دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

# بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در سویا

**ایرج مروتی[۱]، علاإلدین کردنایج[۲] و حمیدرضا بابایی[۳]**

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه شاهد، (نویسنده مسوول: basij.313.25@gmail.com)
۲- دانشیار، گروه زراعت دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۰۴
صفحه: ۱۰۹ تا ۱۱۸

**چکیده**

**۴۰ لاین برگزیده سویا (*Glycine max L. Merr*) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش در دو مکان مجزا، در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys)، شاخص‌های کمی تحمل به تنش‌خشکی، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی (GMP)، تحمل تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، حساس خشک (SDI)، درصد حساسیت به تنش (SSPI)، میانگین هارمونیک (HARM)، پایداری عملکرد (YSI)، خشکی نسبی (RDI)، محاسبه شدند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر اختلاف معنی‌دار ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد درشرایط آبی و دیم به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های ۱۹و ۳۴ بوده است. کمترین مقادیر، شاخص تحمل، حساسیت به تنش، درصد حساسیت به تنش، حساس خشکی، به‌ترتیب متعلق به ارقام شماره ۷،۱۰،۷،۱۰ بوده و بیشترین مقادیر شاخص میانگین هندسی، تحمل تنش، پایداری عملکرد، خشکی نسبی، میانگین هارمونیک، به‌ترتیب متعلق به ارقام شماره ۱،۷،۷،۱،۱ بوده است. تحلیل همبستگی عملکرد و شاخص‌های تحمل خشکی در محیط تنش و بدون‌تنش نشان داد، شاخص STI وGMP مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر هستند. همچنین تجزیه به عامل‌ها نشان داد که دو عامل اول ۹۸درصد (عامل اول ۵۸/۹ درصد و عامل دوم۳۹/۳ درصد) از تغییرات مورد بررسی را در شرایط تنش و بدون‌تنش توجیه می‌کند. براساس تجزیه بای‌پلات بر مبنای مولفه‌های اصلی اول و دوم، ژنوتیپ‌های ۱ و ۳۴ در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت کم به تنش قرار دارند و تجزیه بای‌پلات نیز گزینش ژنوتیپ متحمل به تنش را براساس شاخص GMP.STI توجیه می‌نماید.**

**واژه‌های کلیدی: تجزیه بای‌پلات، تجزیه به مولفه اصلی، شاخص‌های تنش کم‌آبی، سویا**

## مقدمه

سویا (*Glycine max* L. *Merr*) یکی از منابع اصلی پروتئین برای تغذیه انسان و حیوانات است و همچنین به‌عنوان یک منبع کلیدی برای تولید روغن‌های گیاهی و مهم‌ترین لگوم دانه‌ای جهان به‌شمار می‌آید. یکی از برنامه‌های مهم به‌نژادی بررسی و ارزیابی مواد ژنتیکی جهت بکارگیری در پروژه‌های اصلاح ژنوتیپ‌ها است. بدون ارزیابی صفات زراعی و شناسایی ژنوتیپ‌های مورد نظر، بازده ژنتیکی‌وگزینش‌از نسل‌های در حال تفکیک حاصل از تلاقی ژنوتیپ‌ها پایین بوده و در عمل وقت و هزینه صرف‌شده به‌هدر خواهد رفت. یکی از اهداف اصلاحی در برنامه‌های به‌نژادی سویا معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبی و پرمحصول است. برای رسیدن به این هدف باید والدین مناسب مقاوم و متحمل به خشکی در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرد.

براساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش می‌توان ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه دسته‌بندی کرد:

گروه A: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در دو محیط تنش و غیرتنش دارند.

گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط غیرتنش دارند.

گروه C: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در محیط تنش دارند.

گروه D: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایین در هر دو محیط دارند. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها ارائه شده است و مناسب‌ترین معیار جهت انتخاب در محیط‌های تنش معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد (۴).

پنج شاخص تحمل به خشکی شامل: شاخص حساسیت به تنش (SSI)[۱]، شاخص تحمل (TOL)[۲]، شاخص میانگین بهره‌وری یا تولید (MP)[۳]، تحمل به خشکی (STI)[۴] و شاخص میانگین بهره‌وری (GMP)[۵] بر اساس عملکرد دانه در دو محیط تنش (YS) و بدون تنش (YP) عنوان شده‌اند. شاخص تحمل (TOL) توسط روزیل و همبلین (۱۴) پیشنهاد شد، که به‌صورت اختلاف بین عملکرد در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) تعیین می‌گردد. مقادیر زیاد شاخص تحمل (TOL) بیان‌کننده حساسیت بیشتر به تنش است. بنابراین مقادیر کوچکتر شاخص تحمل (TOL) مطلوب و مناسب می‌باشد (۱۴). فرناندز (۴) معتقد است این شاخص در تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بیشتری دارند از ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد نسبتا بالایی دارند، ناتوان است.

1- Stress Susceptibility Index
2- Tolerance
3- Mean Productivity
4- Stress Tolerance Index
5- Geometric Mean Productivity

شاخص میانگین حسابی بهره‌وری (MP) بر اساس میانگین عملکرد در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) تعیین می‌گردد. این شاخص که توسط روزیل و همبلین (۱۴) پیشنهاد شده است، منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا ولی با تحمل به تنش پایین می‌شود. فرناندز (۴) معتقد است انتخاب بر اساس شاخص میانگین حسابی بهره‌وری (MP) باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و انتخاب بر اساس حساسیت به تنش (SSI) باعث گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و با عملکرد پایین می‌گردد. همچنین فرناندز (۴) شاخص تحمل به خشکی (STI) را برای ارزیابی ارقام از نظر تحمل به خشکی معرفی کرده‌است. زینالی‌خانقاه و همکاران (۱۷) و زارع و همکاران (۱۸) نیز شاخص MP را با توجه به همبستگی بالا با عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش در مقایسه با شاخص‌های TOL و SSI شاخص بهتری در غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در سویا معرفی نمودند. به‌نظر ایشان شاخص MP براساس میانگین حسابی بوده و اریبی به سمت بالا دارد که به اختلاف نسبتا زیاد بین YP و YS مربوط می‌شود، در صورتی که میانگین هندسی (GMP) حساسیت کمتری به مقادیر بسیار زیاد دارد. GMP نسبت به MP شاخص بهتری برای تفکیک ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و غیر تنش باشد. غریب عشقی و همکاران (۶) گزارش کردند که دو شاخص STI و GMP مناسب‌ترین شاخص برای ارزیابی مقاومت به خشکی در سویا بوده و می‌توانند برای شناسایی ارقام دارای عملکرد زیاد در هر دو شرایط مورد استفاده قرار داده شوند. حیدری (۸) و جعفری (۱۰) چهار شاخص STI، HARM، GMP و MP را به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در سویا معرفی کردند. کارگر و همکاران (۱۱) در ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در شناسایی ژنوتیپ‌های سویا متحمل به تنش خشکی با پتانسیل عملکرد بالا، شاخص GMP را در مقایسه با شاخص‌های SSI، TOL و MP با کارایی بهتری معرفی کردند. شاخص STI بدین منظور معرفی شده است که قادر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و تحمل بیشتر به تنش می‌باشد. مقادیر بالای شاخص STI برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش و پتانسیل عملکرد بالاتر می‌باشد. چون شاخص STI، شدت تنش (SI) و مقادیر عملکرد در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) را در نظر می‌گیرد، بنابراین انتظار می‌رود که بر خلاف SSI، قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه B و C باشد. ایزانلو و همکاران (۹) شاخص STI را در کنار شاخص GMP به‌عنوان برترین شاخص‌ها در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها شناسایی نمودند. با توجه به نتایج تحقیقات بررسی شده در این تحقیق ضمن گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش توسط شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، کارایی شاخص‌های مورد استفاده سنجیده و در نهایت برترین شاخص‌ها درگزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی می‌شوند.

## مواد و روش‌ها

۴۰ ژنوتیپ از کلکسیون سویا بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در مزرعه ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به‌منظور شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش کم‌آبی مورد ارزیابی قرار گرفتند.. عرض جغرافیایی محل انجام آزمایش، ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر است. این منطقه براساس آمار آب وهوایی و منحنی آمبروترمیک به‌دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء اقلیم رطوبتی گرم و خشک محسوب می‌شود. به‌منظور ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی در سویا دو آزمایش جداگانه یکی به‌صورت آبیاری نرمال و دیگری به‌صورت تنش کم‌آبی، دو محیط جداگانه به فاصله ۱۰۰۰ متری از یکدیگر اجراء گردید. در این بررسی ابتدا دو آزمایش مشابه براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای۴۰ تیمار با ۳ تکرار و هر کرت شامل چهار خط سه متری در دو محیط تنش کم‌آبی و نرمال پیاده شد. بذور۴۰ ژنوتیپ سویا از گروه رسیدگی ۳، که منشاء این ژنوتیپ‌ها کشورهای آمریکا، کانادا، تایوان و چین می‌باشند و دو رقم parsa و sepideh ارقام داخلی هستند (جدول ۱). در زمان مناسب با رعایت اصل تصادفی نمودن تیمارهای آزمایشی در کرت‌های مربوطه کشت شدند. در این بررسی شاهد مقاوم ژنوتیپ D42.I4 و شاهد حساس ژنوتیپ GN 2171 هستند. دور آبیاری بر اساس تخلیه رطوبت نسبی خاک توسط دستگاه رطوبت سنج TDR (Time Domai Reflectometry) تنظیم گردید که برای سطح نرمال، آبیاری براساس۴۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و برای تنش کم‌آبی، بر اساس ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک انجام شد. این تیوب در ۱۰ نقطه از قطعات تنش و نرمال در عمق ۳۰ سانتی‌متری و پس از هر بار تنظیم مجدد قرار داده شد و رطوبت خاک قرائت گردید و براساس میانگین اعداد قرائت شده رطوبت خاک اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن کامل، عملکرد دانه پس از حذف دو انتهای کرت بر اساس سطحی معادل ۱/۲ مترمربع (۲×۰/۶) برآورد شد. از شاخص‌های حساسیت به خشکی TOL، GMP، SSPI[1]، RDI[2]، SDI[3]، SSI، STI، YSI، HARM برای گروه‌بندی و تعیین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها محاسبه گردید. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش، نرم‌افزار SAS؛ برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین، نرم‌افزار NTSYS؛ برای تجزیه بای‌پلات و مولفه اصلی مورد بهره‌برداری قرار گرفت (۵).

1- Stress susceptibility percentage index 2- Relative drought index 3- Sensitivity drought index

جدول ۱- فهرست ژنوتیپ های مورد مطالعه سویا در آزمایش

Table 1. List of the studied soybean genotypes in the experiment

| ردیف | کد ژنوتیپ | نام اصلی‌لاین | ردیف | کد ژنوتیپ | نام اصلی‌لاین |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | GN 2172 | TMS | ۲۱ | GN 3071 | K.1380 |
| ۲ | GN 2002 | Noir. Detonner 72 B | ۲۲ | GN 3074 | GN 3074 |
| ۳ | GN 2130 | TN 6.90 | ۲۳ | GN 3070 | Sepideh |
| ۴ | GN 2171 | T 215 | ۲۴ | GN 3065 | Spry |
| ۵ | GN 2167 | Kabalovskaja B | ۲۵ | GN 3025 | ELF |
| ۶ | GN 2166 | Kabalovskaja | ۲۶ | GN 3027 | Maccal |
| ۷ | GN 2157 | 8-L.65-3266 | ۲۷ | Liana×L32/2 | L.2(Liana x Caspian) |
| ۸ | GN 2156 | Black Hawck | ۲۸ | Hacheston×L16/16 | L.2 (Hacheston×L16) |
| ۹ | GN 2152 | L.Germ/2 | ۲۹ | Liana×L32/3 | L.3(Liana x Caspian) |
| ۱۰ | GN 2125 | Roanak | ۳۰ | Stressland × NMSB/3 | L.3 (Stressland × NMSB) |
| ۱۱ | GN 2165 | L.Germ/ 52 | ۳۱ | Chaleston×Mostang/12 | Soy.91-19a |
| ۱۲ | GN 2095 | Hack | ۳۲ | Spry ×Nemaha/3 | L.3 (Spry ×Nemaha) |
| ۱۳ | GN 2087 | Amurska 42/6 | ۳۳ | Spry ×Nemaha/8 | L.8 (Spry ×Nemaha) |
| ۱۴ | GN 2040 | Harcor | ۳۴ | Spry ×Savoy/2 | L.2 (Spry ×Savoy) |
| ۱۵ | GN 2046 | Elgin | ۳۵ | Spry ×Savoy/3 | L.3 (Spry ×Savoy) |
| ۱۶ | GN 2015 | NS-61-B1 B | ۳۶ | L6 – P 79 | Soy.6-79 |
| ۱۷ | GN 2032 | Pick manns Huekalit | ۳۷ | DI 74 | L.74(Delsoy 5500 × Iroquis) |
| ۱۸ | GN 2011 | RCAT BOBCAT | ۳۸ | D42.I9 | L.57(Hartwing×Delsoy4210 ) |
| ۱۹ | GN 2034 | Union | ۳۹ | D42.I4 | L.58 (Delsoy 5500 × Iroquis) |
| ۲۰ | GN 2003 | CPA | ۴۰ | D42 ×Will. 82 | Parsa |

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌کمی تحمل تنش خشکی در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج آن نشان می‌دهد که اثر ژنوتیپ برعملکرد دانه در شرایط تنش، بدون تنش و شاخص‌های کمی تحمل تنش در سطح احتمال ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ حاکی از متفاوت بودن توان ژنتیکی ژنوتیپ‌ها در بروز صفت عملکرد دانه می‌باشد این نتایج با نتایج تحقیقات بخشایشی قشلاق (۲)و زبرجدی (۱۶) مطابقت دارد. بیشترین عملکرد در شرایط تنش کم آبی و نرمال مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱ (عملکرد در شرایط نرمال: ۳۴۷۸/۷ کیلوگرم در هکتار، عملکرد در شرایط تنش :۲۱۴۴/۳ کیلوگرم در هکتار) و ۳۴ (عملکرد در شرایط نرمال: ۲۳۴۷ کیلوگرم در هکتار، عملکرد در شرایط تنش: ۲۹۵۶ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. و حداقل اختلاف عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی و نرمال متعلق به ژنوتیپ شماره ۱۰ (عملکرد در شرایط نرمال: ۱۰۵۰/۷ کیلوگرم در هکتار و عملکرد در شرایط تنش: ۷۹۱/۷ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ شماره ۷ (عملکرد در شرایط نرمال: ۱۵۶۵/۳ کیلوگرم در هکتار و عملکرد در شرایط تنش: ۱۳۰۴/۳ کیلوگرم در هکتار) تعلق دارد. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در سطح ۵ درصد به‌روش دانکن نشان داد که در شرایط تنش بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۳۴ (۲۳۴۷ کیلوگرم در هکتار) و شماره ۱ (۲۱۴۴/۳ کیلوگرم در هکتار) تعلق دارد. مقایسه میانگین شاخص‌ها نشان داد که بیشترین مقادیر شاخص میانگین هندسی (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)[1]، شاخص‌خشکی‌نسبی (RDI)، شاخص میانگین هارمونیک (HARM)[2] به‌ترتیب متعلق به ارقام شماره ۱،۷،۷،۱،۱ بوده است. ارزیابی ژنوتیپ‌ها نشان داد، ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و ۷ از نظر شاخص‌های، شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص حساس خشک (SDI)، دارای‌کمترین مقدار در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۳). پایین بوده مقادیر شاخص‌های SSI و TOL الزاماً به معنی بالاتر بودن عملکرد در هر دو شرایط تنش و نرمال نیست. زیرا همچنان که در مورد ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۰ مشاهده می‌شود ممکن است ژنوتیپی با وجود حساسیت کم به تنش کم‌آبی، پتانسیل عملکرد پایینی داشته باشد. لذا این ژنوتیپ‌ها فقط دارای حساسیت کم به تنش و از لحاظ عملکرد بالقوه مطلوب نمی‌باشد (جدول ۴) چنین گزارشی توسط محققین ارائه شده است (۱۳،۱۵). نتایج تحلیل همبستگی ساده بین عملکرد دانه در دو شرایط و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی نشان می‌دهد که عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی و نرمال با شاخص (GMP) و (STI) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ دارد (۷)، (جدول ۴).

1-Yield stability index

2- Harmonic mean

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی سویا

Table 2. Results of analysis of variance of seed yield and quantitative indices of drought tolerance of soybean genotypes

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Yp[1] | Ys[2] | SDI | GMP | STI | TOL | SSI | SSPI | YSI | RDI | HARM |
| تکرار | ۲ | ۷۴۸۲۶$^{ns}$ | ۱۰۸۵۴۴$^{ns}$ | ۰/۰۱۵$^{ns}$ | ۶۰۲۸۰$^{ns}$ | ۰/۰۱۶$^{ns}$ | ۳۰۷۳۹$^{ns}$ | ۰/۰۴$^{ns}$ | ۱۰/۷$^{ns}$ | ۰/۰۱۵$^{ns}$ | ۰/۰۷$^{ns}$ | ۷۰۰۱۹$^{ns}$ |
| ژنوتیپ (تیمار) | ۳۹ | ۱۴۶۳۳۶۵$^{**}$ | ۶۱۹۶۴۱$^{**}$ | ۰/۱۱$^{**}$ | ۵۷۴۸۹۷$^{**}$ | ۰/۱۴$^{**}$ | ۱۶۶۹۸۷۱$^{**}$ | ۰/۳۶$^{**}$ | ۶۸۷/۹۱$^{**}$ | ۰/۱۱$^{**}$ | ۰/۵۴$^{**}$ | ۷۰۰۰۲۱$^{**}$ |
| اشتباه ازمایشی | ۷۸ | ۱۱۵۷۱۵ | ۴۷۲۹۹ | ۰/۰۱ | ۳۵۱۵۴ | ۰/۰۰۹ | ۱۷۶۲۱۱ | ۰/۰۵ | ۶۱/۵۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۸ | ۴۲۹۶۵ |
| ضریب تغیرات(٪) | | ۱۲ | ۱۸ | ۲۵ | ۱۰ | ۲۱ | ۲۸ | ۲۵ | ۲۸ | ۲۶ | ۲۶ | ۱۳ |

** و ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و اختلاف غیر معنی‌دار

جدول۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا براساس شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی به‌روش دانکن

Table 3. Comparison of mean seed yield of soybean genotypes based on quantitative indices of drought tolerance by Duncan method

| ژنوتیپ | Yp | | Ys | | SDI | | GMP | | HARM | | STI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۳۴۷۸/۷ | b-c | ۲۱۴۴/۳ | A | ۰/۳۷۶۷ | n-m | ۲۷۲۳/۸ | A | ۲۶۳۹/۵ | a | ۱/۱ | a |
| ۲ | ۲۸۸۵/۷ | f-g | ۱۳۰۶/۳ | f-g | ۰/۵۴۶۷ | e-f | ۱۹۳۶/۵ | f-g | ۱۷۹۰/۶ | f-g | ۰/۵۳ | f-g |
| ۳ | ۳۴۴۲/۷ | b-c | ۱۰۰۱ | f-g | ۰/۷۰۳۳ | e-c | ۱۴۴۸/۸ | f-g | ۱۵۴۲/۴ | k-g | ۰/۴۸ | f-g |
| ۴ | ۱۴۸۱/۷ | s-r | ۵۱۳/۷ | l-m | ۰/۶۳۶۷ | e-f | ۸۲۵/۳ | q | ۷۰۴/۴ | q-r | ۰/۱۰۷ | R |
| ۵ | ۱۵۲۳/۳ | s-q | ۸۱۴/۳ | j-k | ۰/۴۲۶۷ | n-m | ۱۰۸۵/۸ | p-q | ۱۰۱۵/۲ | n-o | ۰/۱۶۶ | p-q |
| ۶ | ۳۲۲۸/۳ | f-g | ۱۰۱۶ | f-g | ۰/۶۷۳۳ | e-f | ۱۷۹۶/۱ | f-g | ۱۵۲۷/۳ | k-g | ۰/۴۶ | f-g |
| ۷ | ۱۵۶۵/۳ | s-q | ۱۳۰۴/۳ | f-g | ۰/۱۲ | p | ۱۴۰۹/۴ | m-n | ۱۳۸۴/۵ | n-l | ۰/۲۸ | p-l |
| ۸ | ۲۴۳۴/۳ | n-o | ۹۵۹/۳ | f-g | ۰/۶ | e-f | ۱۵۲۰ | m-n | ۱۳۶۴/۷ | n-o | ۰/۳۲۳ | p-l |
| ۹ | ۳۴۱۷/۷ | f-c | ۹۱۷ | j-k | ۰/۷۳۶۷ | e-c | ۱۷۶۸/۸ | f-g | ۱۴۴۴/۴ | k-l | ۰/۴۴۶ | f-g |
| ۱۰ | ۱۰۵۰/۷ | s | ۷۹۱/۷ | j-k | ۰/۲۲ | o-p | ۹۰۷/۹ | p-q | ۸۹۵ | q-r | ۰/۱۲ | RQ |
| ۱۱ | ۲۵۰۱ | n-j | ۷۸۱/۳ | j-k | ۰/۶۸ | e-f | ۱۳۹۱/۸ | m-n | ۱۱۸۳ | n-o | ۰/۲۷۳ | p-q |
| ۱۲ | ۳۰۳۱/۳ | f-g | ۱۶۸۰ | c-b | ۰/۴۴۳۳ | n-f | ۲۲۵۱/۲ | c-b | ۲۱۵۲/۳ | b | ۰/۷۱ | c-b |
| ۱۳ | ۳۶۲۲/۷ | b-c | ۹۵۳/۳ | j-g | ۰/۷۳۳۳ | e-c | ۱۸۵۲/۶ | f-g | ۱۵۰۳/۴ | k-g | ۰/۴۸ | f-g |
| ۱۴ | ۳۷۶۲/۳ | b-a | ۷۳۹/۳ | j-k | ۰/۷۹۶۷ | b-c | ۱۶۶۴/۵ | m-k | ۱۲۳۳ | n-o | ۰/۳۹ | n-l |
| ۱۵ | ۳۵۰۴/۳ | b-c | ۱۵۳۵ | c-d | ۰/۵۶۳۳ | e-f | ۲۳۰۸/۷ | b | ۲۱۱۸/۸ | c-b | ۰/۷۵ | b |
| ۱۶ | ۱۸۳۵/۷ | p-o | ۶۸۴/۷ | j-k | ۰/۶۲۶۷ | e-f | ۱۱۱۹ | p-q | ۹۹۴/۴ | n-o | ۰/۱۷۶ | p-q |
| ۱۷ | ۲۷۱۸/۷ | i-g | ۱۶۰۰ | c-b | ۰/۴۰۶۷ | n-m | ۲۰۷۳/۴ | f-g | ۱۹۹۳/۱ | f-d | ۰/۶۰۶ | f-g |
| ۱۸ | ۳۱۰۹/۳ | f-g | ۱۵۴۵/۳ | c-d | ۰/۴۹۳۳ | n-f | ۲۱۷۵ | c-d | ۲۰۳۶/۷ | c-d | ۰/۶۶۶ | c-d |
| ۱۹ | ۴۱۶۶/۷ | a | ۵۶۱/۳ | l-k | ۰/۸۶۳۳ | b-a | ۱۵۱۱/۲ | m-n | ۹۷۹/۶ | q-o | ۰/۳۲ | p-l |
| ۲۰ | ۲۳۳۷/۳ | n-o | ۱۰۳۹/۷ | f-g | ۰/۵۴۳۳ | e-f | ۱۵۵۲/۹ | m-n | ۱۴۲۹/۹ | k-l | ۰/۳۴ | p-l |
| ۲۱ | ۲۹۱۱/۷ | f-g | ۱۴۱۱ | c-d | ۰/۵۱۳۳ | n-f | ۲۰۲۵/۸ | f-g | ۱۸۹۹ | f-g | ۰/۵۷۶ | f-g |
| ۲۲ | ۱۹۵۳/۳ | n-o | ۹۴۵ | j-g | ۰/۵۱ | n-f | ۱۳۵۰/۱ | m-n | ۱۲۶۶/۲ | n-o | ۰/۲۶۳ | p-q |
| ۲۳ | ۲۲۳۵/۷ | n-o | ۱۳۵۳/۷ | f-g | ۰/۳۸۶۷ | n-m | ۱۷۳۵/۴ | j-g | ۱۶۷۸/۷ | f-g | ۰/۴۲۳ | n-l |
| ۲۴ | ۳۱۱۶/۳ | f-g | ۹۸۲/۳ | f-g | ۰/۶۸۳۳ | e-f | ۱۷۴۶/۷ | f-g | ۱۴۹۰/۲ | k-l | ۰/۴۳ | n-g |
| ۲۵ | ۲۳۵۰ | n-o | ۱۶۸۰/۷ | c-b | ۰/۲۸۳۳ | n-m | ۱۹۸۴/۵ | f-g | ۱۹۵۴/۲ | f-d | ۰/۵۵ | f-g |
| ۲۶ | ۲۱۴۷/۳ | n-o | ۱۵۸۱/۳ | c-b | ۰/۲۶ | n-p | ۱۸۳۵/۸ | f-g | ۱۸۰۷/۹ | f-g | ۰/۴۷ | f-g |
| ۲۷ | ۲۳۹۶/۳ | n-o | ۱۷۰۷/۳ | b | ۰/۲۹۳۳ | n-m | ۲۰۱۸/۵ | f-g | ۱۹۸۶/۱ | f-d | ۰/۵۸۳ | f-g |
| ۲۸ | ۳۱۲۲/۳ | f-g | ۷۱۲/۷ | j-k | ۰/۷۶۳۳ | b-c | ۱۴۷۵/۵ | m-n | ۱۱۴۳/۳ | n-o | ۰/۳۰۳ | p-l |
| ۲۹ | ۲۶۹۶ | i-g | ۱۶۵۳/۷ | c-b | ۰/۳۷۶۷ | n-m | ۲۱۰۲/۴ | f-g | ۲۰۳۳/۳ | c-d | ۰/۶۲ | f-g |
| ۳۰ | ۲۸۶۷/۷ | f-g | ۱۱۴۰ | f-g | ۰/۵۹۶۷ | e-f | ۱۸۰۳ | f-g | ۱۶۴۲/۱ | f-g | ۰/۴۵۶ | f-g |
| ۳۱ | ۲۰۱۷ | n-o | ۱۳۸۵/۷ | f-d | ۰/۳۱۶۷ | n-m | ۱۶۷۰ | m-k | ۱۶۳۹/۳ | f-g | ۰/۳۹۶ | n-l |
| ۳۲ | ۳۴۹۴/۳ | b-c | ۲۵۱/۳ | m | ۰/۹۲۳۳ | a | ۹۱۶/۵ | p-q | ۴۶۴/۵ | R | ۰/۱۲ | r-q |
| ۳۳ | ۲۶۶۴ | i-g | ۱۶۸۹/۷ | c-b | ۰/۳۶۳۳ | n-m | ۲۱۲۰/۸ | f-d | ۲۰۶۶/۳ | c-d | ۰/۶۳ | f-d |
| ۳۴ | ۲۹۵۶/۳ | f-g | ۲۳۴۷ | a | ۰/۲۰۳۳ | o-p | ۲۶۳۰/۲ | A | ۲۶۰۸/۹ | A | ۰/۹۶۶ | A |
| ۳۵ | ۲۸۰۰ | f-g | ۱۶۵۴ | c-b | ۰/۴۱۳۳ | n-m | ۲۱۴۷/۸ | c-d | ۲۰۷۲/۱ | c-d | ۰/۶۵ | c-d |
| ۳۶ | ۱۶۷۵/۳ | p-q | ۹۲۶ | j-g | ۰/۴۱۳۳ | n-m | ۱۲۲۹/۲ | p-n | ۱۱۶۳/۹ | n-o | ۰/۲۱ | p-q |
| ۳۷ | ۲۷۲۴/۳ | i-g | ۱۲۶۱ | f-g | ۰/۵۳۶۷ | e-f | ۱۸۵۲ | f-g | ۱۷۲۱/۶ | f-g | ۰/۴۸۳ | f-g |
| ۳۸ | ۲۲۹۶/۳ | n-o | ۱۳۱۰/۷ | f-g | ۰/۴۲۶۷ | n-m | ۱۷۳۳/۷ | j-g | ۱۶۶۶/۹ | f-g | ۰/۴۲۳ | n-l |
| ۳۹ | ۲۷۶۷ | f-g | ۸۱۵ | j-k | ۰/۷۰۳۳ | e-c | ۱۴۷۹/۷ | m-n | ۱۲۵۴/۵ | n-o | ۰/۳۲ | p-l |
| ۴۰ | ۲۷۵۰/۷ | i-g | ۱۶۲۴/۳ | c-b | ۰/۴۰۳۳ | n-m | ۲۱۶۰/۹ | f-g | ۲۰۳۰/۲ | c-d | ۰/۶۲ | f-g |

1-Yield performance non-stressed

2-Yield performance in stressed

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سویا براساس شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی به‌روش دانکن

Table 3. Comparison of mean seed yield of soybean genotypes based on quantitative indices of drought tolerance by Duncan method

| ژنوتیپ | TOL | | SSI | | SSPI | | YSI | | RDI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | h-i | ۱۳۳۴/۳ | m-l | ۰/۶۹۹ | h-i | ۲۴/۹۳ | e-f | ۰/۶۲ | e-f | ۱/۳۸ |
| ۲ | h-i | ۱۵۷۹/۳ | e-f | ۰/۹۹۷ | h-i | ۲۹/۵۲ | m-f | ۰/۴۵ | l-n | ۱ |
| ۳ | e-c | ۲۴۴۱/۷ | e-c | ۱/۲۹۳ | e-c | ۴۵/۶۳ | m-n | ۰/۳ | m-n | ۰/۶۵ |
| ۴ | k-n | ۹۶۸ | e-f | ۱/۱۹۱ | k-n | ۱۸/۰۹ | m-n | ۰/۳۶ | l-n | ۰/۸۱ |
| ۵ | o-n | ۷۰۹ | m-l | ۰/۸۴۸ | o-n | ۱۳/۲۵ | e-f | ۰/۵۷ | e-f | ۱/۲۷ |
| ۶ | e-f | ۲۲۱۲/۳ | e-f | ۱/۲۴۹ | e-f | ۴۱/۳۴ | m-n | ۰/۳۳ | l-n | ۰/۷۲ |
| ۷ | o | ۲۶۱ | o | ۰/۳۰۳ | o | ۴/۸۸ | a | ۰/۸۸ | a | ۱/۹۴ |
| ۸ | h-i | ۱۴۷۵ | e-f | ۱/۱۰۴ | h-i | ۲۷/۵۶ | m-n | ۰/۴ | l-n | ۰/۸۸ |
| ۹ | e-c | ۲۵۰۰/۷ | e-c | ۱/۳۳ | e-c | ۴۶/۷۳ | m-n | ۰/۲۶ | m-n | ۰/۵۹ |
| ۱۰ | o | ۲۵۹ | n-o | ۰/۴۴۹ | o | ۴/۸۴ | b-a | ۰/۷۸ | b-a | ۱/۷۴ |
| ۱۱ | h-i | ۱۷۱۹/۷ | e-f | ۱/۲۵۳ | h-i | ۳۲/۱۴ | m-n | ۰/۳۲ | l-n | ۰/۷۱ |
| ۱۲ | h-i | ۱۳۵۱/۳ | m-f | ۰/۸۱۲ | h-i | ۲۵/۲۶ | e-f | ۰/۵۶ | l-f | ۱/۲۳ |
| ۱۳ | b-c | ۲۶۶۹/۳ | e-c | ۱/۳۴۳ | b-c | ۴۹/۸۸ | m-n | ۰/۲۷ | m-n | ۰/۵۹ |
| ۱۴ | b-c | ۳۰۲۳ | b-c | ۱/۴۶۴ | b-c | ۵۶/۴۹ | p-n | ۰/۲ | p-o | ۰/۴۴ |
| ۱۵ | h-f | ۱۹۶۹/۳ | e-f | ۱/۰۲۴ | h-f | ۳۶/۸۰ | m-f | ۰/۴۴ | l-n | ۰/۹۷ |
| ۱۶ | k-i | ۱۱۵۱ | e-f | ۱/۱۴۳ | k-i | ۲۱/۵۱ | m-n | ۰/۳۷ | l-n | ۰/۸۳ |
| ۱۷ | k-n | ۱۱۱۸/۷ | m-l | ۰/۷۵۰ | k-n | ۲۰/۹۰ | e-f | ۰/۵۹ | e-f | ۱/۳۱ |
| ۱۸ | h-i | ۱۵۶۴ | e-f | ۰/۹۱۷ | h-i | ۲۹/۲۳ | e-f | ۰/۵۱ | l-f | ۱/۱۲ |
| ۱۹ | a | ۳۶۰۵/۳ | b-a | ۱/۵۷۷ | A | ۶۷/۳۸ | p-o | ۰/۱۴ | p-q | ۰/۳۱ |
| ۲۰ | h-i | ۱۲۹۷/۷ | e-f | ۱/۰۱۲ | h-i | ۲۴/۲۵ | m-f | ۰/۴۶ | l-n | ۱/۰۱ |
| ۲۱ | h-i | ۱۵۰۰/۷ | e-f | ۰/۹۳۹ | h-i | ۲۸/۰۴ | m-f | ۰/۴۹ | l-n | ۱ |
| ۲۲ | k-n | ۹۹۰/۳ | e-f | ۰/۹۳۲ | k-n | ۱۸/۵۱ | m-f | ۰/۴۹ | l-n | ۱/۰۸ |
| ۲۳ | k-n | ۸۸۲ | m-l | ۰/۷۱۹ | k-n | ۱۶/۴۸ | e-f | ۰/۶۱ | e-f | ۱/۳۶ |
| ۲۴ | e-f | ۲۱۳۴ | e-f | ۱/۲۴۸ | e-f | ۳۹/۸۸ | m-n | ۰/۳۲ | l-n | ۰/۷ |
| ۲۵ | o-n | ۶۶۹/۳ | m-l | ۰/۵۱۹ | o-n | ۱۲/۵۱ | b-c | ۰/۷۲ | b-c | ۱/۵۹ |
| ۲۶ | o-n | ۵۶۶ | m-n | ۰/۴۸ | o-n | ۱۰/۵۸ | b-c | ۰/۷۴ | b-c | ۱/۶۴ |
| ۲۷ | o-n | ۶۸۹ | m-l | ۰/۵۲۴ | o-n | ۱۲/۸۷ | e-c | ۰/۷۱ | e-c | ۱/۵۷ |
| ۲۸ | e-c | ۲۴۰۹/۷ | b-c | ۱/۴۰۷ | e-c | ۴۵/۰۳ | m-n | ۰/۲۴ | p-n | ۰/۵۲ |
| ۲۹ | k-n | ۱۰۴۲/۳ | m-l | ۰/۷۰۴ | k-n | ۱۹/۴۸ | e-f | ۰/۶۲ | e-f | ۱/۳۸ |
| ۳۰ | h-i | ۱۷۲۷/۷ | e-f | ۱/۰۹۸ | h-i | ۳۲/۲۹ | m-n | ۰/۴ | l-n | ۰/۸۹ |
| ۳۱ | o-n | ۶۳۱/۳ | m-l | ۰/۵۷ | o-n | ۱۱/۸۰ | e-f | ۰/۶۸ | e-f | ۱/۵۱ |
| ۳۲ | b-a | ۳۲۴۳ | a | ۱/۶۹۲ | b-a | ۶۰/۶۰ | P | ۰/۰۸ | q | ۰/۱۶ |
| ۳۳ | k-n | ۹۷۴/۳ | m-l | ۰/۶۶۶ | k-n | ۱۸/۲۱ | e-f | ۰/۶۴ | e-f | ۱/۴۱ |
| ۳۴ | o-n | ۶۰۹/۳ | n-o | ۰/۳۷۵ | o-n | ۱۱/۳۹ | b-a | ۰/۸ | b-a | ۱/۷۷ |
| ۳۵ | k-i | 1146 | m-l | ۰/۷۴۶ | k-i | ۲۱/۴۲ | e-f | ۰/۵۹ | e-f | ۱/۳ |
| ۳۶ | o-n | ۷۴۹/۳ | m-l | ۰/۸۱۵ | o-n | ۱۴ | e-f | ۰/۵۹ | e-f | ۱/۲۹ |
| ۳۷ | h-i | ۱۴۶۳/۳ | e-f | ۰/۹۷۹ | h-i | ۲۷/۳۵ | m-f | ۰/۴۶ | l-n | ۱/۰۲ |
| ۳۸ | k-n | ۹۸۵/۷ | m-l | ۰/۷۸۲ | k-n | ۱۸/۴۲ | e-f | ۰/۵۷ | e-f | ۱/۲۷ |
| ۳۹ | h-i | ۱۹۵۲ | e-c | ۱/۲۸۶ | h-i | ۳۶/۴۸ | m-n | ۰/۳ | m-n | ۰/۶۶ |
| ۴۰ | k-n | ۱۱۲۶/۳ | m-l | ۰/۷۴۶ | k-n | ۲۱/۰۵ | e-f | ۰/۶ | e-f | ۱/۳۲ |

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی و عملکرد در شرایط تنش خشکی و نرمال

Table 4. Correlation coefficient between quantitative indices of drought tolerance and yield under drought and normal stress conditions

| | YP | YS | SDI | GMP | STI | TOL | SSI | SSPI | YSI | RDI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| YS | ۰/۰۵۹$^{ns}$ | | | | | | | | | |
| SDI | ۰/۵۹۵$^{**}$ | -۰/۷۱۷$^{**}$ | | | | | | | | |
| GMP | ۰/۵۰۵$^{**}$ | ۰/۸۷۸$^{**}$ | -۰/۳۱۸$^{*}$ | | | | | | | |
| STI | ۰/۴۷۱$^{**}$ | ۰/۸۹۱$^{**}$ | -۰/۳۴۵$^{*}$ | ۰/۹۸۵$^{**}$ | | | | | | |
| TOL | ۰/۸۲۹$^{**}$ | -۰/۵۱$^{**}$ | ۰/۹۱۵$^{**}$ | -۰/۰۵۸$^{ns}$ | -۰/۰۹۳$^{ns}$ | | | | | |
| SSI | ۰/۵۹۶$^{**}$ | -۰/۷۱۷$^{**}$ | ۱$^{**}$ | -۰/۳۱۸$^{*}$ | -۰/۳۴۵$^{*}$ | ۰/۹۱۶$^{**}$ | | | | |
| SSPI | ۰/۸۲۹$^{**}$ | -۰/۵۱$^{**}$ | ۰/۹۱۵$^{**}$ | -۰/۰۵۸$^{ns}$ | -۰/۰۹۳$^{ns}$ | ۱$^{**}$ | ۰/۹۱۶$^{**}$ | | | |
| YSI | -۰/۵۹۵$^{**}$ | ۰/۷۱۷$^{**}$ | -۱$^{**}$ | ۰/۳۱۸$^{*}$ | ۰/۳۴۵$^{*}$ | -۰/۹۱۵$^{**}$ | -۱$^{**}$ | -۰/۹۱۵$^{**}$ | | |
| RDI | -۰/۵۹۵$^{**}$ | ۰/۷۱۷$^{**}$ | -۱$^{**}$ | ۰/۳۱۸$^{*}$ | ۰/۳۴۶$^{*}$ | -۰/۹۱۵$^{**}$ | -۱$^{**}$ | -۰/۹۱۵$^{**}$ | ۱$^{**}$ | |
| HARM | ۰/۲۶$^{ns}$ | ۰/۹۶۶$^{**}$ | -۰/۵۳۶$^{**}$ | ۰/۹۶۴$^{**}$ | ۰/۹۵۹$^{**}$ | -۰/۳۱۷$^{*}$ | -۰/۵۳۶$^{**}$ | -۰/۳۱۷$^{*}$ | ۰/۵۳۶$^{**}$ | ۰/۵۳۶$^{**}$ |

*,**, ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵٪، ۱٪ و اختلاف غیرمعنی‌دار

بنابراین شاخص‌های فوق مناسب برای غربال‌کردن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند مناسب هستند. این یافته‌ها با نتایج زبرجدی (۱۶) و کاکایی (۱۲) در کلزا، (۱۵) درنخود، (۳) در گندم نان مطابقت دارد. به‌منظور درک بهتر ارتباط بین شاخص‌ها کمی تحمل به تنش و عملکرد در هر دو شرایط محیطی از تجزیه به مولفه اصلی بر اساس تجزیه به عامل‌ها استفاده شد است (جدول ۵). در این تجزیه سهم مولفه‌ها، سهم تجمعی آن‌ها و بردارهای مشخصه متناظر با هر ریشه مشخصه بدست آمد. همانطور که مشخص است (جدول ۶)، دو مولفه اصلی اول ۹۸ درصد کل تغیرات داده‌ها را توجیه می‌نمایند. در این مطالعه اولین مولفه اصلی ۶۶/۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و با شاخص‌های YSI، RDI، HARM همبستگی مثبت داشت، بنابراین شاخص اول را می‌توان مولفه پایداری تحمل به تنش کم‌آبی نام گذاری کرد و مولفه دوم ۳۲ درصد از تغیرات کل داده‌ها را توجیه نموده است و با شاخص STI، GMP رابطه مثبت و قوی دارد، به‌عبارت دیگر انتخاب براساس مقادیر عددی بیشتر این دو مولفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به شرایط تنش محیطی، در هر دو شرایط نرمال و تنش که دارای عملکرد بالاتری می‌باشند، می‌گردد. از آنجایی که مولفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مولفه دوم تبیین نمی‌شود و بلعکس، از این جهت دو مولفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را براساس این دو مولفه در سطح نمودار ذیل مشخص‌نمود. براساس بای‌پلات (شکل ۱)، ژنوتیپ شماره ۳۴ دارای بیشترین مقدار مولفه اصلی اول و همچنین مقادیر بالای Yp، Ys، YSI، RDI و HARM می‌باشد (جدول ۳). ژنوتیپ‌های ۳۲ و ۴ دارای کمترین مقدار مولفه اول بوده و مقادیر پایین‌تر Yp، Ys، YSI، RDI و HARM را به‌خود اختصاص داده‌اند. در مولفه دوم شاخص‌های GMP و STI دارای مقادیر بالایی بودند و بنابراین نقش بیشتری در این مولفه داشتند. بر اساس بای‌پلات ترسیم‌شده بر مبنای مولفه اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها به گروه‌های تقسیم شدند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها بود است. بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌های ۳۴ و ۱ در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت کم به تنش، در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی GMP، STI و HARM قرار دارند و ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۰ در ناحیه‌ای با عملکرد پایین ولی ثابت در شرایط نرمال و شرایط تنش کم‌آبی و در مجاورت شاخص‌های RDI و YSI (خشکی نسبی و پایداری عملکرد) قرار گرفته اند و در واقع جزء ارقامی هستند که در گروه C تقسیم‌بندی فرناندز قرار می‌گیرند و ژنوتیپ ۱۹ در ناحیه با عملکرد بالا در شرایط نرمال و عملکرد پایین در شرایط تنش و در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی و تنش SDI و SSI قرار گرفته است و می‌توان گفت این ژنوتیپ دارای سازگاری خصوصی به محیط آبی می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان این توزیع را بیان‌کننده تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش دانست. شاخص‌های GMP و STI با عمکرد در شرایط تنش و نرمال همبستگی مثبت دارند و زوایای بسیار تند بین بردارهای این شاخص نسبت به هم نشان از همبستگی بالا آنها با هم می‌باشد. فرناندز (۴) در لوبیا، (۱۵) در نخود، (۱) در گلرنگ و زبرجدی (۱۶) و کاکایی (۱۲) از تجزیه به مولفه اصلی و نمودار بای‌پلات به‌منظور انتخاب ارقام متحمل به تنش کم‌آبی بهره گرفته‌اند. به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفت عملکرد دانه و همچنین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در دو محیط می‌باشد. بررسی روابط همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی با عملکرد دانه در شرایط تنش و نرمال نشان از همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های GMP و STI در سطح ۱٪ دارد که با نتایج مقایسه میانگین ارقام براساس شاخص‌ها تحمل به تنش و نتایج حاصل از تجزیه به مولفه اصلی براساس تجزیه به عامل‌ها نشان از، تائید برتری شاخص GMP و STI دارد. بنابراین با بررسی ژنوتیپ‌ها در نمودار بای‌پلات لاین‌های شماره ۱ و ۳۴ به‌دلیل عملکرد مناسب در هر دو محیط تنش و نرمال و مطابقت با نتایج فوق‌الذکر، از درجه اهمیت ویژه برخوردار بودند.

جدول ۵- تجزیه عاملی شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش

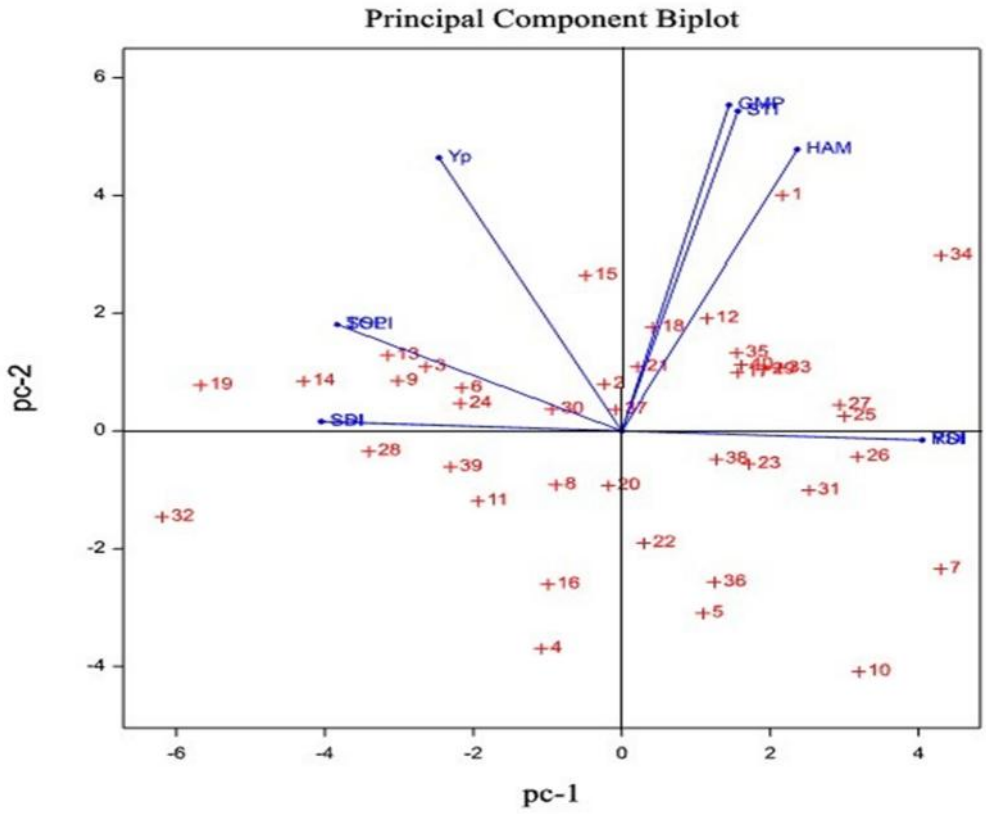
Table 5. Factor analysis of quantitative indices of drought tolerance and seed yield under stress and non-stress conditions

| عامل | مقادیر ویژه | درصد واریانس | درصد واریانس تجمعی | YP | YS | SDI | GMP | STI | TOL | SSI | SSPI | YSI | RDI | HAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۷/۲۸ | ۵۸/۹۱۴ | ۵۸/۹۱۴ | ۰/۸۳۲ | -۰/۴۸ | ۰/۹۴۱ | -۰/۰۱۶ | -۰/۰۴۹ | ۰/۹۸۶ | ۰/۹۴۱ | ۰/۹۸۶ | -۰/۹۴۱ | -۰/۹۴۱ | -۰/۲۷۱ |
| ۲ | ۳/۵۲ | ۳۹/۲۳۶ | ۹۸/۱۵ | ۰/۵۲۹ | ۰/۸۷۴ | -۰/۳۱۱ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹ | -۰/۰۳۴ | -۰/۳۱ | -۰/۰۳۴ | ۰/۳۱۱ | ۰/۳۱۱ | ۰/۹۵۴ |

جدول ۶- تجزیه به مولفه اصلی شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش

Table 6. Principal component quantitative analysis of drought tolerance and seed yield under stress and non-stress conditions

| مولفه | مقادیر ویژه | سهم تجمعی | YP | YS | SDI | GMP | STI | TOL | SSI | SSPI | YSI | RDI | HAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۷/۲۸ | ۰/۶۶۲ | -۰/۱۸۳ | ۰/۳۰۷ | -۰/۳۶۲ | ۰/۱۷۵ | ۰/۱۸۵ | -۰/۳۳ | -۰/۳۶۲ | -۰/۳۳ | ۰/۳۶۲ | ۰/۳۶۲ | ۰/۲۵۲ |
| ۲ | ۳/۵۱ | ۰/۹۸۱ | ۰/۴۵۵ | ۰/۲۹۶ | ۰/۰۸۴ | ۰/۴۶۸ | ۰/۴۵۷ | ۰/۲۲۶ | ۰/۰۸۴ | ۰/۲۲۶ | -۰/۰۸۴ | ۰/۰۸۴ | ۰/۳۸۵ |




شکل ۱- نمایش بای‌پلات شاخص‌های مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های سویا براساس مولفه اصلی اول و دوم
Figure 1. Biplot representation of studied indices for soybean genotypes based on the first and second main components

## منابع


1. Abolhassani, K.H. and G.H. Saeidi. 2006. Evluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 10: 407-418 (In Persian).
2. Bakhshayeshi Geshlagh, M. 2015. Evaluation of Genotypes of Bread Wheat (*Triticum Aestivum*) using Drought Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 14: 52 (In Persian).
3. Farshadfar, E., M.R. Zamani, M. Matlabi and E.E. Emam-Jome. 2001. Selection for droughtresistance chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 32: 65-77 (In Persian).
4. Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance, pp: 257- 270. In: kuo, cgced. Proceeding of the international symposium on adaptation of vegetable and other food crops to temperature water stress. Taiwan, 13-18.
5. Fisher, F.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars, I Grain yield response. Australian Jornal of Agriculture Research, 29: 897-912.
6. Gharib Eshghi, A., N. Razmi, R. Adelzadeh and F. Madadzadeh. 2009. Study of the efficiency of some drought indicators inSelection of soybean lines and cultivars under moisture deficit conditions in the Caspian region using component analysisMain. 10th Congress of Plant Sciences. Karaj.iran.
7. Hashemzehi, M. 2013. Evaluation of Responses of Mung Bean (*Vigna radiata*) Genotypes to Drought Stress Using Different Stress Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 12: 117-118 (In Persian).
8. Heidari, M. and V. Karami. 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13(4): 9-13 (In Persian).

9. Izanlo, A., H. Zainali Khaneghah, A. Hosain Zadeh and N. Majnon Hosaini. 2002. Determination thebest drought tolerance indices in commercial soybean cultivars. The 7th International Conference on Agronomy and Plant improvement of Iran. Karaj, Seed and Plant Improvement Institute 553 pp (In Persian).
10. Jafari, A. 2008. Investigation of genotypic and phenotypic correlations and pathological analysis of traits in maize hybrids in Normal conditions and drought stress. Master Thesis. Islamic Azad University, Karaj Branch.
11. Kargar, S. Confectionery, R. Bozorgipour, A. Khwaja Ahmad Attari and H. Babaei. 2005. Index evaluation - Drought stress tolerance in a number of soybean genotypes under limited irrigation conditions. Journal of Agricultural Sciences, 35(1): 129 -142 (In Persian).
12. Kakaei, M. 2009. Effects of Genotype and drought stress on physiological, morphological, phonological and biochemical traits of winter rape (rassicanapus L.). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Branch of Kermansha, Iran.
13. Ramirez-Vallejo, P. and J.D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance incommon bean. Euphytica, 99: 127-136.
14. Rosielle, A.T. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-949.
15. Sori, J., H. Dehghani and S.H. Sabaghpor. 2005. Study of genotypes of chickpea in water stress condition. Iranian Journal of Agricultural Sciences, No.6: 1517-1527.
16. Zebarjadi, A. 2011. Determination of drought tolerant genotypes in *Brassica napus* L. based on drought tolerance indices Journal of Crop Production, 3(4): 112-117 (In Persian).
17. Zeinaly Khanghah, H., A. Izanloo, A. Hosein Zadeh and N. Majnoon Hoseini. 2004. Determination of the suitable drought resistance indices in commercial soybeans varieties. Journal of Agricultural Science, 2: 875-885 (In Persian).
18. Zare, M., H. Zeinaly Khanghah and J. Daneshian. 2005. Evaluation of drought stress tolerance of some soybean genotypes. Journal, 859-867: (4) Iranian agricultural Sciences.

# Evaluation of Drought Tolerance Indices in Soybeans

**Iraj Morovati[1], Alaeddin Kordenaeej[2] and HamidReza Babaei[3]**

1- Graduate M.Sc. of Plant Breeding**,** Shahed University, (Corresponding author: basij.313.25@gmail.com)
2- Associate Professor**,** Department of Agriculture, Faculty of Agriculture**,** Shahed University
3- Assistant Professor of Research, Department of Agricultural and Horticultural Research, Research Center, Agricultural Education and Natural Resources of Khorasan Razavi, Agricultural Education and Extension Research Organization, Mashhad, Iran
Received: September 23, 2020 Accepted: January 23, 2021

## Abstract

Forty selected soybean (*Glycine max L. Merr*) in the form of a randomized complete block design with three replications under normal irrigation and stress conditions in two separate locations, in the research farm of Karaj Seedling and Seed Breeding Research Institute in 2015-2015 crop year Was examined.Based on performance under non-stress (Yp) and stress (Ys) conditions, quantitative indices of drought tolerance, tolerance index (TOL), geometric mean (GMP), stress tolerance (STI), stress sensitivity (SSI), dry sensitivity (SDI), stress sensitivity percentage (SSPI), harmonic mean (HARM), stability Yield (YSI), relative dryness (RDI), were calculated. The results of analysis of variance showed a significant difference in genotypes in terms of yield per hectare under normal conditions at 5% probability level and a significant difference at 1% probability level of genotypes under water stress conditions. The results of mean comparison showed that the highest mean yield in irrigated and rainfed conditions belonged to 19 and 34 genotypes, respectively. The lowest values of tolerance index, stress sensitivity, stress sensitivity percentage, drought sensitivity, belong to cultivars 7, 10, 7, 10, respectively, and the highest values of geometric mean index, stress tolerance, performance stability, relative drought, harmonic mean, Belonged to the numbers 1,7,7,7,1, respectively. Correlation analysis of yield and drought tolerance indices in stress and non-stress environment showed that STI and GMP indices are the most suitable indices for selection top genotypes. Factor analysis also showed that the first two factors explain 98% (the first factor of 58.9% and the second factor of 39.3%) of the studied changes in stress and non-stress conditions. Based on biplot analysis based on the first and second main components, genotypes 1 and 34 are located in the region with high production potential and low sensitivity to stress, and biplot analysis justifies the selection of stress tolerant genotype based on GMP.STI index.

**Keywords:** Biplot analysis, Drought stress indices, Principle Components Analysis, Soybean