J. Soil and Plant Interactions, Vol. 14, No. 4, Winter 2024, pp. 67-84. Research Article
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.14.4.20922

Effect of Different Irrigation Levels on Yield and Yield Components of Some Promising Lines of Cotton

F. Saeidnia*[1] and H. Najjar

(Received: 23 October 2023; Accepted: 30 December 2023)

Abstract

Drought is one of the most important abiotic stresses that affects the growth and production of crops. Therefore, the need to breed cultivars that have high compatibility and low water demand is strongly felt. This study was conducted to evaluate the effect of irrigation levels on cultivars and promising lines of cotton, to use the stress tolerance and susceptibility indices for identification and selection of drought tolerant genotypes, as well as to compare cotton promising lines (KD-92-11, KD-92-17 and KD-92-19) with control cultivars of Aria and Ghoze Ghermez (which are suitable for cotton growing areas in Khorasan and Isfahan provinces). For this purpose, an experiment was performed according to the split-plot design with three replications under four irrigation levels (normal, 25, 50 and 75% deficit irrigation compared with normal) in 2020 at Kashmar. The results showed that the irrigation level had a significant effect on all traits except for keel percentage and earliness. The trait of single boll weight decreased by 7, 24 and 32% at the irrigation levels of 25, 50 and 75%, respectively, compared to the normal regime. In the same conditions, the total yield also decreased by 3, 34 and 48%, respectively. There was a significant difference between genotypes in terms of all studied traits (except for keel percentage and earliness) and drought tolerance and susceptibility indices, which indicates high genetic diversity among the genotypes and can be effective in improving selection in the breeding programs. Mean comparison of traits in the four irrigation levels showed that with the reduction of irrigation levels from 25 to 75%, the average of all traits decreased and the greatest decrease was observed in the 75% moisture regime. In each of the four irrigation levels, control cultivars were superior to promising lines in terms of single boll weight, second harvest yield, and total yield. However, in terms of the traits of keel percentage, early maturity, number of vegetative and reproductive branches, and number of open bolls, the promising lines were superior to the control cultivars. In each of the three moisture stress regimes, the control cultivars of Ghoze Ghermez and Aria did not show any difference in stress tolerance, but compared to hybrids, the promising lines had between 5 and 25% more stress tolerance in terms of various traits.

Keywords: Cotton, Irrigation level, Interspecific hybrids, Drought tolerance, Susceptibility indices.

Background and Objective: Drought is one of the most important abiotic stresses that limit the growth and production of agricultural plants and affects all morphological, physiological, biochemical and metabolic

1- Agricultural and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.
* Corresponding author, Email: f.saeidnia@areeo.ac.ir

aspects of plants (Blum, 2011). Changing the cultivation pattern and identifying heat and drought tolerant plant species and cultivars with high adaptability and low water requirements are among the main objectives of plant breeding in arid and semi-arid regions of the world. Cotton, as a strategic plant and the most important fiber plant, is one of the most important agricultural plants that provides the connection between the two sectors of agriculture and industry and plays a valuable role in the economy of some countries. It shows greater tolerance to abiotic stresses than other major crops. However, extreme environmental conditions such as drought are severe threats to the sustainability of cotton crops in dryland agriculture and affect the growth, productivity, and quality of cotton fibers (Barzali et al., 2016). This study was conducted to evaluate the effect of irrigation levels on cultivars and promising lines of cotton, to identify and select the drought-tolerant cultivars, and to compare the cotton lines with control cultivars.

Methods: In this study, three promising lines resulting from the crossing of Herbaceum and Arboreum species (KD-92-11, KD-92-17 and KD-92-19) along with two diploid control cultivars (Aria and Ghoze Ghermez) were cultivated according to the split-plot design with three replications at four irrigation levels (normal or control, 25, 50 and 75% deficit irrigation compared with normal) in 2020 at the field of the Research and Training Station of Agriculture and Natural Resources in Kashmar. Then, in order to select for drought tolerance, a set of morphological traits (height, number of vegetative and reproductive branches, number of opened and closed bolls, and crown diameter) and agricultural traits (single boll weight) along with yield, earliness and keel percentage were measured. Some drought tolerance and susceptibility indices were also calculated based on the yield of genotypes under normal and drought stress conditions.

Results: Drought stress had a significant effect on all traits except for keel percentage and earliness. There was a significant difference between the studied genotypes in terms of all traits (except for keel percentage and earliness) and indices, which indicates high genetic diversity among the genotypes. The mean comparison showed that with the reduction of irrigation level from 25 to 75%, the average of all traits decreased, and the greatest decrease was observed in the 75% moisture regime. In all four moisture regimes, control cultivars were superior to the lines in terms of single boll weight, the yield of the first cut, the yield of the second cut, and total yield. However, in terms of the other traits, promising lines were superior to the control cultivars. In all three moisture stress regimes of 25, 50, and 75%, the control cultivars of Ghoze Ghermez and Aria did not show any difference in stress tolerance, but compared to the lines, they had more drought tolerance.

Conclusions: Based on the results of this study, there was high genetic diversity between the studied genotypes, which can be used in the breeding programs. Drought stress negatively affected all traits and reduced their diversity. Most significant decrease was observed in the 75% moisture regime. In all of the moisture environments, control cultivars were superior to promising cotton lines in terms of yield and single-boll weight. However, promising lines were superior to control cultivars regarding the remaining traits. Moreover, in all three moisture stress regimes, the control cultivars of Ghoze Ghermez and Aria did not show any difference in terms of stress tolerance, but compared to the promising lines (KD-92-11, KD-92-17, and KD-92-19), they showed more drought tolerance.

References:

1. Barzali, M., Alishah, O., Mali, M., 2016. Evaluation of drought stress effects on some seed germination and seedling growth characteristics in Tetraploid cultivars and domestic masses (Diploid) of cotton. Iran. J. Cot. Res. 4(1), 27–46.
2. Blum, A., 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments, Springer, New York.

روابط خاک و گیاه/ سال چهاردهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲ / صفحات ۸۴-۶۷ مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.14.4.20922 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی لاین‌های امیدبخش پنبه

فاطمه سعیدنیا[1*] و حسن نجار

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۹)

چکیده

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو نیاز به بهبود ارقامی که از سازگاری زیاد و نیاز آبی کمی برخوردار باشند، وجود دارد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر سطوح آبیاری بر ارقام و لاین‌های امیدبخش پنبه، بهره‌گیری از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و همچنین مقایسه لاین‌های امیدبخش (KD-92-11، KD-92-17 و KD-92-19) با ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز (که مناسب مناطق پنبه‌کاری در استان‌های خراسان و اصفهان هستند)، انجام شد. بدین منظور، آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خردشده در چهار سطح آبیاری (بدون تنش یا شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ کم‌آبیاری نسبت به شاهد) هر کدام با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در کاشمر اجرا شد. نتایج نشان داد که سطح آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی به‌جز درصد کیل و زودرسی تأثیر معنی‌داری داشته است. صفت وزن تک غوزه در سطوح آبیاری ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ به‌ترتیب به میزان ۷، ۲۴ و ۳۲٪ نسبت به سطح آبیاری بدون تنش کاهش یافت. صفت عملکرد کل نیز در شرایط مشابه به‌ترتیب به میزان ۳، ۳۴ و ۴۸٪ کاهش یافت. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات مورد بررسی (به‌جز درصد کیل و زودرسی) و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش تفاوت معنی‌داری وجود داشت، که بیان‌گر تنوع ژنتیکی زیاد در بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمامی صفات مورد بررسی و شاخص‌های محاسبه‌شده است و می‌تواند در بهبود انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مؤثر باشد. مقایسه میانگین صفات در چهار سطح آبیاری نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری از ۲۵ به ۷۵٪، میانگین کلیه صفات کاهش یافت و بیش‌ترین کاهش در سطح آبیاری ۷۵٪ تنش مشاهده شد. در هر یک از چهار سطح آبیاری، ارقام شاهد از نظر صفات وزن تک غوزه، عملکرد چین دوم و عملکرد کل نسبت به لاین‌های امیدبخش برتری داشتند. اما از نظر صفات درصد کیل، زودرسی، تعداد شاخه رویا و زایا و تعداد غوزه باز لاین‌های امیدبخش نسبت به ارقام شاهد برتری نشان دادند. در هر یک از سه سطح تنش، ارقام شاهد غوزه قرمز و آریا تفاوتی از نظر تحمل به تنش نشان ندادند ولی در مقایسه با لاین‌های امیدبخش از نظر صفات مختلف بین ۵ تا ۲۵ درصد از تحمل به تنش بیش‌تری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: پنبه، سطح آبیاری، هیبریدهای بین‌گونه‌ای، شاخص‌های تحمل، حساسیت به تنش.

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ۸۳۶۴۱-۹۱۷۶۹، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: f.saeidnia@areeo.ac.ir

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و تولید گیاهان زراعی را محدود می‌سازد و تمام جنبه‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و متابولیک گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Naseer et al., 2023; Zafar et al., 2023). تغییر الگوی کشت و شناسایی گونه‌ها و ارقام گیاهی متحمل به گرما و خشکی که از سازگاری زیاد و نیاز آبی کم برخوردارند، یکی از دغدغه‌های اصلی متخصصین به‌نژادی و از اهداف اصلی اصلاح گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و انتظار می‌رود که نقش مؤثری در مقابله با آثار تغییر اقلیم ایفا نماید (Gustafson, 2011; Mahmood et al., 2021; Shahzad et al., 2021).

پنبه به‌عنوان گیاهی راهبردی و مهم‌ترین گیاه لیفی، یکی از پرارزش‌ترین گیاهان زراعی است که اهمیت اقتصادی و موقعیت کشاورزی و تجاری ویژه‌ای در جهان و ایران یافته است به‌گونه‌ای که به این محصول به دلیل اهمیت اقتصادی زیاد آن، لقب طلای سفید داده‌اند (Kamali et al., 2015). سطح زیر کشت پنبه در سال زراعی ۱۴۰۱، در ایران حدود ۱۱۰ هزار هکتار برآورد شده است که میزان تولید آن در زمین‌های کشت آبی ۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است و به‌عنوان محصول با ارزش افزوده زیاد محسوب می‌شود. در منطقه ترشیز کهن که شامل کاشمر، خلیل آباد، بردسکن و کوهسرخ است، سطح زیر کشت پنبه حدود ۲۰۰۰ هکتار بوده و میزان تولید آن در زمین-های کشاورزی آبی حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. به‌عنوان یک گلیکوفیت، پنبه نسبت به سایر محصولات اصلی تحمل بیش‌تری نسبت به تنش‌های غیرزیستی نشان می‌دهد. با این‌حال، شرایط محیطی شدید مانند خشکسالی بر رشد، بهره‌وری و کیفیت الیاف پنبه تأثیر معنی‌داری می‌گذارد (Mehmood et al., 2022; Singh et al., 2022) و پایداری تولید پنبه در طی سال‌های آینده در دنیا را با دشواری‌هایی همراه می‌سازد (Ullah et al., 2022). برآوردها نشان می‌دهد که تنش خشکی منجر به خسارتی حدود ۶۷ درصد در عملکرد پنبه شده است که نشان‌دهنده این است که آثار منفی تنش خشکی بر عملکرد پنبه نسبت به سایر تنش‌های محیطی شدیدتر است (Ramzan et al., 2023; Tokel et al., 2022).

به‌طور کلی تحمل به خشکی ویژگی پیچیده‌ای است که تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط (شامل منطقه، سطوح آبیاری، مدیریت زراعی و ...) و برهم‌کنش‌های آن‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین پژوهش‌های اصلاحی کم‌تری بر روی تحمل خشکی نسبت به اصلاح برای افزایش کیفی و کمّی عملکرد و تحمل سایر تنش‌های غیرزیستی در پنبه انجام شده است (Zhang et al., 2014). با توجه به آن‌که مناطق پنبه‌کاری در ایران با میزان میانگین بارندگی ۲۴۶ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند، پژوهش در مورد پاسخ ارقام مختلف پنبه به سطوح متفاوت این تنش می‌تواند دانسته‌های مفیدی را برای مواجهه با این مشکل در اختیار به‌نژادگران قرار دهد.

در پنبه تلاش‌های قابل توجهی برای شناخت مکانیسم‌های تحمل به خشکی و شناسایی صفات مرتبط با تحمل خشکی انجام گرفته است (Singh et al., 2022). Singh et al. (2016) به‌منظور بررسی میزان تحمل به خشکی ارقام تتراپلوئید پنبه ۱۶ ژنوتیپ را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری بین ارقام آن از نظر عملکرد و اجزای عملکرد وجود دارد. Mehrabadi et al. (2016) آزمایشی را به‌منظور ارزیابی عملکرد چهار رقم حساس و متحمل به خشکی پنبه در سطوح مختلف آبیاری اجرا کرده و گزارش کردند که تمامی اجزای عملکرد (به‌جز وزن غوزه) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کم آبیاری قرار گرفتند.

اصلاح برای تحمل به خشکی به‌عنوان یکی از اهداف اصلی برنامه‌های اصلاحی، در گیاهان مختلف همواره با دشواری‌های خاص خود مواجه بوده که از بزرگ‌ترین آن‌ها پیچیدگی صفت تحمل تنش و نبود معیارها و روش‌های مؤثر برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل است (Rehman and Farooq, 2019; Sezener et al., 2015). در مناطق خشک و نیمه‌خشک پتانسیل

عملکرد در شرایط تنش معیار مناسبی برای تحمل خشکی محسوب نمی‌شود؛ بلکه بررسی عملکرد نسبی در شرایط تنش و بدون تنش به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، انتخاب ژنوتیپ برای اصلاح در محیط خشک، و شناخت مکانیسم‌های تحمل به خشکی به‌کار گرفته می‌شود (Calhon et al., 1995; Simane et al., 1993). این انتخاب به‌وسیله تعدادی شاخص انتخاب صورت می‌گیرد که بر اساس یک سری روابط ریاضی بین شرایط تنش و بدون تنش، محاسبه می‌شوند.

از جمله راهکارهای مناسب برای کاهش آثار کم‌آبی بر پنبه، استفاده از ارقامی است که در شرایط تنش خشکی ضمن رشد و نمو نسبتاً مطلوب، از حداقل کاهش کمّی و کیفی پنبه‌دانه (وش) برخوردار باشد. به عبارت دیگر، نباید تنها بر روی تحمل تنش در پنبه تمرکز گردد، بلکه پایداری عملکرد نیز باید در کنار ایجاد ارقام متحمل به تنش مدنظر قرار گیرد. مشخص شده است که بهبود عملکرد و حفظ ثبات عملکرد محصول پنبه، در شرایط عادی و تنش خشکی، برای رشد جمعیت جهانی و همچنین ترغیب کشاورزان منطقه کاشمر و اقلیم‌های مشابه به‌منظور کشت و کار بیش‌تر این گیاه ارزشمند ضروری است. بنابراین، این پژوهش به‌منظور تعیین پاسخ برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و زراعی ارقام و لاین‌های امیدبخش پنبه تحت شرایط تنش خشکی، بهره‌گیری از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی به‌منظور شناسایی و انتخاب ارقام و لاین‌های متحمل به خشکی و همچنین مقایسه لاین‌ها با ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش سه لاین امیدبخش منتخب از درون هیبریدهای بین‌گونه‌ای دیپلوئید حاصل از تلاقی گونه‌های هرباسئوم و آربورئوم (KD-92-11، KD-92-17 و KD-92-19) همراه با دو رقم شاهد دیپلوئید (آریا و غوزه قرمز) در سال ۱۳۹۹ در قالب طرح کرت‌های خردشده با ۳ تکرار در چهار سطح آبیاری (بدون تنش، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کم‌آبیاری نسبت به شاهد) در مزرعه ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر کشت شده و مورد بررسی قرار گرفتند. سطوح آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی و ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. چگونگی ایجاد لاین‌های امیدبخش به این صورت بود که پس از دورگ‌گیری تعدادی لاین برتر از بین نتاج حاصل براساس ویژگی‌هایی مانند شکفتگی غوزه، زودرسی و عملکرد وش انتخاب شده و در یک طرح آماری با هم مقایسه می‌شوند. لاین‌های برتر منتخب از این طرح آماری به‌عنوان لاین امیدبخش وارد آزمایش‌های سازگاری و پایداری شده و در چند منطقه به مدت دو تا چند سال مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که رقم شاهد آریا به دلیل ویژگی‌هایی مانند عملکرد زیاد، تحمل به تنش‌های محیطی و رشد در شرایط نامتعارف (مانند آب‌های نامتعارفی مثل آب فاضلاب) برای این پژوهش انتخاب شد. رقم غوزه قرمز نیز به دلیل این‌که رقم بومی منطقه کاشمر هست در این پژوهش گنجانده شد. تیمارهای مورد نظر در کرت‌های آزمایشی با ۴ خط ۶ متری با فواصل ۲۰ × ۷۰ سانتی‌متر کشت شده و ارزیابی‌ها در سطح بوته و کرت انجام شد.

پیش از شروع آزمایش، برخی ویژگی‌های خاک (شامل pH، بافت خاک، گنجایش مزرعه‌ای[1] یا θ_{FC} و نقطه پژمردگی دائم[2] یا θ_{PWP}) مربوط به لایه ۶۰-۰ سانتی‌متری در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی اندازه‌گیری شد. مقادیر θ_{FC} و θ_{PWP} بر روی سه نمونه خاک به‌ترتیب در مکش‌های ماتریک ۳۳ و ۱۵۰۰ kPa با دستگاه صفحه فشار اندازه‌گیری شد (Romano et al., 2011) که میانگین آنها به‌ترتیب برابر ۲۲ و ۱۱ درصد وزنی بود. بافت خاک منطقه لوم شنی بوده و میانگین pH آن حدود ۷/۸ بود. برای اعمال تنش خشکی، تا زمان گل‌دهی، میزان آبیاری و تعداد دفعات آن در هر چهار سطح آبیاری به‌صورت یکسان انجام شد. ولی از مرحله گل‌دهی به بعد، در

1. Field capacity
2. Permanent wilting point

شرایط رطوبتی شاهد یا بدون تنش، هیچ‌گونه محدودیتی برای آبیاری اعمال نشد و آبیاری براساس عرف منطقه انجام شد. در محیط‌های رطوبتی تنش، سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کم‌آبیاری نسبت به شاهد اعمال شد. در زمان شروع اعمال تیمارهای تنش، با فرض یکنواخت بودن شرایط و ویژگی‌های خاک در لایه‌های مختلف، رطوبت خاک در لایه توسعه ریشه (لایه ۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شده و مقدار آب آبیاری برای تأمین کمبود رطوبت خاک تا حد θ_{FC} در شاهد (بدون تنش) تعیین شده و سپس در سطوح آبیاری اعمال شد. برای تعیین زمان آبیاری دوم و بعد در هر تیمار به‌منظور کاهش تعداد نمونه‌گیری رطوبت خاک، از روش پیش‌بینی با استفاده از نتایج محاسبه‌شده تبخیر و تعرق تجمعی استفاده شد. به‌طوری‌که پس از هر آبیاری مقدار تجمعی تبخیر و تعرق (ET_c)[1] با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانتیث (Allen et al., 1998) با اعمال ضریب گیاهی پنبه طی دوره رشد محاسبه شده و زمانی که مقدار تبخیر و تعرق تجمعی به عمق مجاز تخلیه رطوبت از لایه توسعه ریشه (I_d) (۶۰-۰ سانتی‌متر) در تیمار مورد نظر می‌رسید، آبیاری انجام می‌شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (I_d) با رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_d=(\theta_{FC}-\theta_{PWP})\times MAD\times D\times B \quad (۱)$$

که در این رابطه، I_d عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی‌متر)، θ_{FC} رطوبت جرمی خاک در حد گنجایش مزرعه‌ای (گرم بر گرم)، θ_{PWP} رطوبت جرمی خاک در حد پژمردگی دائم (گرم بر گرم)، D عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر)، B چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (برابر ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، و MAD[2] ضریب مدیریت مزرعه است که برای پنبه برابر ۰/۶۵ در نظر گرفته شد.

برای اطمینان از نبود تنش در تیمار شاهد و اطمینان از وجود تنش در تیمارهای تنش، پیش از آبیاری با استفاده از متمه نمونه‌گیری، از دو نقطه در هر تیمار در لایه توسعه ریشه (لایه ۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) نمونه خاک تهیه شده و برای تعیین میزان رطوبت به آزمایشگاه منتقل شد. در نهایت مقدار رطوبت اندازه‌گیری‌شده خاک در لایه توسعه ریشه با مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری در هر تیمار (θ_{irri}) مقایسه شد (Topp et al., 2008). مقدار θ_{irri} از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\theta_{irri}=\theta_{FC}-[(\theta_{FC}-\theta_{PWP})\times MAD] \quad (۲)$$

بنابراین زمان آبیاری برای تیمارهای مختلف یکسان بود ولی برای ایجاد شرایط تنش در تیمارهای کم‌آبیاری، مقدار آبی که به تیمارهای مختلف در یک دوره آبیاری داده می‌شد، متفاوت و برابر با کمبود آب خاک تا حد θ_{FC} در تیمار بدون تنش یا کسری از آن در تیمارهای تنش بود که از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I=(\theta_{FC}-\theta_{irri})\times D\times B \quad (۳)$$

که در رابطه فوق θ_{irri} میانگین رطوبت وزنی خاک در لایه توسعه ریشه مربوط به زمان آبیاری در تیمار بدون تنش (گرم بر گرم)، I عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FC} مقدار رطوبت وزنی خاک در گنجایش مزرعه‌ای (گرم بر گرم)، θ_{PWP} رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (گرم بر گرم)، D عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر) و B چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (برابر ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) است. برای اندازه-گیری میزان آب ورودی به کرت‌ها از کنتور استفاده شد.

در نهایت، مجموعه‌ای از صفات مورفولوژیک (ارتفاع، تعداد شاخه‌های رویا، تعداد شاخه‌های زایا، تعداد غوزه باز، تعداد غوزه بسته و قطر طوقه)، و صفات زراعی (وزن تک غوزه، درصد کیل، عملکرد چین اول، عملکرد چین دوم، عملکرد کل و زودرسی) اندازه‌گیری شدند. برای ارزیابی صفات در هر کرت تعداد ۵ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و علامت‌گذاری شده و کلیه یادداشت‌برداری‌ها بر روی بوته‌های انتخابی انجام گرفت. اندازه‌گیری عملکرد ژنوتیپ‌ها و ارقام پس از حذف آثار حاشیه از وسط خطوط کشت انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن غوزه و درصد کیل، تعداد ۳۰ غوزه از هر کرت آزمایشی به‌صورت تصادفی انتخاب شده و به‌طور جداگانه جین‌زنی و توزین شد. عملکرد چین اول شامل

1. Crop evapotranspiration
2. Management allowed depletion

عملکرد وش هر ژنوتیپ در کرت برداشت شده در چین اول بود. عملکرد چین دوم شامل عملکرد وش هر ژنوتیپ در کرت ۲۰ روز پس از چین اول بود. عملکرد کل از حاصل جمع عملکرد چین‌های اول و دوم به‌دست آمد. زودرسی از نسبت عملکرد چین اول به عملکرد کل به‌صورت درصد محاسبه شد.

در این پژوهش، به‌منظور غربال‌گری و گزینش برای تحمل خشکی، مجموعه‌ای از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محاسبه شدند. این شاخص‌ها شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI)[1] فیشر و مورر، شاخص تحمل تنش (TOL)[2] و میانگین حسابی (MP)[3] روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981)، و شاخص‌های میانگین هندسی تولید (GMP)[4] و تحمل به تنش (STI)[5] (Fernandez, 1992) بود که با روابط زیر محاسبه شدند:

$$SSI = \frac{\left[1-\left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)\right]}{SI} \qquad SI = 1-\frac{Y_{ms}}{Y_{mp}} \tag{۴}$$

$$TOL = Y_p - Y_s \tag{۵}$$

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \tag{۶}$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \tag{۷}$$

$$STI = \left[\frac{\left(Y_p \times Y_s\right)}{\left(Y_{mp}\right)^2}\right] \tag{۸}$$

در روابط فوق، Yp عملکرد ژنوتیپ i ام در محیط بدون تنش، Ys عملکرد ژنوتیپ i ام در محیط تنش، Ymp میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و Yms میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، است. پیش از تجزیه واریانس، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی توزیع داده‌ها انجام شد. به‌منظور تعیین یکنواختی واریانس خطا از آزمون بارتلت استفاده شد که نتایج حاصل حاکی از یکنواختی واریانس خطا بین کرت‌های اصلی برای تمامی صفات مورد بررسی بود. به‌منظور انجام تجزیه واریانس (بر اساس طرح کرت‌های خرد شده) و مقایسه میانگین‌ها (به روش LSD و در سطح احتمال ۵ درصد) از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2011) استفاده شد. به‌منظور مطالعه همزمان روابط بین صفات مورد بررسی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی استفاده شد. برای ترسیم بای‌پلات مربوط به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار Statgraphics (۲۰۰۷) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات ارزیابی‌شده در ارقام و لاین‌های پنبه نشان داد که سطح آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی به‌جز درصد کیل و زودرسی تأثیر بسیار معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) داشته است (جدول ۱). بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات (به جز درصد کیل و زودرسی) تفاوت معنی‌داری وجود داشت، که بیانگر تنوع ژنتیکی زیاد در بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی است و می‌تواند برای بهبود انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مؤثر باشد. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر همه شاخص‌های محاسبه‌شده در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار دارند که بیانگر تنوع ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی است (نتایج ارائه نشده است). برهم‌کنش‌های بسیار معنی‌دار ژنوتیپ × سطح آبیاری برای صفات عملکرد چین اول، قطر طوقه، ارتفاع بوته، تعداد غوزه باز و تعداد غوزه بسته نشان می‌دهد که واکنش ژنوتیپ‌ها در سطوح آبیاری متفاوت بوده است. اثر برهم‌کنش ژنوتیپ × سطح آبیاری بر سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود که بیان‌گر واکنش یکسان ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف آبیاری است.

مقایسه میانگین صفات در چهار سطح آبیاری مورد بررسی نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری از ۲۵٪ به ۷۵٪ میانگین کلیه صفات مورد بررسی کاهش یافت و بیش‌ترین کاهش در سطح آبیاری ۷۵٪ تنش مشاهده شد. به‌عنوان مثال، صفت وزن

1. Stress susceptibility index
2. Tolerance index
3. Mean productivity
4. Geometric mean productivity
5. Stress tolerance index

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در پنج ژنوتیپ پنبه مورد ارزیابی در چهار سطح آبیاری مختلف.

Table 1. Results of analysis of variance for the measured traits in five genotypes of cotton evaluated in four different moisture regimes.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	وزن تک غوزه (گرم) Single boll weight (g)	درصد کیل (٪) Keel percentage (%)	عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار) First harvest yield (kg/ha)	عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار) Second harvest yield (kg/ha)	عملکرد کل (تن در هکتار) Total yield (tons/ha)	زودرسی (٪) Earliness (%)	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعدادشاخه رویا Number of vegetative branches	تعداد شاخه زایا Number of reproductive branches	تعداد غوزه باز Number of opened bolls	تعدادغوزه بسته Number of closed bolls
							Mean squares میانگین مربعات						
تکرار Replication	2	0.42 n.s	25.70 *	3650.21 n.s	3284.59 n.s	0.07 n.s	24.50 n.s	0.02 n.s	28.29 **	0.10 n.s	16.64 **	0.50 n.s	1.59 *
سطح آبیاری Moisture regime	3	5.07 **	1.11 n.s	208958.39 **	208382.51 **	4.71 **	26.55 n.s	0.55 **	2505.59 **	1.96 **	213.20 **	81.68 **	8.69 **
تکرار × سطح آبیاری Replication × Moisture regime	6	0.25	4.32	11401.37	3820.91	0.15	8.30	0.01	0.99	0.02	0.33	0.29	0.22
ژنوتیپ Genotype	4	5.58 **	10.05 n.s	26538.59 **	169128.98 **	0.48 **	1263.33 **	0.06 **	43.21 *	1.35 **	6.27 **	30.77 **	1.18 **
ژنوتیپ × سطح آبیاری Genotype × Moisture regime	12	0.09 n.s	11.16 n.s	8757.91 *	3101.68 n.s	0.02 n.s	22.41 n.s	0.02 **	105.36 **	0.22 n.s	1.88 n.s	2.80 *	0.46 *
خطا Error	32	0.11	6.40	3242.65	1934.73	0.03	14.52	0.01	14.37	0.18	0.93	1.11	0.19

تک غوزه در سطوح آبیاری ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ به‌ترتیب به میزان ۷، ۲۴ و ۳۲٪ نسبت به سطح آبیاری بدون تنش کاهش یافت. صفت عملکرد کل نیز در شرایط مشابه به‌ترتیب به میزان ۳، ۳۴ و ۴۸٪ کاهش یافت (جدول ۲). نتایج مشابهی در مورد سایر صفات به‌دست آمد که با نتایج Mehrabadi et al. (2016) هم‌خوانی دارد. Mehrabadi et al. (2015) دریافتند که کاهش آب مورد نیاز پنبه در کل دوره رشد، بیش‌ترین تأثیر را بر رشد رویشی پنبه می‌گذارد، به‌طوری‌که با کاهش آب مورد نیاز پنبه به ۳۳ و ۶۶ درصد نیاز آبی گیاه در مزرعه، ارتفاع بوته به‌طور معنی‌دار کاهش پیدا کرد. کاهش عملکرد ارقام مختلف در اثر تنش خشکی در شرایط پنبه‌کاری پاکستان نیز گزارش شد. در این پژوهش مشاهده شد که تنش خشکی تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه و عملکرد را کاهش می‌دهد (Soomro et al., 2011). بدون وجود رطوبت کافی در خاک، در آغاز رشد گیاه‌چه‌های پنبه (پیش از گل‌دهی) منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی برای غوزه‌ها شده و نهایتاً باعث کاهش عملکرد کل گیاه می‌شود (Barzali et al., 2016; Niu et al., 2013; Sezener et al., 2015).

مقایسه میانگین لاین‌های امیدبخش پنبه (KD-92-11، KD-92-17 و KD-92-19) با ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز از نظر صفات مختلف مورد بررسی نشان داد که در هر چهار سطح آبیاری ارقام شاهد از نظر صفات وزن تک غوزه، عملکرد چین اول، عملکرد چین دوم و عملکرد کل نسبت به لاین‌های امیدبخش برتری داشتند. اما از نظر صفات زودرسی، قطر طوقه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه رویا، تعداد شاخه زایا و تعداد غوزه باز، لاین‌های امیدبخش نسبت به ارقام شاهد برتری نشان دادند و ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز کم‌ترین مقادیر این صفات را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای شاخص‌های مورد بررسی نشان داد که در هر سه سطح آبیاری ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ ارقام شاهد غوزه قرمز و آریا تفاوتی از نظر تحمل تنش نشان ندادند ولی در مقایسه با لاین‌های امیدبخش از نظر صفات مختلف به میزان ۵ تا ۲۵ درصد از تحمل تنش بیش‌تری برخوردار بودند (جدول ۴). در بین لاین‌های امیدبخش، در سطح تنش ۲۵٪ لاین KD-92-11 بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های تحمل تنش MP، GMP و STI را به خود اختصاص داد، درحالی‌که لاین KD-92-17 کم‌ترین مقدار شاخص‌های تحمل تنش و در نتیجه کم‌ترین تحمل تنش را دارا بود. در سطح تنش ۵۰٪ بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های تحمل MP، GMP و STI در لاین KD-92-19 و کم‌ترین مقادیر این سه شاخص در لاین KD-92-17 مشاهده شد. بنابراین در این سطح آبیاری لاین KD-92-17 حساس‌ترین و لاین KD-92-19 متحمل‌ترین لاین به تنش خشکی شناخته شد. در سطح تنش ۷۵٪، دو لاین KD-92-11 و KD-92-19 هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان ندادند و لاین KD-92-17 کم‌ترین مقدار شاخص‌های تحمل تنش MP، GMP و STI را دارا بود؛ بنابراین بیش‌ترین حساسیت به تنش را نشان داد (جدول ۴).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در شرایط بدون تنش خشکی، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک، ۸۶ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل 1a). مؤلفه اول ۶۲/۳۵ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات زودرسی، تعداد غوزه باز، تعداد شاخه رویا و تعداد شاخه زایا همبستگی مثبت، و با صفات عملکرد، تعداد غوزه بسته و وزن تک غوزه همبستگی منفی داشت؛ بنابراین این مؤلفه "زمان رسیدگی و توان تولید وش" نامیده شد. مؤلفه دوم ۲۳/۶۵ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و قوی با صفات قطر طوقه، تعداد غوزه بسته و درصد کیل و همبستگی منفی با عملکرد وش داشت؛ بنابراین این مؤلفه با نام "توان تولید وش" نام‌گذاری شد. انتخاب بر مبنای مقادیر کم مؤلفه‌های اول و دوم منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های دیررس خواهد شد که از توان تولید وش زیادی برخوردارند. بدین ترتیب در محیط بدون تنش، ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز با قرار گرفتن در سمت چپ بای‌پلات جزء ارقام دیررس و با توان تولید زیاد محسوب می‌شوند. لاین KD-92-11 با داشتن

جدول ۲. ارزیابی اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های پنبه.

Table 2. Evaluation of the effect of different moisture regimes on the measured traits in cotton genotypes.

سطح آبیاری Moisture regime	وزن تک غوزه (گرم) Single boll weight (g)	درصد کیل (٪) Keel percentage (%)	عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار) First harvest yield (kg/ha)	عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار) Second harvest yield (kg/ha)	عملکرد کل (تن در هکتار) Total yield (tons/ha)	زودرسی (٪) Earliness (%)	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعدادشاخه رویا Number of vegetative branches	تعداد شاخه زایا Number of reproductive branches	تعداد غوزه باز Number of opened bolls	تعدادغوزه بسته Number of closed bolls
بدون تنش خشکی Normal regime	3.81	32.80	538	476	2.41	53.60	1.43	148	1.71	22.88	14.84	2.56
۲۵٪ تنش خشکی Drought stress (25%)	3.56	32.67	522	462	2.34	53.59	1.39	143	1.27	19.97	14.09	2.07
۵۰٪ تنش خشکی Drought stress (50%)	2.89	33.13	376	298	1.60	56.31	1.13	134	1.03	17.01	10.79	1.49
۷۵٪ تنش خشکی Drought stress (75%)	2.58	32.47	290	238	1.26	55.24	1.04	119	0.88	14.11	10.17	0.79
LSD (α=0.05)	0.45	2.48	95.40	55.23	0.34	2.57	0.08	0.89	0.14	0.51	0.48	0.42

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده در ژنوتیپ‌های پنبه مورد ارزیابی در سطوح آبیاری مختلف.

Table 3. Mean comparisons of measured traits in cotton genotypes evaluated under different moisture regimes.

سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	وزن تک غوزه (گرم) Single boll weight (g)	درصد کیل (٪) Keel percentage (%)	عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار) First harvest yield (kg/ha)	عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار) Second harvest yield (kg/ha)	عملکرد کل (تن در هکتار) Total yield (tons/ha)	زودرسی (٪) Earliness (%)
بدون تنش خشکی Normal regime	KD-92-11	3.16	32.67	622	403	2.44	60.92
	KD-92-17	3.71	35.67	544	350	2.13	60.94
	KD-92-19	2.94	31.00	630	364	2.36	63.22
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	4.70	31.00	473	606	2.57	44.18
	آریا Ariya	4.54	33.67	423	656	2.57	38.75
LSD (α=0.05)	-	0.47	4.53	101.60	86.50	0.36	5.60
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	وزن تک غوزه (گرم) Single boll weight (g)	درصد کیل (٪) Keel percentage (%)	عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار) First harvest yield (kg/ha)	عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار) Second harvest yield (kg/ha)	عملکرد کل (تن در هکتار) Total yield (tons/ha)	زودرسی (٪) Earliness (%)
۲۵٪ تنش خشکی Drought stress (25%)	KD-92-11	2.88	31.67	605	390	2.37	61.08
	KD-92-17	3.28	31.67	583	322	2.15	64.23
	KD-92-19	2.97	31.00	569	363	2.22	60.90
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	4.46	35.33	447	596	2.48	42.85
	آریا Ariya	4.22	33.67	407	641	2.49	38.88
LSD (α=0.05)	-	0.77	4.31	117.92	91.80	0.42	5.64
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	وزن تک غوزه (گرم) Single boll weight (g)	درصد کیل (٪) Keel percentage (%)	عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار) First harvest yield (kg/ha)	عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار) Second harvest yield (kg/ha)	عملکرد کل (تن در هکتار) Total yield (tons/ha)	زودرسی (٪) Earliness (%)
۵۰٪ تنش خشکی Drought stress (50%)	KD-92-11	2.28	34.00	354	244	1.42	69.28
	KD-92-17	3.01	31.33	346	227	1.36	59.93
	KD-92-19	2.24	33.00	426	216	1.53	65.65
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	3.69	32.67	391	393	1.87	49.80
	آریا Ariya	3.24	34.67	362	410	1.84	46.90
LSD (α=0.05)	-	0.64	4.61	123.93	53.76	0.28	9.08
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	وزن تک غوزه (گرم) Single boll weight (g)	درصد کیل (٪) Keel percentage (%)	عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار) First harvest yield (kg/ha)	عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار) Second harvest yield (kg/ha)	عملکرد کل (تن در هکتار) Total yield (tons/ha)	زودرسی (٪) Earliness (%)
۷۵٪ تنش خشکی Drought stress (75%)	KD-92-11	1.97	32.33	309	160	1.12	65.92
	KD-92-17	2.73	31.33	249	155	0.96	62.97
	KD-92-19	2.05	34.00	292	193	1.15	60.06
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	3.50	29.33	297	342	1.52	46.40
	آریا Ariya	2.64	35.33	304	340	1.53	40.87
LSD (α=0.05)	-	0.59	5.51	79.98	92.93	0.27	7.76

ادامه جدول ۳.

Table 3. (Continued)

سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه رویا Number of vegetative branches	تعداد شاخه زایا Number of reproductive branches	تعداد غوزه باز Number of opened bolls	تعدادغوزه بسته Number of closed bolls
بدون تنش خشکی Normal regime	KD-92-11	1.39	142	2.40	23.40	15.60	1.73
	KD-92-17	1.62	150	2.20	24.40	16.73	2.60
	KD-92-19	1.33	150	1.27	23.27	16.80	1.67
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	1.39	151	1.47	21.73	12.33	3.47
	آریا Ariya	1.40	148	1.20	21.60	12.73	3.33
LSD (α=0.05)	-	0.24	2.97	1.36	3.08	3.25	1.26
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعدادشاخه رویا Number of vegetative branches	تعداد شاخه زایا Number of reproductive branches	تعداد غوزه باز Number of opened bolls	تعدادغوزه بسته Number of closed bolls
۲۵٪ تنش خشکی Drought stress (25%)	KD-92-11	1.27	139	1.67	19.47	13.80	2.20
	KD-92-17	1.55	147	1.53	21.00	16.20	1.60
	KD-92-19	1.52	148	1.40	21.33	16.60	2.13
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	1.19	137	0.93	18.87	11.67	2.27
	آریا Ariya	1.43	147	0.80	19.20	12.20	2.13
LSD (α=0.05)	-	0.18	2.63	0.71	1.06	1.70	0.96
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعدادشاخه رویا Number of vegetative branches	تعداد شاخه زایا Number of reproductive branches	تعداد غوزه باز Number of opened bolls	تعدادغوزه بسته Number of closed bolls
۵۰٪ تنش خشکی Drought stress (50%)	KD-92-11	1.05	133	1.33	16.80	11.53	1.53
	KD-92-17	1.21	131	0.93	17.33	12.53	1.47
	KD-92-19	1.13	139	1.53	17.20	10.93	1.20
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	1.13	134	0.80	18.20	9.80	1.60
	آریا Ariya	1.12	132	0.53	15.53	9.13	1.67
LSD (α=0.05)	-	0.04	5.03	0.35	1.22	1.30	0.33
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعدادشاخه رویا Number of vegetative branches	تعداد شاخه زایا Number of reproductive branches	تعداد غوزه باز Number of opened bolls	تعدادغوزه بسته Number of closed bolls
۷۵٪ تنش خشکی Drought stress (75%)	KD-92-11	1.03	127	1.27	14.93	10.67	0.73
	KD-92-17	1.07	122	1.00	14.60	12.00	1.07
	KD-92-19	1.05	114	0.73	13.93	9.53	0.47
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	1.04	124	0.67	13.80	8.60	0.93
	آریا Ariya	1.02	106	0.73	13.27	10.07	0.73
LSD (α=0.05)	-	0.04	1.82	0.30	1.07	0.70	0.25

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش ژنوتیپ‌های پنبه مورد ارزیابی در سطوح آبیاری مختلف طی سال ۱۳۹۹.

Table 4. Mean comparisons of stress tolerance and susceptibility indices of cotton genotypes evaluated in different moisture regimes during 2020.

سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	شاخص تحمل تنش Tolerance index (TOL)	شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index (SSI)	شاخص میانگین تولید Mean productivity index (MP)	شاخص میانگین هندسی تولید Geometric mean productivity index (GMP)	شاخص تحمل تنش Stress tolerance index (STI)
۲۵٪ تنش خشکی Drought stress (25%)	KD-92-11	0.07	1.01	2.40	2.40	0.99
	KD-92-17	-0.02	-0.39	2.14	2.14	0.79
	KD-92-19	0.15	2.11	2.29	2.29	0.90
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	0.08	1.14	2.53	2.53	1.09
	آریا Ariya	0.07	0.99	2.53	2.53	1.10

سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	شاخص تحمل تنش Tolerance index (TOL)	شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index (SSI)	شاخص میانگین تولید Mean productivity index (MP)	شاخص میانگین هندسی تولید Geometric mean productivity index (GMP)	شاخص تحمل تنش Stress tolerance index (STI)
۵۰٪ تنش خشکی Drought stress (50%)	KD-92-11	1.02	1.24	1.93	1.86	0.60
	KD-92-17	0.77	1.07	1.75	1.70	0.50
	KD-92-19	0.84	1.06	1.95	1.90	0.62
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	0.70	0.82	2.22	2.19	0.82
	آریا Ariya	0.73	0.85	2.20	2.17	0.81

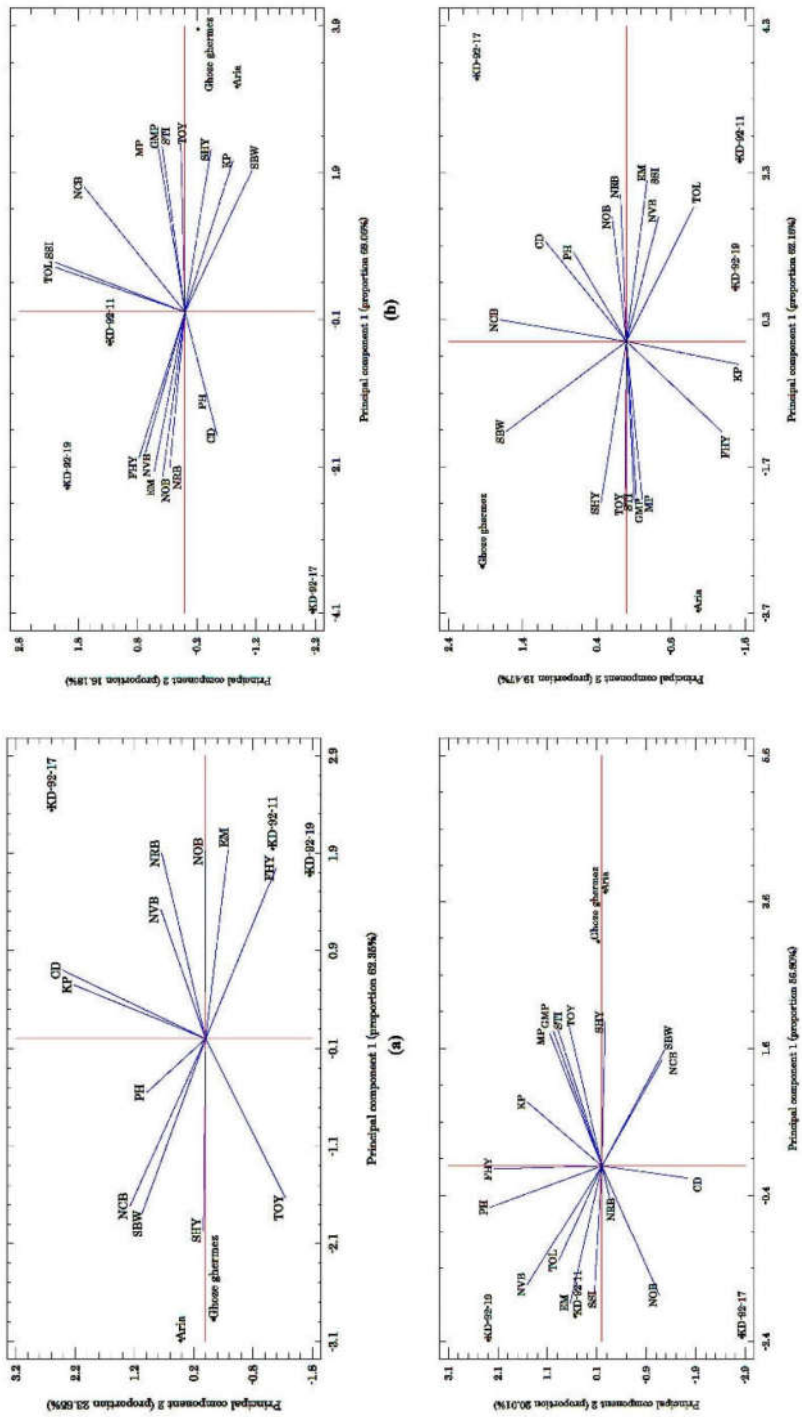
سطح آبیاری Moisture regime	ژنوتیپ Genotype	شاخص تحمل تنش Tolerance index (TOL)	شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index (SSI)	شاخص میانگین تولید Mean productivity index (MP)	شاخص میانگین هندسی تولید Geometric mean productivity index (GMP)	شاخص تحمل تنش Stress tolerance index (STI)
۷۵٪ تنش خشکی Drought stress (75%)	KD-92-11	1.32	1.13	1.78	1.65	0.47
	KD-92-17	1.17	1.14	1.55	1.43	0.35
	KD-92-19	1.21	1.07	1.76	1.65	0.47
	غوزه قرمز Ghoze ghermez	1.05	0.85	2.05	1.98	0.67
	آریا Ariya	1.04	0.84	2.05	1.98	0.68

مقدار متوسط مؤلفه اول و مقدار کم مؤلفه دوم جزء ارقام نسبتاً زودرس و دارای عملکرد متوسط بود. لاین KD-92-17 با داشتن مقادیر زیاد برای دو مؤلفه اول و دوم جزء ارقام دیررس و با عملکرد وش کم شناخته شد. لاین KD-92-19 با مقایر میانگین به بالای دو مؤلفه جزء ارقام میانه‌رس و دارای توان تولید متوسط شناخته شد.

در شرایط تنش ۲۵٪، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک، ۸۵/۲۴ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل 1b). مؤلفه اول ۶۹/۰۶ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات وزن تک غوزه، عملکرد چین دوم، عملکرد کل، تعداد غوزه بسته، درصد کیل، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) همبستگی مثبت، و با صفات عملکرد چین اول، زودرسی، قطر طوقه، ارتفاع، تعداد شاخه‌های رویا و زایا و تعداد غوزه باز همبستگی منفی داشت. با توجه به بیش‌تربودن ضریب مربوط به عملکرد وش و شاخص‌های تحمل تنش، این مؤلفه "توان تولید وش و تحمل تنش" نامیده شد. مؤلفه دوم ۱۶/۱۸ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و از آنجایی که با صفات تعداد غوزه بسته، شاخص تحمل تنش (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی مثبت داشت، بنابراین این مؤلفه "حساسیت به تنش" نامیده شد. انتخاب بر مبنای مقادیر زیاد مؤلفه اول و مقادیر کم مؤلفه دوم منجر به انتخاب ارقام متحمل به تنش و دارای پتانسیل زیاد تولید وش خواهد شد. بر این اساس، ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز با داشتن مقادیر زیاد مؤلفه اول و مقادیر کم مؤلفه دوم جزء ارقام دیررس، متحمل به تنش و با عملکرد زیاد معرفی می‌شوند. لاین‌های KD-92-11 و KD-92-17 با داشتن مقادیر کم مؤلفه‌های اول و دوم جزء ارقام دارای عملکرد کم و متحمل به تنش بودند. لاین KD-92-19 با داشتن مقدار کم مؤلفه اول و مقدار زیاد مؤلفه دوم جزء لاین‌های نسبتاً حساس به تنش و دارای توان تولید کم بود.

در شرایط تنش ۵۰٪، دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بیش‌تر از یک، ۷۷ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل 1c). مؤلفه اول ۵۶/۸۰ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات عملکرد، وزن تک غوزه و تعداد غوزه بسته، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) همبستگی مثبت، و با صفات زودرسی، تعداد غوزه باز، تعداد شاخه رویا، شاخص تحمل تنش (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی منفی داشت. بنابراین، این مؤلفه "تولید وش و تحمل تنش" نامیده شد. مؤلفه دوم ۲۰/۰۱ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات عملکرد، ارتفاع، تعداد شاخه رویا و درصد کیل همبستگی مثبت و با قطر طوقه همبستگی منفی داشت؛ بنابراین این مؤلفه "توان تولید وش" نامیده شد. انتخاب بر مبنای مقادیر زیاد مؤلفه‌های اول و دوم منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل زیاد تولید و متحمل به تنش خواهد شد. بر این اساس، ارقام شاهد آریا و غوزه قرمز با مقادیر زیاد مؤلفه اول و مقادیر کم مؤلفه دوم جزء ارقام دیررس، متحمل به تنش و با عملکرد زیاد معرفی می‌شوند. لاین‌های KD-92-11 و KD-92-17 با داشتن مقادیر کم مؤلفه‌های اول و دوم جزء لاین‌های زودرس، حساس به تنش و دارای عملکرد کم تولید وش بودند. لاین KD-92-19 با مقدار میانگین به بالای مؤلفه اول و مقدار کم مؤلفه دوم به‌عنوان لاین زودرس، حساس به تنش و دارای عملکرد میانگین به بالای تولید وش شناسایی شد.

در شرایط تنش ۷۵٪، مؤلفه اول ۶۲/۱۶ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات زودرسی، قطر طوقه، ارتفاع، تعداد غوزه باز، تعداد شاخه رویا و تعداد شاخه زایا، شاخص تحمل تنش (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی مثبت، و با عملکرد، وزن تک غوزه، شاخص‌های میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP) و تحمل تنش (STI) همبستگی منفی داشت و بنابراین، این مؤلفه "اجزای عملکرد و حساسیت به تنش" نامیده شد. مؤلفه دوم ۱۹/۴۷ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و قوی با صفات وزن تک غوزه، قطر طوقه و تعداد غوزه بسته و همبستگی منفی با عملکرد وش و درصد



شکل ۱. نمودار حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس صفات مورفولوژیک و زراعی و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در ۵ ژنوتیپ پنبه تحت محیط رطوبتی a) بدون تنش، b) ۲۵٪ تنش رطوبتی، c) ۵۰٪ تنش رطوبتی، و d) ۷۵٪ تنش رطوبتی؛ CD: قطر طوقه (سانتی‌متر)، EM: زودرسی (٪)، FHY: عملکرد چین اول (کیلوگرم در هکتار)، KP: درصد کیل (٪)، NCB: تعداد غوزه بسته، NOB: تعداد غوزه باز، NRB: تعداد شاخه زایا، NVB: تعداد شاخه رویا، PH: ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)، SBW: وزن تک غوزه (گرم)، SHY: عملکرد چین دوم (کیلوگرم در هکتار)، TOY: عملکرد کل (تن در هکتار).

Fig. 1. Biplot of principal component analysis based on morphological and agronomic traits and drought tolerance and susceptibility indices in five genotypes of cotton under moisture regimes of a) normal, b) 25% drought stress, c) 50% drought stress, and d) 75% drought stress; CD: crown diameter (cm), EM: earliness (%), FHY: first harvest yield (kg/ha), KP: keel percentage (%), NCB: number of closed bolls, NOB: number of opened bolls, NRB: number of reproductive branches, NVB: number of vegetative branches, PH: plant height (cm), SBW: single boll weight (g), SHY: second harvest yield (kg/ha), TOY: total yield (tons/ha).

کیل داشت؛ بنابراین این مؤلفه با نام "تولید غوزه و درصد کیل" نام‌گذاری شد. انتخاب بر مبنای مقادیر کم مؤلفه‌های اول و دوم منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس، پرتولید و متحمل به تنش خواهد شد. بر این اساس، رقم شاهد آریا و لاین KD-92-19 با داشتن مقادیر کم مؤلفه‌های اول و دوم زودرس، متحمل به تنش و با عملکرد زیاد، رقم غوزه قرمز با مقدار کم مؤلفه اول و میانگین به بالای مؤلفه دوم به‌عنوان رقم دیررس، حساس به تنش و با توان تولید کم، لاین KD-92-17 با مقادیر زیاد مؤلفه‌های اول دوم به‌عنوان لاین دیررس، متحمل به تنش و دارای عملکرد وش کم و لاین KD-92-11 با داشتن مقدار میانگین به بالای مؤلفه اول و مقدار کم مؤلفه دوم لاین میانه-رس، نسبتاً حساس به تنش و با توان تولید زیاد شناسایی شد (شکل ۱d).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سه لاین امیدبخش منتخب از درون هیبریدهای بین‌گونه‌ای دیپلوئید حاصل از تلاقی گونه‌های هرباسئوم و آربورئوم همراه با دو رقم شاهد دیپلوئید در سال ۱۳۹۹ در چهار سطح آبیاری در مزرعه ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر کشت شده و مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های اصلاحی به‌ویژه ایجاد ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود. رقم بومی آریا مورد استفاده در این پژوهش نسبت به ارقام تتراپلوئیدی که کشت آن‌ها در مناطق پنبه‌کاری رایج است دارای عملکرد بیش‌تر و تحمل بیش‌تری نسبت به شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی و شوری خاک است. علاوه بر این هر دو رقم بومی آریا و غوزه قرمز مورد بررسی امکان رشد در شرایط آبیاری با آب‌های نامتعارف (مانند فاضلاب شهری) را دارند و برخلاف سایر ارقام پنبه در این شرایط رشد خوبی داشته و عملکرد زیادی تولید می‌کنند. تنها مشکل ارقام بومی این است که غوزه ناشکوفا یا نیمه‌شکوفا دارند که این امر برداشت وش تولیدی را دشوار و پرهزینه می‌سازد. بنابراین از تلاقی این ارقام نتاج هیبریدی (لاین‌های امیدبخش مورد بررسی در این پژوهش) تولید شد که علاوه بر زودرس‌تر بودن نسبت به والدین خود، دارای غوزه شکوفا بوده و علاوه‌براین از طول الیاف بیش‌تری نیز برخوردار هستند. در این پژوهش به ارزیابی تحمل خشکی این لاین‌ها در مقایسه با ارقام بومی پرداخته شد تا در صورت برتری این لاین‌ها و سازگاری و پایداری‌شان جایگزین ارقام بومی در مناطق پنبه‌کاری کشور بشوند. در هر یک از چهار سطح آبیاری، ارقام شاهد از نظر صفات وزن تک غوزه، عملکرد چین دوم و عملکرد کل نسبت به لاین‌های امیدبخش برتری داشتند. اما از نظر صفات درصد کیل، زودرسی، تعداد شاخه رویا و زایا و تعداد غوزه باز لاین‌های امیدبخش نسبت به ارقام شاهد برتری نشان دادند. در هر یک از سه سطح تنش خشکی، ارقام شاهد غوزه قرمز و آریا تفاوتی از نظر تحمل تنش نشان ندادند ولی در مقایسه با لاین‌های امیدبخش از تحمل تنش بیش‌تری برخوردار بودند. امید است بتوان با استفاده از تلاقی برگشتی لاین‌های امیدبخش زودرس و غوزه شکوفای حاصل با ارقام بومی مورد بررسی در این پژوهش، صفت تحمل خشکی را به لاین‌های امیدبخش حاضر انتقال داد و زمینه کشت و کار این لاین‌ها را در مناطق پنبه‌کاری کشور که اکثراً در استان‌های خشک ونیمه‌خشک واقع شده‌اند، فراهم آورد.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
2. Barzali, M., Alishah, O., Mali, M., 2016. Evaluation of drought stress effects on some seed germination and seedling growth characteristics in Tetraploid cultivars and domestic masses (Diploid) of cotton. Iranian J. Cot. Res. 4(1), 27–46. (In Persian with English abstract)
3. Blum, A., 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments, Springer, New York.
4. Calhon, D.S.A., Miranda, G., Gebeyehu, S., Rajram, B., Van-Ginkel, M., 1995. Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drought conditions. Crop Sci. 34, 673–678. https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400030014x
5. Fernandez, G.C.I., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.C. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Tainan, Taiwan, pp. 257–270.
6. Gustafson, D.I., 2011. Climate change: a crop protection challenge for the twenty first century. Pest Manage. Sci. 67(6), 691–696. https://doi.org/10.1002/ps.2109
7. Kamali, A., Fakheri, B.A., Zabet, M., 2015. The study of drought stress effects on yield and yield components of cotton using biplot analysis. Iran. J. Cotton Res. 3(1), 33–47. (In Persian with English abstract)
8. Mahmood, U., Fan, Y., Wei, S., Niu, Y., Li, Y., Huang, H., Chen, Y., Tang, Z., Liu, L., Qu, C., Zhang, K., 2021. Comprehensive analysis of polygalacturonase genes offers new insights into their origin and functional evolution in land plants. Genomics 113(1), 1096–1108. https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2020.11.006
9. Mehmood, H.Z., Abbas, A., Hassan, S., Ullah, R., 2022. Socioeconomic, farm, and information variables influencing farmer's decision to adopt a sustainable way of cotton production. Int. J. Agric. Extens. 10(1), 149–159. https://doi.org/10.33687/ijae.010.01.4010
10. Mehrabadi, H.R., Nezami, A., Kafi, M., Ahmadifard, M., 2016. Survey of the effect of different irrigation levels on yield and yield components of sensitive and tolerant cotton cultivars. J. Water Soil 30(5), 1415–1425. (In Persian with English abstract)
11. Mehrabadi H.R., Nezami, A., Kafi, M., Ramezani Moghadam, M.R., 2015. Yield, yield components, correlation coefficients and path analysis of cotton cultivars under drought stress. J. Crop Prod. Proc. 5(17), 217–228. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.1007/s42729-022-01108-z
12. Naseer, M.A., Nengyan, Z., Ejaz, I., Hussain, S., Asghar, M.A., Farooq, M., Rui, Q., Ullah, A., Xiaoli, C., Xiaolong, R., 2023. Physiological mechanisms of grain yield loss under combined drought and shading stress at the post-silking stage in maize. J. Soil Sci. Plant Nutr. 23(1), 1125–1137. https://doi.org/10.1007/s42729-022-01108-z Niu, G.H., Rodriguez, D., Dever, J., Zhang, J.F., 2013. Responses of five cotton genotypes to sodium chloride and sodium sulfate saline water irrigation. J. Cotton Sci. 17, 233–244.
13. Ramzan, T., Shahbaz, M., Maqsood, M.F., Zulfiqar, U., Saman, R.U., Lili, N., Irshad, M., Maqsood, S., Haider, A., Shahzad, B., Gaafar, A.R.Z., 2023. Phenylalanine supply alleviates the drought stress in mustard (*Brassica campestris*) by modulating plant growth, photosynthesis and antioxidant defense system. Plant Physiol. Biochem. 107828. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107828
14. Rehman, A., Farooq, M., 2019. Morphology, physiology and ecology of cotton. In: Jabran, K., Chauhan, B.S. (Eds.), Cotton Production. John Wiley & Sons Ltd, pp. 23–46.
15. Romano, N., Palladino, M., Chirico, G.B., 2011. Parameterization of a bucket model for soil-vegetation-atmosphere modeling under seasonal climatic regimes. Hydrol. Earth Sys. Sci. 15, 3877–3893. https://doi.org/10.5194/hess-15-3877-2011
16. Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21, 943–946. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
17. SAS Institute. User's Guide. Release 9.4. Cary: SAS Institute; 2011.
18. Sezener, V., Basal, H., Peynircioglu, C., Gurbuz, T., Kizilkaya, K., 2015. Screening of cotton cultivars for drought tolerance under filed conditions. Turk. J. Field Crops 20(2), 223–232. https://doi.org/10.17557/tjfc.57032
19. Shahzad, A., Qian, M., Sun, B., Mahmood, U., Li, S., Fan, Y., Chang, W., Dai, L., Zhu, H., Li, J., Qu, C., 2021. Genome-wide association study identifies novel loci and candidate genes for drought stress tolerance in rape seed. Oil Crop Sci. 6(1), 12–22. https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2021.01.002
20. Simane, B., Struik, P.C., Nachit, M., Peacock, J.M., 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water limited environments. Euphytica 71, 211–219. https://doi.org/10.1007/BF00040410
21. Singh, C., Kumar, V., Prasad, I., Patil, V.R., Rajkumar, B.K., 2016. Response of upland cotton (*G. hirsutum* L.) genotypes to drought stress using drought tolerance indices. J. Crop Sci. Biotech. 19(1), 53–59.

https://doi.org/10.1007/s12892-015-0073-1
22. Singh, S.B., Meshram J., Prakash A.H., Amudha, J., 2022. Drought tolerant compact genotypes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for varied agro-ecosystem. Asian J. Res. Rev. Agric. 4(2), 1–11.
23. Soomro, M.H., Markhand, G.H., Soomro, B.A., 2011. Screening Pakistani cotton for drought tolerance. Pak. J. Bot. 44(1), 383–388.
24. Statgraphics, 2007. Statgraphics. Version 15.2.11.
25. Tokel, D., Genc, B.N., Ozyigit, I.I., 2022. Economic impacts of Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton. J. Nat. Fibers 19(12), 4622–4639. https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1870613
26. Topp, G.C., Parkin, G.W., Ferre, T.P.A., 2008. Soil water content. In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), Soil Sampling and Methods of Analysis, Canadian Society of Soil Science, Pinawa, pp. 939–961.
27. Ullah, A., Shakeel, A., Ahmed, H.G.M.D., Naeem, M., Ali, M., Shah, Wang, L., Jaremko, M., Abdelsalam, N.R., Ghareeb, R.Y., A.N., Hasan, M.E., 2022. Genetic basis and principal component analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown under water deficit condition. Front. Plant Sci. 13, 981369. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.981369
28. Zafar, S., Afzal, H., Ijaz, A., Mahmood, A., Ayub, A., Nayab, A., Hussain, S., UL-Hussan, M., Sabir, M.A., Zulfiqar, U., Zulfiqar, F., Moosa, A., 2023. Cotton and drought stress: An updated overview for improving stress tolerance. South Afr. J. Bot. 161, 258–268. https://doi.org/10.1016/j.sajb.12023.08.029
29. Zhang, J.F., Percy, R.G., McCarty, J.J.C., 2014. Introgression genetics and breeding between Upland and Pima cotton - a review. Euphytica 198, 1–12. https://doi.org/10.1007/s10681-014-1094-4