Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 46, Summer 2023 p: 115-132

"Research Paper"

Assessment of Drought Tolerance in Soybean Genotypes Using Multivariate Statistical Methods in Greenhouse Conditions

Mojtaba Neshaee Moghaddam[1], Hamid Najafi Zarini [2], Gholam Ali Ranjbar[3] and Ali Pakdin Parizi[4]

1- PhD Student, Department of Plant Breeding, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Breeding, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, (Corresponding author: h.najafi@sanru.ac.ir)
3- Professor, Department of Plant Breeding, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
4- Assitant Professor, Tabarestan Agricultural Genetics and Biotechnology Research Institute, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
Received: 3 January, 2022 Accepted: 1 January, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Soybean (*Glycine max* L.) is one of the most important oil crops whose yield can be affected by drought stres

Material and Methods: In order to investigate the drought stress tolerance as well as yield and yield components of 45 soybean genotypes in greenhouse conditions, an experiment was conducted as a factorial arrangement in a completely randomized design (CRD) with three replications at Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources during 2019. The experimental treatments included different soybean genotypes and three levels of irrigation regimes include normal condition, moderate and severe drought stresses with 15, 40 and 75% soil moisture depletion, respectively.

Results: The results of variance analysis indicated that the interaction between genotype and stress were significant for all the studied traits and also means comparisons of the traits shows that the negative effects on yield and yield components are more evident with increasing stress intensity. The highest seed yield in normal irrigation and moderate drought was related to Columbus genotype, whereas higher yield under severe drought stress was obtained for the OhioFG2 genotype, which is due to an increase in number of pods, number of seeds per pod and seed weight. Correlation between agronomic traits indicates that in all three stress levels, seed yield has a positive and highly significant ($p<0.01$) correlation with number of pods per plant and number of seeds per plant. Based on the results of regression analysis, in each of stress levels, seeds number per plant and seed weight were entered into regression model, and in normal condition, moderate and severe drought stresses justified 97, 84 and 97% of the changes related to the seed yield, respectively. The means comparisons of the tolerance indices in normal condition-moderate drought stress showed that the highest indices for mean productivity (MP), harmonic mean (HM), stress tolerance index (STI) and geometric mean productivity (GMP) were related to genotypes Columbus and Hill, while genotypes Emperor and Bonus had greatest value for the indices in normal condition-severe drought stress, which indicates the existence of resistance potential for these genotypes. Based on the results of cluster analysis of the tolerance indices in normal condition-moderate drought stress and normal condition-severe drought stress, genotypes are placed in three separate groups. Accordingly, genotypes placed in the first, second and third groups were identified as tolerant, semi-tolerant and sensitive genotypes, respectively. The result of principal components analysis showed that two components justified 93.34% in normal condition-moderate drought stress and 96.54% in normal condition-severe drought stress of total variations. Also, first component of geometric mean productivity (GMP) and the second component of stress susceptibility index (SSI) had highest values in both conditions. By using biplot analysis based on the first and second components, Columbus, Hill and Williams genotypes were placed in high yielding and stress tolerant area.

Conclusion: The cultivars of Columbus, Hill, Williams, Bonus, Emperor and Ohio FG2 have tolerance potential compared with other genotypes and are suggested as tolerant genotypes to drought stress.

Keywords: Drought stress, Soybean, Yield and yield components

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های سویا با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در شرایط گلخانه‌ای

مجتبی نشایی مقدم[۱]، حمید نجفی زرینی[۲]، غلامعلی رنجبر[۳] و علی پاکدین پاریزی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه اصلاح‌نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه اصلاح‌نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: h.najafi@sanru.ac.ir)
۳- استاد گروه اصلاح‌نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱
صفحه: ۱۱۵ تا ۱۳۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: سویا (*Glycine max* L.) یکی از مهمترین گیاهان روغنی است که عملکرد آن می‌تواند تحت تاثیر تنش خشکی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تحمل به تنش خشکی و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد ۴۵ ژنوتیپ سویا، در سال ۱۳۹۸ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در شرایط‌گلخانه ای در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا گردید. فاکتورها شامل ژنوتیپ‌های مختلف سویا و سه سطح رژیم آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید بود که به‌ترتیب آبیاری پس از رسیدن به ۱۵، ۴۰ و ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک بودند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثرات متقابل ژنوتیپ و تنش برای تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود و همچنین مقایسه میانگین صفات حاکی از آن بود که هر چه بر شدت تنش افزوده شود، اثر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد مشهودتر می‌گردد. در شرایط رژیم آبیاری مطلوب و تنش ملایم بیشترین عملکرد دانه از ژنوتیپ Columbus و در تنش شدید مربوط به ژنوتیپ OhioFG2 بدست آمد که به‌دلیل دارا بودن تعداد بالای غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه بود. همبستگی بین صفات زراعی بیانگر این بود که صفت عملکرد دانه در هر سه سطح تنش، با صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته در سطح یک درصد مثبت و بسیار معنی‌دار است. براساس نتایج تجزیه رگرسیون، در هر یک سطوح تنش صفت‌های تعداد دانه در بوته و وزن دانه در مدل رگرسیونی وارد شدند که در شرایط مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید به‌ترتیب ۹۷، ۸۴ و ۹۷ درصد از تغییرات مربوط به صفت عملکرد دانه را توجیه نمودند. مقایسه میانگین شاخص های تحمل در شرایط رژیم آبیاری مطلوب- تنش ملایم نشان داد که بالاترین میزان شاخص‌ها برای میانگین حسابی (MP)، میانگین هارمونیک (HM) تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی (GMP) مربوط به ژنوتیپ‌های Columbus و Hill بود و ژنوتیپ‌های Emperor و Bonus در شرایط رژیم آبیاری مطلوب- شدید بیشترین مقدار را برای شاخص‌های مذکور داشتند که نشان از وجود پتانسیل تحمل تنش در این ژنوتیپ‌ها است. نتایج تجزیه کلاستر حاصل از شاخص های تحمل در شرایط رژیم آبیاری مطلوب- تنش ملایم و رژیم آبیاری مطلوب- تنش شدید ژنوتیپ‌ها را در سه گروه قرار داد که گروه اول و دوم به‌ترتیب شامل ژنوتیپ‌های متحمل و نیم متحمل بود و گروه سوم ژنوتیپ‌های حساس را تشکیل دادند. انالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل اول در شرایط مطلوب- تنش ملایم ۹۳/۳۴ درصد و در شرایط مطلوب- تنش شدید ۹۶/۵۴ درصد از کل تنوع را توجیه کردند، همچنین مؤلفه اول میانگین هندسی (GMP) و مؤلفه دوم حساسیت به تنش (SSI) بیشترین مقدار را در هر دو شرایط داشتند. با استفاده از تجزیه بای‌پلات بر مبنای مولفه‌های اول و دوم ژنوتیپ‌هایColumbus ، Hill، Williams در ناحیه ای با عملکرد بالا و متحمل به تنش قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: ارقام Columbus، Hill، Williams، Bonus، Emperor و Ohio FG2 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل تحمل بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی پیشنهاد می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سویا، عملکرد و اجزای عملکرد

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) در بین گیاهان زراعی به‌عنوان یک گیاه روغنی مفید و با ارزش غذایی فراوان مطرح است. دانه‌های این گیاه بیش از ۴۵ درصد پروتئین دارند و همچنین منبع بسیار مناسب و غنی از روغن‌های بدون کلسترول می‌باشند.

استان‌های شمالی ایران از جمله مازندران، گلستان و گیلان بیشترین سطح زیر کشت سویا را به خود اختصاص داده‌اند. مقاومت به خشکی یک صفت کمی و پیچیده با جنبه‌های مختلف است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود. تحمل ژنتیکی به تنش خشکی در گیاهان بسیار پیچیده است و به‌نژادی سویا برای تحمل به تنش خشکی یکی از اهداف چالش برانگیز در بهبود این گیاه است. اما آنچه بدیهی است برای دستیابی به یک گیاه سویای بهبود یافته و متحمل باید از ابزار و راهکارهای دقیق همچون ارزیابی فنوتیپی گسترده در مزرعه یا گلخانه همراه با صفات فیزیولوژیکی مطلوب در محیط‌های طبیعی استفاده کرد (۲۴) خشکی و کم آبی یکی از ارکان اصلی در کاهش محصول سویا در کشور و سایر نقاط جهان است. شناسایی ارقام متحمل و استفاده از آنها در بلوک‌های دورگ‌گیری، شانس تولید ارقام متحمل به تنش خشکی را بالا خواهد برد (۱۲). تاکنون روش‌های متعددی برای انتخاب تحمل به خشکی در سویا به‌کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان اندازه‌گیری عملکرد در شرایط تنش خشکی در طی فصل رشد، ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های کنترل شده نظیر گلخانه و آزمایشگاه را نام برد (۳۳). در علوم زراعی از روش‌های آماری مختلفی برای بررسی تنوع و انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش استفاده می‌شود ولی روش‌های آماری چند متغیره از کاربردی‌ترین روش‌ها بشمار می‌رود (۲). کارگر و همکاران (۲۰) با بررسی تحمل به تنش خشکی ۳۹ ژنوتیپ سویا با استفاده از صفات زراعی و آنالیز

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

آماری چند متغیره در مجموع ۸ ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کردند. دادرس و همکاران (۱۰)، زینلی و همکاران (۳۸) و رهی و همکاران (۲۹) با استفاده از روش های آماری چند متغیره ژنوتیپ‌های سویا را به گروه‌های مختلف تقسیم کرده و برخی از آنها را به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی کردند. باربوسا و همکاران (۷) با استفاده از تجزیه خوشه‌ای اقدام به گروه‌بندی ۲۰ توده بذری سویا نمودند و سپس به‌منظور گروه‌بندی و شناسایی مهمترین متغیرها در تمایز ژنوتیپ‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده نمودند (۷). ال هشاش و همکاران (۱۶) با استفاده از تجزیه به مولفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای، ۱۰ ژنوتیپ سویا را در چهار گروه تفکیک کردند و لاین‌های متحمل به خشکی را مشخص نمودند. هدف از این پژوهش ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها سویا بر اساس صفات مختلف زراعی و برخی شاخص‌های تحمل از جمله میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل (TOL)، تحمل به تنش (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI) و حساسیت به تنش (SSI) و استفاده از روش‌های آماری چند متغیره برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بود.

مواد وروش‌ها

مواد گیاهی

در سال ۱۳۹۸ به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های متحمل سویا نسبت به تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. در این تحقیق ۴۵ ژنوتیپ سویا از مرکز تحقیقات کاربردی و تولید بذر شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی ساری تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). بذرها ضد عفونی شده و تعداد پنج بذر در گلدان‌های پلاستیکی ۳ کیلوگرمی حاوی ماسه و خاک مزرعه به نسبت ۱:۱ کشت شدند. وجین و حذف علف‌های هرز به‌طور دستی در طی مراحل آزمایش انجام شد. عملیات تنک کردن در مرحله چهار برگی انجام و در هر گلدان ۳ بوته نگهداری شد (۲۹). شرایط گلخانه برای رشد گیاهان با طول دوره ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی تنظیم گردید.

اعمال تنش

در تیمار شاهد، آبیاری به‌صورت معمول از ابتدای مرحله سه برگی تا زمـان برداشت در هنگام ۱۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک آنجام شد،، برای تنش متوسط آبیاری پس از رسیدن به ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی و برای تنش شدید نیز پس از رسیدن به ۷۰ درصـد تخلیه رطوبتی خاک انجام شد. دور آبیاری بر اساس تخلیه رطوبت نسبی توسط دستگاه TDR (Time Domai Reflectometry) تنظیم گردید، بدین صورت که از هر تیمار به‌طور تصادفی ۱۰ عدد برای رطوبت خاک قرائت و بر اساس میانگین این اعداد رطوبت اندازه‌گیری گردید.

صفات مورد مطالعه

در مرحله رسیدگی کامل صفت‌های ارتفاع بوته، ارتفاع پایین‌ترین غلاف تا سطح زمین، تعداد دانه در بوته، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن غلاف، وزن دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

تجزیه داده‌ها

برای بررسی ارتباط بین متغیرها، از تجزیه همبستگی و برای تبیین میزان تغییرات، از تجزیه رگرسیون استفاده شد. برای ارزیابی میزان حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp)، تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های تحمل از جمله میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI) و حساسیت به تنش (SSI) مورد ارزیابی قرار گرفتند (۲۹). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، شاخص‌های تحمل، همبستگی بین مقادیر این شاخص‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای آماری Excell و SPSS انجام شده و میانگین داده‌ها با آزمون LSDو HSD مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

ارتفاع بوته

برای این صفت اثر ژنوتیپ، اثر تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل بین ژنوتیپ و تنش خشکی معنی‌دار بود (جدول۲). اثر متقابل ژنوتیپ و تنش برای صفت ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ ۱۲ در شرایط رژیم آبیاری مطلوب بوده که ۱۱۰/۱۱سانتی‌متر اندازه گیری شد (جدول ۳) و همچنین کمترین مقدار در شرایط تنش شدید مربوط به ژنوتیپ ۳۷ با ارتفاع بوته ۴۳/۵۸ سانتی‌متر بود (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین تیمارها برای صفت ارتفاع بوته می‌توان گفت که هرچه بر میزان و شدت تنش افزوده شده، ارتفاع بوته کمتر شده است. در شرایط کمبود آب، با قطع جریان آب از آوند چوبی به سلول‌های در حال طویل شدن جلوگیری می‌شود و باعث کاهش ارتفاع می‌گردد (۳). دانشیان و همکاران (۱۱) بیان کردند که تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود که ناشی از کاهش تعداد گره و فاصله میانگره و عبور سریعتر گیاه سویا از مرحله رویشی به زایشی است.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

جدول ۱- ژنوتیپ‌های سویا مورد مطالعه

Table 1. Studied soybean genotypes

شماره Number	نام ژنوتیپ Genotyp	منشاء Origin	شماره Number	نام ژنوتیپ Genotyp	منشاء Origin
1	Telar	ایران(Iran)	24	Avery	آمریکا(Amrican)
2	032	ایران(Iran)	25	Chief	آمریکا(Amrican)
3	Jack	آمریکا(Amrican)	26	Lawrence	آمریکا(Amrican)
4	Woodworth	آمریکا(Amrican)	27	Emperor	آمریکا(Amrican)
5	Williams	آمریکا(Amrican)	28	Ford	آمریکا(Amrican)
6	Bonus	ایتالیا(Italia)	29	Kingston	آمریکا(Amrican)
7	Wabash	آمریکا(Amrican)	30	Mansoy	آمریکا(Amrican)
8	Clark63	آمریکا(Amrican)	31	Perry	آمریکا(Amrican)
9	Bethel	روسیه(Russia)	32	Virginia B	آمریکا(Amrican)
10	Scott	ژاپن(Japan)	33	IllinoiJs No. 893-645-431	چین(China)
11	Dayr	آمریکا(Amrican)	34	Willimas 82	آمریکا(Amrican)
12	Hill	آمریکا(Amrican)	35	Will	آمریکا(Amrican)
13	Columbus	روسیه(Russia)	36	Harper 87	آمریکا(Amrican)
14	Pershing	آمریکا(Amrican)	37	Mercury	آمریکا(Amrican)
15	Forrest	آمریکا(Amrican)	38	7492	آمریکا(Amrican)
16	Columbus2	روسیه(Russia)	39	arc 1338	آمریکا(Amrican)
17	Wayne	آمریکا(Amrican)	40	Japonica	فرانسه(France)
18	Dorman	آمریکا(Amrican)	41	Petten	آمریکا(Amrican)
19	Hongkong	آمریکا(Amrican)	42	VIR 5227	آمریکا(Amrican)
20	Clark	آمریکا(Amrican)	43	Senrya	ژاپن(Japan)
21	Harman	آمریکا(Amrican)	44	Mikuri 46	ژاپن(Japan)
22	Laredo	آمریکا(Amrican)	45	Fayette	آمریکا(Amrican)
23	Ohio FG2	آمریکا(Amrican)			

ارتفاع پایین‌ترین غلاف در بوته

صفت ارتفاع پایین‌ترین غلاف در بوته تحت تاثیر ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ در تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین فاصله پایین‌ترین غلاف در بوته از سطح زمین در شرایط آبیاری مطلوب برای ژنوتیپ ۴۳ اندازگیری شد که این مقدار برابر با ۳۴/۱۱ سانتی‌متر بود (جدول ۳). کمترین فاصله پایین‌ترین غلاف بوته در شرایط تنش ملایم، مربوط به ژنوتیپ ۳۱ است که مقدار ۱۰/۱ سانتی‌متر اندازه گیری شد (جدول ۳). همانطور که نتایج نشان داد صفت مذکور با افزایش تنش خشکی، تاثیری بر این صفت نداشته و در واقع هر ژنوتیپ شکل و مورفولوژی مخصوص به خود را نشان داد.

جدول ۲- تجزیه واریانس برای صفات مورد مطالعه

Table 2. Analysis of variance (mean square) for studied traits

	میانگین مربعات (MS)											
منابع تغییر Sorce of variation	درجه آزادی Degree of freedom	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن غلاف Pod weight (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)
ژنوتیپ Genotype	44	1312.25**	106.25**	454.05**	0.25**	0.45**	2617.4**	0.1**	0.007**	288.88**	116.44**
تنش Stress	2	5227.46**	12.36 ns	10296.7**	12.22**	7.53**	3858.98**	2.01**	0.25**	2497.33**	6162.45**
ژنوتیپ * تنش Genotype *Stress	88	171.17**	37.61**	111.92**	0.23**	0.23**	1100.05**	0.03**	0.002**	21.95**	33.48**
اشتباه آزمایشی Exp. error	274	20.01	6.52	18.48	0.07	0.08	19.06	0.044	0.004	2.98	8.94
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation	-	6.09	2.58	16.88	6.12	12.33	22.56	12.82	11.59	9.88	19.11

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

تعداد غلاف در بوته

اثر ژنوتیپ، اثر تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی برای صفت تعداد غلاف معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در شرایط مطلوب برای ژنوتیپ ۱۲ به‌میزان ۷۵ عدد اندازه گیری شد که این مقدار به ۲۴ عدد در شرایط تنش شدید کاهش یافت که نشان دهنده اثر مستقیم تنش خشکی بر کاهش عملکرد سویا می‌باشد (جدول ۳). دیوسالار و همکاران (۱۴) بیان کردند که تنش

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

خشکی باعث کاهش تعداد غلاف‌ها در گیاه سویا می‌شود که این کاهش ناشی از ریزش گل و غلاف در شرایط تنش است.

طول غلاف

برای صفت طول غلاف اثرات ژنوتیپ، تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل بین این عوامل معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم بیشترین طول غلاف مربوط به ژنوتیپ ۱۳ به‌میزان ۵/۴ سانتی‌متر بوده و ژنوتیپ‌های ۳، ۱۷، ۲۴، ۲۷، ۲۸،۳۱ و ۴۵ کمترین طول غلاف را در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش شدید به‌میزان ۱/۴ سانتی‌متر داشتند (جدول ۳). همانطور که نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی میزان طول غلاف کاهش یافت.

تعداد دانه در غلاف

اثر تیمار ژنوتیپ، تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل بین این تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین تعداد دانه در غلاف در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ۲ تا ۳ عدد بود که هرچه بر شدت و میزان تنش افزوده شد، کاهش تعداد دانه سویا و نهایتا کاهش عملکرد را به همراه داشت (جدول ۳). تعداد دانه در غلاف، یک خصوصیت ژنتیکی بوده که تحت شرایط محیط نیز قرار می‌گیرد و نقش مهمی در عملکرد نهایی دانه ایفا می‌کند. آبیاری کافی موجب افزایش تعداد دانه می‌گردد و تنش آبی این دو صفت (تعداد دانه در غلاف و عملکرد) را در گیاه سویا کاهش می‌دهد. بروز تنش خشکی، به‌ویژه در مراحل رشد زایشی، سبب کاهش ظرفیت منابع در دسترس شده و گیاهان برای کاهش اثرات تنش خشکی مجبور به ایجاد تعادل بین تعداد گل‌ها و غلاف‌ها برای جذب و مصرف مواد هستند (۱۳).

تعداد دانه در بوته

برای صفت مذکور بین ارقام، تیمارهای تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل بین آنها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). ژنوتیپ ۳۵ با ۱۶۵ دانه در بوته بیشترین مقدار را در شرایط رژیم آبیاری مطلوب و ژنوتیپ ۲۸ با ۲۰ دانه کمترین مقدار در شرایط تنش شدید داشت. تعداد دانه در بوته‌ها با افزایش سطوح تنش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. دلیل این کاهش تعداد دانه در بوته را می‌توان به کاهش تعداد غلاف در بوته و کاهش تعداد دانه در غلاف در اثر تنش خشکی نسبت داد که باعث کاهش تعداد دانه در هر بوته شده است. (۳۴) طی مطالعه‌ای بیان نمودند که باطولانی‌تر شدن دوره خشکی، تعداد دانه در بوته سویا حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (۳۴).

وزن غلاف

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس برای این صفت اثر تیمارهای ژنوتیپ، تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل بین آنها معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن غلاف در ژنوتیپ ۳۳ در شرایط رژیم آبیاری مطلوب مشاهده شد (۰/۹۹ گرم) و کمترین وزن غلاف (۰/۲۵ گرم) مربوط به ژنوتیپ ۴۲ در تنش شدید بود (جدول۳).

وزن دانه

اثر تیمارهای ژنوتیپ، تنش خشکی و همچنین اثرات متقابل آنها معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها، با افزایش شدت تنش، دانه‌ها چروکیده شده و وزن آنها کاهش یافت. در این مطالعه بیشترین و کمترین وزن دانه به‌ترتیب از ژنوتیپ ۲۹ در شرایط مطلوب به‌میزان ۳۳/. گرم و از ژنوتیپ ۲۶ در شرایط تنش شدید به‌میزان ۰۷/. گرم اندازه گیری شد. در مطالعات ایزانلو (۱۸) نیز کاهش وزن دانه بر اثر تنش خشکی در مرحلهٔ پر شدن غلاف، قابل ملاحظه بود. (۲۲) نشان دادند که با اعمال تنش خشکی وزن دانه بـه شدت تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد.

وزن صد دانه

از نظر صفت وزن صد دانه، اثر ژنوتیپ، تنش خشکی و اثرات متقابل معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان وزن صد دانه در شرایط رژیم آبیاری مطلوب برای ژنوتیپ ۳۴ به‌میزان ۴۳ گرم و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید برای ژنوتیپ ۱۸ به‌میزان ۵ گرم مشاهده شده است. با افزایش تنش خشکی، کاهش وزن صد دانه معنی‌دار بود که با نتایج حاصل از تحقیقات (۲۶) مطابقت داشت.

عملکرد دانه

اثر ژنوتیپ‌ها، تنش و همچنین اثرات متقابل آنها برای عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). دادرس و همکاران (۱۰) بیان کردند که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها، تنش و همچنین اثرات متقابل آنها برای صفت عملکرد دانه معنی‌دار بودند که نشان‌دهنده تنوع بالا و واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مختلف است. ژنوتیپ ۱۳ با عملکرد ۳۷ گرم در بوته در شرایط مطلوب بیشترین عملکرد را داشت و ژنوتیپ ۳۴ کمترین مقدار عملکرد را در شرایط تنش شدید به‌میزان ۱/۲ گرم در هر بوته دارا بود. وقوع تنش خشکی با تأثیر منفی بر اجزای عملکرد نهایتاً سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (جدول ۳). صرفه‌جویی آب در اواخر دوره گلدهی و اوایل دوره پر شدن دانه، عملکرد محصول را به حداقل خواهد رساند. در مطالعات ابیومی (۱)، دانشیان و همکاران (۱۱)، امینی فر (۵)، نواب‌پور و همکاران (۲۶) و دیو سالار و همکاران (۱۴) نیز با اعمال تنش در مراحل مختلف رشد سویا می‌توان به این نتیجه رسید که تنش در هر مرحله رشد باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه سویا می‌شود. کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه، از عوامل اصلی در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی هستند (۲۱).

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات لاین‌های مورد مطالعه در شرایط رژیم مطلوب و تنش خشکی

Table 3. Mean comparison of traits in lines studied under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه در بوته Seed yield per Plant (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن غلاف Pod weight (gr)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ژنوتیپ Genotype	تیمار آبیاری Irrigation treatment
13.1	18.6	0.22	0.24	59.5	2.5	1.4	23.5	17.5	72.9	1	
15.9	16.6	0.19	0.79	82.5	2.5	4.4	32.5	10.54	84.4	2	
18.24	16.5	0.17	0.66	108.8	3.1	4.5	36.1	30.33	100.01	3	
17.4	18.6	0.24	0.61	70.5	1.2	4.35	35.1	17.5	62.5	4	
22.86	19.2	0.16	0.63	141.1	3.1	4.9	47.11	25.2	86.13	5	
24.86	21.2	0.25	0.85	97.5	3.11	4.45	32.5	22.4	86.6	6	
12.9	17.5	0.16	0.68	80.23	2.5	3.25	32.5	16.51	97.5	7	
23.5	22.4	0.24	0.83	96.15	3.1	5.1	32.05	21.11	77.5	8	
17.17	17.2	0.17	0.73	97.15	3.11	5.25	33.51	11.2	82.5	9	
14.95	19.2	0.23	0.69	65.11	2.5	4.25	25.7	29.9	102.51	10	
18.28	19.1	0.21	0.69	86.11	2.51	3.4	34.7	27.5	78.3	11	
35.1	13.9	0.15	0.63	125.11	3.08	4.95	75.12	19.52	110.11	12	
37.8	21.9	0.18	0.86	102.5	3.11	5.45	67.7	24.54	90.19	13	
20.34	15.3	0.2	0.51	97.3	1.2	4.5	31.5	25.41	87.5	14	
17.16	17.8	0.21	0.51	53.1	2.2	3.75	49.13	19.1	74.52	15	آبیاری
9.79	14.6	0.16	0.49	107.5	2.5	4.25	42.5	22.4	84.12	16	مطلوب
20.19	14.7	0.18	0.62	70.1	2.5	4.6	27.1	23.01	87.1	17	Normal
12.55	18.4	0.15	0.49	67.5	2.5	4.25	27.5	20.5	92.5	18	irrigation
12.01	18.8	0.21	0.68	56.2	2.5	4.5	23.1	22.2	95.1	19	
24.88	16.6	0.18	0.67	53.3	1.2	4.25	26.5	24.6	90.01	20	
26.43	19.3	0.27	0.52	79.5	2.5	4.45	31.4	22.5	97.2	21	
13.5	20.18	0.26	0.81	55.5	2.5	4.8	27.5	24.5	82.21	22	
20.73	24.12	0.26	0.77	45.1	1.2	4.9	18.2	18.5	64.5	23	
3.3	1.95	0.02	0.08	15.62	0.32	0.29	4.86	2.88	5.08	LSD 5%	
4.67	2.76	0.032	0.11	22.09	0.45	0.42	6.87	4.08	7.17	HSD 5%	

ادامه جدول ۳– مقایسه میانگین صفات لاین‌های مورد مطالعه در شرایط رژیم مطلوب و تنش خشکی

Continue Table 3. Mean comparison of traits in lines studied under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن غلاف Pod weight (gr)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ژنوتیپ Genotype	تیمار آبیاری Irrigation treatment
11.33	37.2	0.2	0.65	94.1	2.5	5.1	47.5	21.1	69.5	24	
11.34	18.1	0.2	0.64	129.1	1.2	4.75	43.11	13.1	82.5	25	
25.74	20.1	0.19	0.87	67.5	3.1	4.75	22.3	19.5	59.01	26	
19.3	16.9	0.17	0.83	106.5	3.1	5.1	35.54	20.5	72.5	27	
16.99	16.8	0.17	0.7	66.21	3.1	4.95	22.21	13.5	84.5	28	
19.95	15.1	0.33	0.65	64.5	3.1	3.8	26.51	19.12	67.5	29	
12.15	19.7	0.16	0.94	74.21	2.5	4.75	31.14	20.02	70.01	30	
26.49	28.4	0.2	0.75	115.5	2.5	5.25	49.5	16.5	85.21	31	
17.25	40.4	0.23	0.61	83.5	2.5	4.75	34.51	17.5	61.2	32	
15.06	26.1	0.2	0.99	87.2	2.5	5.25	29.11	19.11	102.5	33	
15.6	43.4	0.18	0.88	60.1	3.1	5.1	23.51	15.51	92.5	34	
7.79	34.6	0.25	0.51	165.5	2.5	3.4	55.1	17.6	81.67	35	
6.12	24.1	0.14	0.98	69.10	3.1	4.35	29.7	24.1	64.1	36	
11.05	38.4	0.16	0.68	66.12	2.5	5.1	22.4	13.5	65.51	37	آبیاری مطلوب
25.65	21.3	0.12	0.65	108.10	3.1	4.75	36.9	17.1	83.5	38	Normal
24.55	42.8	0.12	0.67	48.5	3.1	4.25	19.5	18.9	54.5	39	irrigation
14.7	21.4	0.19	0.42	51.2	2.5	3.4	21.3	20.22	53.8	40	
15.96	15.6	0.24	0.41	87.5	2.5	4.05	15.5	15.5	97.5	41	
20.25	14.7	0.15	0.54	135.1	2.5	4.2	45.62	18.9	90.21	42	
16.5	16.6	0.16	0.59	100.2	1.2	4.45	50.5	34.11	73.5	43	
19.5	20.2	0.2	0.48	97.5	1.2	3.55	32.5	25.1	52.5	44	
20.1	19.3	0.2	0.39	98.17	1.2	3.96	49.82	23.5	72.52	45	
3.3	1.95	0.02	0.08	15.62	0.32	0.29	4.86	2.88	5.07	LSD 5%	
4.67	2.76	0.033	0.11	22.09	0.45	0.44	6.87	4.08	7.17	HSD 5%	

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات لاین‌های مورد مطالعه در شرایط رژیم مطلوب و تنش خشکی
Continue Table 3. Mean comparison of traits in lines studied under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن غلاف Pod weight (gr)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ژنوتیپ Genotype	تیمار آبیاری Irrigation treatment
5.28	16.9	0.17	0.36	31.1	1.2	4.05	15.5	16.5	66.12	1	
6.43	11.3	0.15	0.49	41.1	1.2	4.4	20.5	20.22	75.5	2	
9.78	11.4	0.13	0.42	72.2	2.5	4.15	29.2	25.5	97.5	3	
7.45	12.4	0.16	0.39	45.5	2.14	4.05	22.5	17.5	70.35	4	
13.25	14.3	0.16	0.52	83.5	2.5	1.4	34.2	21.11	77.14	5	
12.45	15.1	0.17	0.69	69.9	2.5	1.4	27.51	19.12	89.91	6	
6.8	15.5	0.15	0.43	45.5	1.2	3.65	22.5	12.13	94.4	7	
8.52	17.2	0.18	0.45	47.1	1.2	4.75	23.5	19.9	80.11	8	
7.2	15.5	0.12	0.6	58.13	2.5	4.9	24.6	11.5	72.5	9	
5.37	15.3	0.11	0.43	47.5	2.11	1.4	23.5	29.5	79.22	10	
10.59	17.4	0.17	0.47	60.6	2.5	3.9	22.5	24.5	63.13	11	تنش ملایم Moderate stress
15.3	12.9	0.14	0.55	99.22	2.5	1.4	38.12	20.5	82.5	12	
18.52	16.5	0.18	0.69	96.5	2.5	5.4	38.11	26.5	97.14	13	
10.3	11.5	0.19	0.43	63.7	2.2	4.35	15.11	21.35	78.88	14	
8.64	13.8	0.14	0.49	44.22	2.9	1.4	22.21	19.23	87.5	15	
6.27	12.4	0.12	0.35	92.5	2.5	1.4	37.5	15.6	90.5	16	
9.94	11.9	0.13	0.4	38.2	1.2	4.15	19.16	18.8	87.13	17	
10.4	15.5	0.11	0.37	42.11	2.2	3.9	21.11	20.5	83.11	18	
9.28	16.5	0.14	0.48	42.1	1.2	1.4	21.12	20.11	85.2	19	
11.46	14.2	0.19	0.49	43.21	1.2	4.2	21.5	17.5	85.21	20	
15.52	16.2	0.25	0.43	53.2	1.2	1.4	26.5	24.6	94.5	21	
7.29	18.1	0.13	0.62	52.7	1.2	4.25	26.11	24.53	73.5	22	
16.78	20.3	0.14	0.79	4.05	1.2	4.6	16.4	22.5	56.11	23	
3.3	1.95	0.02	0.08	15.62	0.32	0.29	4.86	2.88	5.07	LSD 5%	
4.67	2.76	0.032	0.11	22.09	0.45	0.42	6.87	4.08	7.17	HSD 5%	

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات لاین‌های مورد مطالعه در شرایط رژیم مطلوب و تنش خشکی
Continue Table 3. Mean comparison of traits in lines studied under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن غلاف Pod weight (gr)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ژنوتیپ Genotype	تیمار آبیاری Irrigation treatment
3.5	25.4	0.17	0.49	90.2	1.2	4.25	35.51	15.2	76.51	24	
7.45	13.8	0.19	0.44	112.1	2.5	4.6	37.05	19.11	82.1	25	
11.18	17.5	0.13	0.57	42.11	2.5	4.25	16.58	16.2	53.5	26	
17.77	14.6	0.13	0.72	90.5	3.1	4.15	35.21	22.2	77.14	27	
9.14	10.1	0.19	0.37	27.2	2.5	4.05	13.5	23.51	64.5	28	
13.3	13.2	0.13	0.48	55.1	2.5	5.25	27.8	16.23	64.1	29	
7.57	13.8	0.16	0.7	58.13	1.2	3.4	29.11	18.41	76.11	30	
11.24	20.6	0.15	0.65	67.5	1.2	3.85	22.5	10.1	66.5	31	
8.39	27.4	0.21	0.41	89.2	1.2	4.5	35.8	21.2	57.1	32	
4.48	17.7	0.16	0.44	85.5	3.1	4.2	28.5	17.5	92.5	33	
8.1	27.4	0.15	0.63	32.5	2.5	4.25	12.5	13.23	61.11	34	تنش ملایم Moderate stress
4.94	25.46	0.16	0.65	66.7	1.2	4.25	33.33	18.35	70.23	35	
5.88	19.8	0.12	0.63	54.1	2.5	4.25	27.2	25.1	65.11	36	
4.38	25.5	0.15	0.67	28.1	1.2	1.4	14.3	13.5	51.5	37	
8.3	25.4	0.11	0.55	64.7	1.2	4.4	25.27	21.2	56.25	38	
6.4	24.7	0.11	0.62	22.5	1.2	1.4	13.1	20.51	51.33	39	
6.8	23.4	0.15	0.5	53.21	2.5	4.15	20.5	22.5	54.5	40	
8.64	13.2	0.16	0.36	38.1	2.5	4.05	19.1	16.2	63.11	41	
6.5	12.6	0.12	0.3	55.5	2.5	3.9	27.1	21.5	80.11	42	
5.6	15.1	0.14	0.42	40.1	1.2	3.85	20.2	29.2	72.11	43	
7.5	12.7	0.17	0.46	55.11	1.2	4.25	22.54	23.25	54.5	44	
9.1	14.1	0.15	0.35	60.23	2.5	3.4	30.1	22.7	67.5	45	
3.3	1.95	0.02	0.08	15.62	0.32	0.29	4.86	2.88	5.07	LSD 5%	
4.67	2.76	0.032	0.11	22.09	0.45	0.42	6.87	4.08	7.17	HSD 5%	

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

ادامه جدول ۳– مقایسه میانگین صفات لاین‌های مورد مطالعه در شرایط رژیم مطلوب و تنش خشکی
Continue Table 3. Mean comparison of traits in lines studied under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن غلاف Pod weight (gr)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ژنوتیپ Genotype	تیمار آبیاری Irrigation treatment
2.3	11.3	0.11	0.36	20.5	1.2	3.75	10.1	12.5	62.5	1	
3.25	8.2	0.1	0.38	31.1	1.2	4.15	15.51	20.20	70.1	2	
3.71	11.2	0.09	0.41	39.9	2.2	1.4	19.54	21.47	77.5	3	
5.3	9.3	0.12	0.48	40.5	2.21	4.7	22.64	12.5	62.5	4	
3.45	9.7	0.1	0.33	35.5	1.2	4.05	17.15	20.11	80.11	5	
9.15	12.2	0.13	0.57	65.23	2.61	4.35	25.11	23.77	88.5	6	
5.64	13.5	0.14	0.39	40.23	1.2	3.05	20.01	27.5	77.5	7	
5.7	12.2	0.13	0.43	43.11	2.5	3.35	17.77	21.14	77.51	8	
4.97	11.18	0.1	0.47	47.22	2.52	4.8	19.1	13.2	71.12	9	
3.60	11.7	0.11	0.38	27.22	2.11	3.65	13.52	23.6	87.5	10	تنش شدید Severe stress
4.75	13.1	0.11	0.33	43.72	2.22	3.75	21.53	22.5	58.5	11	
6.72	12.7	0.14	0.44	48.5	2.2	3.75	24.6	14.5	79.23	12	
3.92	16.7	0.09	0.49	41.11	2.5	4.15	20.55	20.54	71.5	13	
3.2	10.5	0.21	0.44	30.22	2.25	4.65	26.54	24.2	62.22	14	
3.65	10.3	0.1	0.34	35.11	2.7	3.75	17.54	22.11	72.51	15	
3.86	10.2	0.1	0.32	44.1	1.2	3.75	22.2	22.7	85.2	16	
4.35	9.2	0.09	0.38	34.5	1.2	1.4	17.4	21.5	81.5	17	
5.04	5.5	0.1	0.27	31.23	1.2	3.75	15.51	19.9	82.5	18	
5.52	10.9	0.1	0.29	33.6	1.2	3.85	16.5	20.16	86.14	19	
7.68	9.3	0.12	0.47	38.11	1.2	3.95	19.2	20.1	87.5	20	
6.94	13.1	0.12	0.4	25.5	1.2	3.9	14.11	21.12	62.11	21	
3.37	12.5	0.11	0.37	38.11	2.5	3.45	15.63	22.21	62.12	22	
11.26	16.5	0.11	0.63	27.2	2.5	4.7	9.11	22.5	50.5	23	
3.3	1.95	0.02	0.08	15.62	0.32	0.29	4.86	2.88	5.07	LSD 5%	
4.67	2.76	0.032	0.11	22.09	0.45	0.42	6.87	4.08	7.17	HSD 5%	

ادامه جدول ۳– مقایسه میانگین صفات لاین های مورد مطالعه در شرایط رژیم مطلوب و تنش خشکی
Continue Table 3. Mean comparison of traits in lines studied under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن غلاف Pod weight (gr)	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ژنوتیپ Genotype	تیمار آبیاری Irrigation treatment
2.4	21.6	0.13	0.48	66.1	3.1	1.4	22.22	17.5	73.54	24	
3.2	12.1	0.16	0.35	60.5	3.1	3.4	24.2	16.3	72.9	25	
4.92	13.5	0.07	0.54	21.1	2.5	3.25	12.5	18.51	52.75	26	
3.3	14.3	0.11	0.45	68.15	1.2	1.4	34.41	18.11	80.11	27	
3.8	8.7	0.14	0.45	20.1	1.2	1.4	10.10	23.22	63.2	28	
6.6	10.10	0.1	0.32	29.11	1.2	3.5	14.51	17.8	52.5	29	
3.52	10.5	0.09	0.35	36.9	1.2	4.45	18.09	23.32	69.14	30	
4.89	17.6	0.12	0.6	33.1	1.2	1.4	16.5	17.2	63.11	31	
4.35	23.6	0.12	0.36	40.1	1.2	4.6	20.2	22.51	59.23	32	
2.88	13.8	0.12	0.39	52.2	2.5	4.05	21.12	19.21	83.1	33	
1.2	17.33	0.1	0.47	30.11	2.3	3.7	13.33	26.23	64.12	34	
2.95	23.32	0.1	0.43	41.3	2.3	3.77	18.2	18.9	49.12	35	
2.2	13.5	0.14	0.56	31.1	1.2	4.25	15.5	21.5	66.5	36	
4.35	23.6	0.09	0.35	26.6	1.2	3.9	13.1	14.2	43.58	37	
3.25	22.8	0.08	0.53	28.11	1.2	3.75	14.2	28.12	51.16	38	تنش شدید Severe stress
3.1	22.2	0.12	0.44	21.11	1.2	3.8	10.5	18.51	52.22	39	
2.92	16.1	0.1	0.51	30.1	1.2	3.3	15.5	18.54	46.22	40	
2.34	12.2	0.09	0.27	26.2	1.2	3.9	13.45	22.51	53.5	41	
3.5	10.17	0.1	0.25	35.7	1.2	3.9	17.52	27.5	82.22	42	
3.2	11.01	0.1	0.38	31.2	1.2	4.02	15.5	22.12	66.12	43	
3.7	11.6	0.11	0.4	35.21	1.2	3.3	18.59	11.2	51.1	44	
2.9	14.8	0.1	0.31	28.91	1.2	1.4	14.12	25.51	68.11	45	
3.3	1.59	0.02	0.08	15.62	0.32	0.29	4.86	2.88	5.07	LSD 5%	
4.67	2.76	0.032	0.11	22.09	0.45	0.42	6.87	4.08	7.17	HSD 5%	

نتایج تجزیه همبستگی بین صفات مورد مطالعه

در شرایط آبیاری مطلوب نتایج همبستگی صفات نشان داد که ارتفاع بوته با صفات تعداد غلاف در بوته (۰/۳۶) و تعداد دانه در بوته (۰/۴) ارتباط معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشته است و همچنین تعداد غلاف در بوته با صفات تعداد دانه در بوته (۰/۹۲) و عملکرد (۰/۸۲) در سطح یک درصد ارتباط مستقیم داشت. نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی صفات نشان داد که طول غلاف با وزن غلاف (۰/۴۹) در سطح ۵ درصد رابطه معنی‌دار و مثبت داشته و از طرفی دیگر تعداد دانه در بوته رابطه مستقیمی با صفت عملکرد (۰/۸۶) دارد (جدول ۴).

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

جدول ۴- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط آبیاری مطلوب

Table 4. Correlation between the studied traits in optimal irrigation conditions

	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن غلاف Pod weight (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)
ارتفاع بوته Plant height	1									
ارتفاع پایین ترین غ/ تا زمین Height of the lowest pod to the ground	0.04^{ns}	1								
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.36*	0.22^{ns}	1							
طول غلاف Sheath length	0.16^{ns}	-0.2^{ns}	0.15^{ns}	1						
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.15^{ns}	-0.32^{ns}	-0.1^{ns}	0.2^{ns}	1					
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	0.4*	0.09^{ns}	0.92**	0.25^{ns}	0.21^{ns}	1				
وزن غلاف Pod weight	0.15^{ns}	-0.06^{ns}	-0.11^{ns}	0.49*	0.19^{ns}	0.01^{ns}	1			
وزن دانه Seed weight	-0.15^{ns}	0.14^{ns}	-0.23^{ns}	0.1^{ns}	0.24^{ns}	-0.3^{ns}	0.3^{ns}	1		
وزن صد دانه Weight of one hundred seeds	-0.13^{ns}	-0.19^{ns}	-0.05^{ns}	0.16^{ns}	0.5^{ns}	-0.1^{ns}	0.2^{ns}	0.14^{ns}	1	
عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant	0.32^{ns}	0.19^{ns}	0.82**	0.32^{ns}	0.08^{ns}	0.86**	0.22^{ns}	0.22^{ns}	0.43^{ns}	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

نتایج بررسی همبستگی صفات زراعی در تیمار تنش ملایم نشان داد که بین صفت ارتفاع بوته با صفات تعداد غلاف در بوته (۰/۴۷) و عملکرد (۰/۴) در سطح ۵ درصد رابطه مثبت معنی‌دار ولی با صفت وزن صد دانه (۰/۵۳-) رابطه معکوس دارد. همچنین همانند تیمار آبیاری مطلوب، در تیمار تنش ملایم نیز میان صفت تعداد غلاف در بوته با صفات تعداد دانه در بوته (۰/۹۳) و عملکرد (۰/۸۴) در سطح یک درصد ارتباط مستقیم برقرار است. در این تحقیق صفت تعداد دانه در غلاف با صفات تعداد دانه در بوته (۰/۶) و عملکرد (۰/۵۳) رابطه مستقیم و معنی‌داری در سطح یک درصد داشت همچنین صفت تعداد دانه در بوته با عمکرد (۰/۹) رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش ملایم

Table 5. Correlation between the studied traits in moderate stress conditions

	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن غلاف Pod weight (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)
ارتفاع بوته Plant height	1									
ارتفاع پایین ترین غ/ تا زمین Height of the lowest pod to the ground	0.1	1								
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.47*	0.06^{ns}	1							
طول غلاف Sheath length	0.17^{ns}	-0.07^{ns}	0.1^{ns}	1						
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	-0.14^{ns}	-0.15^{ns}	0.3^{ns}	0.1^{ns}	1					
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	0.37^{ns}	-0.02^{ns}	0.93**	0.12^{ns}	0.6*	1				
وزن غلاف Pod weight	-0.1^{ns}	0.05^{ns}	0.08^{ns}	0.05^{ns}	0.2^{ns}	0.1^{ns}	1			
وزن دانه Seed weight	0.2^{ns}	-0.04^{ns}	0.02^{ns}	0.17^{ns}	0.15^{ns}	0.14^{ns}	0.3^{ns}	1		
وزن صد دانه Weight of one hundred seeds	-0.53^{ns}	0.09^{ns}	-0.1^{ns}	-0.07^{ns}	0.3^{ns}	0.1^{ns}	0.26^{ns}	0.08^{ns}	1	
عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant	0.4^{ns}	0.06^{ns}	0.84**	0.3^{ns}	0.53*	0.9**	0.28^{ns}	0.27^{ns}	0.05^{ns}	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

در تیمار تنش شدید نتایج همبستگی صفات زراعی بیانگر آن بود که رابطه ارتفاع بوته با صفات تعداد غلاف در بوته (۰/۵۷)، تعداد دانه در بوته (۰/۵۲) و عملکرد دانه (۰/۴۶) در سطح ۵ درصد مثبت و معنی‌دار است ولی با صفت وزن صد دانه (۰/۴۴-) رابطه معکوس نشان می‌دهد. همبستگی صفت تعداد غلاف در بوته با صفات تعداد دانه در بوته (۰/۹) و عملکرد (۰/۸) به‌طور مشابه در دو تیمار آبیاری مطلوب و تنش ملایم در سطح یک درصد مثبت و معنی‌دار بود. نتایج همبستگی صفات در تیمار تنش شدید نشان داد که به‌طور مشابه با نتایج تجزیه همبستگی در شرایط تنش ملایم بین صفت تعداد دانه در غلاف با صفات تعداد دانه در بوته (۰/۴۸) و عملکرد (۰/۴۳) رابطه مستقیم و معنی‌داری در سطح یک درصد برقرار بوده است. همچنین عملکرد با صفت تعداد دانه در بوته (۰/۸۸) در سطح یک درصد و با صفات وزن غلاف (۰/۵۴) و وزن دانه (۰/۶۴) در سطح ۵ درصد رابطه مستقیم داشت. رابطه بین صفت وزن دانه با وزن غلاف نیز در سطح ۵ درصد مثبت و معنی‌دار است (جدول ۶).

جدول ۶- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش شدید

Table 6. Correlation between the studied traits in severe stress conditions

	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع پایین ترین غلاف تا زمین Height of the lowest pod to the ground (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	طول غلاف Sheath length (cm)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن غلاف Pod weight (gr)	وزن دانه Seed weight (gr)	وزن صد دانه Weight of one hundred seeds (gr)	عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant (gr)
ارتفاع بوته Plant height	1									
ارتفاع پایین ترین غ/ تا زمین Height of the lowest pod to the ground	0.23ns	1								
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.57*	-0.2ns	1							
طول غلاف Sheath length	-0.05*	0.13ns	-0.17*	1						
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.15ns	-0.1ns	0.09ns	0.05ns	1					
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	0.52*	-0.12ns	0.9**	-0.15ns	0.48*	1				
وزن غلاف Pod weight	0.05ns	0.01ns	0.3ns	0.1ns	0.25ns	0.34ns	1			
وزن دانه Seed weight	0.15ns	0.22ns	0.21ns	0.1ns	0.23ns	0.25ns	0.64*	1		
وزن صد دانه Weight of one hundred seeds	0.44*	0.03ns	-0.06ns	0.11ns	0.03ns	0.03ns	0.36ns	0.2 ns	1	
عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant	0.46*	-0.02ns	0.8**	-0.1ns	0.43*	0.88**	0.54*	0.64*	0.13ns	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

با استفاده از نتایج ضرایب همبستگی صفات می‌توان میزان تفاوت‌ها و نوع رابطه (مثبت یا منفی) بین آنها را شناسایی کرد و در واقع می‌توان صفات موثر را انتخاب نمود. با توجه به نتایج همبستگی بیشترین رابطه با صفت عملکرد دانه در شرایط تنش شدید مربوط به صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته بود که می‌توانند برای بهبود عملکرد دانه در برنامه‌های به‌نژادی به‌عنوان مبنایی برای انتخاب قابل توصیه باشند. در مراحل رشد زایشی گیاه سویا، تنش خشکی باعث کاهش انتقال مواد غذایی مورد نیاز برای پر شدن دانه می‌شود و گیاهان به ناچار برای کاهش اثرات تنش خشکی فرآیندهای متابولیکی دیگر را در پیش گرفته تا بین تعداد گل‌ها و غلاف-ها برای جذب و مصرف مواد غذایی تعادل برقرار شود (۳۸).

نتایج تجزیه رگرسیون بین صفات مورد مطالعه

در تجزیه رگرسیون گام به گام، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. در شرایط آبیاری مطلوب دو صفت تعداد دانه در بوته و وزن دانه در مدل رگرسیونی وارد شدند (جدول ۷). این مدل در نهایت ۹۷ درصد از تغییرات مربوط به صفت عملکرد دانه را توجیه نمود. صفت تعداد دانه در بوته به تنهایی ۷۳ از تغییرات عملکرد را توضیح می‌داد.

$Y= 3.97 + 8.55x8 + 0.15x6$

دراین معادله، Yعملکرد دانه، x6تعداد دانه در بوته، x8وزن دانه می‌باشد.

در شرایط تنش ملایم دو صفت تعداد دانه در بوته و طول غلاف در مدل رگرسیونی وارد شدند (جدول ۷). این مدل در نهایت ۸۴ درصد از تغییرات مربوط به صفت عملکرد دانه را توجیه نمود و صفت تعداد دانه در بوته به تنهایی ۸۰ درصدا از تغییرات را شامل شد.

$Y = 0.26 + 0.15x6 + 1.17x4$

در این معادله،Yعملکرد دانه، x6تعداد دانه در بوته و x4 طول غلاف می‌باشد.

در شرایط تنش خشکی شدید نیز دو صفت تعداد دانه در بوته و وزن دانه در مدل رگرسیونی وارد شدند (جدول۷). این مدل در نهایت ۹۷ درصد از تغییرات مربوط به صفت عملکرد دانه را توجیه نمود و صفت تعداد دانه در بوته به تنهایی ۷۸ درصد از تغییرات را در بر می‌گیرد.

$Y = -1.32 + 0.155x6 + 36.55x8$

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

در این معادله، Yعملکرد دانه، x6 تعداد دانه در بوته و x8 وزن دانه می‌باشد.

با توجه به نتایج در شرایط تنش شدید صفات تعداد دانه در بوته و وزن دانه بیشترین ارتباط را با عملکرد داشتند و می‌توان از آنها در برنامه اصلاحی استفاده کرد همچنین در تنش ملایم با توجه به عدم تاثیر گذاری وزن دانه در عملکرد این صفت در مدل وارد نشد اما با افزایش تنش، نقش وزن دانه بر عملکرد آشکار گردید.

جدول ۷- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید

Table 7. Stepwise regression analyiss for seed yield as dependent variable and other traits as independent variables in normal irrigation ،moderate and severe stress conditions

تنش شدید Severe stress		تنش ملایم Moderate stress		رژیم آبیاری مطلوب Normal irrigation		صفت اضافه شده به مدل Trait added to the model
2	1	2	1	2	1	
-1.32	-4.99	0.26	−6.55	3.9	-14.5	عدد ثابت constant number
0.155	0.136	0.151	0.147	0.15	0.18	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant
36.55	–	–	–	78.55	–	وزن دانه Seed weight
–	–	1.7	–	–	–	طول غلاف Sheath length
0.97	0.78	0.84	0.8	0.97	0.73	ضریب تبیین (R^2) Coefficient of determination

شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

برآورد شاخص‌های تحمل به تنش ارقام مورد مطالعه بر اساس عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم شاخص‌های مرتبط با تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۸ آورده شده است. با توجه به شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه، ارقامی که بیشترین مقدار را برای شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، پایداری عملکرد(YSI)، میانگین حسابی (MP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص عملکرد (YI) و میانگین هندسی (GMP) و کمترین مقدار را برای شاخص‌های تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) نشان دهند و در عین حال عملکرد بالایی نیز داشته باشند، تحمل بالاتری نسبت به شرایط تنش خشکی دارند (۴).

ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۲ بیشترین مقدار را برای شاخص میانگین هارمونیک (HM)، شاخص MP، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی (GMP) در تیمارهای مختلف تنش نشان دادند. در مطالعات زیادی برتری شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین حسابی (MP) و میانگین هندسی (GMP) برای غربال ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و با کمترین نوسان عملکرد در محیط‌های تنش گزارش شده است. مقدار بالا برای شاخص تحمل به تنش (STI) دلالت بر تحمل بالاتر به شرایط تنش دارد (۱۹). کمترین مقدار شاخص حساسیت به تنش (SSI) برای ژنوتیپ‌های ۳۵ و ۳۲ و بیشترین مقدار شاخص پایداری عملکرد (YSI) مربوط به ژنوتیپ‌های ۴۰ و ۳۲ در شرایط تنش ملایم و تنش شدید اندازه‌گیری شده است. با توجه به فرمول شاخص پایداری عملکرد (YSI) اینطور استنباط می‌شود که هرچه عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش بزرگتر و در شرایط بدون تنش کوچک‌تر باشد، پایداری عملکرد (YSI) بیشتری خواهد داشت. کمترین مقادیر برای شاخص تحمل (TOL) برای ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴ و ۳۶ در شرایط تنش شدید محاسبه شد. مقادیر بالاتر شاخص تحمل (TOL) حاکی از حساسیت یک ژنوتیپ است و ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین برای این شاخص در هر دو شرایط تنش و بدون تنش پایدارتر هستند (۳۱).

بیشترین مقادیر شاخص عملکرد (YI) برای ژنوتیپ شماره ۲۷، ۶، ۲۴ و ۲۵ در شرایط تنش شدید مشاهده شد. با توجه به رابطه شاخص عملکرد (YI)، اطلاعات حاصل از پتانسیل عملکرد در این شاخص وارد نمی‌شود و اگر همبستگی بالایی بین پتانسیل عملکرد و عملکرد در شرایط تنش وجود نداشته باشـــد، ژنوتیپ‌های انتخابی با این شاخص تنها بر اساس برتری عملکرد در شرایط تنش انتخاب خواهند شد (۳۱). صفائی چائی‌کار و همکاران (۳۲) از نظر شاخص تحمل به تنش (STI) ارقام نعمت و سپیدرود را متحمل و ارقام دم سفید، حسن سرایی و دم سرخ را حساس به تنش خشکی معرفی کردند. جدای از توسعه ارقام با عملکرد دانه بالاتر تحت شرایط تنش خشکی، مهم این است که ارقام متحمل انتخابی دارای پتانسیل عملکرد برابر یا بیشتر از واریته‌های مرسوم زراعی داشته باشند (۱۵). طبخ‌کار و همکاران (۳۶) در بررسی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان دادند که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص میانگین عملکرد نسبی و کارایی نسبی با داشتن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی هستند.

با توجه به نتایج بدست آمده، ژنوتیپ‌هایی که بیشترین شاخص تحمل به تنش خشکی را دارند با ایجاد سازگاری با شرایط تنش‌زا، عملکرد دانه خود را افزایش داده یا حفظ نمودند.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم
Table 8. Means comparisons of stress tolerance indices in optimal irrigation - moderate stress

بدون تنش (Yp)	تنش خشکی (Ys)	شاخص تحمل (TOL)	حساسیت به تنش (SSI)	میانگین حسابی (MP)	تحمل به تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	میانگین هندسی (GMP)	پایداری عملکرد (YSI)	میانگین هارمونیک (HM)	ژنوتیپ
13.1	5.28	7.82	1.22	9.19	0.23	0.53	8.32	0.4	7.53	1
15.9	6.43	9.47	1.22	11.17	0.33	0.72	10.11	0.4	9.16	2
18.24	9.78	8.46	0.95	14.01	0.58	1.09	13.36	0.54	12.73	3
17.4	7.45	9.95	1.17	12.43	0.42	0.83	11.38	0.43	10.43	4
22.86	13.35	9.51	0.85	18.11	1.01	1.48	17.47	0.58	16.86	5
24.8	12.45	12.37	1.02	18.64	1.1	1.38	17.57	0.5	16.58	6
12.9	6.8	6.1	0.97	9.85	0.29	0.76	9.37	0.53	8.91	7
23.55	8.52	15.03	1.3	16.04	0.66	0.95	14.16	0.36	12.51	8
17.17	7.26	9.1	1.18	12.22	0.41	0.81	11.16	0.42	10.21	9
14.95	5.27	9.58	1.31	10.16	0.26	0.6	8.96	0.36	7.9	10
18.28	10.9	7.33	0.82	14.62	0.66	1.22	14.51	0.6	13.7	11
35.1	15.33	19.77	1.15	25.22	1.79	1.71	23.2	0.44	21.34	12
37.8	18.51	19.29	1.01	28.16	2.29	2.6	26.45	0.49	24.53	13
20.24	10.3	10.01	1.01	15.34	0.69	1.15	14.5	0.51	12.7	14
11.16	8.64	2.52	0.46	9.9	0.73	0.96	8.82	0.77	9.74	15
18.87	12.7	6.17	0.67	15.79	0.78	1.41	15.48	0.67	15.18	16
12.56	4.74	7.82	1.27	8.65	0.19	0.53	7.72	0.38	6.88	17
10.42	5.68	4.74	0.93	8.05	0.19	0.63	7.69	0.55	7.35	18
11.72	6.68	5.04	0.88	9.2	0.26	0.73	8.85	0.57	8.51	19
9.79	6.27	3.52	0.73	8.03	0.2	0.7	7.83	0.64	7.64	20
20.19	9.94	10.25	1.04	15.07	0.66	1.11	14.7	0.49	13.52	21
12.55	10.4	2.15	2.35	11.48	0.43	1.16	11.42	0.83	11.37	22
12.51	9.28	3.23	0.53	10.9	0.38	1.3	10.72	0.74	10.66	23

ادامه جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین شاخص های تحمل به تنش در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم
Continue Table 8. Means comparisons of stress tolerance indices in optimal irrigation - moderate stress

بدون تنش (Yp)	تنش خشکی (Ys)	شاخص تحمل (TOL)	حساسیت به تنش (SSI)	میانگین حسابی (MP)	تحمل به تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	میانگین هندسی (GMP)	پایداری عملکرد (YSI)	میانگین هارمونیک (HM)	ژنوتیپ
24.88	11.46	13.42	1.1	18.17	0.93	1.27	10.98	0.46	15.69	24
24.63	15.52	9.11	0.75	20.28	1.25	1.73	19.55	0.62	19.14	25
13.5	7.29	6.21	0.94	10.4	0.32	0.83	9.92	0.54	9.47	26
20.73	16.87	3.86	0.38	18.8	1.14	1.88	18.7	0.81	18.6	27
11.13	3.51	7.62	1.4	7.32	0.13	0.39	16.25	0.32	5.34	28
11.24	7.45	3.89	0.7	9.4	0.28	0.83	9.19	0.66	8.99	29
25.74	11.18	14.46	1.15	18.51	0.95	1.25	17.4	0.44	15.69	30
19.3	8.77	10.53	1.11	14.04	0.55	0.98	13.1	0.45	12.6	31
16.99	14.90	2.09	0.25	15.95	0.83	1.66	15.91	0.88	15.8	32
19.95	13.3	6.65	0.68	16.63	0.87	1.48	16.29	0.67	15.96	33
12.15	7.57	4.58	0.77	9.86	0.3	0.84	9.59	0.62	9.33	34
26.49	11.24	15.25	0.17	18.87	0.97	1.25	17.26	0.42	15.78	35
17.25	8.39	8.86	1.05	12.82	0.47	0.93	12.03	0.49	11.29	36
15.06	4.48	10.58	1.43	19.77	0.22	0.75	18.21	0.3	6.01	37
15.6	8.1	7.5	0.98	8.85	0.41	0.9	11.24	0.52	10.66	38
7.79	4.94	2.85	0.75	6.37	0.13	0.55	6.2	0.63	6.05	39
6.12	5.81	4.31	0.1	5.97	0.12	0.65	5.96	0.95	5.96	40
11.05	4.38	6.77	1.23	7.72	0.16	0.49	5.96	0.4	6.27	41
25.65	8.3	17.35	1.38	16.98	0.71	0.82	14.59	0.31	12.54	42
24.55	6.4	17.7	1.51	15.48	0.51	0.71	12.53	0.26	10.15	۴۳
17.4	6.85	7.85	1.09	10.77	0.33	0.76	10.03	0.47	9.35	۴۴
15.96	8.64	7.32	0.94	12.3	0.45	0.96	11.72	0.54	11.21	۴۵

ادامه جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین شاخص های تحمل به تنش در شرایط آبیاری مطلوب – تنش شدید
Continue Table 8. Means comparisons of stress tolerance indices in optimum irrigation - severe stress

بدون تنش (Yp)	تنش خشکی (Ys)	شاخص تحمل (TOL)	حساسیت به تنش (SSI)	میانگین حسابی (MP)	تحمل به تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	میانگین هندسی (GMP)	پایداری عملکرد (YSI)	میانگین هارمونیک (HM)	ژنوتیپ
13.5	2.3	11.2	1.11	7.9	0.1	0.53	5.57	0.17	3.93	1
20.73	3.25	17.48	1.12	11.99	0.22	0.75	8.21	0.16	5.62	2
11.13	3.71	7.42	0.89	7.42	0.14	0.86	6.43	0.33	5.55	3
11.34	5.3	6.04	0.71	8.32	0.2	1.23	7.75	0.47	7.22	4
25.74	3.45	22.29	1.15	14.6	0.29	0.8	9.42	0.13	6.08	5
19.3	9.15	10.15	0.7	14.23	0.58	2.21	13.29	0.47	12.41	6
16.99	5.64	11.35	0.89	11.23	0.31	1.31	9.79	0.33	8.41	7
19.95	5.7	14.25	0.95	12.83	0.37	1.32	10.66	0.29	8.87	8
12.15	4.97	7.18	0.79	8.56	0.2	1.15	7.77	0.41	7.05	9
26.49	3.6	23.43	1.18	14.78	0.27	0.71	9.01	0.12	5.49	10
17.25	4.75	12.5	0.97	11.1	0.27	1.1	9.05	0.28	7.45	11
16.06	6.72	8.34	0.74	10.89	0.33	1.56	10.06	0.45	9.29	12
15.6	3.92	11.68	1.01	9.76	0.2	0.91	7.82	0.20	6.27	13
7.79	3.18	4.61	0.79	5.49	0.08	0.14	4.98	0.41	4.52	14
6.12	3.65	2.47	0.54	4.89	0.07	0.84	4.73	0.6	4.57	15
11.5	4.6	6.45	0.78	7.73	0.17	1.06	7.13	0.42	1.2	16
25.65	3.7	21.95	1.14	14.68	0.31	0.86	9.74	0.14	6.47	17
24.55	2.95	21.6	1.17	13.75	0.24	0.68	8.51	0.12	5.29	18
14.7	3.45	11.25	1.02	9.8	0.17	0.8	7.12	0.23	5.59	19
15.96	3.86	12.1	1.01	9.91	0.2	0.89	7.85	0.24	6.22	20
11.4	4.35	7.05	0.82	7.88	0.16	1.01	7.04	0.38	6.3	21
13.1	5.4	8.06	0.82	9.07	0.22	1.17	8.13	0.38	7.28	22
15.9	5.52	10.38	0.87	10.71	0.29	1.28	9.37	0.35	8.9	23

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

ادامه جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین شاخص های تحمل به تنش در شرایط آبیاری مطلوب – تنش شدید
Continue Table 8. Means comparisons of stress tolerance indices in optimum irrigation - severe stress

ژنوتیپ	میانگین هارمونیک (HM)	پایداری عملکرد (YSI)	میانگین هندسی (GMP)	شاخص عملکرد (YI)	تحمل به تنش (STI)	میانگین حسابی (MP)	حساسیت به تنش (SSI)	شاخص تحمل (TOL)	تنش خشکی (Ys)	بدون تنش (Yp)
24	10.81	0.42	11.84	1.78	0.46	12.96	0.77	10.56	7.68	18.24
25	9.92	0.4	10.99	1.61	0.4	12.17	0.8	10.46	6.94	17.4
26	5.87	0.15	8.78	0.73	0.25	13.12	1.14	19.49	3.37	22.86
27	15.49	0.45	16.72	2.61	0.91	18.04	0.75	13.56	11.26	24.82
28	2.53	0.11	4.25	0.32	0.06	7.15	1.19	11.5	1.4	12.9
29	5.63	0.14	8.68	0.74	0.25	13.38	1.15	20.35	3.2	23.55
30	7.65	0.29	9.19	1.14	0.28	11.05	0.95	12.25	4.92	17.17
31	5.41	0.22	7.02	0.76	0.16	9.13	1.04	11.65	3.3	14.95
32	6.29	0.21	8.33	0.88	0.23	11.04	1.06	14.58	3.8	18.28
33	10.48	0.18	14.7	1.43	0.71	20.63	1.1	29.94	6.16	35.1
34	6.44	0.09	11.53	0.81	0.44	20.66	1.21	34.28	3.52	37.8
35	7.88	0.24	9.97	1.13	0.33	12.62	1.01	15.45	4.89	20.3
36	6.26	0.39	6.97	1.01	0.16	7.76	0.81	6.81	4.35	11.16
37	5.01	0.15	7.37	0.67	0.18	10.88	1.13	15.99	2.88	18.87
38	4.58	0.22	5.93	0.65	0.12	7.68	1.04	9.76	2.8	12.56
39	4.6	0.28	5.54	0.68	0.1	6.69	0.96	7.47	2.95	10.42
40	4.6	0.24	5.79	0.66	0.11	7.29	1.01	8.86	2.86	11.79
41	3.59	0.22	4.64	0.51	0.07	6.01	1.03	7.59	2.2	9.79
42	7.16	0.22	9.37	1.01	0.29	12.27	1.25	15.84	4.35	20.19
43	5.16	0.26	6.39	0.75	0.13	7.9	0.96	9.3	3.25	12.55
44	4.97	0.25	6.23	0.72	0.13	7.81	1.01	9.41	3.1	12.51
45	5.23	0.12	8.52	0.68	0.24	13.9	1.18	21.96	2.92	24.88

همبستگی میان شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط آبیاری مطلوب - تنش ملایم و آبیاری مطلوب - تنش شدید

ضرایب همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های تنش و عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط آبیاری مطلوب - تنش ملایم و آبیاری مطلوب - تنش شدید در جدول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. نتایج تحلیل همبستگی ساده بین عملکرد دانه در شرایط رژیم آبیاری مطلوب — تنش ملایم و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی نشان می‌دهد که عملکرد دانه با شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (STI) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار (۹۹ درصد) در سطح یک درصد دارد (جدول ۹) لذا استفاده از این شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش کارایی بالایی دارند. در ارزیابی تحمل به خشکی در گندم مشخص شد که به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP) و تحمل به تنش (STI) با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، انتخاب می‌تواند بر اساس مقادیر بالا برای این شاخص‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش انجام شود. لکر و همکاران (۲۳) با بررسی سطح تحمل هفت ژنوتیپ گندم در شرایط تنش کمبود آب و بدون تنش، شاخص‌های میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP) و تحمل به تنش (STI) را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط و شاخص‌های تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) را به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت تعیین سطوح تحمل ژنوتیپ‌ها معرفی نمودند (۲۳). از نتایج همبستگی ساده بین عملکرد دانه در شرایط رژیم آبیاری مطلوب — تنش شدید و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی می‌توان دریافت که عملکرد دانه با شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و میانگین حسابی (MP) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار در سطح یک درصد دارد (جدول ۱۰). به‌طور کل، شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند، به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شوند. زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی می‌باشند.

جدول ۹- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های مرتبط با تحمل تنش در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم.
Table 9. Simple correlation coefficients between yield and indices related to stress tolerance under optimum irrigation - moderate stress

	بدون تنش (Yp)	تنش خشکی (Ys)	شاخص تحمل (TOL)	حساسیت به تنش (SSI)	میانگین حسابی (MP)	تحمل به تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	میانگین هندسی (GMP)	پایداری عملکرد (YSI)	میانگین هارمونیک (HM)
بدون تنش (Yp)	1									
تنش خشکی (Ys)	0.87**	1								
شاخص تحمل (TOL)	0.96**	0.33^{ns}	1							
حساسیت به تنش (SSI)	0.55*	0.36^{ns}	0.92**	1						
میانگین حسابی(MP)	-0.12^{ns}	0.65*	0.93**	0.73**	1					
تحمل به تنش (STI)	0.97**	0.6*	0.64*	0.99**	0.89**	1				
شاخص عملکرد (YI)	0.96**	-0.09^{ns}	-0.05^{ns}	0.32^{ns}	0.9**	0.96**	1			
میانگین هندسی (GMP)	0.96**	0.05^{ns}	0.9**	-0.27^{ns}	0.62*	0.88**	0.18^{ns}	1		
پایداری عملکرد (YSI)	0.99**	0.36^{ns}	0.97**	0.88*	0.09^{ns}	0.71**	-0.24^{ns}	0.85**	1	
میانگین هارمونیک (HM)	0.12^{ns}	0.02^{ns}	0.3^{ns}	0.9**	0.96**	0.03^{ns}	0.39^{ns}	0.33^{ns}	0.73**	1

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد
ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های مرتبط با تحمل تنش در شرایط آبیاری مطلوب- تنش شدید
Table 10. Simple correlation coefficients between yield and indices related to stress tolerance under optimum irrigation - severe stress

	بدون تنش (Yp)	تنش خشکی (Ys)	شاخص تحمل (TOL)	حساسیت به تنش (SSI)	میانگین حسابی (MP)	تحمل به تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	میانگین هندسی (GMP)	پایداری عملکرد (YSI)	میانگین هارمونیک (HM)
بدون تنش (Yp)	1									
تنش خشکی (Ys)	0.36^{ns}	1								
شاخص تحمل (TOL)	0.92**	-0.6*	1							
حساسیت به تنش (SSI)	0.14^{ns}	0.6*	0.93**	1						
میانگین حسابیMP	-0.35^{ns}	-0.74**	0.81**	0.99**	1					
تحمل به تنش (STI)	0.5*	-0.98**	0.51^{ns}	-0.98**	0.59*	1				
شاخص عملکرد (YI)	0.88**	-0.3^{ns}	-0.05^{ns}	-0.09^{ns}	0.83**	0.77**	1			
میانگین هندسی (GMP)	0.92**	0.11^{ns}	0.75**	-0.5*	0.46*	0.37^{ns}	0.6*	1		
پایداری عملکرد (YSI)	0.88**	*0.6	0.98**	0.37^{ns}	-0.1^{ns}	0.76**	-0.5*	0.92**	1	
میانگین هارمونیک (HM)	0.37^{ns}	0.07^{ns}	0.8**	0.83**	0.73**	0.3^{ns}	0.73**	0.09^{ns}	0.1^{ns}	1

ns *و** به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش از طریق تجزیه کلاستر

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس اطلاعات حاصل از شاخص‌های تنش از روش Ward استفاده شد. ژنوتیپ‌ها بر مبنای ۱۰ شاخص مورد مطالعه در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم و آبیاری مطلوب – تنش شدید، در ۳ گروه قرار گرفتند. در گروه اول و دوم ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب متحمل و نیم‌متحمل و در گروه سوم ژنوتیپ‌های حساس قرار گرفتند. خط برش برای ترسیم نمودار بر اساس نظر محقق انجام شد (شکل ۱ و ۲). با توجه به حداکثر فاصله ژنتیکی بین این سه گروه از نظر عملکرد و تحمل به تنش، می‌توان به‌منظور مطالعات بیشتر در مورد ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی، از طریق ایجاد جمعیت در حال تفرق بوسیله دورگ‌گیری بین این ژنوتیپ‌ها استفاده نمود. بهرامی و همکاران (۶) با استفاده از تجزیه کلاستر بر مبنای شاخص‌های تحمل به خشکی توانستند ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ را به گروه‌های متحمل و حساس تفکیک کنند. تجزیه خوشه‌ای در مطالعات دادرس و همکاران (۱۰) ارقام و لاین‌های سویا را در هر کدام از محیط‌ها به دو تا سه گروه تقسیم‌بندی نمود. ارقام و لاین‌های برتر در خوشه‌هایی قرار گرفتند که میانگین اکثر صفات مهم آنها بیشتر از سایر گروه‌ها و میانگین کل بود.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های سویا در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم و آبیاری مطلوب – تنش شدید به‌منظور درک بیشتر ارتباط بین شاخص‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در هر دو شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم و آبیاری مطلوب – تنش شدید در جداول ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم، به‌طور کلی دو مؤلفه اول که سهم بیشتری در تغییرات را داشتند، انتخاب شدند. این دو مؤلفه بیش از ۹۳/۳۴ درصد از اطلاعات کل را شامل شدند. مؤلفه اول ۶۹/۱۲ درصد تغییرات کل را توجیه کرد. این مؤلفه به جز شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و پایداری عملکرد (YSI) با سایر شاخص‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری داشت. مؤلفه دوم نیز با توجیه ۲۴/۱۸ درصد از تغییرات کل در ماتریس داده‌ها، بیشترین همبستگی منفی را با شاخص پایداری عملکرد (YSI) و همبستگی مثبت با شاخص‌های تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) نشان داد.

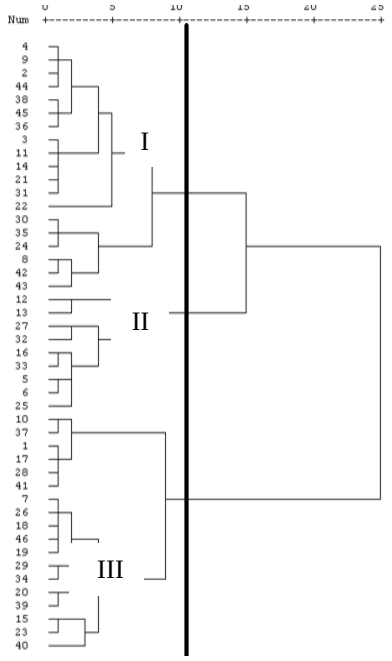
در شرایط آبیاری مطلوب – تنش شدید، نیز دو مؤلفه اول که سهم بیشتری در تغییرات را داشتند، انتخاب شدند. این دو مؤلفه بیش از ۹۲/۶ درصد از اطلاعات کل را شامل شدند. مؤلفه اول ۵۸/۷۶ درصد تغییرات کل را توجیه کرد. این مؤلفه به جز شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و پایداری عملکرد (YSI) با سایر شاخص‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری داشت. مؤلفه دوم نیز با توجیه ۴۰/۲۵ درصد از تغییرات کل در ماتریس داده‌ها، به جز شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) با سایر شاخص‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری داشت.

در هر دو شرایط تنش، مؤلفه اول میانگین هندسی (GMP) و مؤلفه دوم حساسیت به تنش (SSI) بیشترین مقدار را داشتند و در شرایط تنش به‌عنوان موثرترین صفات در پتانسیل عملکرد هستند. به‌عبارت دیگر این مؤلفه‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا هستند و همچنین، مقادیر بیشتر مؤلفه اول مطلوب‌تر است. با توجه به اینکه هر یک از این مولفه‌ها ترکیب خطی از ۱۰ متغیر اولیه بوده و در برگیرنده واریانس آنها نیز می‌باشند، تنوع موجود در بین ژنوتیپ‌ها به راحتی با دو مولفه اولیه که با همدیگر همبستگی ندارند، قابل توجیه است.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

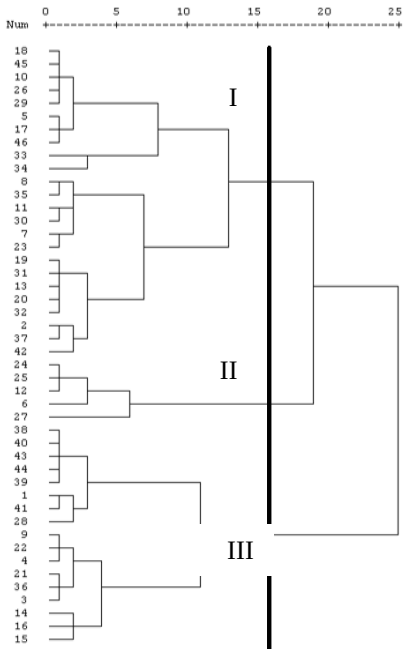
نمودار بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی

بررسی نمودار دو بعدی برای ژنوتیپ‌های سویا با استفاده از دو مولفه اول و دوم شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در شرایط آبیاری مطلوب – تنش ملایم نشان داد که ژنوتیپ ۱۳ و ۱۲ دارای عملکرد مناسبی هستند و همچنین در شرایط آبیاری مطلوب – تنش شدید ژنوتیپ‌های ۳۳ و ۳۴ از جمله ژنوتیپ‌های متحمل مورد مطالعه در این پژوهش بودند که می‌توان از آنها به‌عنوان واریته متحمل در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد (شکل ۳ و ۴).



شکل ۱– دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه سویا با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش براساس روش Ward در شرایط آبیاری مطلوب– تنش ملایم

Figure 1. Cluster analysis for studied soybean genotypes using stress tolerance and susceptibility indices based on Ward method in normal irrigation and moderate stress



شکل ۲– دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه سویا با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش براساس روش Ward در شرایط آبیاری مطلوب– تنش شدید

Figure 2. Cluster analysis for studied soybean genotypes using stress tolerance and susceptibility indices based on Ward method in normal irrigation and severe stress

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

جدول ۱۱- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های سویا در شرایط آبیاری مطلوب - تنش ملایم

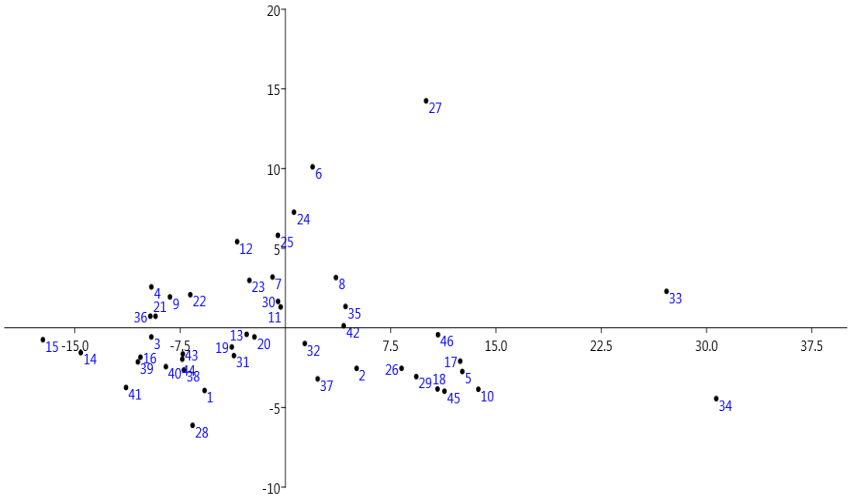
Table 11. Principal component analysis for studied indices in soybean genotypes in normal irrigation and moderate stress

مولفه‌ها Component		
2	1	صفات Traits
0.339	0.931	(Yp) بدون تنش
-0.347	0.924	(Ys) تنش خشکی
0.648	0.65	(TOL) تحمل
0.803	-0.05	(SSI) حساسیت به تنش
0.103	0.992	MPمیانگین حسابی
-0.036	0.976	(STI) تحمل به تنش
-0.359	0.923	(YI) شاخص عملکرد
-0.011	0.998	(GMP) میانگین هندسی
-0.953	0.01	(YSI) پایداری عملکرد
-0.118	0.99	(HM) میانگین هارمونیک
24.118	69.121	واریانس نسبی
93.24	69.121	درصد تجمعی واریانس
2.41	6.91	ریشه مشخصه

جدول ۱۲- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های سویا در شرایط آبیاری مطلوب - تنش شدید

Table 12. Principal components analysis for studied indices in soybean genotypes in normal irrigation and severe stress

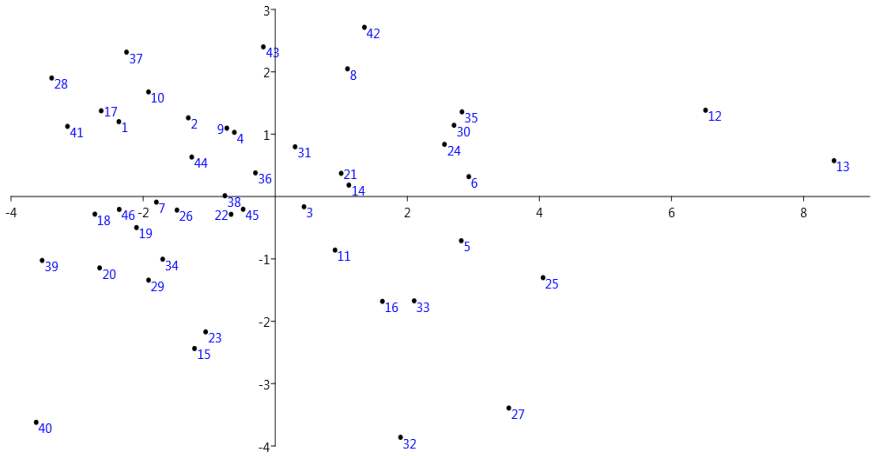
مولفه‌ها Component		
2	1	صفات Traits
0.710	0.678	(Yp) بدون تنش
-0.530	0.841	(Ys) تنش خشکی
0.868	0.464	(TOL) تحمل
0.955	0.114	(SSI) حساسیت به تنش
0.525	0.842	MPمیانگین حسابی
0.008	0.987	(STI) تحمل به تنش
-0.532	0.839	(YI) شاخص عملکرد
0.06	0.995	(GMP) میانگین هندسی
-0.962	0.134	(YSI) پایداری عملکرد
-0.297	0.909	(HM) میانگین هارمونیک
40.254	56.292	واریانس نسبی
96.548	56.292	واریانس تجمعی درصد
4.026	5.629	مشخصه ریشه



شکل ۳- بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی و ژنوتیپ‌ها براساس مولفه‌های اول و دوم در شرایط آبیاری مطلوب - تنش ملایم

Figure 3. Biplot of drought tolerance indices and genotypes based on the first and second components in moderate stress conditions.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]



شکل ۴- بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی و ژنوتیپ‌ها براساس مولفه‌های اول و دوم شرایط آبیاری مطلوب – تنش شدید
Figure 4. Biplot of drought tolerance indices and genotypes based on the first and second components in normal irrigation and severe stress conditions

عوامل فیزیولوژیکی و متابولیکی زیادی در کاهش عملکرد گیاه سویا در اثر تنش خشکی نقش دارند و بسته به زمان و شدت تنش در مراحل مختلف رشدی، گیاه سویا مسیر متفاوتی را برای تحمل به تنش خشکی انتخاب می‌کند. با توجه به نتایج می توان گفت که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش،دارای کارایی بیشتر در سوخت و ساز، تنظیم فشار تورژسانس سلولی، قدرت رشد ریشه برای جذب آب، میزان هدایت روزنه ای مطلوب و عواملی که باعث کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد می شوند، برخوردار هستند. همه این عوامل در نهایت بر دو صفت تعداد دانه و وزن دانه که با توجه به نتایج تجزیه رگرسیون بیشترین ارتباط را با عملکرد داشتند، اثر گذار هستند و منجر به این می شود که گیاه خود را نسبت به عوامل تنش زا سازگار کند. از میان شاخص‌های تحمل، شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و میانگین حسابی (MP) رابطه بسیار معنی‌داری با عملکرد (P<0.01) داشتند، از این‌رو این شاخص‌ها به خوبی می توانند ژنوتیپ متحمل را در شرایط تنش از لحاظ عملکرد تفکیک کنند. با توجه به نتایج این پژوهش تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل تنش خشکی وجود داشت و می توان از آنها در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور ایجاد ارقام متحمل به تنش بهره برداری نمود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های Columbus، Hill، Williams، Bonus، Emperor و Ohio FG2 بیشترین میزان پارامترهای مرتبط با تحمل تنش خشکی را نشان دادند. استفاده از این ژنوتیپ‌ها در مناطقی که دچار کمبود آب هستند قابل توصیه است.

منابع

1. Abayomi, A.Y. 2008. Comparative growth and grain yield response of early and late soybean maturity groups to induced soil moisture stress at different growth stage. Word J of Agric Sciences, 4(1): 71-78.
2. Abd El-Mohsen, A.A., M.A. Abd El-Shafi, E.M.S Gheith, H.S. Suleiman. 2015. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. Advance in Agriculture and Biology, 4: 19-30.
3. Albarrak, G.H. 2000. Effect of irrigation regimes, planting data Nitrogen level on Brassica napus.Cultivars Agronomy Journal, 7(1): 87-89.
4. Amini, A.R., A. Soleymani and M.H. Shahrajabian. 2012. Assess the usefulness of various indices and yield potential in identifying cultivars of barley adapted to water stress. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4(7): 364-367.
5. Aminifar, J., M. Abadi, G.R., M.H. Bigloui and H.A. Samizadeh. 2013. Effect of low irrigation on yield, yield components and water productivity of soybean cultivar T.215. Water and Irrigation Engineering, 3(1): 24-34.
6. Bahrami, F., A. Arzani and V. Karimi. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. Agronomy Journal, 106(4): 1219-1224.
7. Barbosa, R.M., B.G.T.L.Vieira, A.S. Ferraudo, J.E. Corá and R.D. Vieira. 2013. Discrimination of soybean seed lots by multivariate exploratory techniques. Journal of Seed Science, 35(3): 302-310.
8. Behmaram, R., A.F. Faraji and H. Amiari-Oghan. 2006. Evaluation of drought tolerance in spring rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). The 9th Iranian Congress of Crop Science congress. Aboureyhan Campus-University of Tehran, 496 pp.
9. Bowman, D., P. Raymer and D. Dombek. 1993. Crop performance trial under irrigated and dry land conditions. Agronomy Journal, 85: 610-614.
10. Dadres, A., H. Samyazadeh and H. Sabouri. 2016. Evaluation and grouping of soybean cultivars and lines in non stress and drought stress conditions using multivariate statistical methods in two regions of Rasht and GonbadKavoos. Electronic Journal Of Crop Production, 9: 105-115 (In Persian with English Summary).

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]

11. Daneshian, J., E. Majidi-Heravan, A.H. Hashemi Dezfoli and G. Nour Mohamadi. 1999. Evaluation the effect of drought stress on qualitative and quantitative traits of two soybean cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 1: 35-45.
12. Daneshian, J., G. Nour Mohamadi and P. Jenobi. 2002. Evaluation the response of soybean to drought stress and different amounts of prosperous. The 7th International Conference on Agronomy and Plant improvement of Iran. Karaj, Seed and Plant Improvement Institute.
13. Desclaux, D., H. Tung-Thanh and P. Roumet. 2000. Identification of soybean characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Science, 40: 716-722.
14. Divsalar, M., Z. Tahmasbi Sarvestani, S.A.M. Modares Sanavi and A. Hamidi. 2016. The evaluation of drought stress impact as irrigation withholding at reproductive stages on quantitative and qualitative performance of soybean cultivars. Agricultural Crop Management (Journal of Agriculture), 18(2): 481-493.
15. Dixit, S., A. Singh and A. Kumar. 2014. Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. International Journal of Agronomy
16. El-Hashash, E.F. 2016. Genetic diversity of soybean yield based on cluster and principal cmponent analyses. Journal of Advances in Biology and Biotechnology, 10: 1-9.
17. Gilani, A. 2010. Determination of tolerance mechanisms and physiological effect of heat stress on rice cultivars in Khouzestan. PhD. Thesis, Agriculture and Natural Resources University of Ramin, Ahwaz, Iran, 250 pp.
18. Izanlo, A., H. Zainali Khaneghah, A. Hosain Zadeh and N. Majnon Hosaini. 2002. Determination the best drought tolerance indices in commercial soybean cultivars. The 7th International Conference on Agronomy and Plant improvement of Iran. Karaj, Seed and Plant Improvement Institute.
19. Jalilvandy, A. and M. Rozrokh. 2013. Assessment of drought tolerance Indices in wheat genotypes. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6(7): 370-374.
20. Kargar, M., A. Mostafaei, I. Majidi and H. Saeed Pourdad. 2012. Investigation of Correlation and Path Analysis of Traits of Soybean Genotypes under Drought Stress.Crop Production under Environmental Conditions, 4: 46-31 (In Persian with English Summary).
21. Kim, J.Y., A. Mahe, J. Brangeon and J.L. Prioul. 2000. A maize vacuolar invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ.tissue specificity and diurnal modulation of expression. Journal of Plant Physiology, 124: 71-84.
22. Kpoghomou, B.K. V.T. Sapra and C.A. Reyl. 1990. Sensitivity for drought stress of three soybean cultivars during different growth stages. Journal Of Crop Science, 164: 104-109.
23. lker, E., Ö. Tatar, F. Aykut Tonk and S. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. Turkish Journal of Field Crops, 16(1): 59-63.
24. Miladinović, J., M. Vidić, V. Dorević and S. Balešević-Tubić. 2015. New trends in plant breeding–example of soybean. Genetika, 47(1): 131-142.
25. Mohammadi Nasab, A.D., K. Ghasemigolezani, B. Ehtari and S. Zehtab- Salmasi. 2005. Influence of different irrigation times on grain yield and some traits of two soybean (*Glycine max* L.) varieties. The 2nd international conference on integrted approaches to sustain and improve plant production under drought stress. Italy.
26. Nawabpour, S., A. hezar Jaribi and A. Mazandarani. 2016. Studying the effect of drought stress on important agricultural traits and the amount of protein and seed oil in soybean (*Glycin max* L.) genotypes. Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences, (4): 491-503.
27. Palmer, J. Dunphy, E.J. and P. Reese. 1995. Managing drought-stressed soybeans in the southeast. http:..www.ces.ncsu. Edu.drought.dro-24. Html.
28. Purmusavi, M., M. Galavy, J. Daneshyan, A. Ganbary and N. Basirany. 2005. The effect of manure fertilizer on growth, agronomy and physiological characteristics under drought stress. M.Sc. Thesis, Zabol University, 143 PP.
29. Rahi, A.R., H. Najafi Zarin, G.A. Ranjbar and M. Qajarspanlu. 2019. Evaluation of drought tolerance of some soybean genotypes. Crop breeding research paper. Volume 11, Number 32, pp: 115-100
30. Rajab Nasab Aghamahalli, M. and Zh. Karapitan. 2013. The effect of drought stress at flowering stage on height plant and seeds' protein in different varieties of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Plant Environmental Physiology, 31(3): 37-46.
31. Raman, A., S. Verulkar, N. Mandal, M. Variar, V. Shukla, J. Dwivedi, B. Singh, O. Singh, P. Swain, A. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H. P. Piepho and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. Rice5: 31. 28.
32. Safai Jaikar, S., B. Rabiei, H. Samizadeh and D. Esfahani. 2016. Evaluation of the tolerance of rice genotypes (*Oriza sativa* L.) to drought stress at the end of the season. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 9(4): 351-331.
33. Samnonsa, D.J., D.B. Peters and T. Himowitz. 1980. Screening soybeans for tolerance to moisture stress: a field procedure. Field Crop Research, 3: 321.
34. Shin, S.H., K.Y. Park, S.G. Lim, S.O. Shin, T.Y. Ha and D.Y. Suh. 2005. Changes in source-sink balance during full-pod stage of soybean under drought stress. Yeongnam Agricultural Research Institute (YARI), NICS, RDA, Neidong, Miryang, Korea.
35. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. Field Crop Res. 222-229.
36. Tabkhkar, N., B. Rabiei, H.A. Samizadeh Lahiji and M. Hosseini Chalantari. 2016. Studying the response to drought stress of rice genotypes at the beginning of the reproductive stage using stress tolerance indices. Journal of Crop and Horticulture Production and Processing, 7(4): 106-83.
37. Whitehead, W.F. and F.L. Allen. 1990. High vs. low stress yield test environment for selecting superior soybean lines. Crop Science, 30: 912-918.
38. Zare, M., H. Zinali Khangah and C. scientists. 2013. Evaluation of tolerance of some soybean genotypes to drought stress. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 35(4): 867-859.

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.115]