

Evaluation of Drought Tolerance in Selected Soybean lines

Jahanfar Daneshian^{1*}, Mehrzad Ahmadi¹

Received: 04 December 2021 Accepted: 19 March 2022

1-Prof., and Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding Author Email: J.Daneshian@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: In this study, drought tolerance of advanced soybean lines has been investigated

Materials and Methods: This study included 14 soybean lines along with two control cultivars of Saba and Kowsardar were separately carried out in two experiments as randomized complete block design with three replications in two years of 2015-2016 in Karaj. These lines have been superior in preliminary experiments indicating in different regions. Both experiments were similarly irrigated until seedling establishment and the emergence of the V4-V5 stage, which coincided with the full development of the fourth to fifth leaves. After that, the first experiment was irrigated weekly and the second one a week in between (50-55- and 120-100-mm evaporation from Class A evaporation pan, respectively). Different tolerance and sensitivity indices were used to evaluate the stress response. Indices were grouped by using principal component analysis and genotypes were grouped by using biplot. Also, grouping was performed by using SIIG index and the result genotypes cluster was compared with Fernandez index

Results: The results of mean comparison showed that three lines Columbus x Krasnodar 778 (L.45), Craford x Lan (L. 44) and Williams x Katool (L. 3) in number of pods per plant, number of seeds per pod and 1000-seed weight and seed yield had the highest value and were superior to both sensitive and tolerant control cultivars. Bioplate diagram showed that lines Williams x Katool (L. 3), Nemaha x Savoy (L.3), Columbus x Krasnodar 778 (L.45) and Saba and Kosar cultivars were located near the vectors of important drought resistance indices. Lines Williams x Katool (L. 3) and Craford x Lan (L. 44) tended to be related to the yeild vector under stress conditions, indicating that the high values for the drought tolerance index in these lines were mostly due to its high yeild under stress conditions. According to the SIIG index, the line Williams x Katool (L. 3) was the most tolerant of drought stress.

Conclusion: The results showed that in each four methods, Sum of ranking, principal component analysis and SIIG index and fernandez diagram, lines Williams x Katool (L. 3), Craford x Lan (L. 44) and Columbus x Krasnodar 778 (L.45) were the most tolerant and lines Williams x Katool (L.8), RVB x Katool (L.13) and were the most sensitive to drought stress. Therefore, using rankings for less complication can be effective in selecting tolerant genotypes.

Keywords: Advanced Line, Drought Stress, Seed Yield, Soybean, Tolerance Indices

ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های منتخب سویا

جهانفر دانشیان^{۱*}، مهرزاد احمدی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

۱-استاد، استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران

مسئول مکاتبه: Email: J.Daneshian@areeo.ac.ir

چکیده

اهداف: در این تحقیق به بررسی تحمل به خشکی لاین‌های پیشرفته سویا پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۱۴ لاین برتر سویا که در آزمایشات مقدماتی ارزیابی عملکرد سویا در مناطق مختلف برتر بوده‌اند به همراه دو رقم صبا و کوثر در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در کرج ارزیابی شدند. هر دو آزمایش تا زمان استقرار گیاهچه و ظهور مرحله V4-V5 که مصادف با توسعه کامل چهارمین تا پنجمین برگ اصلی بود، مشابه یکدیگر آبیاری شدند و پس از آن آزمایش اول به صورت هفتگی و دوم به صورت یک هفته در میان (به ترتیب ۵۰-۵۵ و ۱۰۰-۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) آبیاری شدند. برای ارزیابی پاسخ به تنش از شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت استفاده شد. با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی شاخص‌ها گروه‌بندی شدند و با استفاده از بای پلات، ژنوتیپ‌ها گروه‌بندی شدند. همچنین با استفاده از شاخص تلفیقی SIIG نیز گروه‌بندی انجام شد و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در مقایسه با شاخص فرناندز بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سه لاین Williams و Craford x Lan (L.44)، Columbus x Krasnodar 778 (L.45) و Katool (L. 3) در صفات تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه و عملکرد دانه بیشترین مقدار را داشته و از هر دو رقم شاهد حساس و متحمل برتر بوده‌اند. نمودار بای پلات نشان داد که لاین‌ها Williams x Katool (L. 3)، Nemaha x Williams x Katool (L. 3) و Savoy (L.3) و Columbus x Krasnodar 778 (L.45) و ارقام صبا و کوثر در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی قرار گرفتند. لاین Williams x Katool (L. 3) و Craford x Lan (L. 44) به بردار مربوط به عملکرد در شرایط تنش تمایل داشتند و این بیانگر این است که مقادیر بالا برای شاخص تحمل خشکی در این لاین‌ها بیشتر به علت عملکرد بالای آن در شرایط بدون تنش بوده است. براساس شاخص SIIG، لاین Williams x Katool (L. 3) متحمل‌ترین لاین به تنش خشکی بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که در هر چهار روش جمع رتبه‌بندی، تجزیه به مولفه‌های اصلی و شاخص SIIG، نمودار فرناندز، لاین‌های Williams x Katool (L. 3)، Craford x Lan (L.44) و Columbus x Krasnodar 778 (L.45) متحمل‌ترین و لاین‌های Williams x Katool (L.8)، RVB x Katool (L.13) حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی بودند. بنابراین استفاده از رتبه‌بندی به جهت پیچیدگی کمتر می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل، تنش به خشکی، عملکرد دانه، لاین پیشرفته، سویا

مقدمه

واردات تامین شود. به گونه‌ای که میزان خودکفایی در این محصولات در دهه اخیر حدود ۱۵ درصد بوده است. سویا در بین دانه‌های روغنی از اهمیت قابل توجهی

پایین بودن تولید دانه‌های روغنی سبب شده که نیاز بالای کشور برای تامین روغن و کنجاله از طریق

ارتباط بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش، و ایجاد شاخص از راهکارهایی است که برای شناسایی ارقام متحمل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص‌ها یک معیار عددی هستند که می‌توانند در تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرند. محققین مختلف از روش‌های متفاوتی برای انتخاب شاخص‌ها برای شناسایی ارقام متحمل استفاده کرده‌اند. ارقامی که عملکرد بالایی در شرایط مطلوب و تنش برخوردارند، معمولاً در شاخص‌های میانگین حسابی یا بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص تحمل خشکی (STI)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص تحمل تنش تعدیل شده (K2 و MSTIK1) بالاتری برخوردارند. در محیط‌های با احتمال زیاد وقوع تنش کم‌آبی شاخص‌های نرخ کاهش عملکرد (YR)، شاخص خشکی نسبی (RDI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) مناسب‌تر بوده و بیشتر برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با سازگاری بیشتر و پایداری در تنش خشکی متوسط به‌کار می‌آیند. در حالی‌که شاخص‌های خشکی نسبی (RDI) شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص تحمل غیرزیستی (ATI) و شاخص تحمل (TOL) بیشتر در تنش‌های ملایم استفاده می‌شوند (رهی و همکاران ۲۰۲۰). در مناطق که تولید محصول وابسته به بارندگی بوده یا با محدودیت آبیاری انجام می‌شود، کاشت ارقامی که از شاخص‌های تحمل به خشکی بالاتری برخوردار باشند، مناسب‌تر خواهد بود (بتریز دالزوتو ۲۰۱۶). فرجی (۲۰۱۶) در یک آزمایش دو ساله از چهار شاخص STI، MP، SSI و TOL برای معرفی ژنوتیپ‌های متحمل استفاده کرد. در تحقیقی که در سال ۲۰۲۰ بر روی تنش خشکی ۲۲ ژنوتیپ سویا در برزیل انجام شد. از ۱۲ شاخص مورد بررسی شاخص‌های GMP، STI، MP، HM برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی و نرمال مناسب بودند و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به چهار گروه مجزا تقسیم

برخوردار است. این گیاه با دارا بودن ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین در دانه از اهمیت فراوانی به ترتیب برای خوراک انسان و دام و طیور برخوردار می‌باشد. کشت سویا از دیدگاه زراعی نیز سبب بهبود شرایط فیزیکی و حاصلخیزی خاک شده و می‌تواند به طور متوسط در افزایش عملکرد محصول بعدی تا ۲۰ درصد نقش داشته باشد (مقدم خمسه و همکاران ۲۰۱۱).

کم‌آبی یکی از مهم‌ترین معضلات طبیعی کشور محسوب می‌شود. حتی در سال‌های مطلوب، محدودیت تامین آب برای گیاهان بهاره و تابستانه به طور مستقیم عملکرد آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یکی از روش‌های مرسوم برای افزایش بهره‌وری آب در شرایط کم‌آبی معرفی ارقام متحمل می‌باشد. نتایج نشان داده عدم انتخاب صحیح ارقام در شرایط کم‌آبی می‌تواند تا ۴۰ درصد عملکرد را کاهش دهد (صادقی و همکاران ۲۰۲۱). در مناطق نیمه خشک ایالت هویی چین، کاهش ۷۳ تا ۸۲ درصدی عملکرد دانه سویا بر اثر اعمال تنش خشکی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه گزارش گردیده است (وی و همکاران ۲۰۱۸). کم‌آبی بر ارقام سویا تأثیر متفاوتی دارد، زیرا برخی از ارقام تحمل بیشتری نسبت به سایرین دارند (دایوب و همکاران ۲۰۲۱). دو و همکاران (۲۰۲۰). زمان وقوع تنش خشکی، بسته به این‌که در مرحله رویشی یا مرحله نمو زایشی اتفاق افتد، در میزان کاهش عملکرد تاثیرگذار است. کاهش عملکرد دانه در مرحله رشد رویشی با کاهش ارتفاع و تعداد گره‌های بارور و اجزای عملکرد سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود. در حالی‌که در مرحله نمو زایشی، کاهش قابل توجه تعداد غلاف در گیاه عامل اصلی کاهش عملکرد دانه محسوب می‌شود. افت عملکرد در مرحله پر شدن دانه نیز به دلیل کاهش وزن دانه می‌باشد (دانشیان و همکاران ۱۹۹۹). تنش خشکی طولانی مدت در مراحل زایشی با کاهش تخصیص زیست توده به اندام‌های زایشی و کاهش توانایی تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های همزیست سویا، موجب کاهش عملکرد دانه سویا می‌شود (دو و همکاران ۲۰۲۰، کونرتو همکاران ۲۰۱۶).

به عنوان ژنوتیپ متحمل در نظر گرفته شد. حصار و همکاران (۲۰۲۱) نیز پاسخ ژنوتیپ‌های امیدبخش کلزا را با استفاده از SIIG ارزیابی کردند و ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش را شناسایی کردند.

در این تحقیق به بررسی تحمل به خشکی لاین‌های پیشرفته سویا پرداخته شده است و همچنین مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی و انتخاب بهترین آنها در ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد توجه بوده است. بنابراین در تحقیق حاضر از لاین‌هایی استفاده شده است که در آزمایش مقایسه عملکرد برتر بوده‌اند. برای شناسایی تحمل به کم‌آبی از شاخص‌های تحمل و حساسیت به کم‌آبی استفاده شد. با استفاده از رتبه‌بندی در هریک از شاخص‌ها، مرتب شدند. علاوه بر این از تجزیه به مولفه‌های اصلی و شاخص SIIG برای گروه‌بندی استفاده شد. سپس با استفاده از بای پلات و روش فرناندز گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها انجام گرفت و نتایج آنها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

پاسخ ارقام و لاین‌های سویا به تنش کم‌آبی آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر به طول جغرافیایی ۵۰/۹۳ شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵/۷۹ شرقی و ارتفاع ۱۲۳۱ متر از سطح دریا ارزیابی شد.

شدند (کارموکابرال ۲۰۲۰). پیغمبری و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش دادند که شاخص‌های STI و HARM، MP، GMP بیشترین همبستگی معنی‌دار را با عملکرد در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی داشتند و به عنوان شاخص‌های برتر برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. برپایه تجزیه خوشه‌ای با استفاده از این شاخص‌ها ژنوتیپ‌ها به چهار گروه مجزا تقسیم شدند. مروتی و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی که بر روی ۴۰ ژنوتیپ مختلف سویا در کرج طی یک آزمایش یکساله، با استفاده از تحلیل همبستگی عملکرد و شاخص‌های تحمل خشکی در محیط تنش و بدون تنش، شاخص STI و GMP را مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر تشخیص دادند و دو ژنوتیپ متحمل را معرفی نمودند (مروتی و همکاران ۲۰۲۱). رهی و همکاران (۲۰۲۰) به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی سویا، در آزمایشی گلخانه‌ای یکساله از بین ۱۷ شاخص ۱۰ شاخص را مناسب تشخیص دادند. استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی با ۱۷ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی ۹۷٪ واریانس کل را تبیین کردند.

زالی و همکاران (۲۰۱۶) از شاخص SIIG برای شناسایی ارقام متحمل استفاده کردند که برای محاسبه آن از سایر شاخص‌های تحمل به خشکی به‌طور همزمان و با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش استفاده می‌گردد. مقادیر شاخص نزدیک به صفر به عنوان ژنوتیپ حساس به خشکی و مقادیر نزدیک به یک

جدول ۱- فهرست ارقام و لاین‌های بررسی شده

ردیف	منشا یا شجره	دوره رشد	ردیف	منشا یا شجره	دوره رشد
۱	Columbus x Krasnodar 778 (L.45)	۱۱۸	۹	Williams x Hamilton (L.39)	۱۲۷
۲	Craford x Lan (L. 44)	۱۱۷	۱۰	Williams x Katool (L.13)	۱۱۳
۳	Williams x Katool (L. 3)	۱۱۵	۱۱	Williams x Katool (L.8)	۱۱۹
۴	Saba	۱۱۵	۱۲	Hacheston x L.6 (L.)	۱۱۳
۵	Williams x Katool (L.7)	۱۱۷	۱۳	RVB x Katool (L.13)	۱۲۸
۶	Nemaha x Savoy (L.3)	۱۲۰	۱۴	Williams x Katool (L. 23)	۱۱۵
۷	Kowsar	۱۱۰	۱۵	Williams x Hamilton (L.33)	۱۱۴
۸	Hacheston x L.6 (L.)	۱۱۷	۱۶	Williams x Katool (L.21)	۱۱۸

و خشک در طول ماه‌های کشت سویا می‌باشد. وضعیت تغییرات دمای هوا بر اساس میانگین ماهانه در طی ماه‌های سال در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد و ۱۴ لاین پیشرفته سویا به همراه دو رقم صبا و کوثر در کرج ارزیابی شدند (جدول ۱). کرج دارای آب و هوای گرم

جدول ۲- بارش، دمای کمینه و بیشینه روزانه در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در طول دوره رشد سویا در کرج

ماه	۱۳۹۵			۱۳۹۴		
	دمای کمینه (oC)	دمای بیشینه (oC)	میانگین دما (oC)	دمای کمینه (oC)	دمای بیشینه (oC)	میانگین دما (oC)
خرداد	۸/۷	۲۶/۳	۲۳/۸	۱۱/۰	۲۸/۴	۲۶/۴
تیر	۱۴/۹	۴۰/۷	۲۷/۳	۱۴/۱	۴۱/۴	۲۹/۳
مرداد	۱۶	۳۹/۳	۲۷/۳	۱۶/۹	۳۹/۷	۲۸/۸
شهریور	۱۱	۳۶/۶	۲۴/۹	۱۳/۱	۳۵/۵	۲۳/۴
مهر	۴/۹	۳۳/۹	۱۸/۶	۴/۱	۳۲/۷	۱۹/۴

منبع: سالنامه آمار کشوری ۱۳۹۵، سالنامه آمار البرز ۱۳۹۴

دوم به ترتیب ۲۷ و ۲۳ خرداد ماه بود (دانشیان و همکاران ۲۰۲۱؛ دانشیان ۲۰۱۵).

آبیاری از زمان کاشت سه تا چهارمین برگ اصلی در سطوح آبیاری مشابه بود. در این مرحله برای وجین و حذف علف‌های هرز از کولتیواتور استفاده شده و سپس تیمار تنش اعمال گردید. آبیاری کرت‌های آزمایشی در شرایط آبیاری مطلوب به صورت هفتگی و در شرایط تنش به صورت یک هفته در میان (به ترتیب ۵۰ تا ۵۵ و ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس) تا پایان دوره رشد آبیاری شدند. پس از ورود گیاهان به مرحله رسیدن فیزیولوژیک، عملیات برداشت به صورت دستی از مساحت حدود سه متر مربع انجام گرفت و با استفاده از کمباین دانه‌ها جدا شدند. عملکرد به طور جداگانه برای هر یک از کرت‌ها ارزیابی شد.

شدت تنش با کسر نسبت عملکرد در شرایط تنش به آبیاری مطلوب از یک بدست آمد (فیشر و مورر ۱۹۸۷). پاسخ ارقام و لاین‌های سویا به تنش کم‌آبی با شاخص‌های تحمل و حساسیت ارزیابی شدند (جدول ۳). شاخص‌های موثر در ایجاد تحمل و حساسیت از طریق همبستگی ساده با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش شناسایی شدند.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر در نیمه خرداد ماه انجام شد. بذور قبل از کاشت با باکتری ریزوبیوم ژاپونیکوم به میزان ۲۰۰ گرم در یک هکتار تلقیح شدند. کودهای شیمیایی شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار، فسفر به میزان ۹۶ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل پتاسیم به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم در زمان تهیه زمین استفاده شد. برای مبارزه با علف هرز در زمان تهیه زمین به میزان ۲ لیتر در هکتار ترفلان اضافه شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد به صورت وجین دستی در ۲ نوبت صورت گرفت.

هر کرت آزمایشی دارای چهار خط به طول پنج متر بود. فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی خط کاشت متوسط پنج سانتی‌متر تنظیم گردید. برای کاشت بوسیلهٔ فوکا شیاریایی به عمق ۵ سانتی‌متر روی خطوط مذکور ایجاد شد. بذرها در داخل شیاری ریخته شدند و روی آنها با خاک پوشانده شد. زمان کاشت به صورت کشت دوم بعد از محصولات پاییزه در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در سال اول و

جدول ۳- فرمول‌های مورد استفاده در شاخص‌های تحمل به خشکی

منبع	فرمول	شاخص	منبع	فرمول	شاخص
موسوی، ۲۰۰۸	$ATI = [(Y_P - Y_S) / (\bar{Y}_P - \bar{Y}_S)] \times \sqrt{(Y_S \times Y_P)}$	تحمل غیر زیستی ^{۱۱}	روسیل و همبلین، ۱۹۸۱	$MP = (Y_S + Y_P) / 2$	میانگین تولید ^۱
موسوی، ۲۰۰۸	$SSPI = [(Y_P - Y_S) / 2(\bar{Y}_P)] \times 100$	درصد حساسیت به تنش ^{۱۲}	فرناندز، ۱۹۹۲	$GMP = \sqrt{(Y_S \times Y_P)}$	میانگین هندسی ^۲
موسوی، ۲۰۰۸	$SNPI = [(Y_P + Y_S) / (Y_P + Y_S)]^{1/3} \times [Y_P \times Y_S^2]^{1/3}$	شاخص تولید در شرایط تنش و غیر تنش صحیح ^{۱۳}	کریستسنو همکاران، ۱۹۹۷	$HARM = [2(Y_P \times Y_S) / (Y_P + Y_S)]$	میانگین هارمونیک ^۳
فرشادفر و سوتکا، ۲۰۰۲	$MSTI = K_1 \times STI$ $K_1 = Y_P^2 / \bar{Y}_P^2, K_2 = Y_S^2 / \bar{Y}_S^2$	تحمل تنش تعدیل شده ^{۱۴}	فیشرو مورر، ۱۹۷۸	$SSI = [(1 - (Y_S / Y_P)) / (1 - (\bar{Y}_S / \bar{Y}_P))]$	حساسیت به تنش ^۴
فرشادفر و جوادیان، ۲۰۱۱	$\% \text{ Reduction} = [(Y_P - Y_S) / Y_P] \times 100$	درصد کاهش ^{۱۵}	فرناندز، ۱۹۹۲	$STI = (Y_S \times Y_P) / \bar{Y}_P^2$	تحمل به خشکی ^۵
فرناندز، ۱۹۹۲	$YR = 1 - (Y_S / Y_P)$	نسبت کاهش عملکرد ^{۱۶}	روسیل و همبلین، ۱۹۸۱	$TOL = Y_P - Y_S$	تحمل ^۶
بیدینگرو همکاران، ۱۹۷۸	$RDI = (Y_S / Y_P) / (\bar{Y}_S / \bar{Y}_P)$	خشکی نسبی ^{۱۷}	لین و همکاران، ۱۹۸۶	$YI = Y_S / \bar{Y}_S$	عملکرد ^۷
فرشادفر و جوادیان، ۲۰۱۱	$SDI = (Y_P - Y_S) / Y_P$	حساسیت خشکی ^{۱۸}	رهی و همکاران، ۲۰۱۹	$DYI = (\bar{Y}_P / \bar{Y}_S) / (Y_P / Y_S)$	عملکرد خشکی ^۸
دانشیان، ۱۳۹۴	$RYP = (Y_S + Y_P) / (\bar{Y}_S + \bar{Y}_P)$	نسبت پتانسیل عملکرد ^{۱۹}	بوسلاما و شاپوق، ۱۹۸۴	$YSI = Y_S / Y_P$	شاخص پایداری عملکرد ^۹
			لن، ۱۹۹۸	$DI = Y_S \times [(Y_S / Y_P) / \bar{Y}_S]$	مقاومت به خشکی ^{۱۰}

۱: Mean Productivity : ۲: Geometric Mean Productivity : ۳: Stress Susceptibility : ۴: Stress Tolerance : ۵: Stress Tolerance : ۶: Tolerance : ۷: Yield : ۸: Drought Yield : ۹: Yield Stability : ۱۰: Drought Resistance : ۱۱: Abiotic Tolerance : ۱۲: Stress Susceptibility Percentage : ۱۳: Stress Non-Stress Production : ۱۴: Modified Stress Tolerance : ۱۵: % Reduction : ۱۶: Yield Reduction : ۱۷: Relative Drought : ۱۸: Sensitivity drought : ۱۹: relative yield potential

۲ و ۳). سپس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (فرمول ۴).
با استفاده از این شاخص گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به کم‌آبی نیز انجام گرفت. تجزیه واریانس مرکب و با استفاده از نرم افزار Excel. تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین و نمودار فرماندز با استفاده از نرم افزار SAS. 9.4 و تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از نرم افزار SATR ورژن ۲۰۱۳ انجام شد.

علاوه بر این به منظور گروه‌بندی ارقام از نظر پاسخ به تنش و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس از تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد. همچنین گروه‌بندی ارقام از نظر پاسخ به خشکی با شاخص ژنوتیپ ایده‌آل^۱ SIIG نیز انجام شد (زالی و همکاران ۲۰۱۵). برای محاسبه این شاخص ابتدا ماتریس داده‌ها نرمال گردید (فرمول ۱). ژنوتیپ ایده‌آل و غیرایده‌آل برای هر شاخص جداگانه انتخاب و فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d+) و غیر ایده‌آل (d-) محاسبه می‌شود (فرمول

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad \text{فرمول ۱}$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2 \quad \text{فرمول ۳}$$

$i=1, \dots, n$

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2 \quad \text{فرمول ۲}$$

$i=1, \dots, n$

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad \text{فرمول ۴}$$

$i = 1, 2, \dots, m, \quad 0 \leq SIIG \leq 1$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در شرایط نرمال و خشکی نشان داد که اثرات لاین و لاین × سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و بیانگر واکنش مختلف لاین‌ها در شرایط محیطی متفاوت و اختلاف عملکرد آنها از سالی به سال دیگر است. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها همچنین بیانگر آن است که اثر سال برای بیشتر شاخص‌ها مورد بررسی معنی‌دار بوده که می‌تواند به علت متفاوت بودن شرایط آب و هوایی در طی این دو سال تلقی شود. شدت تنش در سال اول ۰/۴۶ و در سال دوم ۰/۳۷ بود. افزایش دمای هوا در دوره رشد رویشی و انتهای دوره پرشدن دانه به عنوان عامل تاثیر گذار در کاهش بیشتر عملکرد با وقوع تنش کم‌آبی در سال اول محسوب می‌شود (جدول ۲). در سال اول میانگین عملکرد در شرایط غیر تنش و تنش به ترتیب ۲۵۷۹ و ۱۳۹۶ کیلوگرم در هکتار بود که در سال دوم به ترتیب ۲۴۷۸ و ۱۵۵۱ کیلوگرم در هکتار بود.

نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش ۶۲/۶ درصدی عملکرد سویا شده است. متوسط عملکرد لاین‌ها در شرایط نرمال، ۲۵۲۸/۷ کیلوگرم در هکتار، متوسط عملکرد لاین‌ها در شرایط تنش ۱۴۷۳/۶ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. لاین Nemaha Savoy (L.3) x با عملکرد ۳۱۷۸ کیلوگرم در هکتار، بیشترین میزان عملکرد را در شرایط نرمال داشته است اما عملکرد همین لاین در شرایط تنش، ۱۳۴۰ محاسبه گردید. لاین Williams x Katool (L. 3) در شرایط تنش دو سال زراعی ۹۴-۹۵ بیشترین میزان عملکرد با تولید ۲۲۲۹ کیلوگرم دانه در هکتار داشته که بیانگر عملکرد بالای آن در شرایط تنش می‌باشد. همچنین این لاین بیشترین عملکرد ۳۱۳۲ را در شرایط نرمال بعد از لاین Nemaha Savoy (L.3) x به خود اختصاص داده است (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در جدول ۵ نشان داد که تنش اثر معنی‌داری بر روی صفات تعداد

دانه در غلاف و وزن هزار دانه داشته است. همچنین بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر صفات تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه و عملکرد دیده شد. همچنین اثر متقابل سال در تنش و اثر متقابل ژنوتیپ در سال در تنش در تمام صفات معنی‌دار شده است.

تحقیقات نشان داده است که صفات تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه بیشترین تاثیر را بر روی عملکرد دانه سویا دارد (دانشیان و همکاران ۱۹۹۹). مقدم خمسه و همکاران (۲۰۱۱). نتایج مقایسه میانگین صفات در جدول ۶ آورده شده است. در صفت تعداد غلاف در گیاه لاین‌های Craford x Lan (L. 44) و Nemaha x Savoy (L.3) (۳۲ غلاف) بیشترین مقدار و لاین Williams x Katool (L.8) (۲۹ غلاف) کمترین مقدار را داشتند. در صفت تعداد دانه در غلاف رقم صبا بیشترین مقدار و بعد از آن به ترتیب لاین‌های Williams Columbus x Krasnodar 778 ، x Katool (L.13) ، Craford x Lan (L. 44) قرار گرفته و لاین Williams x Katool (L.8) کمترین مقدار را داشت. در صفت وزن هزار دانه لاین Williams x Katool (L.21) (۱۶۳ گرم)، Columbus x Krasnodar 778 (L.45) (۱۶۰ گرم)، Williams x Katool (L. 3) (۱۵۷ گرم) بیشترین مقدار و رقم Kowsar (۱۳۱ گرم) کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. لاین کوثر رقم زودرس بوده و عملکرد مناسبی در شرایط نامطلوب از خود نشان می‌دهد. رقم صبا نیز به عنوان رقم مناسب در شرایط مطلوب شناخته می‌شود (دانشیان و همکاران ۲۰۲۱؛ دانشیان ۲۰۱۵). نتایج نشان می‌دهد که سه لاین Craford x Lan (L. 44)، Columbus x Krasnodar 778 و Williams x Katool (L. 3) در این سه صفت و عملکرد دانه بیشترین مقدار را داشته و از هر دو رقم شاهد برتر بوده‌اند.

جدول ۴- مقایسه میانگین و رتبه بندی شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های مورد بررسی

DVI	YI	TOL	STI	SSI	HARM	GMP	MP	لاین‌ها	
۰/۰۷	۳	۱۱۱۱	۱۲	۰/۸	۳	۲۲۵۸	۳	۳۳۰	Columbus x Krasnodar 778(L.45)
۰/۰۸	۵	۱۰۲۵	۹	۰/۸	۴	۳۳۲۸	۲	۳۳۹۹	Craford x Lan (L. 44)
۰/۱۱	۲	۱۰۳۵	۱۰	۰/۸۷	۱	۳۳۸۱	۱	۲۵۲۵	Williams x Katool (L. 3)
۰/۹۹	۱۰	۱۱۵۵	۱۴	۰/۶۲	۶	۱۹۹۹	۶	۲۰۹۰	Saba
۰/۰۹	۳	۱۰۸۸	۹	۰/۵۱	۳	۱۸۱۸	۹	۱۸۸۰	Williams x Katool (L.7)
۰/۸۴	۱۶	۱۰۰۵	۱۶	۰/۷۵	۵	۲۱۹۰	۴	۳۳۴۱	Nemaha x Savoy (L.3)
۰/۰۱	۹	۱۱۷۴	۱۵	۰/۷۵	۴	۲۱۷۹	۵	۲۲۵۹	Kowsar
۰/۰۸	۴	۱۰۰۴	۴	۰/۶	۷	۱۹۴۵	۷	۲۰۱۴	Hacheston x L.6 (L.)
۰/۹۱	۱۳	۱۰۰۲	۷	۰/۳۷	۱۵	۱۵۴۵	۱۴	۱۶۳۴	Williams x Hamilton (L.39)
۰/۱۶	۱	۱۰۰۳	۷	۰/۵۳	۸	۱۸۴۳	۸	۱۸۸۷	Williams x Katool (L.13)
۰/۸۸	۱۵	۱۰۶۹	۱۶	۰/۳۳	۱۶	۱۴۲۸	۱۶	۱۵۲۱	Williams x Katool (L.8)
۰/۹۴	۱۱	۱۰۸۹	۱۱	۰/۴۹	۱۳	۱۷۶۸	۱۳	۱۸۵۲	Hacheston x L.6 (L.)
۰/۸۸	۱۴	۱۰۷۵	۱۵	۰/۳۹	۱۴	۱۵۴۰	۱۵	۱۶۳۷	RVB x Katool (L.13)
۰/۰۶	۷	۱۰۸۴	۳	۰/۵۰	۶	۱۷۳۶	۱۱	۱۸۵۷	Williams x Katool (L. 23)
۰/۹۲	۱۲	۱۱۲۶	۱۳	۰/۵۰	۱۲	۱۷۸۳	۱۲	۱۸۷۲	Williams x Hamilton (L.33)
۰/۰۴	۸	۱۰۸۹	۱۱	۰/۵۳	۹	۱۸۱۶	۱۰	۱۸۸۹	Williams x Katool (L.21)

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین و رتبه بندی شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های مورد بررسی

MST2	MSTII	SNPI	SSPI	ATI	DI	YSI	لاین‌ها	
۱/۱۸	۳	۳۴۱۴	۱۲	۳۴۲۷	۱۳	۰/۶۲	۷	Columbus x Krasnodar 778(L.45)
۱/۴۸	۲	۳۷۶۱	۹	۳۳۲۸	۱۲	۰/۶۳	۴	Craford x Lan (L. 44)
۱/۸۳	۱	۳۹۳۸	۱۰	۳۵۳۴	۱۵	۰/۶۵	۲	Williams x Katool (L. 3)
۰/۶۹	۷	۳۸۹۸	۸	۳۱۷۴	۱۱	۰/۵۸	۱۰	Saba
۰/۵۲	۹	۳۹۴۴	۷	۳۴۴۴	۵	۰/۶۴	۳	Williams x Katool (L.7)
۰/۸۸	۵	۳۸۰۷	۱۰	۳۳۲۱	۱۶	۰/۴۸	۱۶	Nemaha x Savoy (L.3)
۰/۹۸	۴	۳۱۵۹	۴	۳۴۹۵	۱۴	۰/۵۹	۹	Kowsar
۰/۷۹	۶	۳۰۶۸	۶	۳۸۱۲	۸	۰/۶۳	۵	Hacheston x L.6 (L.)
۰/۳۴	۱۵	۳۱۵۴	۱۵	۳۴۹۱	۴	۰/۵۳	۱۳	Williams x Hamilton (L.39)
۰/۵۷	۸	۳۱۵۵	۵	۳۳۳۳	۱	۰/۶۸	۱	Williams x Katool (L.13)
۰/۱۹	۱۶	۳۴۶۶	۱۶	۳۳۲۹	۵	۰/۵۱	۱۵	Williams x Katool (L.8)
۰/۴۱	۱۲	۳۴۶۶	۱۲	۳۳۴۴	۷	۰/۵۵	۱۱	Hacheston x L.6 (L.)
۰/۲۹	۱۴	۳۱۶۰	۱۴	۳۳۲۵	۳	۰/۵۲	۱۴	RVB x Katool (L.13)
۰/۵۱	۱۰	۳۸۷۸	۹	۳۴۳۳	۶	۰/۶۲	۶	Williams x Katool (L. 23)
۰/۴۱	۱۳	۳۴۱۹	۱۳	۳۳۲۶	۱۳	۰/۵۴	۱۲	Williams x Hamilton (L.33)
۰/۴۸	۱۱	۳۶۵۴	۱۱	۳۳۲۲	۹	۰/۵۹	۸	Williams x Katool (L.21)

ارامه جدول ۴- مقایسه میانگین و رتبه بندی شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های مورد بررسی

جمع رتبه شاخص‌هایی که با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطرب و تنش فمبستگی نشان دادند	RYP	Ys	Yp	SDI	RDI	YR	RED.	لین‌ها					
۳۳	۱/۱۶۵	۴	۲۸۶۰	۵	-۰/۳۸	۷	۱/۰۷	۶	-۰/۳۸	۷	۳۸	۷	Columbus x Krasnodar 778(L.45)
۲۰	۱/۱۹۹	۲	۳۰۱۳	۳	-۰/۳۷	۴	۱/۰۸	۵	-۰/۳۶	۴	۳۷	۴	Craford x Lan (L. 44)
۱۰	۱/۲۷۱	۱	۳۱۲۲	۲	-۰/۳۵	۲	۱/۱۱	۲	-۰/۳۵	۲	۳۵	۲	Williams x Katool (L. 3)
۶۵	۱/۰۴۵	۶	۱۵۲۳	۷	-۰/۴۱	۱۰	-۰/۹۹	۱۰	-۰/۴۱	۱۰	۴۱	۱۰	Saba
۹۴	-/۸۴۰	۱۰	۱۵۳۲	۱۳	-۰/۳۶	۳	۱/۲	۳	-۰/۳۵	۳	۳۶	۳	Williams x Katool (L.7)
۴۶	۱/۱۷۰	۳	۱۳۳۰	۱۲	-۰/۵۱	۱۶	+۰/۸	۱۶	+۰/۵۱	۱۶	۵۱	۱۶	Nemaha x Savoy (L.3)
۴۵	۱/۱۲۹	۵	۱۸۱۵	۳	-۰/۴۰	۹	۱/۰۲	۹	-۰/۴۱	۹	۴۱	۹	Kowsar
۶۷	۱/۰۰۸	۷	۱۳۰۶	۱۴	-۰/۳۷	۵	۱/۰۸	۴	-۰/۳۷	۵	۳۷	۵	Hacheston x L.6 (L.)
۱۴۷	۱/۸۱۶	۱۵	۱۲۹۷	۱۵	-۰/۴۶	۱۳	-۰/۹۱	۱۳	-۰/۴۶	۱۳	۴۶	۱۳	Williams x Hamilton (L.39)
۸۲	-/۹۴۴	۸	۱۵۹۳	۵	+۰/۳۱	۱	۱/۱۷	۱	+۰/۳۲	۱	۳۱	۱	Williams x Katool (L.13)
۱۶۰	+۰/۷۶۰	۱۶	۲۱۷۷	۱۱	-۰/۴۸	۱۵	-۰/۸۸	۱۵	-۰/۴۸	۱۵	۴۸	۱۵	Williams x Katool (L.8)
۱۲۴	-/۹۲۸	۱۳	۱۳۳۰	۱۳	-۰/۴۵	۱۱	-۰/۹۳	۱۱	-۰/۴۵	۱۱	۴۵	۱۱	Hacheston x L.6 (L.)
۱۴۳	-/۸۷۸	۱۴	۱۴۵۲	۸	-۰/۴۷	۱۴	-۰/۸۹	۱۴	-۰/۴۷	۱۴	۴۷	۱۴	RVB x Katool (L.13)
۱۱۰	-/۹۲۸	۱۲	۲۰۷۷	۱۴	-۰/۳۸	۶	۱/۰۷	۷	-۰/۳۷	۶	۳۸	۶	Williams x Katool (L. 23)
۱۱۷	-/۹۳۵	۱۱	۱۴۰۳	۱۱	-۰/۴۶	۱۲	-۰/۹۲	۱۲	-۰/۴۶	۱۲	۴۶	۱۲	Williams x Hamilton (L.33)
۹۶	-/۹۴۳	۹	۲۸۳۰	۹	-۰/۴۰	۸	۱/۰۴	۸	-۰/۴۰	۸	۴۰	۸	Williams x Katool (L.21)

جدول ۵. تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی سویا تحت تأثیر تنش خشکی

میانگین مربعات					منابع تغییر
عملکرد	وزن هزار دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در گیاه	درجه آزادی	
۳۳۲۶۴/۰۱ ^{NS}	۳۰۵/۱۵ ^{NS}	۰/۰۰۳ ^{NS}	۱۲۴۰/۳ ^{NS}	۱	سال
۵۳۴۳۸۱۵۹/۲۸ ^{NS}	۴۰۳۸۶/۸۵*	۴/۴۰*	۳۱۳/۱ ^{NS}	۱	تنش
۷۸۳۶۱۳/۰۰**	۱۵۳/۴۶**	۰/۰۱۴ ^{NS}	۴۲۸/۴*	۱	سال * تنش
۵۰۴۷۹/۴۳	۱۸/۴۷	۰/۰۱۳	۵۴/۹	۸	خطا اول
۱۰۷۹۳۵۷/۰۴**	۴۱۵/۵۱**	۰/۱۴**	۱۵۹/۶**	۱۵	ژنوتیپ
۱۰۸۶۵۳/۷۴**	۲۰۱/۰۵**	۰/۰۳**	۲۶/۷ ^{NS}	۱۵	تنش * ژنوتیپ
۳۷۱۲۳۴/۰۲**	۷۹۷/۹۱**	۰/۱۶**	۱۲۹/۴**	۱۵	سال * ژنوتیپ
۱۴۲۴۴۵/۵۵**	۱۱۲/۳۷*	۰/۰۳**	۴۰/۳*	۱۵	تنش * سال * ژنوتیپ
۴۲۰۴۷/۹۷	۶۰/۸۸	۰/۰۱	۲۲/۷	۱۲۰	خطا دوم
۱۰/۲۵	۵/۱۲	۶/۹۹	۱۳/۲		ضریب تغییرات (%)

جدول ۶ - مقایسه میانگین مورد بررسی برای ۱۶ لاین و رقم سویا

عملکرد (kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف	لاین
۲۳۳۰/۵	۱۶۰/۲۳	۱/۶۷	۳۶/۵۲	Columbus x Krasnodar 778(L.45)
۲۳۹۹/۹	۱۵۱/۵۷	۱/۶۷	۴۲/۹۱	Craford x Lan (L. 44)
۲۵۴۵/۱	۱۵۷/۸	۱/۶۲	۳۴/۰۵	Williams x Katool (L. 3)
۲۰۹۰/۲	۱۴۸/۱۵	۱/۷۵	۳۶/۹۳	Saba
۱۸۸۰/۷	۱۵۰/۲۷	۱/۵۲	۳۵/۸۳	Williams x Katool (L.7)
۲۳۴۱/۲	۱۵۵/۲۴	۱/۵۳	۴۲/۹۵	Nemaha x Savoy (L.3)
۲۲۵۹/۹	۱۴۱/۲	۱/۵۲	۴۰/۶۳	Kowsar
۲۰۱۴/۲	۱۵۱/۹۶	۱/۵۹	۳۷/۸۸	Hacheston x L.6 (L.)
۱۶۳۴/۰	۱۵۰/۵۴	۱/۴۹	۳۴/۷	Williams x Hamilton (L.39)
۱۸۸۷/۹	۱۴۶/۸	۱/۶۹	۳۲/۱۱	Williams x Katool (L.13)
۱۵۲۱/۳	۱۵۶/۲۷	۱/۳۴	۲۹/۹۸	Williams x Katool (L.8)
۱۸۵۶/۹	۱۴۵/۳۱	۱/۵۰	۳۴/۰۵	Hacheston x L.6 (L.)
۱۶۳۷/۷	۱۵۴/۹	۱/۵۷	۳۵/۲۷	RVB x Katool (L.13)
۱۸۵۷/۱	۱۴۹/۶۴	۱/۴۷	۳۲/۸۸	Williams x Katool (L. 23)
۱۸۷۲/۴	۱۵۲/۲۲	۱/۴۰	۳۴/۵۱	Williams x Hamilton (L.33)
۱۸۸۹/۲	۱۶۴/۹۷	۱/۵۳	۳۶/۱۷	Williams x Katool (L.21)
۳۲۸/۴	۹/۲۲	۰/۱۵	۵/۵۲	LSD

شاخص‌های تحمل به خشکی انجام داده‌اند (رهی و همکاران ۲۰۲۰؛ پیغمبری و همکاران ۲۰۱۶؛ مروتی و همکاران ۲۰۲۱؛ کهنپورو همکاران ۲۰۲۰؛ بتریز

ارزیابی ارقام و لاین‌های متحمل با استفاده از شاخص‌ها انجام شد. بسیاری از محققان نیز تحمل به تنش خشکی در ارقام و لاین‌های گیاهان زراعی را با استفاده از

Williams x Williams x Katool (L.8) RVB x Katool (L.13) و Hamilton (L.39) بیشترین جمع رتبه را داشتند و به عنوان حساس‌ترین لاین‌ها شناسایی شدند (جدول ۴).

عملکرد لاین‌ها در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش داشت. برای گزینش شاخص‌های مناسب به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل از همبستگی استفاده شد (جدول ۷). بر این اساس شاخص‌هایی که با عملکرد دانه در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بودند، انتخاب شدند. به این ترتیب شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، YI، DI، SNPI، MSTI1، MSTI2 و RYP و SIIG همبستگی هم‌جهت مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش داشتند. که می‌توانند برای شناسایی لاین‌های برتر استفاده شوند. شاخص‌های ATI، TOL، SSPI و اگرچه همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در شرایط بدون تنش از خود نشان دادند، اما با عملکرد در شرایط تنش، همبستگی مشاهده نشد. بنابراین چنانچه گزینش براساس این شاخص باشد، دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش می‌باشند اما ممکن است، در شرایط تنش عملکرد خوبی از خود نشان ندهند. این نتایج با بررسی‌های سایر محققان مطابقت داشت (پورابوقدره و همکاران ۲۰۲۰؛ رهی و همکاران ۲۰۲۰؛ سبکدست و همکاران ۲۰۱۹).

باتوجه به نتایج، شاخص‌های SSI، SDI، YR، REDUCTION صرفاً همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش داشته و همبستگی معنی‌داری با عملکرد در شرایط بدون تنش نشان ندادند (جدول ۷). بنابراین انتخاب براساس این شاخص‌ها باعث انتخاب لاین‌هایی با عملکرد کم در شرایط تنش شده و عملکرد مناسبی در شرایط نرمال نخواهند داشت که این یافته‌ها نیز با نتایج پژوهش محققان همخوانی دارد (گودرزوند چگینی و همکاران ۲۰۱۷؛ رهی و همکاران ۲۰۲۰). شاخص‌های DI، YSI، RDI و همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش

دالزوتو ۲۰۱۶). لاین Williams x Katool (L. 3) بیشترین مقدار شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، YI، DI، SNPI، MSTI1، MSTI2، Ys، RYP را به خود اختصاص داده است و لاین Craford x Lan (L. 44) در رتبه دوم قرار گرفته است. بالا بودن این شاخص‌ها نشان دهنده تحمل بیشتر به کم‌آبی می‌باشد. لاین Williams x Katool (L.8) کمترین مقدار را در شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، YI، DI، SNPI، MSTI1، MSTI2، Ys، RYP داشته و لاین حساس در نظر گرفته می‌شود. لاین Nemaha x Savoy (L.3) در شاخص‌های SSI، TOL، ATI، SSPI، RED، YR، SDI بیشترین مقدار را داشت. مقادیر بالای این شاخص‌ها برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر به تنش می‌باشد. این لاین در شاخص‌های DYI، YSI، RDI، Yp، کمترین مقدار را داشت که نشان دهنده حساسیت این لاین به خشکی است. لاین Williams x Katool (L.13) کمترین مقدار شاخص‌های حساسیت به خشکی SSI، TOL، ATI، SSPI، RED، YR، SDI و بیشترین مقدار شاخص‌های متحمل به خشکی RDI، YSI، DYI را داشته است (جدول ۴).

برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از دو روش جمع رتبه کلیه شاخص‌ها برای هر ژنوتیپ استفاده شد. در مرحله بعد شاخص‌هایی انتخاب شدند که با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی همبستگی هم‌جهت و معنی‌دار داشتند. با استفاده از این دو روش (حاصل جمع رتبه‌ها) ژنوتیپی برتر است که جمع رتبه کوچکتری داشته باشد. براین اساس لاین‌های Williams x Katool (L. 44)، Craford x Lan (L. 3)، Columbus x Williams x Katool (L.13) و Krasnodar 778 (L.45) کمترین جمع رتبه را به خود اختصاص دادند و به عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها شناسایی شدند. همچنین لاین‌های Williams x Craford x Lan (L. 44) و Katool (L. 3) شرایط تنش و نرمال بالاتری نسبت به رقم شاهد صبا و کوثر نشان داد و تحمل بیشتری را نشان دادند. لاین‌های

(L.45) کمترین جمع رتبه را به خود اختصاص دادند و به عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها شناسایی شدند. این لاین‌ها از ارقام شاهد نیز تحمل بیشتری را نشان دادند. همچنین لاین‌های (L. 3) Williams x Katool و Craford x Lan (L. 44) عملکرد در شرایط تنش و نرمال بالاتری نسبت به رقم شاهد صبا و کوثر نشان داد. لاین‌های Williams x Katool (L.8)، Williams x RVB x Katool (L.13) و Hamilton (L.39) بیشترین جمع رتبه را داشتند و به عنوان حساس‌ترین لاین‌ها شناسایی شدند (جدول ۷).

و همبستگی غیرمعنی‌داری با عملکرد در شرایط نرمال داشتند (جدول ۷). بنابراین انتخاب براساس این شاخص‌ها باعث انتخاب لاین‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش خواهد شد.

در بررسی که بر روی جمع رتبه‌بندی ۹ شاخص که با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش همبستگی نشان داده‌اند صورت گرفت، نتایج نشان داد که لاین‌های Williams x Craford x Lan (L. 44) و Columbus x Krasnodar 778 و Katool (L. 3)

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی

	MP	GMP	HARM	SSI	STI	TOL	YI	DYI	YSI	DI	ATI	SSPI
Yp	۰/۷۷**	۰/۷۴**	۰/۷۲**	۰/۱۱	۰/۷۷**	۰/۶۶**	۰/۶۳**	-۰/۰۲	-۰/۰۶	۰/۴۳	۰/۸۴**	۰/۶۷**
Ys	۰/۷۶**	۰/۷۹**	۰/۸۱**	-۰/۵۶*	۰/۸۲**	۰/۰۲	۰/۸۳**	۰/۵۵*	۰/۵۵*	۰/۸۴**	۰/۱۳	۰/۰۲

	SNPI	MSTI1	MSTI2	RED.	YR	RDI	SDI	RYP	SIIG	Yp
Yp	۰/۵*	۰/۸۲**	۰/۷**	۰/۰۶	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۷۷**	۰/۹۰**	۱
Ys	۰/۸۵**	۰/۷۶**	۰/۸۸**	-۰/۵۵*	-۰/۵۵*	۰/۵۵*	-۰/۵۵*	۰/۷۷**	۰/۹۲**	۰/۶۲*

* و ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

که می‌توان به عنوان مولفه حساسیت به تنش کم‌آبی نام‌گذاری کرد. عملکرد دانه در شرایط مطلوب نیز در مولفه دوم قرار گرفت.

زارعی سیاهبیدی و همکاران (۲۰۲۰) از تجزیه به مولفه‌های اصلی در تنش خشکی کلزا استفاده نمودند و ژنوتیپ‌های نزدیک به بردارهای شاخص‌های تحمل را به عنوان ارقام متحمل معرفی نمودند. کارموکابرال و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تنش خشکی ۲۲ ژنوتیپ سویا در بزریل پرداختند. در تجزیه مولفه‌های اصلی، مولفه اول ۶۱ درصد و نمودار دوم ۳۷ درصد از تغییرات را توجیح کرده و شاخص‌های تحمل در مولفه اول و در مولفه شاخص‌های حساسیت قرار گرفتند. بنابراین انتخاب براساس مقادیر عددی این دو مولفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به شرایط تنش کم‌آبی می‌گردد.

وجود ضریب همبستگی بزرگ بین یک جفت متغیر مستقل، نشان از رابطه خطی قوی میان آنها و وجود هم‌راستایی دارد. با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی مساله چندهم‌راستایی پیش نمی‌آید و تاثیرگذارترین متغیرها را می‌توان شناسایی نمود (اسکویر و همکاران ۲۰۱۸). نتیجه بدست آمده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از کلیه شاخص‌ها، نشان داد که ۹۶/۴ درصد کل تغییرات داده‌ها توسط دو مؤلفه اصلی اول بیان شده است (جدول ۸). مولفه اول، حدود ۶۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را نشان داد که همبستگی مثبت و بالا با شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI، SNPI، YI، MSTI1، MSTI2 و RYP داشته است که می‌توان آن را به عنوان مولفه تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد. عملکرد دانه در شرایط تنش نیز در مولفه اول قرار گرفته است. مولفه دوم ۳۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیح کرد و با شاخص‌های TOL، ATI، SSPI، SSI، RED، SDI، YR همبستگی مثبت بالایی نشان داد

جدول ۸. نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی

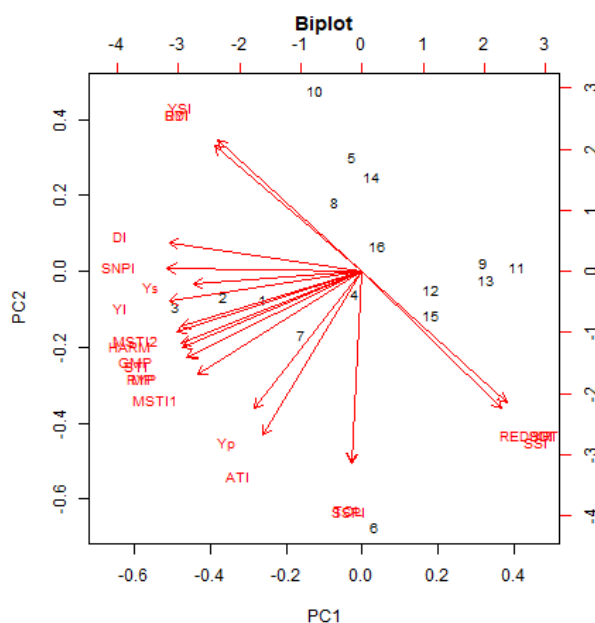
مولفه	مقدار ویژه	واریانس جمععی	MP	GMP	HARM	SSI	STI	TOL	YI	DYI	YSI	DI
اول	۱۳/۸۴	۶۲/۹۲	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۵	-۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۷
دوم	۷/۳۸	۳۳/۵۶	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۶	۰/۰۵	-۰/۲۴	-۰/۲۵	-۰/۰۵

ادامه جدول ۸

مولفه	ATI	SSPI	SNPI	MSTI1	MSTI2	RED.	YR	RDI	SDI	RYP	Yp	Ys
اول	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۵	-۰/۱۹	-۰/۲۰	۰/۲۰	-۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۳
دوم	۰/۳۱	۰/۳۶	-۰/۰۰۵	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۲۵	-۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۰۲

شاخص‌های تحمل به تنش دلالت بر وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها دارد (شکل ۱). به منظور بررسی همزمان شاخص‌های تنش در لاین‌ها، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد (جدول ۹). بالا بودن مقدار SIIG برای هر ژنوتیپ نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش می‌باشد و هر چه مقدار این شاخص برای لاینی به صفر نزدیک‌تر باشد، لاین مورد بررسی نسبت به تنش خشکی حساس‌تر است (زالی و همکاران ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). بر این اساس، لاین Williams x Katool (L. 3) متحمل‌ترین به تنش خشکی بود و بعد از آن لاین‌های Craford x Columbus x Krasnodar (L.45)، Lan (L. 44) 778، رقم کوثر قرار گرفتند. لاین Williams x Katool (L.8) که کم‌ترین مقدار SIIG (۰/۴۳)، را نشان داد، حساس‌ترین لاین به تنش خشکی بود و پس از آن، لاین‌های Williams x Katool (L.21) و Williams x Hamilton (L.39) در مرتبه بعدی قرار داشتند. در تحقیقی که طهماسبی و همکاران (۲۰۱۸) از شاخص SIIG به منظور ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در گندم نان استفاده نمودند دریافتند که شاخص SIIG یک روش ترکیبی جدید و کارا در انتخاب موثرتر ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشد. زالی و همکاران ۲۰۱۹ شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در

با توجه به این‌که مولفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مولفه دوم تبیین نمی‌شود، از این جهت دو مولفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مولفه در سطح نمودار بای پلات مشخص نمود. در این نمودار، کسینوس زاویه بین بردارهای دو صفت معرف ضریب همبستگی بین صفات است. فاصله ژنوتیپ با بردار صفت معرف ارتباط آنها با صفت مورد نظر است و همچنین طول بردار صفت معادل با انحراف معیار صفت است (میشرا و همکاران ۲۰۱۷). تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شد. نمودار بای پلات نشان داد که لاین‌های (L.3) Craford x Lan (L.44)، Williams x Katool (L.45) و ارقام صبا و کوثر در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی از جمله GMP، HARM، STI، YI، SNPI، MSTI1، MSTI2، Ys، Yp ... قرار گرفتند. لاین‌های Craford x Lan (L. 44)، Williams x Katool (L. 3) و Columbus x Krasnodar 778 (L.45) به بردار مربوط به عملکرد در شرایط تنش تمایل داشتند. مقادیر بالا برای شاخص تحمل خشکی در این لاین‌ها به علت عملکرد بالای آن در شرایط بدون تنش بوده است. زاویه حاده بین



شکل ۱- نمودار بای پلات شاخص‌های مورد مطالعه برای لاین‌های سویا بر اساس مولفه اصلی اول و دوم

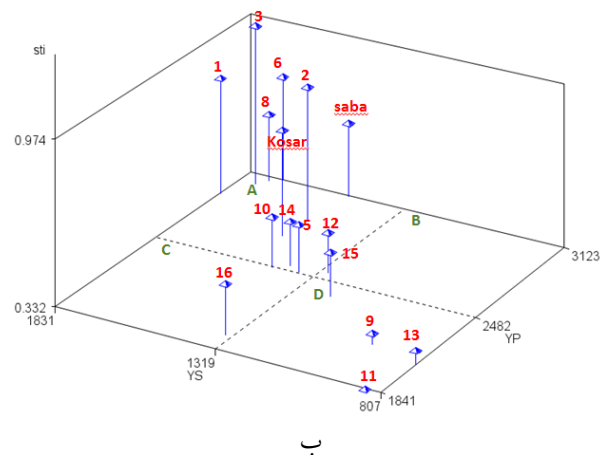
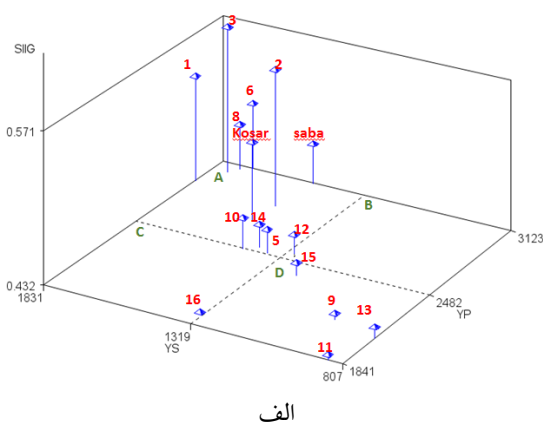
در این بررسی در نظر گرفته شد و همچنین لاین Craford x Lan (L.44) در مرتبه دوم قرار گرفت است. لاین Columbus x Krasnodar 778 (L.45) در رتبه بعدی قرار گرفتند.

ژنوتیپ‌هایی که در منطقه B قرار گرفتند ژنوتیپ‌هایی است که فقط در محیط بدون تنش برتر بوده و در محیط تنش جزء ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین هستند. در این منطقه لاین Hacheston x L.6 (L.) قرار گرفته است. در گروه D سایر لاین‌ها با عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و عدم تنش جای گرفتند. در این ناحیه لاین Williams x Hamilton (L.33) بیشترین عملکرد در شرایط بدون تنش، بیشترین شاخص SIIG و لاین RVB x Katool (L.13) بیشترین عملکرد در شرایط تنش را داشته است. در ناحیه C لاین‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش قرار می‌گیرند که در این بررسی لاین RVB x Katool در ایمن منطقه قرار گرفت (شکل ۲).

کلزا را با استفاده از شاخص SIIG ادغام نموده و بیان نمودند که شاخص SIIG با ادغام شاخص‌های مختلف، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را مؤثرتر انجام می‌دهد. نمودار سه بعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که در منطقه A قرار می‌گیرند بیشترین مقدار عملکرد در شرایط تنش و نرمال و بیشترین مقدار شاخص SIIG را دارند. این ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی متحمل هستند. در این بررسی لاین‌های Craford x Lan (L. Williams x Katool (L. 3)، Columbus x Krasnodar 778 (L.45)، Hacheston x L.6 (L.)، Nemaha x Savoy (L.3) ارقام صبا و کوثر، لاین‌های Williams x Katool (L.13)، Williams x Katool (L.23)، Williams x Katool (L.7) و Hacheston x L.6 (L.) در این منطقه قرار گرفتند. لاین Williams x Katool (L. 3) بیشترین مقدار شاخص SIIG و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و نرمال را داشت. که به عنوان متحمل‌ترین لاین

جدول ۹- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) بر مبنای شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی

رتبه	SIIG	d+	d-	لاین‌ها
۳	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۵۵	Columbus x Krasnodar 778(L.45)
۲	۰/۵۷	۰/۴۷	۰/۶۲	Craford x Lan (L.44)
۱	۰/۵۸	۰/۵۳	۰/۷۳	Williams x Katool (L.3)
۸	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۴۷	Saba
۹	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۵۲	Williams x Katool (L.7)
۵	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۵۶	Nemaha x Savoy (L.3)
۴	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۵۰	Kowsar
۶	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۴۹	Hacheston x L.6 (L.)
۱۴	۰/۴۳	۰/۷۰	۰/۵۴	Williams x Hamilton (L.39)
۷	۰/۴۷	۰/۶۲	۰/۵۶	Williams x Katool (L.13)
۱۶	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۵۷	Williams x Katool (L.8)
۱۱	۰/۴۵	۰/۶۱	۰/۵۰	Hacheston x L.6 (L.)
۱۳	۰/۴۴	۰/۶۹	۰/۵۰	RVB x Katool (L.13)
۱۰	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۵۱	Williams x Katool (L.23)
۱۲	۰/۴۴	۰/۶۱	۰/۴۸	Williams x Hamilton (L.33)
۱۵	۰/۴۳	۰/۶۰	۰/۴۶	Williams x Katool (L.21)



شکل ۲: انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با استفاده از عملکرد نرمال (Yp) و عملکرد در شرایط تنش (Ys) در مقابل شاخص SIIG (الف) و شاخص STI (ب)

Hamilton (L.39) بدست آمده از شاخص‌های فرناندز و Williams x Katool (L. 3) با داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، به عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی شناخته شد (جدول ۴). در مقایسه میانگین نیز نتایج نشان داد که سه لاین Columbus x Krasnodar 778(L.45)، Craford x Lan (L. 44) و Williams x Katool (L. 3) در صفات تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه و عملکرد دانه بیشترین مقدار را داشته و از هر دو رقم شاهد حساس و متحمل برتر بوده‌اند.

در این بررسی از چهار روش برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شامل جمع رتبه شاخص‌ها، تجزیه مولفه‌ها و ایجاد بای پلات و در نهایت شاخص SIIG و فرناندز در این تحقیق استفاده شد. در هر سه روش لاین‌های Williams x Katool (L. 3)، Craford x Lan (L. 44) و Columbus x Krasnodar 778 (L.45) متحمل‌ترین و لاین‌های L.8، Williams x Katool (L. 3) و Williams x Katool (L.39) حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی بودند. براساس این نتایج لاین Williams x Katool (L. 3) به عنوان متحمل‌ترین لاین تعیین گردید.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج پروژه شماره ۹۴۳۰۷-۰۳-۰۳ استخراج شده است. نگارندگان لازم می‌دانند مراتب سپاسگزاری خود را از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای حمایت‌های به عمل آمده اعلام دارند.

مقایسه نتایج بدست آمده از شاخص‌های فرناندز و SIIG نشان داد که لاین Williams x Katool (L.3) برتر از سایرین بود. اگرچه تفاوت زیادی در لاین‌های Columbus x Nemaha x Savoy (L.3) و Krasnodar 778(L.45) Craford x Lan (L.44) با توجه به شاخص فرناندز وجود نداشت، اما در شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌ال از جایگاه پایین‌تری برخوردار بود. علاوه بر این RVB x Katool (L.13) که در گروه C قرار داشت، با شاخص فرناندز از رتبه بالاتری برخوردار بود. در هر صورت لاین‌های برتر در دو شاخص مشابه بودند. به نظر می‌رسد با توجه روند طولانی و زمان بر محاسبه شاخص SIIG در تنش‌ها و داشتن نتایج دقیق و مشابه با روش فرناندز ترجیحاً می‌توان از روش فرناندز که از پیچیدگی کمتری برخوردار است استفاده نمود.

نتیجه گیری

نتایج بررسی این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به ترتیب از لاین‌های Columbus x Nemaha x Savoy (L.3) و Krasnodar 778(L.45) Williams x Katool (L. 3) Craford x Lan (L.44) و کم‌ترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در لاین‌های Hacheston x L.6 (L. 13) و Williams x Katool تولید شده است (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد در لاین‌های Craford x Lan (L.44)، Williams x Katool (L. 3) و رقم کوثر و کم‌ترین مقدار آن به ترتیب در لاین‌های Williams x Katool (L.8) و Williams x Katool (L.3) بود.

منابع مورد استفاده

“Abdollahi Hesar A, Sofalian O, Alizadeh B, Asghari A, Zali H. 2020. Investigation of Frost Stress Tolerance in Some Promising Rapeseed Genotypes. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2):270-288. (In Persian).

Agronomic drought resistance in crops. *Acta Agric*
Agronomic drought resistance in crops. *Acta Agric*

- Asghari Q, Azizi S R, Mirzaei S, 2016. Statistical yearbook of alborz province 1394- Alborz Province Management and Planning Organization, 1-560. <https://salnameh.sci.org.ir>
- Beatriz Dalzotto M, 2016. Selection of drought-tolerant soybean lines using a field screening method and identification of qtls for slow wilting and nitrogen fixation associated with drought-tolerance. A thesis of Master of Science in Crop, Soil, and Environmental Sciences, University of Arkansas. pp:133
- Bidinger FR, Mahalakshmi V, Rao GDP, 1978. Assessment of drought resistance in millet. Factors effecting yields under stress. Australian Journal of Agricultural Research, 38: 37- 48.
- Boreali-occidentalis Sinica 7: 85–87, 1998.
- Boreali-occidentalis Sinica 7: 85–87, 1998.
- Bouslama M, Schapaugh WT, 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
- Carmo Cabral RD, Ensinas Maekawa SC, Rezende Paulino MA, Silva Molina L, Silva Abes SD, Steiner F, 2020. Selection indices to identify drought-tolerant soybean cultivars. Plant Abiotic Stress Tolerance [recurso eletrônico] / Organizador Fábio Steiner, Nova Xavantina, 149p.
- Daneshian J, 2015. Evaluation of grain yield and agronomic traits of soybean cultivars and lines under water deficit condition. Final report. Seed and Plant improvment Institute. Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO). Pp-75.
- Daneshian J, Majidi-Heravan E, Hashemi Dezfoli AH. and Nour Mohamadi G. 1999. Evaluation the effect of drought stress on qualitative and quantitative traits of two soybean cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 1: 35-45 (In Persian).
- Daneshian J, Faraji A, Kalantar Ahmadi SA. Arab GH. Andarkhor AA. Seif Amiri S, Beyk Mahallati S H. Razmi N .2021. Yield potential and loss assessment in soybean fields. Seed and Plant Improvement institute. Pp58. (In Persian).
- Dayoub E, Lamichhane J R, Schoving C, Debaeke P, and Maury P, 2021. Early-stage phenotyping of root traits provides insights into the drought tolerance level of soybean cultivars. Agronomy, 11:188.
- Drought stress” Crop Science. 37: 43-50, 1997.
- Drought stress” Crop Science. 37: 43-50, 1997.
- Du Y, Zhao Q, Chen L, Yao X, and Xie F, 2020. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. Agronomy, 10:302.
- Eyni Nargeseh H, Aghaalikhani M, Shirani Rad A. H, Mokhtassi-Bidgoli A, and Modarres Sanavy S. A. M, 2020. Comparison of 17 rapeseed cultivars under terminal water deficit conditions using drought tolerance indices. Journal of Agriculture Science and Technology, 22(2):489-503.
- Faraji A, 2016. Evaluation of some soybean genotypes (*glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 8(18):30-36. (In Persian).
- Farshadfar E, and Javadinia J, 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. Seed and Plant Improvement journal, 27(4): 517-537.
- Farshadfar F, Sutka J, 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica, 50(4): 411-416.
- Fernandez GCJ, 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo CG, ed. Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, Publication. 93(410): 257–270.
- Fischer RA, Maurer R, 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yields responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897–912.

- Gavuzzi P, Rizza F, Palumbo M, Campaline RG, Ricciardi GL, Borghi B, 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.
- Goodarzvand Chegini Kh, Fotovat R, Bihamta MR, Omidi M, Shahnejant Boushehri A, 2017. Grouping of tolerance indices and response of Kabuli and Desi type chickpea genotypes to drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48: 647-664. (In Persian).
- Kristin AS, Serna RR, Perez FI, Enriquez BC, Gallegos JAA, Vallego PR, Wassimi N, and Kelly JD, 1997, Improving common Bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37: 43-50.
- Kristin A. S., R. R. Serna, F. I. Perez, B. C. Enriquez, J. A.
- Kristin A. S., R. R. Serna, F. I. Perez, B. C. Enriquez, J. A.
- Kunert K J, Vorster B J, Fenta B A, Kibido T, Dionisio G, and Foyer C H, 2016. Drought stress responses in soybean roots and nodules. *Frontiers Plant Science*, 7:1015
- Lan J, 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*. 7: 85–87.
- Lin CS, Binns MR, Lefkovitch LP, 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*, 26: 894- 900.
- Mishra S, Sarkar U, Taraphder S, Datta S, 2017. Principal Component Analysis, *International Journal of Livestock Research*, 7(5): 19.
- Moghaddam Khamseh A, Daneshian J, Amini Dehghi M, Jabbari H and Modarres Sanavy SAM. 2011. Effect of plant density and water deficit on the growth, yield and yield component of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Jouranal of Agronomy Sciences*. 3 (6): 26-40.
- Moosavi SS, Samadi BY, Naghavi MR, Zali AA, Dashti H, Pourshahbazi A, 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12: 165-178.
- Morovati I, Kordenaeej A, and Babaei HR, 2021. Evaluation of drought tolerance indices in soybeans. *Journal of Crop Breeding*, 13(37):109-118. (In Persian).
- Peghambari SA, Taleb Khani M, Babaei HR, and Alipour H. 2016. Evaluation of tolerance to water deficit stress in diverse soybean genotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4): 933-943. (In Persian).
- Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Etminan A, Shooshtari L, Maleki-Tabrizi N, and Poczai P, 2020. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, 12(5610):1-14.
- President, Country Management and Planning Organization. 1397. Yearbook of National Statistics 2016. Statistics Center of Iran, Frost 4968. Pp:912. <https://www.amar.org.ir>
- Rahi AR, Najafi Zarrini H, Ranjbar Gh, Ghajar Spanlou M. 2020. Identification of drought tolerant genotypes of soybean plant using principal component analysis and cluster analysis. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1):27-40. (In Persian).
- Rosielle A A, Hamblin J, 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non – stress environment. *Crop Science*, 21: 943-946.
- Sabokdast M, Dashtaki M, Sassani J, and Rezaizadeh A, 2019. Evaluation of responses of common bean (*Phaseolus Vulgaris*. L) Genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(2): 1-9. (In Persian).
- Sadeghi L, Rafiee M, Daneshian J. 2021. Effect of drought stress and aerosols on yield and some physiological traits of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 10 (41) :263-278. (In Persian).
- Schober P, Boer C. 2018. Correlation Coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia and analgesia*, 126(5):1763-1768.

- Tahmasebi S, Dastfal M, Zali H, and Rajaie M, 2018. Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. *Cereal Research*, 8(2):209-225. (In Persian).
- Wei Y, Jin J, Jiang S, Ning S, and Liu L, 2018. Quantitative response of soybean development and yield to drought stress during different growth stages in the Huaibei plain, China. *Agronomy*, 8:97.
- Zali H, Hasanloo T, Sofalian O, Asgharii A, and Enayati Shariatpanahi M, 2019. Identifying drought tolerant canola genotypes using selection index of ideal genotype. *Journal of Crop Breeding*, 11(29): 117-126. (In Persian).
- Zali H, Sofalian O, Hasanloo T, Asghari A, and Zeinalabedini M, 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, 78 (20): 77-90. (In Persian).
- Zareei Siahbidi A, Rezaeizad A, 2020. Study on response of some oilseed rape genotypes to drought stress. *Applied Research in Field Crops*, 32(4):1-12. (In Persian).