

Evaluation of Drought Stress Tolerance based on Selection Indices of Advanced Soybean Genotypes in Moghan Plain

Nasrin Razmi ^{1*}, Jahanfar Daneshian ², Bahram Masoudi³

Received: 15 October 2024

Accepted: 21 May 2025

1-Assist. Prof., Field and Horticultural Crops Sciences Research Dept., Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Parsabad, Iran.

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

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

Corresponding Author E-mail: Nasrin Razmi n.razmi@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) contributes 57% of the total oilseed production worldwide. Drought stress is one of the most critical factors, significantly impeding the growth and yield of soybean. Identification of drought-tolerant genotypes is one of the most important solutions to deal with water deficit in the context of climate change.

Materials and Methods: This research was carried out in split plots using a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Agricultural and Natural Resources Research Center of Ardabil province (Moghan) in summer of 2023. Irrigation treatments including full irrigation (100% water requirement) and drought stress (50% water requirement) were considered as main factors and 15 new genotypes were secondary factors. Genotypes were evaluated based on grain yield under control and drought stress conditions using the indices of stress sensitivity, tolerance, average productivity, yield stability, stress tolerance, geometric mean productivity, drought resistance, average relative yield, percentage of stress sensitivity and percentage of yield reduction.

Results: According to average rankings in tolerance indices G3, G9, G11 and G13 were identified as the most tolerant genotypes to water deficit stress. Cluster analysis separated the genotypes into six distinct groups. The G5 and the Kosar were in the first group and G3, G11, G13 and G9 genotypes were in the sixth group. Different views of the biplot diagrams identified G3, G9 and G13 were the most stable and the highest grain yielding genotypes in both environments.

Conclusion: Based on the average grain yield under drought stress and full-irrigation conditions, average tolerance indices, results of cluster analysis and views of the bi-plot diagrams G3, G9, G13 and G11 genotypes were identified as stable and tolerant genotypes, and can serve as valuable genetic resources in breeding programs.

Keywords: GGE Biplot Model, Ranking Method, Sensitive Genotypes, Stability, Tolerant Genotypes



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2026 Nasrin Razmi E-mail: Nasrin Razmi n.razmi@areeo.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2025.64018.3295>



بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در تعدادی از ژنوتیپ‌های پیشرفته سویا در دشت مغان

نسرين رزمی*^۱، جهانفر دانشیان^۲، بهرام مسعودی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱
--------------------------	-------------------------

- ۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس آباد، ایران
- ۲- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۳- استادیار پژوهشی، مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) ۵۷ درصد از کل تولید جهانی دانه‌های روغنی را به خود اختصاص می‌دهد. تنش خشکی یکی از مهمترین عواملی است که به‌طور قابل توجهی مانع رشد و عملکرد سویا می‌شود. شناسایی ارقام متحمل به خشکی در سویا یکی از مهمترین راهکارهای مقابله با تنش کم‌آبی در شرایط تغییرات اقلیمی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش خشکی (۵۰ درصد نیاز آبی) به عنوان عامل اصلی و ۱۵ ژنوتیپ جدید سویا به عنوان عامل فرعی بود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش خشکی توسط شاخص‌های حساسیت به تنش، تحمل، بهره‌وری متوسط، پایداری عملکرد، تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، مقاومت به خشکی، میانگین عملکرد نسبی، درصد حساسیت به تنش و درصد کاهش عملکرد انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس میانگین رتبه‌ها در شاخص‌های مورد مطالعه ژنوتیپ‌های G3، G9، G11 و G13 به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی شناخته شدند. تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها را در شش گروه مجزا تفکیک کرد. G5 و رقم کوثر در گروه اول و G3، G11، G13 و G9 در گروه ششم جای گرفتند. نماهای مختلف نمودار بای پلات G9، G3 و G13 را جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین در هر دو محیط قرار دادند.

نتیجه‌گیری: با در نظر گرفتن میانگین عملکرد دانه در دو محیط آبیاری کامل و تنش خشکی، میانگین رتبه‌ها در شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مورد مطالعه، نتایج حاصل از تجزیه کلاستر و نمودارهای بای پلات، ژنوتیپ‌های G3، G9، G11 و G13 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و متحمل به تنش کم‌آبی شناسایی شدند و می‌توانند به عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، روش رتبه بندی، ژنوتیپ‌های حساس، ژنوتیپ‌های متحمل

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان به بیش از ۹/۸ بلیون در سال ۲۰۵۰ نیاز به مواد غذایی گیاهی و حیوانی به شدت رو به افزایش است. تغییرات آب و هوایی که با رخداد بارندگی های نامنظم و افزایش گرمایش جهانی مشخص می شود، تهدیدی جدی برای امنیت غذایی جمعیت رو به رشد جهان می باشد (پادل و همکاران ۲۰۲۳). خشکسالی مهمترین تنش غیرزیستی است که با تغییر اقلیم بیشتر و پیچیده تر شده و تولید بیشتر محصولات زراعی و به خصوص محصولات گرمسیری مانند سویا را بیش از پیش با چالش مواجه کرده است (آریا و همکاران ۲۰۲۱). همچنین مطالعات نشان می دهد که محصولاتی مانند سویا به ازای هر یک درجه سانتی گراد افزایش درجه حرارت جهانی حدود ۳ الی ۷ درصد از عملکرد خود را از دست می دهند (بزمودز و همکاران ۲۰۲۲).

سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) دانه ای روغنی، پروتئینی می باشد که در طیف وسیعی از شرایط آب و هوایی جهان کشت می شود. پاسخ سویا به تنش خشکی ممکن است با توجه به ارقام متفاوت باشد (رزمی و همکاران ۲۰۱۷). مطابق گزارش ها تنش خشکی می تواند تا ۴۰ تا ۶۰ درصد عملکرد دانه سویا را کاهش دهد (کهن و همکاران ۲۰۲۱). مطالعات متعددی تنوع ژنتیکی را در فیزیولوژی و صفات رشدی سویا گزارش کردند که منتهی به اختلاف عملکرد در شرایط تنش کم آبی می گردد (دو و همکاران ۲۰۲۰). شناسایی، ارزیابی و اصلاح ارقام متحمل به خشکی یکی از مهمترین راهکارهای مقابله با تنش خشکی می باشد، دسترسی به منابع ژنتیکی متحمل به شرایط تنش خشکی، تعیین اجزای ژنتیکی متحمل، دستکاری ژنتیکی موفق و تکنیک های غربالگری قابل اعتماد از شرایط اصلی موفقیت در اصلاح ژنوتیپ های متحمل به تنش خشکی محسوب می شود (گلیسون و همکاران ۲۰۲۲). مطابق گزارش محققین عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی وراثت پذیری پایینی دارد و دلیل این امر را در کنترل ژنتیکی پیچیده این صفت و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر میزان عملکرد دانه دانسته اند (گردانی و همکاران ۲۰۱۹)، ولی نتایج مخالفی مبنی بر وراثت پذیری متوسط تا زیاد برای صفت عملکرد

دانه تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد (لیو و همکاران ۲۰۱۷). مطابق این بررسی ها انتخاب مستقیم براساس عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به جای صفات ثانویه برتری داشته و افزایش عملکرد بیشتری را در پی داشته است (کیم و همکاران ۲۰۲۰).

ارزیابی کارآمد ژنوتیپ ها در شرایط تنش خشکی به دلیل فقدان تکنیک های غربالگری سریع و تکرارپذیر پیچیده می باشد. افزایش پتانسیل ژنتیکی عملکرد دانه در ژنوتیپ های جدید در محیط های مساعد نسبت به شرایط تنش بسیار بالاتر بوده است. بنابراین، در سال های اخیر شاخص های تحمل به تنش خشکی که بر اساس کاهش عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش بوده، برای غربالگری تعداد زیادی ژنوتیپ های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گرفته است (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). فرناندز (۱۹۹۲) ژنوتیپ ها را براساس واکنش آنها به شرایط محیطی تنش و بدون تنش به چهار گروه ژنوتیپ های دارای عملکرد خوب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (A)، ژنوتیپ های دارای عملکرد خوب در محیط بدون تنش (B)، ژنوتیپ های دارای عملکرد خوب در محیط تنش (C) و ژنوتیپ هایی که عملکرد پایینی در هر دو محیط دارند (D)، تقسیم کرد. شاخص های خشکی زیادی بر مبنای تحمل و یا حساسیت به خشکی و بر اساس میزان عملکرد در شرایط تنش خشکی و شرایط بدون تنش پیشنهاد شده است (یان و همکاران ۲۰۲۰). تمایز ژنوتیپ هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش برتری دارند از ژنوتیپ هایی که تنها در یک محیط مطلوب هستند، بهترین معیار برای انتخاب این شاخص ها می باشد. مقادیر بالای شاخص TOL^1 بیانگر حساسیت بیشتر به خشکی بوده و همانند شاخص SSI^2 قادر به تشخیص ژنوتیپ های گروه A از گروه C نمی باشد. تمایل شاخص MP^3 به گزینش ژنوتیپ های با عملکرد بیشتر و تحمل به تنش کمتر بوده و قادر به تمایز ژنوتیپ های گروه A از گروه B نیست (وانگ و همکاران ۲۰۲۲). هر چه شاخص MP بالاتر باشد مطلوب تر است. این حالت زمانی رخ می دهد که Y_P (عملکرد در محیط غیر تنش) و Y_S (عملکرد در محیط

³ Mean productivity (MP)¹ Tolerance (TOL)² Stress susceptibility index (SSI)

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی تابستان سال ۱۴۰۲، جهت ارزیابی عکس العمل ژنوتیپ‌های جدید سویا نسبت به تنش کم‌آبی، در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل تیمارهای آبیاری (آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش خشکی (۵۰ درصد نیاز آبی)) بود. تیمارهای آبیاری به صورت افزایش دور آبیاری بعد از استقرار گیاه و شروع مرحله توسعه رشد اولین برگ سه برگچه‌ای اعمال شدند. روش آبیاری به صورت نشتی بوده و جهت سهولت اجرای عملیات و جلوگیری از رواناب سطحی و نفوذ عمقی آب از کرتی به کرت دیگر، فواصل بین کرت‌های اصلی با نهر و فاضلاب جداگانه به عرض ۷ متر از یکدیگر تفکیک شدند. میزان آب آبیاری هر کرت در هر نوبت آبیاری با نمونه برداری از خاک در عمق توسعه ریشه و تعیین درصد رطوبت وزنی خاک و روش تامین کسر رطوبت خاک تا نقطه ظرفیت زراعی محاسبه و میزان آب با اعمال راندمان آبیاری ۷۰ درصد با استفاده از فلوم WSC اندازه‌گیری و در اختیار گیاه قرار گرفت.

کرت‌های فرعی شامل ژنوتیپ‌های سویا (۱۵ ژنوتیپ امیدبخش سویا بدست آمده از آزمایشات مقایسه عملکرد به همراه ارقام شاهد صبا، ویلیامز، پارسا و کوثر) بود. ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این بررسی همگی متعلق به گروه رشدی ۳ بوده و مشخصات آنها در جدول ۲ آورده شده است.

تنش) هر دو دارای مقادیر بالایی باشند ولی در برخی مواقع مشاهده می‌شود که Y_P در یک رقم بسیار زیاد است و با Y_S اختلاف زیادی دارد و در چنین شرایطی علت زیاد بودن MP بالا بودن Y_P می‌باشد که تفکیک این دو مورد را با مشکل مواجه می‌سازد، شاخص MP سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط مناسب عملکرد بالایی دارند ولی از عملکرد کمی در شرایط نامطلوب برخوردارند. زمانی که اختلاف بین Y_P و Y_S خیلی زیاد باشد در این صورت شاخص GMP^4 میانگین متعادل‌تری نسبت به شاخص MP بوده و قادر به تفکیک بهتر ژنوتیپ‌های گروه A می‌باشد (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). شاخص تحمل به تنش STI که براساس GMP بوده و قادر به شناسایی بهتر ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش بوده و مقادیر بالایی آن نشانگر تحمل بیشتر گیاه به تنش خشکی است. مطابق پیشنهاد موسوی و همکاران (۲۰۰۸) به منظور افزایش دقت در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و کارایی بیشتر این شاخص‌ها، ابتدا ژنوتیپ‌های مورد بررسی با شاخص STI^5 گروه بندی شده و سپس ژنوتیپ‌های برتر حاصل از این گروه‌بندی با شاخص SSI گزینش شوند.

در شمال استان اردبیل و در دشت مغان زراعت سویا که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در طی دوران رشد خود با گرمای هوا و متعاقب آن با تنش کم-آبی مواجه است. رقابت با صیفی‌جات، ذرت و سایر محصولات بهاره این زراعت را بیش از پیش در تنگنای تامین آب قرار داده است. لذا تحقیق حاضر با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول و سازگار سویا در شرایط تنش کم‌آبی با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی در اقلیم گرم و مرطوب دشت مغان انجام شد.

جدول ۱- داده‌های هوا شناسی در سال ۱۴۰۲ ایستگاه هواشناسی کشاورزی اولتان (مغان)

ماه	دمای متوسط (درجه سانتی- گراد)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)	تخیر تجمعی mm	میزان بارش mm	ساعات آفتابی نسبی (%)	رطوبت
تیر	۲۶/۲۳۶	۳۳/۲۱	۱۹/۵	۲۶۴/۹	۴۱/۶	۳۱۶/۶	۶۰/۳
مرداد	۲۸/۹۱	۳۶/۲۳	۲۱/۵۷	۳۱۷/۴	.	۳۲۷/۴	۵۸/۱
شهریور	۲۳/۴۴	۲۸/۳۵	۱۸/۵۴	۱۷۰/۲	۵۸	۱۹۱	۷۲/۷
مهر	۱۸/۳۳	۲۳/۹۴	۱۲/۷۲	۷۸۲	۵۶/۹	۸۱۷۵	۷۴/۶
آبان	۱۶/۰۱	۲۲/۱۳	۱۰/۰	۵۵/۹	۱/۹	۱۷۵/۸	۷۴/۸

⁴ Geometric mean productivity (GMP)⁵ Stress tolerance index (STI)

جدول ۲- مشخصات ارقام و ژنوتیپ های مورد مطالعه

ردیف	والد پدری	والد مادری	رنگ کرک	رنگ گل	کد تخصص یافته
۱	Dornburger	Clean	طلایی	سفید	SOY-401-1
۲	Dornburger	Clean	طلایی	بنفش	SOY-401-2
۳	Dornburger	Linford	طلایی	سفید	SOY-401-3
۴	Dornburger	Linford	طلایی	سفید	SOY-401-5
۵	Interprise	Manacon	طلایی	سفید	SOY-401-7
۶	Interprise	Manacon	طلایی	سفید	SOY-401-8
۷	Interprise	Manacon	طلایی	سفید	SOY-401-9
۸	Interprise	Roanak	طلایی	بنفش	SOY-401-12
۹	Interprise	Roanak	طلایی	بنفش	SOY-401-13
۱۰	Interprise	Roanak	طلایی	بنفش	SOY-401-14
۱۱	Interprise	Roanak	طلایی	بنفش	SOY-401-16
۱۲	Interprise	Roanak	طلایی	سفید	SOY-401-17
۱۳	Interprise	Roanak	طلایی	بنفش	SOY-401-21
۱۴	Interprise	Roanak	طلایی	بنفش	SOY-401-22
۱۵	Interprise	Roanak	طلایی	سفید	SOY-401-23
ویلیامز	-	-	طلایی	سفید	-
صبا	-	-	طلایی	سفید	-
پارسا	-	-	طلایی	سفید	-
کوثر	-	-	طلایی	بنفش	-

ادامه جدول ۲- رتبه ها (R)، میانگین رتبه ها (R) و انحراف معیار رتبه ها (SDR) شاخص های تحمل به خشکی در ژنوتیپ- های پیشرفته سویا

ژنوتیپ	YI	رتبه	YSI	رتبه	DI	رتبه	SSPI	رتبه	MRP	رتبه	PYR	رتبه	$\bar{R}$	SDR	RS
۱	۱/۱۲۱	۶	۰/۷۲۲	۶	۰/۸۰۹	۷	۱۴/۳	۸	۲/۱۴۵	۷	۰/۲۷۸	۶	۶/۹۳	۰/۸۳	۷/۷۶
۲	۰/۹۴۲	۱۳	۰/۵۵۴	۱۳	۰/۵۲۲	۱۲	۲۵/۱	۱۶	۲/۰۶۴	۹	۰/۴۴۶	۱۳	۱۱/۱۳	۲/۹۱	۱۴/۰۵
۳	۱/۴۳۷	۱	۰/۷۶۹	۱	۱/۱۰۶	۳	۱۴/۲	۷	۲/۶۶۹	۱	۰/۲۳۱	۴	۲/۵۳	۲/۰۶	۴/۵۹
۴	۱/۰۶۲	۸	۰/۷۲۱	۷	۰/۷۶۶	۸	۱۳/۵	۵	۲/۰۳۲	۱۰	۰/۲۷۹	۷	۸/۴۷	۱/۹۰	۱۰/۴
۵	۰/۶۲۰	۱۸	۰/۶۲۸	۱۲	۰/۳۸۹	۱۵	۱۲/۱	۴	۱/۲۷۲	۱۹	۰/۳۷۲	۱۲	۱۵/۲	۴/۹۹	۲۰/۲
۶	۰/۹۴۵	۱۲	۰/۶۶۳	۱۱	۰/۶۲۷	۱۱	۱۵/۹	۹	۱/۸۸۵	۱۲	۰/۳۳۷	۱۱	۱۱/۶	۱/۳۶	۱۲/۹
۷	۰/۷۳۷	۱۶	۰/۵۱۰	۱۶	۰/۳۷۶	۱۶	۲۳/۳	۱۴	۱/۶۸۹	۱۶	۰/۴۸۹	۱۶	۱۵/۵	۰/۹۳	۱۶/۵
۸	۱/۰۷۴	۷	۰/۶۹۰	۹	۰/۷۴۱	۹	۱۵/۹	۱۰	۲/۱۰۱	۸	۰/۳۱۰	۸	۸/۴۷	۰/۸۶	۹/۳
۹	۱/۲۶۴	۴	۰/۷۱۶	۸	۰/۹۰۶	۶	۱۶/۵	۱۲	۲/۴۲۸	۴	۰/۲۸۳	۸	۵/۹۳	۲/۷۹	۸/۷
۱۰	۰/۹۹۴	۱۰	۰/۶۶۹	۱۰	۰/۶۶۵	۱۰	۱۶/۲	۱۱	۱/۹۷۲	۱۱	۰/۳۳۱	۱۰	۱۰/۶	۰/۴۷	۱۱/۱
۱۱	۱/۴۳۶	۲	۰/۸۴۴	۳	۱/۲۱۲	۱	۸/۷	۳	۲/۵۵۷	۲	۰/۱۵۶	۳	۲/۵۳	۱/۰۵	۳/۶
۱۲	۰/۷۴۹	۱۵	۰/۵۰۰	۱۷	۰/۳۷۴	۱۷	۲۴/۷	۱۵	۱/۷۳۷	۱۵	۰/۵۰	۱۵	۱۵/۱۳	۱/۶۲	۱۶/۸
۱۳	۱/۳۰۴	۳	۰/۷۵۲	۵	۰/۹۸۱	۴	۱۴/۱	۶	۲/۴۴۷	۳	۰/۲۴۷	۵	۳/۹۳	۱/۰۹	۵/۱
۱۴	۰/۹۵۹	۱۱	۰/۵۲۶	۱۴	۰/۵۰۴	۱۳	۲۸/۵	۱۹	۲/۱۶۲	۶	۰/۴۷۴	۱۴	۱۰/۱۳	۴/۹۴	۱۵/۱
۱۵	۱/۲۵۶	۵	۰/۸۸۱	۱	۱/۱۰۶	۲	۵/۶	۲	۲/۱۹۵	۵	۰/۱۱۸	۵	۴/۴	۳/۴۶	۷/۹
ویلیامز	۰/۸۰۸	۱۴	۰/۵۱۳	۱۵	۰/۴۱۵	۱۴	۲۵/۲	۱۸	۱/۸۴۵	۱۳	۰/۴۸۶	۱۳	۱۳/۸	۲/۴۰	۱۶/۲
صبا	۰/۶۸۱	۱۷	۰/۴۷۱	۱۹	۰/۳۲۱	۱۹	۲۵/۲	۱۸	۱/۶۳۲	۱۷	۰/۵۲۸	۱۷	۱۷/۳	۱/۱۴	۱۸/۴
پارسا	۱/۰۴۸	۹	۰/۸۷۵	۲	۰/۹۱۷	۵	۴/۹	۱	۱/۸۳۶	۱۴	۰/۱۲۴	۱۴	۸/۹	۵/۶۸	۱۴/۵
کوثر	۰/۵۶۷	۱۹	۰/۴۸۸	۱۸	۰/۲۷۶	۱۹	۱۹/۶	۱۳	۱/۳۳۳	۱۳	۰/۵۱۲	۱۸	۱۷/۵	۱/۷۶	۱۹/۳

دشت مغان در شمال استان اردبیل قرار گرفته و دارای تابستان‌های گرم و رطوب و زمستان‌های خنک و ملایم می‌باشد شرایط اقلیمی حاکم طی ماه‌های رشد سویا در جدول ۱ آمده است.

قبل از کشت و پس از شخم و دیسک، زمین تسطیح شد. زمان کاشت در اوایل تیرماه پس از برداشت گندم بود. برای تامین عناصر غذایی گیاه، به میزان ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مصرف شد. برای کنترل علف‌های هرز از سم ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار استفاده و با خاک مخلوط شد.

شاخص‌های تنش خشکی با استفاده از روابط ذیل محاسبه شد.

۱- شاخص حساسیت به تنش (فیشتر و مورر ۱۹۸۷)

$$SI = 1 - \left[\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right]$$

Stress susceptibility index $SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{SI}$

$\bar{Y}_p$: عملکرد ژنوتیپ در شرایط آبیاری مطلوب

$\bar{Y}_s$: عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش

$\bar{Y}_p$: متوسط عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری مطلوب

$\bar{Y}_s$: متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش

SI: شدت تنش

۲- شاخص تحمل Tol و متوسط عملکرد یا میانگین بهره‌وری MP توسط روسیلی و هامبلین (رسلی و همبلین ۱۹۸۱) ارائه شد.

$$\text{Tolerance (Tol)} = Y_p - Y_s$$

$$\text{Mean productivity (MP)} = (Y_p + Y_s) / 2$$

۳- میانگین هندسی قابلیت تولید (رسلی و همبلین ۱۹۸۱)

$$\text{Geometric mean productivity (GMP)} = \sqrt{Y_p \cdot Y_s}$$

۴- شاخص تحمل به تنش (فرناندز ۱۹۹۲)

$$\text{Stress tolerance index (STI)} = Y_p \cdot Y_s / \bar{Y}_p^2$$

۵- شاخص پایداری عملکرد (بوسلاما و شپاف ۱۹۸۴)

$$\text{Yield Stability index (SI)} = (Y_s / Y_p)$$

۶- شاخص درصد حساسیت به تنش (موسوی و همکاران ۲۰۰۸)

$$\text{Stress susceptibility percentage index (SSPI)} = [Y_p - Y_s / 2 \bar{Y}_p] \times 100$$

۷- شاخص مقاومت به خشکی (لن ۱۹۹۸)

با ایجاد خطوط کشت با فاروئر به عرض ۶۰ سانتی‌متر، کاشت به صورت دستی انجام شد. قبل از کاشت بذور با محلول باکتری برادی ریزوبیوم آغشته شد. هر کرت آزمایشی دارای ۴ خط کاشت به طول ۵ متر بوده و تراکم ۴۵ گیاه در متر مربع در نظر گرفته شد. برداشت در زمان رسیدگی کامل بوته‌ها (ریزش کامل برگ‌ها، تغییر رنگ غلاف‌ها و خشک شدن دانه‌ها) انجام شد. مساحت برداشت برای ارزیابی عملکرد دانه از هر کرت فرعی ۴ متر مربع بود. عملکرد دانه بر اساس ۱۲ درصد رطوبت و بصورت کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

Drought resistance index (DI) = $Y_s \times (Y_s/Y_p) / \bar{Y}_s$

۸- شاخص عملکرد (گوازی و همکاران ۱۹۹۷)

Yield index (YI) = $Y_s / \bar{Y}_s$

۹- میانگین عملکرد نسبی (رمیرز و کلی ۱۹۹۸)

Mean relative performance (MRP) = $(Y_s / \bar{Y}_s) + (Y_p / \bar{Y}_p)$

۱۰- درصد کاهش عملکرد (فرشادفر و جوادنیا ۲۰۱۱)

Percent yield Reduction (PYR) = $(Y_p - Y_s) / Y_p \times 100$

در نهایت ژنوتیپ ها براساس شاخص های مختلف رتبه بندی شده و مجموع رتبه ها بر اساس مجموع میانگین رتبه های موجود و انحراف معیار رتبه ها با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (فرشاد فر و همکاران ۲۰۱۲).

$$RS = \bar{R} + SDR \quad SDR = (S^2_i)^{0.5}$$

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسیمروف (Kolmogorov- Smirnov) از طریق نرم افزار SPSS ver 20 مورد بررسی قرار گرفت. رسم نمودارهای بای پلات براساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. محاسبه شاخص های تنش خشکی با استفاده از نرم افزار صفحه گسترده Excel انجام شد. گروه بندی ژنوتیپ های سویا جهت گزینش همزمان شاخص های مختلف از طریق تجزیه کلاستر با الگوریتم Ward با نرم افزار PAST انجام گردید. به منظور رسم نمودارهای بای پلات، از نرم افزار GGE Biplot استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به شاخص های مورد بررسی در این مطالعه، ارقامی که بیشترین مقدار را برای شاخص های MRP، DI، YI، GMP، STI، YSI، MP، HM مقدار را برای شاخص های SSI، SSPI، PYR و TOL نشان دهند و در عین حال عملکرد بالایی نیز داشته باشند، تحمل بالاتر و سازگاری بهتری نسبت به شرایط تنش خشکی نشان خواهند داد (آدیکاری و همکاران ۲۰۱۹). شاخص های مقاومت به خشکی بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ ها و ارقام سویا در دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود محاسبه و در جدول شماره ۳ ارائه شده است. شاخص حساسیت به تنش SSI که هر چه مقدار آن کمتر باشد حساسیت به تنش کمتر و در نتیجه تحمل تنش آن ژنوتیپ به تنش کم آبی بیشتر خواهد

بود. بر اساس این شاخص رقم پارسا و ژنوتیپ های G11 و G15 محتمل ترین ارقام صبا، کوثر و ژنوتیپ های G5، G7 و G12 با بیشترین مقدار این شاخص، حساس ترین ژنوتیپ ها به تنش خشکی شناسایی شدند. فرناندز (۱۹۹۲) شاخص SSI را مناسب برای تمایز ژنوتیپ های گروه B و C دانست. مقادیر پایین تر شاخص SSI نشان دهنده اختلاف پایین تر عملکرد در بین سطوح تنش و به عبارت دیگر تحمل بیشتر است، ژنوتیپ های برتر از نظر این شاخص عملکرد بالایی تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند و لزوماً پتانسیل عملکرد بالاتری ندارند. پژوهشگران اظهار داشتند که شاخص SSI دارای محدودیت هایی در بررسی سازگاری و تحمل بودن لاین ها به محیط تنش می باشد، زیرا این شاخص بر مبنای کاهش کمتر عملکرد در محیط های تنش در مقایسه با محیط های عادی می باشد و بهتر است از شاخص مذکور نه برای گزینش لاین های محتمل به تنش بلکه جهت حذف لاین های حساس به تنش استفاده گردد (وانگ و همکاران ۲۰۲۲). بر اساس شاخص TOL، ژنوتیپ G14 و ارقام ویلیامز و صبا حساس ترین ارقام در شرایط محدود رطوبتی و رقم پارسا و ژنوتیپ G15 محتمل ترین ارقام به شرایط تنش خشکی بودند. با توجه به اینکه شاخص TOL متوسط عملکرد سایر ژنوتیپ ها را در نظر نمی گیرد، هر چه مقدار عددی این شاخص کوچکتر باشد، ژنوتیپ محتمل تر است (کم بودن اختلاف Y_p و Y_s) که این اختلاف ممکن است به علت بالا بودن عملکرد در هر دو شرایط بدون تنش و دارای تنش باشد

و یا این که ناشی از افت کم عملکرد در محیط تنش باشد (لون و همکاران ۲۰۲۱). ارقامی که بر اساس این شاخص مقادیر کمتری داشته باشند نسبت به شرایط تنش خشکی متحمل تر می باشند. البته پایین بودن مقادیر این شاخص لزوماً به بالا بودن عملکرد دلالت ندارد، بلکه ممکن است یک رقم خاص در شرایط عادی عملکرد پایینی داشته باشد و در شرایط تنش با کاهش عملکرد کمتری روبرو شود که موجب کوچک تر شدن شاخص TOL می شود (یانگ و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین گزینش بر اساس این شاخص سبب انتخاب ژنوتیپ هایی می شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایین و در محیط تنش عملکرد بالقوه دارند (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲).

شاخص STI یک شاخص موازنه شده است، در این شاخص هر عملکرد با متوسط عملکرد همه ژنوتیپ ها تصحیح می گردد. مقادیر بالای شاخص STI برای یک ژنوتیپ حاکی از آن است که آن ژنوتیپ تحمل به تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد بیشتری دارد. در بین ژنوتیپ های مورد بررسی در این تحقیق ژنوتیپ های G11، G3 و G13 با مقادیر عددی ۱/۱۶، ۱/۰۶ و ۰/۹۸ بالاترین میزان این شاخص را داشتند. این شاخص زمانی قابل اعتماد است که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شود. به طور کلی، عکس العمل گیاهان زراعی و ارزیابی عملکرد آنها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آنها در استفاده از شرایط محیطی است (مجیدیان و همکاران ۲۰۲۴). یک ژنوتیپ با عملکرد مناسب تحت شرایط مطلوب باید عملکرد خوبی در شرایط نامناسب هم داشته باشد تا بتواند به عنوان یک رقم مناسب در شرایط تنش خشکی معرفی گردد (نواب پور و همکاران ۲۰۱۷). ژنوتیپ های G11 و G3 حائز بیشترین شاخص میانگین هندسی بهره وری (کیلوگرم در هکتار $GMP = 3341 - 3386$) شده و به عنوان ژنوتیپ های متحمل به خشکی طبقه بندی شدند (با عملکرد پتانسیل ۳۸۱۰-۳۴۶۷ و عملکرد تحت تنش ۲۹۳۱-۲۹۲۷ کیلوگرم در هکتار). در این میان، رقم کوثر و ژنوتیپ G5 با به دست آوردن شاخص GMP معادل ۱۶۵۵-۱۵۹۶ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب عملکرد بدون تنش ۲۳۷۰-۲۰۱۵ کیلوگرم در هکتار و عملکرد در شرایط

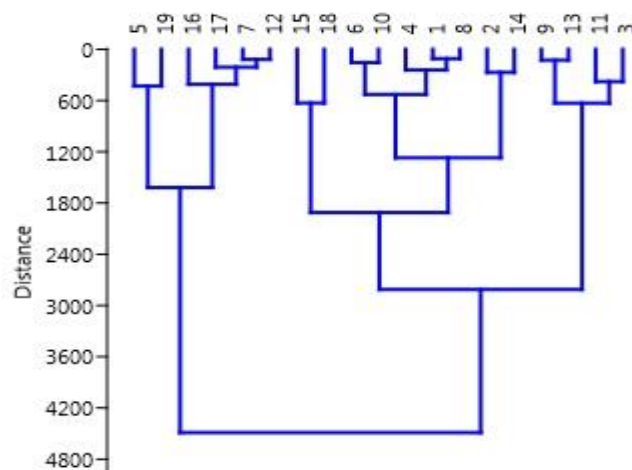
تنش ۱۲۶۵-۱۱۵۶ کیلوگرم در هکتار) به عنوان ژنوتیپ های حساس معرفی شدند. بیشترین میزان شاخص MP به ترتیب متعلق به ژنوتیپ های G3 و G11 می باشد. با توجه به شاخص MP، هر چه مقدار عددی یک رقم بالاتر باشد تحمل نسبی آن رقم به شرایط تنش بیشتر است. البته این شاخص در گزینش ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی مناسب نیست زیرا اختلاف عملکرد زیاد در دو شرایط بدون تنش و تنش، باعث بالا رفتن میزان این شاخص می گردد. شاخص MRP نیز با روند تقریباً مشابهی بیشترین مقادیر را به ترتیب به ژنوتیپ های G3، G11 و G13 اختصاص داد. شاخص MRP انتخاب برای تحمل را براساس تفاوت در عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش انجام می دهد و ژنوتیپ هایی با کاهش کمتر عملکرد دانه و عملکرد دانه پایین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را انتخاب می کند. شاخص عملکرد (YI) ژنوتیپ های G3 و G11 ($YI = 1/44$) را به عنوان ژنوتیپ های متحمل و رقم کوثر و ژنوتیپ G5 ($YI = 0/62 - 0/57$) را به عنوان ژنوتیپ های حساس به تنش کم آبی معرفی کرد. شاخص پایداری عملکرد (YSI)، ژنوتیپ های G15 و G18 ($YSI = 0/88$) را به عنوان ژنوتیپ های متحمل و در مقابل ارقام صبا و کوثر ($YSI = 0/49$) ژنوتیپ های متحمل و در مقابل ارقام صبا و کوثر ($YSI = 0/47$) را به عنوان ژنوتیپ های حساس به خشکی معرفی کرد. علاوه بر شاخص STI، شاخص تحمل به خشکی (DI) نیز به عنوان شاخصی که قادر به تشخیص ژنوتیپ هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش است، معرفی شده است. بر همین اساس ژنوتیپ های G11، G15 و G3 به ترتیب با شاخصی معادل ۱/۲۱، ۱/۱۱ و ۱/۱ به عنوان منابع مقاوم و رقم کوثر با کمترین میزان شاخص DI ($DI = 0/28$) به عنوان ژنوتیپ حساس به تنش کم آبی معرفی شدند.

به واسطه مغایرت های موجود در ژنوتیپ های گزینش شده بر اساس شاخص های مختلف، استفاده از روش رتبه بندی می تواند با در نظر گرفتن متوسط رتبه های به دست آمده برای یک ژنوتیپ در هریک از شاخص ها، ژنوتیپ برتر را که دارای پایین ترین رتبه و کمترین اختلاف استاندارد است، گزینش کند (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). در مجموع بر اساس روش رتبه بندی ژنوتیپ های G3، G11 و G13 با میانگین رتبه ۳/۹۳-

G4620RX بیشترین میزان تحمل تنش را برای صفات تعداد دانه و وزن دانه نشان دادند.

نتایج حاصل از تجزیه کلاستر در ژنوتیپ های مختلف سویا برای تمامی شاخص های تحمل به تنش خشکی مورد بررسی نشان داد که ژنوتیپ ها در شش گروه مجزا قرار گرفتند. ژنوتیپ G5 و رقم کوثر در گروه اول، ژنوتیپ های G7 و G12 و ارقام ویلیامز و صبا در گروه دوم، ژنوتیپ G15 و رقم پارسا در گروه سوم قرار گرفتند. ژنوتیپ های G3، G11، G13 و G9 در گروه ششم جای گرفتند. سایر ژنوتیپ ها در گروه های بعدی کلاستر تفکیک شدند. گروه چهارم از کلاستر دارای بیشترین تعداد ژنوتیپ ها (۲۶ درصد) بوده است. نتایج حاصل از خوشه بندی ژنوتیپ ها با نتایج شاخص های MRP، YI، STI و GMP در تفکیک ژنوتیپ های متحمل و حساس به خشکی مطابقت داشته، همچنین ژنوتیپ های G3، G11 و G13 دارای کمترین مجموع انحراف معیار و میانگین رتبه ها بودند. نتایج تجزیه کلاستر مطالعه حاضر با پژوهش رستگاری و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد.

۲/۵۳ به عنوان متحمل ترین ژنوتیپ ها به تنش کم آبی شناخته شدند. همچنین در بین ارقام تجاری رقم پارسا با میانگین رتبه ۸/۸ نسبت به ارقام دیگر از تحمل بیشتری نسبت به تنش کم آبی برخوردار بود. در مقابل ارقام صبا و کوثر و ژنوتیپ های G7 و G5 به عنوان حساس ترین ژنوتیپ ها به تنش کم آبی شناخته شدند. همچنین ژنوتیپ های G11، G3، G13 و G1 دارای کمترین مجموع انحراف معیار و میانگین رتبه ها بودند (جدول ۳). ظفر و همکاران (۲۰۲۳) در طی یک برنامه اصلاحی ۴۶ ژنوتیپ سویا را در دو شرایط آبیاری مطلوب و کم آبی مورد بررسی قرار داده و ضمن تایید واریانس در عملکرد ژنوتیپ های مورد بررسی در شرایط تنش کم آبی صفات وزن هزار دانه، طول عرض و ضخامت دانه را از صفات کلیدی در انتخاب ارقام متحمل به خشکی گزارش دادند. پادل و همکاران (۲۰۲۳) در آزمایشی ۱۰ ژنوتیپ سویا را در مرحله زایشی در معرض تنش خشکی قرار داده و نتیجه گرفتند که ژنوتیپ های LS5009XS و



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر برای ژنوتیپ های مختلف سویا با استفاده از شاخص های تحمل به تنش خشکی

(درویش نیا و همکاران ۲۰۲۰). استفاده از روش ترسیم بای پلات امکان گزینش ژنوتیپ های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از طریق استفاده از چند شاخص متفاوت فراهم نموده که می توان جهت تولید ژنوتیپ های متحمل به خشکی، این ژنوتیپ ها را در بلوک های تلاقی استفاده نمود.

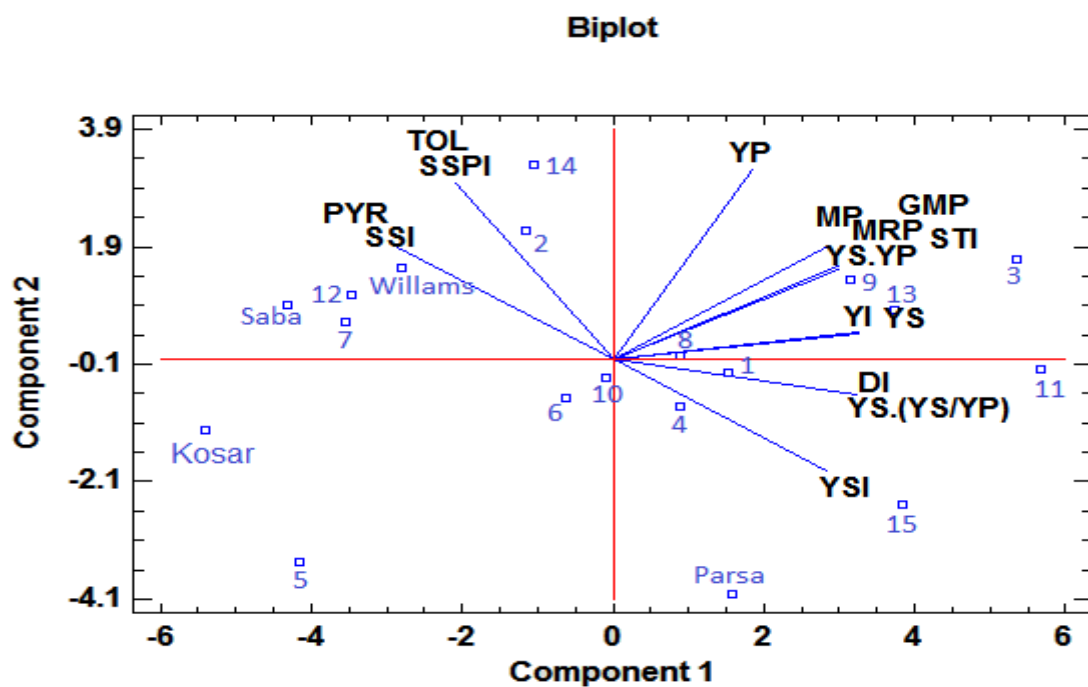
با توجه به نمایش بای پلات (شکل ۲) که نام ژنوتیپ های آن در جدول ۲ آمده است، ژنوتیپ های G3، G9 و G13 را به عنوان متحمل ترین و ژنوتیپ G5 و کوثر را به عنوان حساس ترین ژنوتیپ ها در این تحقیق معرفی کرد. از بین شاخص های محاسبه شده دو شاخص STI و GMP برای شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی بیش از بقیه مورد توجه قرار گرفته اند

جدول ۳- رتبه‌ها (R)، میانگین رتبه‌ها (R) و انحراف معیار رتبه‌ها (SDR) شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته سویا

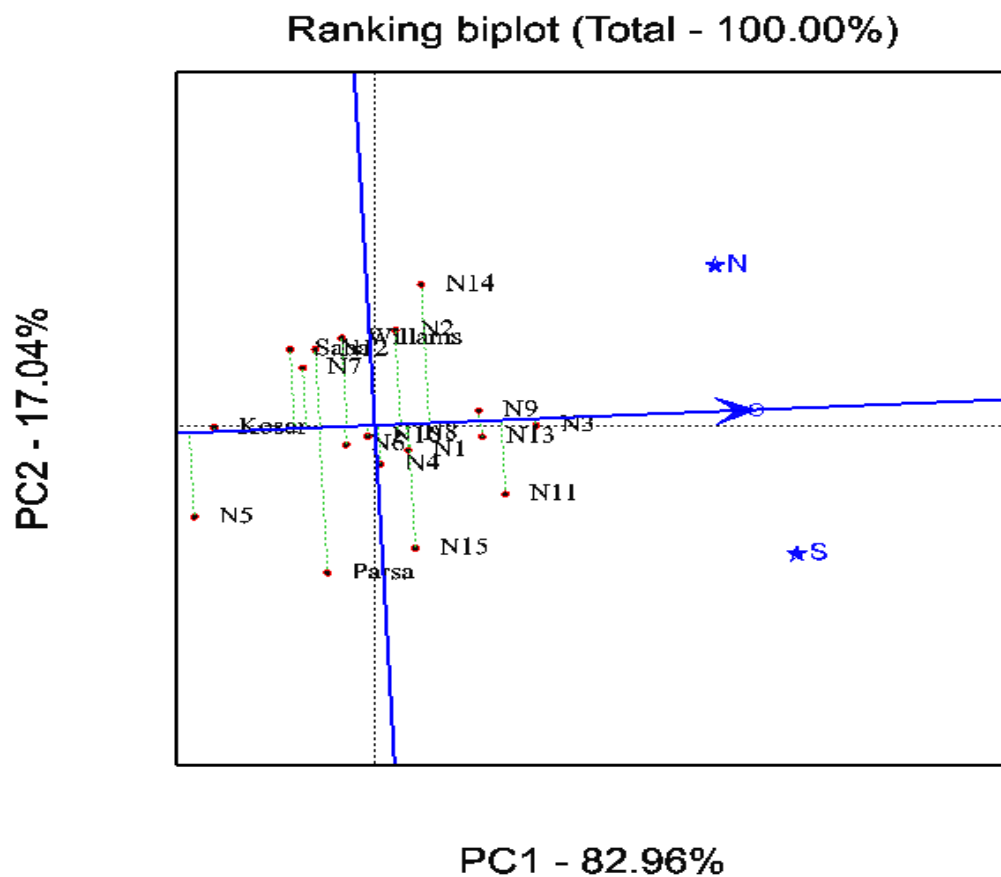
ژنوتیپ	عملکرد دانه در شرایط مطلوب	رتبه	عملکرد دانه در شرایط تنش کم-آبی	رتبه	SSI	رتبه	STI	رتبه	Tol	رتبه	MP	رتبه	GMP	رتبه
۱	۳۱۶۷/۱	۹	۲۲۸۵/۱	۶	۰/۸۱۷	۶	۰/۷۵۷	۶	۸۸۲/۱	۷	۲۷۲۶/۱	۷	۲۶۹۰/۲	۷
۲	۳۴۶۹/۲	۵	۱۹۲۱/۶	۱۳	۱/۳۰۸	۱۳	۰/۶۹۷	۱۳	۱۵۴۷/۶	۹	۲۶۹۵/۴	۸	۲۵۸۱/۹	۹
۳	۳۸۱۰/۱	۱	۲۹۳۰/۸	۱	۰/۶۷۷	۱	۱/۱۶۷	۴	۸۷۹/۳	۱	۳۳۷۰/۴۵	۱	۳۳۴۱/۷	۱
۴	۳۰۰۲/۵	۱۲	۲۱۶۵/۱	۸	۰/۸۱۸	۸	۰/۶۸۰	۷	۸۳۷/۴	۱۰	۲۵۸۳/۸	۱۰	۲۵۴۹/۶	۱۰
۵	۲۰۱۵	۱۹	۱۲۶۴/۶	۱۸	۱/۰۹۲	۱۲	۰/۲۶۶	۱۲	۷۵۰/۴	۱۹	۱۶۳۹/۸	۱۹	۱۵۶۹/۳	۱۹
۶	۲۹۰۷/۴	۱۵	۱۹۲۷/۸	۱۲	۰/۹۸۸	۱۲	۰/۵۸۶	۱۱	۹۷۹/۶	۱۲	۲۴۱۷/۶	۱۳	۲۳۶۷/۵	۱۲
۷	۲۹۴۴/۷	۱۳	۱۵۰۲/۷	۱۶	۱/۴۳۶	۱۶	۰/۴۶۳	۱۶	۱۴۴۲	۱۶	۲۲۲۳/۷	۱۴	۲۱۰۳/۶	۱۶
۸	۳۱۷۴/۸	۸	۲۱۹۰/۵	۷	۰/۹۰۹	۷	۰/۷۲۷	۹	۹۸۴/۳	۸	۲۶۸۲/۶	۱۰	۲۶۳۷/۱	۸
۹	۳۵۹۹/۷	۳	۲۵۷۸/۳	۴	۰/۸۳۲	۴	۰/۹۷۰	۸	۱۰۲۱/۴	۴	۳۰۸۹	۱۲	۳۰۴۶/۵	۴
۱۰	۳۰۳۷/۶	۱۱	۲۰۲۶/۱	۱۰	۰/۹۷۰	۱۰	۰/۶۴۱	۱۰	۱۰۰۱/۵	۱۱	۲۵۲۶/۹	۱۱	۲۴۷۶/۷	۱۱
۱۱	۳۴۶۷/۶	۶	۲۹۲۷/۴	۲	۰/۴۵۷	۲	۱/۰۶۱	۳	۵۴۰/۲	۲	۳۱۹۷/۵	۳	۳۱۸۶/۱	۲
۱۲	۳۰۵۵/۳	۱۰	۱۵۲۷/۱	۱۵	۱/۴۶۷	۱۵	۰/۴۸۸	۱۷	۱۵۲۸/۲	۱۵	۲۲۹۱/۲	۱۴	۲۱۶۰/۰	۱۴
۱۳	۳۵۳۴/۶	۴	۲۶۵۸/۷	۳	۰/۷۲۷	۳	۰/۹۸۲	۵	۸۷۵/۹	۳	۳۰۹۶/۷	۶	۳۰۶۵/۵	۳
۱۴	۳۷۲۱/۵	۲	۱۹۵۵/۸	۱۱	۱/۳۹۱	۱۱	۰/۷۶۱	۱۴	۱۷۶۵/۷	۶	۲۸۳۸/۷	۱۹	۲۶۹۷/۹	۵
۱۵	۲۹۰۵	۱۶	۲۵۶۰/۱	۵	۰/۳۴۸	۵	۰/۷۷۷	۱	۳۴۴/۹	۵	۲۷۳۲/۶	۲	۲۷۲۷/۱	۵
ویلیامز	۳۲۰۷/۴	۷	۱۶۴۶/۷	۱۴	۱/۴۲۷	۱۴	۰/۵۵۲	۱۵	۱۵۶۰/۷	۱۳	۲۴۲۷/۰۵	۱۸	۲۲۹۸/۲	۱۳
صبا	۲۹۴۴/۳	۱۴	۱۳۸۷/۷	۱۷	۱/۵۵۰	۱۷	۰/۴۲۷	۱۹	۱۵۵۶/۶	۱۷	۲۱۶۶	۱۷	۲۰۲۱/۳	۱۷
پارسا	۲۴۴۰/۳	۱۷	۲۱۳۵/۹	۹	۰/۳۶۶	۹	۰/۵۴۵	۲	۳۰۴/۴	۱۴	۲۲۸۸/۱	۱	۲۲۸۳/۰	۱۴
کوثر	۲۳۷۰	۱۸	۱۱۵۵/۷	۱۹	۱/۵۰۳	۱۹	۰/۲۸۶	۱۸	۱۲۱۴/۳	۱۸	۱۷۶۲/۹	۱۳	۱۶۵۵/۰	۱۸

ارزیابی همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری یکی از جنبه‌های مهم مدل GGE بای‌پلات است. و نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مختلف چگونه به محیط‌های مختلف واکنش نشان می‌دهند و در نتیجه کمک می‌کند تا مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها را برای هر محیط انتخاب نمائیم (خان و همکاران ۲۰۲۱). شکل ۳ رتبه‌بندی ۱۹ ژنوتیپ بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد. خط دارای علامت فلش که از مرکز بای‌پلات و از نقطه مطلوب (که نماینده متوسط ضرایب دو مولفه اول برهمکنش در مدل GGE بای‌پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (AEC) نامیده می‌شود (یان و کانگ ۲۰۰۳). ژنوتیپ‌هایی که به خط متوسط عملکرد محیطی نزدیک‌تر باشند دارای پایداری عملکرد بیشتری دارند. هر چه ژنوتیپ‌ها از این

خط AEC فاصله بیشتری داشته باشند در برهمکنش نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. بر این اساس ژنوتیپ‌های G3، G9 و G13 جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط مطلوب و محدود رطوبتی با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین بودند. همچنین ژنوتیپ‌های G1، G4 و G11 جزو ژنوتیپ‌هایی با پایداری متوسط و ژنوتیپ‌های G14، G15 و پارسا ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب شدند. خط عمود بر این خط ژنوتیپ‌ها را به دو گروه تقسیم می‌کند، گروه اول (سمت بالا) ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین متوسط هستند و گروه دوم (سمت پایین) ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین عملکرد پایین‌تر از میانگین متوسط هستند.



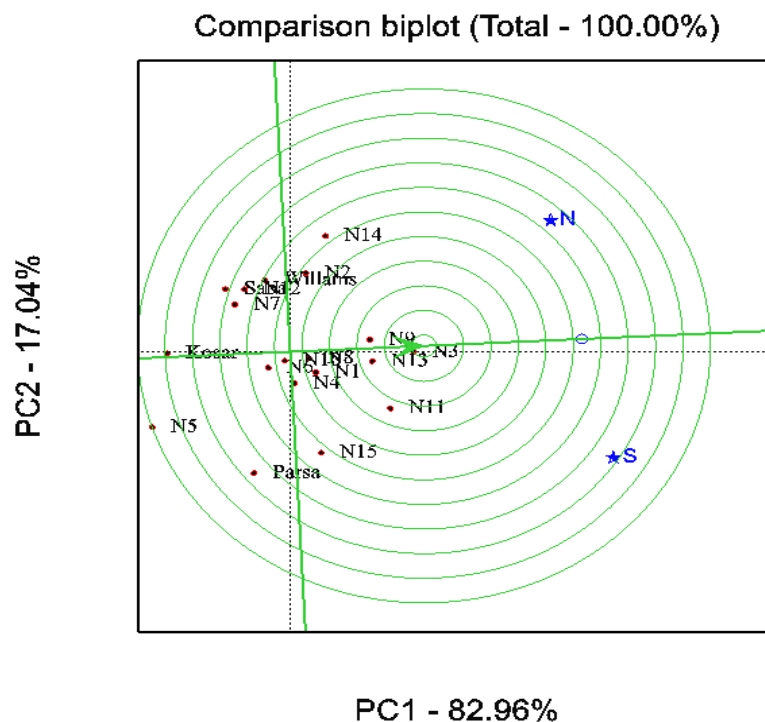
شکل ۲- بای پلات دو مولفه اصلی اول برای شناسایی بهترین ژنوتیپ ها و شاخص ها



شکل ۳- نمای خط متوسط عملکرد محیطی بر اساس مقیاس بندی متمرکز شده روی محیط ها برای میانگین عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ ها در ۲ محیط مطلوب (N) و تنش (S)

ژنوتیپ مطلوب باید از بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی برخوردار باشد (سیفی و همکاران ۲۰۲۴). چنین ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در برهمکنش ژنوتیپ در محیط باشد، تعریف شده است. اگرچه چنین ژنوتیپی در عمل وجود ندارد اما می‌تواند به صورت یک رفرنس برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپی ایده‌آل است که به این رفرنس نزدیک‌تر باشد. بنابراین برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکز در بای‌پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۴). بنابر این اساس ژنوتیپ‌های G3، G9 و G13 را می‌توان به عنوان لاین‌های مطلوب در نظر گرفت چرا که آنها به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر بوده و از میانگین عملکرد و پایداری بالایی برخوردار هستند. در مقابل ژنوتیپ‌های

G5 و کوثر به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند. زیرا دارای بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل بودند. باید به این مطلب توجه داشت که پایداری به تنهایی بی‌معنی است یعنی اینکه ارقام کمتر پایدار که متوسط عملکرد خوبی دارند، بهتر از ارقام پایداری هستند که عملکرد خوبی ندارند (وحیدی و همکاران ۲۰۱۹). فرشاد فر و همکاران (۲۰۱۲) همبستگی مثبت معنی‌دار بین عملکرد دانه با شاخص‌های STI, GMP, MP, YI, YSI, DI, RDI SNPI, SSI و گزارش تایید می‌کند این شاخص‌ها همگی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را به شیوه واحد تشخیص دادند. در این بررسی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که مؤلفه اول و دوم ۹۹/۰۲ درصد از تغییرات را توجیه کردند. غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با استفاده از میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه‌ها و تجزیه بای‌پلات، ژنوتیپ‌های متمایز ۱۵، ۳ و ۶ را به عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی نمودند.



شکل ۴- نمودار GGE بای‌پلات بر اساس مقیاس بندی متمرکز شده روی ژنوتیپ‌ها برای مقایسه لاین‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل در محیط مطلوب (N) و تنش (S)

نتیجه گیری

با توجه به عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، رتبه بندی شاخص های مختلف، میانگین رتبه ها و انحراف معیار رتبه ها ژنوتیپ های G3، G11 و G13 در گروه ژنوتیپ های متحمل با عملکرد دانه بالا و ژنوتیپ G5 و رقم کوثر به عنوان حساس ترین ژنوتیپ ها به تنش کم آبی قرار گرفتند. تجزیه کلاستر ژنوتیپ ها را در شش گروه مجزا قرار داد. ژنوتیپ G5 و رقم کوثر در گروه اول و ژنوتیپ های G3، G11 و G9 در گروه ششم جای گرفتند. این نتایج توسط نماهای مختلف نمودار بای پلات تایید شده و ژنوتیپ های G3، G9 و G13 جزو پایدارترین ژنوتیپ ها در هر دو محیط مطلوب و محدود رطوبتی با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین بودند.

منابع مورد استفاده

- Adhikari M, Adhikari NR, Sharma S, Gairhe J, Bhandari RR and Paudel S. 2019. Evaluation of drought tolerant rice cultivars using drought tolerant indices under water stress and irrigated condition. American Journal of Climate Change, 8 (2): 228-236. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2019.82013>.
- Arya H, Singh MB and Bhalla PL. 2021. Towards developing drought-smart soybeans. Frontiers in Plant Science. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.750664>.
- Bouslama M and Schapaugh WT. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science. 24, 933-937. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x>.
- Cohen I, Zandalinas S, Fritsch FB, Sengupta S, Fichman Y, Azad RK and Mittler R. 2021. The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology and seed production of soybean. Physiologia Plantarum. 172, 41-52. <https://doi.org/10.1111/ppl.13269>.
- Darvishnia F, Pahlevani MH, Zaynali Nezhad K, Azizi K, Bagherikia S. 2020. XML Graphical analysis of reaction of bread wheat genotypes to water stress in Lorestan province. Plant Genetic Researches, 7 (1): 1-18 (In Persian with English Abstract). <http://dx.doi.org/10.52547/pgr.7.1.1>.
- 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020302>.
- 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 E, Moradi Z, Elyasi P, Jamshidi B and Chaghakabodi R. 2012. Effective selection criteria for screening drought tolerant landraces of bread wheat (*Triticumaestivum* L.). Annals of Biological Research. 3 (5): 2507-2516. <http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html>.
- Fernandez GCJ. 1992. Effective Selection Criteria for Assessing Stress Tolerance. In: Kuo CG, Ed. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, AVRDC Publication, Tainan, 257-270.

همچنین ژنوتیپ های G1، G4 و G11 جزو ژنوتیپ هایی با پایداری متوسط و رقم کوثر و ژنوتیپ G5 ناپایدارترین ژنوتیپ ها محسوب شدند.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از بخشی از طرح مصوب به شماره ۰۰۳-۰۳-۰۲۷-۰۲۰۴۱۷ موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می باشد که نویسندگان بر خود واجب می دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از همکاری و مساعدت یکایک همکاران ارجمند در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) اعلام دارند.

- Fischer RA and Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 29: 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>.
- Gavuzzi P, Rizza, F, Palumbo M, Campanile RG, Ricciardi GL and 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. <https://doi.org/10.4141/P96-130>.
- Giordani W, Gonçalves LSA, Moraes LAC, Ferreira LC, Neumaier N, Farias JRB, Nepomuceno AL, de Oliveira MCN and Mertz-Henning LM. 2019. Identification of agronomical and morphological traits contributing to drought stress tolerance in soybean. Australian Journal of Crop Science 13, 35-44. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.19.13.01.p1109>.
- Gleason SM, Barnard DM, Green TR, Mackay DS and Wang DR. 2022. Physiological trait networks enhance understanding of crop growth and water use in contrasting environments. Plant Cell Environ. 45, 2554–2572. <https://doi.org/10.1111/pce.14382>.
- Khan MMH, Rafii MY, Ramlee SI, Jusoh M and Al Mamun M. 2021. AMMI and GGE biplot analysis for yield performance and stability assessment of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) genotypes under the multi-environmental trials (METs). Scientific reports, 11 (1): 22791. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01411-2>.
- Kim YK, Chae S, Oh NI, Nguyen NH and Cheong JJ. 2020. Recurrent drought conditions enhance the induction of drought stress memory genes in *Glycine max* L. Frontiers in Genetics. 11, 576086. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.576086>.
- Lan J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali Occidentalis Sinica. 7: 85–87. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.1998.11.009>.
- Liu ZX, Li HH, Fan XH, Huang W, Yang JY, Wen ZX., et al. 2017. Phenotypic characterization and genetic dissection of nine agronomic traits in Tokachi nagaha and its derived cultivars in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). Plant Science. 256, 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.009>.
- Luan X, Bommarco R, Scaini A and Vico G. 2021. Combined heat and drought suppress rainfed maize and soybean yields and modify irrigation benefits in the USA. Environmental Research Letters. 16, 064023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfc76>.
- Majidian P, Masoudi B, Hezarjaribi E, Razmi N, Peyghamzadeh K and Gholizadeh A. 2024. Deciphering genotype-by-environment interaction in new soybean lines based on multiple traits using different adaptability and stability methods. Food Science and Nutrition. 1–14. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3996>.
- Moosavi SS, YazdiSamadi B, Naghavi MR, Zali AA, Dashti H and Pourshahbazi A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert. 12: 165-178. <http://jdesert.ut.ac.ir>.
- Nawabpour S, Hazarjaribi I and Mazandarani A. 2017. Investigating the effect of drought stress on important agricultural traits and the amount of protein and seed oil in soybean genotypes, Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 10 (4), 491-503. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2023.53381.2921>.
- Poudel S, ReddyVennam R, Shrestha A, Reddy RK, Wijewardane NK, Reddy KN and Bheemanahalli R. 2023. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. Nature. 13, 1277. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28354-0>.
- Ramirez VP and Kelly JD. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127- 136. <https://doi.org/10.1023/A:1018353200015>.

- Rastegari V, Mirshekari B, Mohammadi S, Farahvash F and Khalilvand Behrouzgar E. 2017. Evaluation of yield of barley elite lines under water deficit and full irrigation condition. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 28 (2):91-106 (In Persian with English Abstract).
- Razmi N, Ebadi A, Daneshian J and Jahanbakhsh S. 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. *Journal of Plant Interactions* 12, 457-464. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1392623>.
- Rosielle AA and Hamblin J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 21: 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>.
- Sánchez-Bermúdez M, Del Pozo JC and Pernas M. 2022. Effects of combined abiotic stresses related to climate change on root growth in crops. *Frontiers in Plant Science*, 13: 918537. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.918537>.
- Seyfi R, Jahanbakhsh S, Farzaneh S, Ebadi A and Seif Amiri S. 2024. Determination of effective traits on yield of promising soybean cultivars and lines under drought stress by multivariate methods. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 34 (1):171-186 (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2023.53381.2921>.
- Vahidi N, Qolinejad A, Mansavifar S, Ghirti Arani L and Rahimi M. 2019. The effect of water stress on yield and yield components of three soybean cultivars, *Plant Production Technology*. 19 (1): 103-113. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2017.9185.1523>.
- Wang X, Li X and Dong Sh. 2022. Screening and identification of drought tolerance of spring soybean at seedling stage under climate change. *Frontiers Sustain in Food Systems*. 6:988319. <https://doi: 10.3389/fsufs.2022.988319>.
- Yan C, Song S, Wang W, Wang C, Li H, Wang F, Li S and Sun X. 2020. Screening diverse soybean genotypes for drought tolerance by membership function value based on multiple traits and drought-tolerant coefficient of yield. *BMC Plant Biology*. 20, 321. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02519-9>.
- Yan W and Kang MS. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL. U.S.A. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>.
- Yang X, Lu M, Wang Y, Wang Y, Liu Z and Chen S. 2021. Response Mechanism of Plants to Drought Stress. *Horticulturae*. 7, 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>.
- Zafer MZ, Tahir MN, Bakhtavar M, Darwish E, Khan MA, Khan Z, Fatima C, Aftab A, Ur Rahman S and Ur Rehman S. 2023. Drought Susceptibility Index; a Preferred Criterion in Screening for Tolerance in Soybean, *Journal of Bioresource Management*, 10 (1). <https://corescholar.libraries.wright.edu/jbm/vol10/>.