین سنتز پروتئین و دیگر مراحل فیزیولوژیکی لازم برای جوانه‌زنی و نمود گیاهچه کند می‌شود. در این رابطه گزارش شده که لگوم‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به هفت درجه سانتی‌گراد، سرعت جذب آب بیش‌تری داشتند (Freeman, 2005). غلامی‌تیله‌بنی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی (با میانگین ۲۸/۳۶ ساعت) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی (با میانگین ۸۸/۷۳ ساعت) در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. با توجه به نتایج جدول ۵ بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی در لاین KFS₇ در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، لاین‌های KFS₂ و KFS₁₁ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و هم‌چنین بسیاری از لاین‌ها در دماهای مختلف با بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما لاین KFS₁₆ در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد حائز کم‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی شد و با لاین KFS₁₁ در دو دمای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد، لاین‌های KFS₁، KFS₁₁، KFS₁₂، KFS₁₃، KFS₁₅، KFS₁₆، KFS₁₇ و KFS₁₈ در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

جدول ۵: مقایسه میانگین برهمکنش یکنواختی جوانه‌زنی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای در دماهای مختلف (درجه سانتی‌گراد)

| لاین | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| KFS ₁ | - | ۸۴/۱۳a-c | ۳۸/۵۱e-۱ | ۴۹/۴۶d-۱ | ۳۲/۸۲h-۱ | ۳۲/۸۱h-۱ | ۳۱/۰۲h-۱ |
| KFS ₂ | - | ۵۹/۲۶c-k | ۶۹/۳۴a-g | ۲۹/۴۷i-۱ | ۳۸/۲۹e-۱ | ۵۴/۱۷c-۱ | ۱۹/۲۰۱ |
| KFS ₃ | - | ۶۵/۲۵b-i | ۵۲/۵۰c-۱ | ۴۸/۵۱d-۱ | ۵۵/۱۶c-۱ | ۲۸/۹۸i-۱ | ۳۶/۹۶f-۱ |
| KFS ₆ | ۵۲/۵۶c-۱ | ۵۲/۷۴c-۱ | ۴۵/۶۹d-۱ | ۳۷/۲۶f-۱ | ۲۸/۸۹i-۱ | ۲۷/۷۱ijk | ۳۰/۹۱h-۱ |
| KFS ₇ | ۵۵/۶۷c-۱ | ۵۲/۱۶c-۱ | ۵۵/۱۶c-۱ | ۲۲/۲۱ | ۲۸/۸۹i-۱ | ۲۲/۹۵kl | ۱۹/۲۰۱ |
| KFS ₈ | ۵۴/۵۲c-۱ | ۵۰/۸۶c-۱ | ۳۷/۹۹f-۱ | ۳۸/۳۷e-۱ | ۳۲/۱۳h-۱ | ۳۸/۲۳e-۱ | ۲۲/۶۵kl |
| KFS ₉ | ۵۶/۴۵c-۱ | ۵۰/۲۵c-۱ | ۴۱/۸۱e-۱ | ۳۴/۹۸f-۱ | ۳۶/۴۷f-۱ | ۳۵/۵۷f-۱ | ۲۶/۴۷f-۱ |
| KFS ₁₀ | ۶۶/۶۷b-j | ۶۳/۲۹b-j | ۴۲/۶۴e-۱ | ۲۹/۵۰۱-۱ | ۳۱/۹۸h-۱ | ۳۸/۰۷f-۱ | ۳۴/۱۹۶f-۱ |
| KFS ₁₁ | ۶۷/۵۶a-g | ۶۶/۳۳a-g | ۳۶/۹۵f-۱ | ۲۹/۶۳i-۱ | ۴۰/۸۸e-۱ | ۴۳/۰۱e-۱ | ۲۱/۲۳۱ |
| KFS ₁₂ | - | ۶۹/۳۱a-g | ۳۳/۹۸f-۱ | ۴۲/۰۲e-۱ | ۳۶/۵۵f-۱ | ۴۴/۸۸d-۱ | ۳۳/۰۱h-۱ |
| KFS ₁₃ | - | ۹۲/۹۳ab | ۴۲/۴۴e-۱ | ۴۱/۳۰e-۱ | ۳۶/۱۱f-۱ | ۴۶/۴۹d-۱ | ۳۳/۸۵g-۱ |
| KFS ₁₅ | - | ۷۹/۲۵a-d | ۴۱/۷۴e-۱ | ۴۷/۸۶d-۱ | ۳۷/۹۱f-۱ | ۵۰/۶۷c-۱ | ۲۹/۱۳۱-۱ |
| KFS ₁₆ | - | ۱۰۰/۵۶a | ۵۵/۷۱c-۱ | ۳۷/۰۱f-۱ | ۳۴/۱۶f-۱ | ۴۴/۳۵d-۱ | ۳۲/۹۳h-۱ |
| KFS ₁₇ | - | ۷۰/۱۷a-f | ۲۹/۸۳i-۱ | ۴۴/۲۳d-۱ | ۳۲/۶۸h-۱ | ۴۳/۴۶e-۱ | ۲۴/۵۳kl |
| KFS ₁₈ | - | ۷۳/۹۷a-e | ۴۱/۴۹e-۱ | ۳۵/۴۷f-۱ | ۳۶/۲۵f-۱ | ۴۰/۹۱e-۱ | ۲۹/۸۰۱-۱ |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D₉₅)

لاین KFS₇ کم‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (۵۲/۲۳ ساعت) را به خود اختصاص داد و با لاین‌های KFS₆، KFS₈، KFS₉ و KFS₁₀ اختلاف معنی‌داری نداشت. که این مطلب بیان‌کننده این مسأله است که این لاین‌ها کم‌ترین زمان را در بین لاین‌های مورد مطالعه جهت ۹۵ درصد جوانه‌زنی به خود اختصاص داده‌اند. در حالی که سایر لاین‌ها بیش‌ترین زمان لازم را جهت جوانه‌زدن ۹۵ درصد بذور را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). در بررسی اثر دما مشاهده شد که دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد حائز کم‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی شد. در حالی که دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی را نشان دادند (جدول ۲). که این واکنش نشان می‌دهد که بذرها در دمای پایین‌تر از بهینه دیرتر جوانه‌زنی خود را به پایان رساندند (جدول ۷). نتایج برهمکنش لاین در دما نشان داد که کم‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی متعلق به لاین KFS₇ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۶). اما لاین‌های KFS₁₀ و KFS₁₁ در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و لاین‌های KFS₁₂، KFS₁₃، KFS₁₅، KFS₁₆، KFS₁₇ و KFS₁₈ در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد حائز بیش‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی شدند. محمودی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی واکنش یونجه حلزونی به دما گزارش کردند که زمان تا شروع جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در بیش‌ترین مقدار خود بود، ولی زمان تا پایان جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین مقدار را داشت.

جدول ۶: مقایسه میانگین برهمکنش مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D_{95}) لاین‌های سورگوم علوفه‌ای در دماهای مختلف (درجه سانتی‌گراد)

| لاین | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| KFS ₁ | - | ۱۳۵/۴۷a-d | ۸۹e-j | ۶۵/۹۲i-s | ۴۲o-t | ۴۲/۰۲o-t | ۳۷/۱۰p-t |
| KFS ₂ | - | ۱۳۹/۵۲a-d | ۱۰۵/۰۷d-h | ۵۳/۷۳j-t | ۵۰/۲۷l-t | ۶۵/۱۰i-s | ۳۰/۸۰r-t |
| KFS ₃ | - | ۱۲۲/۰b-e | ۸۵/۳۳f-m | ۶۱/۶۷i-s | ۶۹/۸۰h-q | ۳۸/۱۳p-t | ۴۵/۱۶n-t |
| KFS ₆ | ۱۱۵/۷۸c-f | ۱۱۳/۸۴c-f | ۸۶f-l | ۵۸i-t | ۴۱/۵۰o-t | ۴۲/۸۰o-t | ۴۰/۹۰o-t |
| KFS ₇ | ۱۱۲/۵c-f | ۱۰۹/۴c-f | ۷۰/۴۶h-q | ۲۹/۶۰r-t | ۴۷/۷۵m-t | ۳۳/۴r-t | ۲۲/۸۰t |
| KFS ₈ | ۱۰۰/۴۵d-h | ۸۹/۰۰e-j | ۵۵/۸i-t | ۵۵/۲۰j-t | ۴۱/۵۷o-t | ۵۲/۶۰j-t | ۲۸/۶۰st |
| KFS ₉ | ۸۸/۸۹f-m | ۸۴/۹۳f-m | ۶۳/۸۲i-s | ۴۴/۴۵n-t | ۳۸p-t | ۴۳/۴۷n-t | ۴۴/۳o-t |
| KFS ₁₀ | ۱۴۷/۷۸ab | ۱۴۱/۶۷abc | ۶۳/۴۰i-s | ۳۷/۴۷p-t | ۴۱/۴۷o-t | ۵۹/۶۰i-t | ۴۳/۳o-t |
| KFS ₁₁ | ۱۵۴/۱۵a | ۱۵۲ab | ۶۷/۸۶i-r | ۴۰/۲۸o-t | ۵۴/۴۳j-t | ۵۱/۲۰j-t | ۳۰/۸۰r-t |
| KFS ₁₂ | - | ۱۳۳/۶۷a-d | ۶۶/۵۳i-s | ۵۲/۳۰j-t | ۴۷/۹۳m-t | ۵۹/۲۰i-t | ۴۲/۱۳o-t |
| KFS ₁₃ | - | ۱۵۹/۴a | ۸۱/۶۰f-n | ۵۹/۸۰i-t | ۴۵/۱۰n-t | ۵۵/۸۰i-t | ۴۲/۷۰o-t |
| KFS ₁₅ | - | ۱۶۲/۴a | ۷۴/۱۳g-p | ۶۴/۶۷i-s | ۴۶/۸۰n-t | ۶۳/۲۰i-s | ۳۶q-t |
| KFS ₁₆ | - | ۱۶۲/۰۷a | ۹۳/۴e-i | ۵۰/۱۱l-t | ۴۲/۷o-t | ۵۶/۲۰i-t | ۴۲o-t |
| KFS ₁₇ | - | ۱۶۰/۹۳a | ۸۸/۴۰e-l | ۵۹/۸۷i-t | ۴۱/۸۷o-t | ۵۵/۲۰j-t | ۲۹/۶r-t |
| KFS ₁₈ | - | ۱۳۴/۶۹a-d | ۷۸/۹۶f-o | ۵۸/۵۴i-t | ۴۳/۹۳n-t | ۵۰/۸k-t | ۳۶/۴p-t |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

دماهای کاردینال

معادلات دو خط رگرسیون بین دما (محور X) و سرعت جوانه‌زنی (محور Y) در دماهای کم‌تر از بهینه و بیش‌تر از بهینه تعیین شدند (جدول ۷). با مساوی قرار دادن دو معادله‌ی مذکور و حل آن، دمای بهینه جوانه‌زنی (T_0) به دست آمد که در حقیقت همان محل تلاقی دو خط رگرسیون است. دماهای پایه (T_b) و بیشینه (T_c) از طریق برون‌یابی برآورد شدند (Ramin, 1997; Soltani *et al.*, 2001). دماهای کاردینال (پایه، بهینه و بیشینه) برای لاین‌های سورگوم علوفه‌ای مورد بررسی در جدول ۸ آورده شده است. دمای پایه ۱۵ لاین مورد بررسی با میانگین ۱۰/۷۶ از ۹/۳۶ درجه سانتی‌گراد در لاین KFS₁₁ تا ۱۴/۲۸ در لاین KFS₂ متغیر بود. دامنه تغییرات (تفاضل کوچکترین عدد از بزرگترین عدد) دمای پایه ۴/۹۲ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۷). در مورد دمای پایه در گیاهان زراعی مختلف گزارش‌ها زیادی وجود دارد. Wade و همکاران (۱۹۹۳) ویژگی‌های جوانه‌زنی ۱۶ هیبرید سورگوم مختلف در دماهای ثابت را بررسی کردند و گزارش دادند که اختلاف دمای پایه هیبریدهای مورد مطالعه تا ۴ درجه سانتی‌گراد است. علی‌رغم این گزارش‌ها تحقیقاتی انجام شده که حاکی از تفاوت‌های محدود ژنوتیپ‌های متعلق به یک گونه از نظر دمای پایه است. وجود اختلاف بین ارقام از لحاظ مقادیر برآورد شده برای دماهای کاردینال با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی موجود بین آن‌ها و سازگاری متفاوت آن‌ها امری دور از انتظار نیست. Mwale و همکاران (۱۹۹۴) و Madakadze و همکاران (۲۰۰۱) به ترتیب برای آفتابگردان و تعدادی از گراس‌های گرمادوست تنوع بین و درون گونه‌ای برای دمای پایه گزارش کردند. شایان ذکر است که از تنوع در دمای پایه می‌توان برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها با هدف بهبود سازگاری به محیط‌های با دمای کم یا زیاد در مرحله جوانه‌زنی استفاده کرد.

کرد.

جدول ۷: معادلات دو خط رگرسیون بین دما (X) و سرعت جوانه‌زنی (Y) در دماهای کمتر از بهینه و بیش‌تر از بهینه

| لاین | در دمای کمتر از مطلوب | | در دمای بیش‌تر از مطلوب | |
|-------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| | معادله خط | ضریب تبیین (R ²) | معادله خط | ضریب تبیین (R ²) |
| KFS ₁ | $Y = -0.03 + 0.03X$ | ۰/۸۹ | $Y = 0.25 + 0.05X$ | ۰/۸۱ |
| KFS ₂ | $Y = -0.19 + 0.14X$ | ۰/۵۷ | $Y = 0.22 + 0.05X$ | ۰/۷۱ |
| KFS ₃ | $Y = -0.03 + 0.03X$ | ۰/۹۲ | $Y = 0.24 + 0.05X$ | ۰/۹۰ |
| KFS ₆ | $Y = -0.04 + 0.039X$ | ۰/۹۶ | $Y = 2.83 + 0.06X$ | ۰/۸۳ |
| KFS ₇ | $Y = -0.046 + 0.04X$ | ۰/۹۳ | $Y = 3.04 + 0.06X$ | ۰/۷۶ |
| KFS ₈ | $Y = -0.033 + 0.03X$ | ۰/۹۵ | $Y = 2.77 + 0.06X$ | ۰/۷۳ |
| KFS ₉ | $Y = -0.035 + 0.04X$ | ۰/۹۸ | $Y = 2.49 + 0.05X$ | ۰/۸۸ |
| KFS ₁₀ | $Y = -0.041 + 0.04X$ | ۰/۹۱ | $Y = 2.48 + 0.05X$ | ۰/۸۶ |
| KFS ₁₁ | $Y = -0.021 + 0.02X$ | ۰/۸۸ | $Y = 2.51 + 0.05X$ | ۰/۵۶ |
| KFS ₁₂ | $Y = -0.032 + 0.03X$ | ۰/۹۸ | $Y = 2.23 + 0.05X$ | ۰/۷۴ |
| KFS ₁₃ | $Y = -0.032 + 0.03X$ | ۰/۹۸ | $Y = 2.18 + 0.04X$ | ۰/۶۷ |
| KFS ₁₅ | $Y = -0.029 + 0.03X$ | ۰/۹۹ | $Y = 1.90 + 0.04X$ | ۰/۵۱ |
| KFS ₁₆ | $Y = -0.033 + 0.03X$ | ۰/۹۶ | $Y = 2.12 + 0.04X$ | ۰/۶۸ |
| KFS ₁₇ | $Y = -0.045 + 0.04X$ | ۰/۹۲ | $Y = 2.74 + 0.06X$ | ۰/۷۵ |
| KFS ₁₈ | $Y = -0.027 + 0.03X$ | ۰/۹۴ | $Y = 1.94 + 0.04X$ | ۰/۵۵ |

جدول ۸: دماهای کاردینال (پایه، بهینه و بیشینه) در لاین‌های سورگوم علوفه‌ای

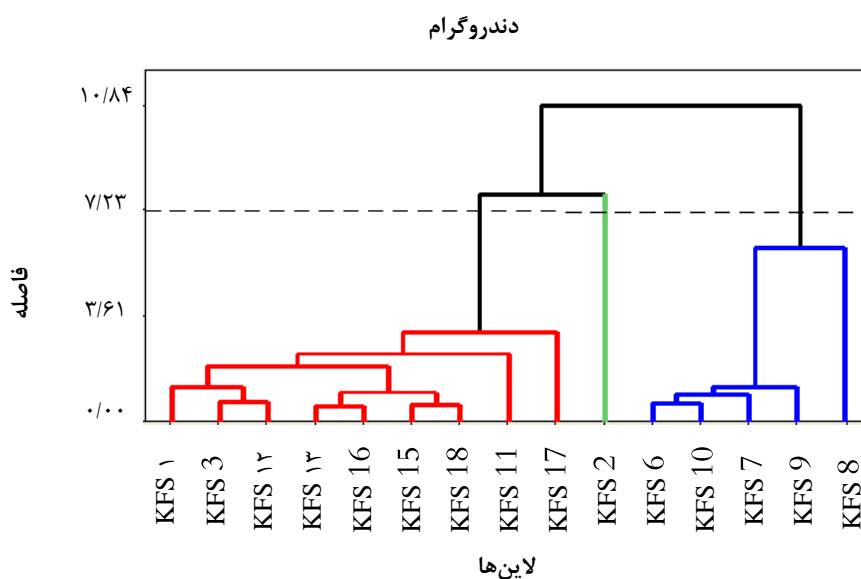
| لاین | دمای پایه (T _b) | دمای بهینه (T _o) | دمای بیشینه (T _i) |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| KFS ₁ | ۱۰/۸۲ | ۳۴/۸۰ | ۴۹/۴۰ |
| KFS ₂ | ۱۴/۲۸ | ۲۳/۰۰ | ۴۰/۷۰ |
| KFS ₃ | ۱۰/۲۰ | ۳۴/۴۴ | ۴۷/۹۸ |
| KFS ₆ | ۱۰/۳۶ | ۳۳/۳۲ | ۴۸/۶۲ |
| KFS ₇ | ۱۰/۴۶ | ۳۳/۲۲ | ۴۸/۸۹ |
| KFS ₈ | ۹/۴۲ | ۳۳/۹۲ | ۴۸/۹۹ |
| KFS ₉ | ۹/۴۰ | ۳۲/۱۱ | ۴۸/۳۱ |
| KFS ₁₀ | ۱۰/۵۱ | ۳۲/۱۰ | ۴۸/۴۳ |
| KFS ₁₁ | ۹/۳۶ | ۳۷/۲۰ | ۴۹/۲۰ |
| KFS ₁₂ | ۱۰/۶۶ | ۳۳/۷۰ | ۴۸/۹۶ |
| KFS ₁₃ | ۱۱/۲۰ | ۳۴/۰۲ | ۴۹/۲۳ |
| KFS ₁₅ | ۱۰/۴۱ | ۳۲/۹۱ | ۴۹/۷۶ |
| KFS ₁₆ | ۱۱/۱۴ | ۳۳/۶۱ | ۴۹/۱۸ |
| KFS ₁₇ | ۱۲/۷۱ | ۳۴/۸۵ | ۴۸/۹۲ |
| KFS ₁₈ | ۱۰/۴۶ | ۳۳/۹۵ | ۴۹/۶۱ |
| میانگین | ۱۰/۷۶ | ۳۳/۱۴ | ۴۸/۴۱ |
| دامنه تغییرات | ۴/۹۲ | ۱۴/۲ | ۹/۰۶ |

کم‌ترین دمای بهینه مربوط به لاین KFS₂ با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و بالاترین دمای بهینه به لاین KFS₁₁ با دمای ۳۷/۲ درجه سانتی‌گراد تعلق دارد. میانگین دمای بهینه برای لاین‌های مورد مطالعه ۳۳/۱۴ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. دامنه تغییرات دمای بهینه ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳). که ناشی از تنوع بسیار بالای لاین‌ها از نظر این دما است. گزارش‌های مختلفی برای برآورد دمای بهینه گیاهان مختلف با استفاده از مدل‌های غیرخطی وجود دارد که از آن جمله می‌توان ۲۰/۰۲ تا ۴۱/۲۱ درجه سانتی‌گراد برای ارقام برنج، ۳۰/۴۲ تا ۳۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد برای ارقام برنج (غلامی‌تیله‌بندی و همکاران، ۱۳۹۰)، ۲۷/۶ تا ۳۰/۴ برای نخود، ۲۲/۲۲ برای یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) اشاره کرد (صبوری و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمودی و همکاران، ۱۳۸۷؛ Soltani et al., 2006). در میان لاین‌های مورد

بررسی کمترین دمای بیشینه متعلق به لاین KFS_2 با $40/7$ درجه سانتی‌گراد و بالاترین به لاین KFS_{15} با $49/76$ درجه سانتی‌گراد تعلق داشت. میانگین دمای بیشینه برای لاین‌های مورد مطالعه $48/41$ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. دامنه تغییرات دمای مطلوب $9/06$ درجه سانتی‌گراد بود که ناشی از تنوع بسیار بالای لاین‌ها از نظر این دما است (جدول ۳). بالا بودن تنوع در لاین‌های مورد بررسی حاکی از عدم مشابهت سازگاری و نیازهای اکولوژیکی متفاوت آن‌ها بوده است. غلامی‌تیلینی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی ۱۵ ژنوتیپ برنج در نه سطح دمایی گزارش کردند.

تجزیه کلاستر

تجزیه کلاستر با روش وارد بر اساس ۷ صفت مورد مطالعه (شکل ۱) با برشی که از فاصله $7/23$ ایجاد گردید باعث تشکیل سه کلاستر شد. کلاستر اول شامل نه لاین $KFS_1, KFS_3, KFS_{11}, KFS_{12}, KFS_{13}, KFS_{15}, KFS_{16}, KFS_{17}$ و KFS_{18} بود. لاین KFS_2 به تنهایی در کلاستر دوم قرار گرفت. کلاستر سوم شامل لاین‌های $KFS_6, KFS_7, KFS_8, KFS_9$ و KFS_{10} بود. بهترین لاین‌ها در کلاستر سوم وجود داشتند زیرا این لاین‌ها با توجه به جدول ۲ دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و کمترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی بودند.



شکل ۱: دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر ۱۵ لاین سورگوم علوفه‌ای بر اساس مؤلفه‌های جوانه‌زنی و

دماهای کاردینال

نتیجه‌گیری

لاین KFS_2 حائز بیشترین دمای پایه و کمترین دمای بهینه و بیشینه است؛ بنابراین قابل توصیه برای کشت در مناطقی است که در زمان کشت سورگوم علوفه‌ای دمای بالایی دارند. اما لاین KFS_{11} دارای کمترین دمای پایه و بیشترین دمای مطلوب و جز لاین‌های با دمای بیشینه بالا در این تحقیق است. این لاین در کلاستر اول قرار گرفت،

به طوری که در کل میانگین دمای پایه لاین‌های این کلاستر ۱۰/۷، میانگین دمای بهینه ۳۴/۳۹ و میانگین دمای بیشینه آن ۴۹/۱۴ درجه سانتی‌گراد بود؛ که واضح است میانگین دمای بهینه و بیشینه بالاتری از میانگین کل لاین‌های مورد بررسی در این تحقیق را دارد؛ بنابراین به منظور رفع بهینه نیازهای دمایی لاین‌های مختلف پیشنهاد می‌شود لاین‌هایی که دماهای کاردینال بالاتری دارند در مناطقی کشت شوند که نیاز گرمایی آن‌ها بهتر تأمین شود. کلاستر سوم شامل لاین‌های KFS₆، KFS₇، KFS₉ و KFS₁₀ می‌باشد که به طور مشترک برای درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و کم‌ترین مدت زمان تا ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی در دماهای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و حتی برخی از آن‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با بالاترین گروه اختلاف معنی‌داری نداشتند. میانگین دمای پایه لاین‌های این کلاستر ۱۰/۰۳، میانگین دمای بهینه ۳۲/۹۳ و میانگین دمای بیشینه آن ۴۸/۶۵ درجه سانتی‌گراد بود؛ بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع دمای خاک در زمان کشت بذر گیاه سورگوم علوفه‌ای و نیز حفظ و گسترش کشت این گیاه علوفه‌ای ارزشمند و به لحاظ اینکه تاکنون بر روی این لاین‌ها اثر دما مورد بررسی قرار نگرفته است و نظر به اینکه این لاین‌ها حائز مؤلفه‌های جوانه‌زنی در بالاترین گروه بودند، بنابراین این لاین‌ها برای تحقیقات تکمیلی توصیه می‌شوند.

منابع

- باقری کاظم آبادی، ع.، سرمندیا، غ و حاج رسولیها، ش. ۱۳۶۷. بررسی تحمل شوری و خشکی توده‌های مختلف اسپرس در مرحله جوانه‌زنی. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۲: ۴۱-۵۷.
- حجازی، ا. ۱۳۷۳. تکنولوژی بذر، تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ۲۴۰ ص.
- صبوری، ح.، صبوری، ع. و دادرس، ا. ر. ۱۳۹۱. مدل‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف برنج نسبت به دما. تحقیقات غلات. ۲ (۲): ۱۲۳-۱۳۵.
- غلامی تیله‌بندی، ح.، کرد فیروزجانی، ق و زینلی، ا. ۱۳۹۰. تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی در ارقام برنج. مجله علوم و تکنولوژی بذر. ۱ (۱): ۴۱-۵۲.
- فومن، ع. ۱۳۸۹. زراعت و اصلاح سورگوم. انتشارات مؤسسه تحقیقات و اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۱۲۹ ص.
- محمودی، ع. ر.، سلطانی، ا و بارانی، ح. ۱۳۸۷. واکنش جوانه‌زنی یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) به دما. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۱ (۱): ۵۴-۶۳.

Blumental, M.J., Aston, S.C. and Pearson, C.J. 1996. Effect of temperature and moisture potential on germination and emergence in *Lotus* sp. Australian Journal of Agriculture Research 47: 1119-1130.

Freeman, C.E. 2005. Germination response of Texas population of ocotillo to constant temperature water stress, pH and salinity. *The American midland Naturalist* 89:252-256.

House, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. ICRISAT, Patancharu, Andhra Pradesh 502 324, India.

ISTA (International Seed Testing Association). 1996. International rules for seed testing rules. *Seed Science and Technology*. 24, Supplement, 155-202.

Kamaha, C. and Maguire, Y.D. 1992. Effect of temperature on germination of six winter wheat cultivars. *Seed Science and Technology* 20: 181-185.

Kebreab, E. and Murdoch, A.J. 2001. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanches aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research* 10: 127-133.

Madakadze, I.C., Prithiviraj, B., Stewart, K.A., Peterson, P.R., Coulman, B.E. and Smith, D.L. 2001. Variation in base temperatures for germination in warm season grasses. *Seed Science and Technology* 29: 31-38.

Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J.A., Bradley, R.G. and Chatha, M.R. 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology* 22: 565-575.

Ramin, A.A. 1997. The influence of temperature on germination of tree Irani. *Seed Science and Technology* 25: 419-426.

Riemens, M.M., Scheepens, P.C. and Van der Weide, R.Y. 2004. Dormancy, germination and emergence of weed seeds, with emphasis on influence of light. *Plant Research International* 302:1-2.

Seefeldt, S.S., Kidwell, K.K. and Waller, J.E. 2002. Base growth temperatures, germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the US Pacific Northwest. *Field Crops Research* 75: 47-52.

Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coasts of Iran. *Seed Science and Technology* 29: 653-662.

Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agriculture Forest Meteorology* 138: 156-167.

Wade, L.J., Hammer, G.L. and Davey, M.A. 1993. Response of germination to temperature amongst diverse sorghum hybrids. *Field Crop Research* 31: 295-308.