Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 48, Winter 2024 p: 189-200

"Research Paper"

Application of Drought Tolerance Indices for Grouping Advanced Barley Cultivars and Lines

Zeinab Sabzi[1], Arash Fazeli[2] and Behrouz Vaezi[3]

1- Ph. D. Student of Genetic and Plant Breeding, Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam Iran
2- Associated Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, (Corresponding authors: a.fazeli@ilam.ac.ir)
3- Member Staff Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran
Received: 12 February, 2023 Accepted: 4 September, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Due to the droughts of the last few years, the low need of barley crop to water and rich soil, the need of the country in the supply of Community Food and the importance of barley in the food industry, therefore, it is necessary to introduce high-yielding and drought-resistant genotypes.

Material and Methods: The research was conducted at the Ilam Agricultural Research Station in 2020-2021. Identification of tolerant and sensitive genotypes was based on grain yield and drought tolerance indices. Accordingly, 16 barley genotypes were implemented in the form of random complete blocks with four repetitions in two conditions: dim and supplementary irrigation. After harvesting, grain yield was measured and stress tolerance indices were calculated.

Results: The results of correlation between drought tolerance indices and grain yield in rainfed and irrigated conditions showed that tolerance index (STI), mean productivity (MP), harmonic mean (HM) and geometric mean productivity (GMP) were positively correlated, and had significance with grain yield traits in both environmental conditions. So, they were suitable indicators for selecting high yielding genotypes in both rainfed and irrigated environments. Based on SIIG index, genotypes 11 and 9 show the highest values, while genotypes 3 and 4 had the lowest values. Also, factor analysis based on principle component analysis showed that the first two factors explain 98.5% ((the first factor 68.7% and the second factor 29.8%) of the total diversity.

Conclusion: Based on the obtained results, genotypes No. 9 and 11 have the highest resistance to drought stress and yield, which are suitable for cultivation in areas under moisture stress, and genotypes No. 3 and 13 are suitable for planting in areas without moisture stress.

Keywords: Barley, Cluster analysis, Drought tolerance indices, Principal component analysis, Selection index of ideal genotype (SIIG)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

"مقاله پژوهشی"

کاربرد شاخص‌های تحمل به خشکی برای گروه‌بندی ارقام و لاین‌های پیشرفته جو

زینب سبزی[۱]، آرش فاضلی[۲] و بهروز واعظی[۳]

۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به نژادی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، (نویسنده مسوول: a.fazeli@ilam.ac.ir)
۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویر احمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۳
صفحه: ۱۸۹ تا ۲۰۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: با توجه به خشکسالی‌های چندسال اخیر، نیاز کم محصول جو به آب وخاک غنی، نیاز کشور در تامین مواد غذایی جامعه و اهمیت جو در صنایع غذایی، لذا معرفی ژنوتیپ های پرمحصول و مقاوم به خشکی امری ضروری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تحمل به خشکی۱۶ ژنوتیپ جو و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ایلام در سال زراعی ۱۳۹۹- ۱۴۰۰ انجام شد. پس از برداشت، عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط مورد آزمایش نشان داد که شاخص تحمل (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HM) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی داشتند در نتیجه بهترین شاخص‌ها جهت گزینش لاین‌ها و ارقام متحمل به تنش خشکی در هردو محیط می‌باشند. با توجه به شاخص‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ به‌ترتیب به‌عنوان لاین‌های دارای بالاترین میزان تحمل به تنش خشکی شناخته شدند. بر اساس شاخص SIIG ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۹ بالاترین مقدار را نشان دادند در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۳ و ۴ کمترین مقدار داشتند. همچنین تجزیه به عامل‌ها بر اساس روش تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل اول ۹۸/۵ درصد (عامل اول ۶۸/۷ ٪ و عامل دوم ۲۹/۸ ٪) از تغییرات کل را توجیه می‌نماید.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج به‌دست آمده ژنوتیپ‌های شماره ۹ و ۱۱ دارای بالاترین تحمل به تنش خشکی و عملکرد بوده که مناسب کشت در مناطق تحت تنش رطوبتی می‌باشند و ژنوتیپ‌های شماره ۳ و ۱۳ مناسب کاشت در مناطق فاقد تنش رطوبتی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، جو، شاخص انتخاب ایده‌آل (SIIG)، شاخص‌های تحمل به خشکی

مقدمه

جوزراعی (*Hordeum vulgar* L.)، یکی از قدیمی‌ترین گیاهان اهلی شده است که با توجه به موارد استفاده زیاد آن در تغذیه انسان و دام وصنایع تبدیلی یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات می‌باشد (Ferreira et al., 2016; Martínez Lopez et al., 2022). بنابر گزارش مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی و فائو، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، جو پس از گندم با سطح کشت ۷۷۲/۸ هزار هکتار با تولید ۰/۶۱ میلیون تن و سهم ۱۲/۶۸ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی دیم رتبه دوم را به‌خود اختصاص داد. سطح زیر کشت جو آبی و دیم در استان ایلام به‌ترتیب ۱/۲۰۵ و ۴۸/۷۰۷ هکتار و تولید در این عرصه‌ها به‌ترتیب ۳/۱۴۸ و ۲۶/۶۵۸ تن بود (FAO, 2022). یکی از اهداف به‌نژادی جو در مناطق خشک و نیمه‌خشک دستیابی به ارقامی است که تحت شرایط محدودیت آب و کم آبی دارای خصوصیات مورفولوژیکی برتر با سازگاری وسیع و دارای پایداری عملکرد باشند (Creissen et al., 2016; Ahakpaz et al., 2020; Asghari et al., 2022). در این راستا تعدادی از محققین بررسی و مقایسه عملکرد گیاه را در دو محیط حاوی تنش و بدون تنش را پیشنهاد کرده‌اند (Naderi et al., 2013). در مجموع برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم چندین معیار پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها انتخاب بر اساس شاخص‌های کمی تحمل به خشکی است. بر این اساس ژنوتیپ‌های مقاوم انتخاب می‌شوند (Mousavi et al., 2008; Kazemitabar & Saberi, 2020). فرناندز بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و فاقد تنش آنها را به چهار گروه تقسیم‌بندی کرد: شاخص‌های کمی تحمل به خشکی اظهار می‌دارد که هر چقدر عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) به عملکرد تحت شرایط بدون تنش (Yp) نزدیک‌تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کمتر می‌باشد. فرناندز بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و فاقد تنش آنها را به چهارگروه تقسیم بندی کرد: گروه یک ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش و نرمال، عملکرد بالایی دارند (گروهA)، گروه دو ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش برتر بوده ودر محیط تحت تنش جزء ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین هستند (گروهB)، گروه سه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد نسبتاً بالا فقط در محیط تنش (گروهC) و گروه چهار شامل ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در هر دو محیط عادی و تنش (گروه D) بودند (Mohammadnia et al., 2017; Tahmasebi et al., 2018). فیشر و مائورر شاخص حساسیت به تنش (SSI)[۱] را پیشنهاد کردند که هرچقدر مقدار آن کوچکتر باشد، میزان تحمل به خشکی بالاتر است (Fischer & Maurer, 1987). فرناندز شاخص‌های تحمل تنش (STI)[۲] و (GMP)[۳] را معرفی کرد که مقادیر بالای آن‌ها نشان دهنده تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن لاین می‌باشد. روزلی و هامبلین شاخص تحمل (TOL)[۴] و شاخص متوسط تولید یا بهره‌وری (MP)[۵] را معرفی کردند (Rosielle & Hamblin, 1981). از نظر آن‌ها شاخص‌هایی که در دو محیط نرمال و تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. ژنوتیپ‌های گزینش شده

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

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

بر اساس شاخص (TOL) در شرایط بدون تنش عملکرد کم و در شرایط تنش عملکرد نسبتاً زیادی دارند. شاخص مقاومت به خشکی (DI) توسط فرناندز برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش بکار برده شد. شاخص ثبات عملکرد (YSI)[1] که از نسبت عملکرد در شرایط تنش به شرایط بدون تنش محاسبه می‌شود، توسط بوسلاما و شاپاگ پیشنهاد شد که مقادیر عددی بالای آن نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش می‌باشد (Tahmasebi et al., 2018). روزیلی وهامبلین اظهار داشتند که انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاح گر بستگی دارد. اگر افزایش عملکرد در شرایط تنش مدنظر اصلاح‌گر باشد، شاخص TOL می‌تواند مفید بوده اما اگر افزایش عملکرد در هر دو محیط عادی و تنش مورد نظر اصلاح‌گر باشد، بهتر است گزینش بر اساس MP انجام شود (Rosielle & Hamblin, 1981). سه شاخص STI وGMP، MP نسبت به SSI و TOL نتیجه مناسبی را در انتخاب ژنوتیپ‌ها ارائه می‌کنند (Karimizadeh et al., 2013). برای انتخاب ارقام و ژنوتیپ‌های مطلوب با ویژگی‌های خاص استفاده از یک صفت به‌تنهایی ممکن است منجر به نتیجه مطلوب نشود. شاخص انتخاب ایده‌آل (SIIG)[2] یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که بر اساس مجموعه‌ای از صفات یا شاخص‌های مختلف و با ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری، دقت ارزیابی ژنوتیپ‌ها را افزایش می‌دهد و ژنوتیپ‌های مطلوب را شناسایی می‌کند (Zali et al., 2015). این روش برای اولین بار توسط زالی و همکاران برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری معرفی شد. از این روش می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود (Zali et al., 2015). از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن می‌توان از همه روش‌های تجزیه پایداری به‌طور همزمان یا شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی به‌طور همزمان و یا صفات مختلف استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد (Zali et al., 2016; Zali & Barati, 2020). با توجه به اهمیتی که جو به‌عنوان یک محصول استراتژیک در کشورمان دارد و همچنین محدودیت‌های کم آبی و تنش خشکی که در سالیان اخیر کشورمان با آن درگیر می‌باشد، هدف از این تحقیق ارزیابی واکنش برخی از ارقام تجاری و تعدادی از لاین‌های پیشرفته اصلاحی جو نسبت به شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، شناسایی ارقام و لاین‌های متحمل و تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد دانه و شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی انتهای فصل در منطقه ایلام، ۱۶ ژنوتیپ جو (۱۴لاین جو و ۲ رقم شاهد ماهور و بهدان) از آزمایش‌های به‌نژادی بخش غلات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور انتخاب شدند و آزمایشی درمزرعه تحقیقاتی متعلق به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، واقع در شهرستان چرداول، روستای زنجیره با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه تا ۴۶درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۸ ثانیه وعرض جغرافیایی ۳۳ در جه و ۴۱ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه و ۳۶ ثانیه و ارتفاع از سطح دریا ۹۷۵ متر و دارای اقلیم معتدل نیمه‌گرمسیر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم درسال زراعی ۱۴۰۰ -۱۳۹۹ اجرا گردید (جدول ۱). تاریخ کاشت در هردو آزمایش ۱۵ آذر ماه سال ۹۹ بود. کودهای فسفات و پتاسیم به‌همراه نصف مقدار کود نیتروژن در پاییز در زمان تهیه زمین و نصف باقی‌مانده کود نیتروژن در اوایل فروردین ماه به‌عنوان کود سرک به زمین داده شد. میزان بذر مصرفی براساس وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه محاسبه و کشت گردید. طول، تعداد خطوط و فواصل بین خطوط هر کرت به‌ترتیب چهار متر، شش خط و ۲۵ سانتیمتر بود. در آزمایش تحت شرایط دیم، هیچ‌گونه آبیاری انجام نشد در حالی‌که در آزمایش تحت شرایط آبیاری با توجه به داده‌های هواشناسی، آبیاری تکمیلی تنها در دو مرحله‌ی تورم سنبله و پرشدن دانه انجام شد. گیاهان پس از بلوغ فیزیولوژیک و حذف خطوط و فواصل حاشیه هر پلات، برداشت شدند و عملکرد دانه لاین‌ها در دو شرایط تنش و بدون تنش یادداشت‌برداری شد. وزن هزار دانه برای سه نمونه تصادفی از دانه‌های سالم و بدون شکستگی تعیین گردید. عملکرد دانه در هکتار از عملکرد دانه در هر کرت آزمایشی برآورد گردید و با استفاده از عملکرد لاین‌ها در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شدند (جدول ۳). مقادیر شاخص‌ها و همبستگی بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی محاسبه شدند. برای افزایش کارایی انتخاب لاین‌های برتر از روش SIIG استفاده شد (رابطه ۱):

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m, 0 \leq SIIG \leq 1$$

مقدار SIIG بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه مقدار SIIG به یک نزدیکتر باشد، ژنوتیپ ایده‌آل‌تر خواهد بود.

ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی شناسایی شدند. در انتها نیز تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس شاخص‌های محاسبه شده انجام گرفت. مراحل محاسبه شاخص SIIG مطابق روش زالی و همکاران انجام شد (Zali et al., 2015). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام کلیه تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ و SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

1- Yield Stability Index
2- Selection Index of Ideal Genotype

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

جدول ۱- شجره لاین‌های امیدبخش جو مورد مطالعه

Table 1. Pedigree of studied promising Barley lines

شماره (number)	شجره (pedigree)
1	Khorram as check
2	Behdan as check
3	VMorales/6/M104/7/GLORIA-BAR/COPAL CB06M00193T-C-9M-0AP-0AP-0AP
4	BREA/DL70//3*TOCTE/3/TOCTE CBSS07Y00696S-0AP-0AP
5	SCARLETT//ND16680/ND13111 CBSS05M00256S-2M-0Y-0M-0AP-0TR
6	VMORALESP.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA1 CBSS97M00850T-G-2M-1Y-2M-0Y
7	6B95.2482/PUILOTOA CBSS06Y00079S-29Y-0M-0AP-0TR
8	WI2291/4/7028/2759/3/69-82//Ds/Apro ICB86-0512-1AP-0TR-4AP-0TR-0AP
9	ArabiAbiad/Arar//H.spont.415/Tadmor/3/ArabiAbiad/Arar//H.spont.41-5/Tadmor ICB05-0498-5AP-0AP
10	Rihane03/3/As46/Aths*2//Aths/Lignee686/7/Arbayan/NK1272/6/CI01021/4/CM67/U.Sask.1800//Pro/CM67/3/DL70/5/Nacha2 ICB05-0421-0AP-6AP-0AP
11	AwBlack/Aths//Arar/3/9Cr27907/Roho/6/Alanda01/5/CI01021/4/CM67/U.Sask.1800//Pro/CM67/3/DL70 ICB95-0204-0AP-16AP-0AP-4AP-0AP-9AP-0AP
12	LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/6/Vmorales
13	LA MOLINA96/6/ Vmorales CBSS05Y00158S- 25Y-0M-0Y-0M-4AP
14	FORRAJERAKLEIN/CANTUA/4/EGYPT4/TERAN78//P.STO/3/QUINA CBSW01WM00107T-0TOPY-6Y-1M-2Y-1M-0Y
15	VMORALESP.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA_1 CBSS97M00850T-G-2M-
16	Rum/4/AwBlack/aths//rhn08/3/malouh ICB08-0124- OAP - OG-OG-OG- 5G

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 2. drought tolerance indices

منبع Reference	فرمول Formula
(Fischer and Maurer, 1978)	شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index) SSI = 1-(YS/YP)/SI
(Fischer and Maurer, 1978)	شدت تنش (Selection Intensity) SI = 1-(Y S/Y P)
(Rosielle and Hamblin, 1984)	شاخص تحمل تنش (Tolerance Index) TOL = YP-YS
(Rosielle and Hamblin, 1984)	شاخص میانگین بهره‌وری (Mean Productivity) MP = (YP+YS)/2
(Fernandez, 1992)	شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index) STI = (YP( )YS)/ (Y P)2
(Fernandez, 1992)	شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity) GMP = √ (YS)(YP)
(Gavuzzi et al., 1997)	شاخص عملکرد (Yield Index) YI = YS/ Ȳ S
(Bouslama and Schapaugh, 1984)	شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index) YSI = YS/YP
(El Sherbiny et al., 2022)	درصد کاهش (Reduction percent) %Reduction = ((YP-YS)/YP))×100
	شاخص میانگین‌هارمونیک (Harmonic Mean) $HM = 2(YP.YS)/YP + YS$

در تمام معادلات بالا Ȳs، Ȳp، Ysو Yp به‌ترتیب میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برای کلیه ژنوتیپ‌ها است.
In all the above equations, Ȳs, Ȳp, Ys and Yp are respectively the average yield of each genotype in rainfed conditions and supplementary irrigation and the yield in rainy conditions and supplementary irrigation for all genotypes

نتایج و بحث

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظرعملکرد دانه: تجزیه واریانس داده‌ها برای عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و شاخص‌های تحمل نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین لاین‌های مورد بررسی از نظر عملکرد و شاخص‌های تحمل در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول۳) بیشترین میانگین عملکرد دانه در شرایط تحت آبیاری تکمیلی مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۳ (۴۹۱۷ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط دیم مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۱ (۴۰۴۲ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول شماره ۴). مقایسه میانگین‌ها در هر دو محیط به تفکیک نشان داد که عمدتاً عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط متفاوت می‌باشد، بنابراین به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش به تنش ازحساسیت یا مقاومت متفاوتی برخوردار بودند.

درصد تغییرات عملکرد برای ارقام و لاین‌های مورد آزمایش: نتایج (جدول ۴) نشان داد که از نظر معیار درصد تغییرات عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، کمترین مقدار متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۲، ۹ و ۱۰ به‌ترتیب ۱۱/۸، ۱۵/۸، ۱۷/۱ و ۱۹/۵ درصد و ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۱۳ و ۱۴ به‌ترتیب با ۶۱/۳، ۵۳، ۴۷ و ۳۹/۹ درصد به‌ترتیب بیشترین درصد تغییرات عملکرد را نشان دادند و مابقی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در بین این دو گروه قرار گرفتند. استفاده از این روش جهت شناسایی ارقام با تحمل نسبی، در سایر مطالعات تایید شده است (Mohammadnia et al., 2017).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

جدول ۳- تجزیه واریانس برای عملکرد دانه لاین‌های جو در شرایط دیم و تحت آبیاری تکمیلی
Table 3. Analysis of variance for seed yield of Barley genotypes under rainfed (Ys) and suplementry irrigation (Yp) conditions

S.O.A منابع تغییرات	df	MSمیانگین مربعات										
		YS	Yp	MP	GMP	SSI	TOL	STI	HM	YSI	YI	RP
Block تکرار	3	27297.5^{ns}	49330.1^{ns}	12678.2^{ns}	65712^{ns}	0.00167^{ns}	2967.99^{ns}	0.00011^{ns}	84289.2^{ns}	0.00162^{ns}	0.00058^{ns}	0.291^{ns}
Genotype ژنوتیپ	15	1641464.6**	1075451**	885114**	977352**	1.06106**	1949003*	0.16119**	1148615*	0.07672*	0.19104**	771.3**
Error خطا	45	22710.8	31665.5	23000.4	33467.4	0.00232	5520.95	0.00088	21833.7	0.00086	0.0035	3.174
CV% ضریب تغییرات	–	15.16	4.22	14.26	5.24	5.18	5.74	4.25	14.33	4.21	5.91	5.89

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

*and **: Significant at the ۵% and ۱% probability levels, respectively

شاخص حساسیت به تنش: SSI، شاخص تحمل تنش: TOL، شاخص میانگین بهره‌وری: MP، شاخص تحمل به تنش: STI، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری: GMP، شاخص عملکرد: YI، شاخص پایداری عملکرد: YSI، درصد کاهش: RP، میانگین‌هارمونیک: HM.

Stress Susceptibility Index: SSI,Tolerance Index: TOL, Mean Productivity: MP, Stress Tolerance Index: STI, Geometric Mean Productivity: GMP, Yield Index: YI, Yield Stability Index: YSI, Reduction Percent: RP, Harmonic Mean: HM.

تعیین ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از مقدار عددی شاخص‌های تحمل به خشکی: میزان حساسیت یا مقاومت به تنش خشکی یک ژنوتیپ اغلب از طریق اندازه گیری میزان افت عملکرد در شرایط تنش مشخص می‌شود و عموماً چندین شاخص برای ارزیابی میزان مقاومت ژنوتیپ‌ها در برابر خشکی وجود دارد برای تعیین تحمل ژنوتیپ‌های مورد بررسی به تنش خشکی، از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط دارای تنش Ys و محیط بدون تنش Yp استفاده شد و میزان شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی تعیین گردید. با توجه به داده‌های (جدول ۴)، ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۳، ۱۰ و ۹ به‌ترتیب دارای بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ به‌ترتیب دارای بیشترین عملکرد در شرایط دیم بودند. بر اساس شاخص‌های SSI و TOL هرچه مقدار حاصله کوچکتر باشد، ژنوتیپ مورد نظر متحمل‌تر است بنابر این بر اساس این دو شاخص، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۲ و ۹ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های با کمترین حساسیت (تحمل بالا) شناسایی شدند و بیشترین مقدار آن مربوط به لاین‌های شماره ۳، ۴ و ۱۳ بود که به‌ترتیب به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۴). شاخص SSI ژنوتیپ‌هایی با مقدار عملکرد نسبتا کم در شرایط عدم تنش اما دارای عملکرد تقریبا زیاد در شرایط تنش را انتخاب نموده است (شکل ۱). با توجه به مقدار شاخص SSI و همچنین درصد تغییرات عملکرد دانه (جدول ۴) ژنوتیپ شماره ۱۱ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی و همچنین کمترین درصد تغییرات عملکرد دانه انتخاب شد. از طریق شاخص TOL ژنوتیپ‌هایی ۱۱، ۱۲، ۷ و ۹ دارای کمترین مقادیر این شاخص و همچنین کمترین مقدار درصد تغییرات بودند. عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها به جزء ژنوتیپ شماره ۷ که در هر دو شرایط ضعیف ظاهر شد، در دو شرایط آزمایش به هم شبیه می‌باشند. با توجه به مقدار عددی شاخص STI (جدول ۴)، که مقادیر بالای آن دلالت بر تحمل به تنش ژنوتیپ مورد بررسی دارد و نمودارهای سه بعدی (شکل ۱ و ۲)، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی انتخاب می‌گردند. این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد دانه بالا هم در شرایط دیم و هم بدون تنش بودند. نشان دادند که شاخص STI به‌همراه شاخص‌های MP و GMP بهترین شاخص‌های تعیین لاین‌های گندم برای تحمل نسبی به تنش خشکی می‌باشند (Fernandez, 1992).

بر اساس شاخص‌هایMP ، GMP و HM که همگی بر اساس میانگین عملکرد دانه ارقام در هر دو شرایط عدم تنش و تنش مورد محاسبه قرار می‌گیرند، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی انتخاب شدند (جدول‌های۴ و۵ و شکل ۱). بر اساس شاخص YSI لاین‌های شماره ۳ و ۴ دارای بالاترین مقدار بوده که ناپایدارترین و لاین‌های شماره ۱۱ و ۱۲ دارای کمترین مقدار بوده و پایدارترین لاین‌ها می‌باشند (جدول ۴). بر اساس شاخص YI، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۳ به‌ترتیب دارای پایدارترین و ناپایدارترین عملکرد تعیین شدند. با در نظر گرفتن کلیه عوامل و شاخص‌های تحمل به تنش، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹ و ۱۰ به‌عنوان متحمل‌ترین لاین‌های مورد آزمایش انتخاب گردیده و دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط آزمایش بودند. شاخص‌های تحمل به خشکی STI، MP، GMP و HM نیز به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در این آزمایش انتخاب شدند. سایر شاخص‌های به‌کار رفته از کارایی مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برخوردار نبودند. این نتایج با برخی محققین مطابقت داشت (Ajay et al., 2020).

ضریب همبستگی ساده بین شاخص‌های مختلف و عملکرد دانه در دو شرایط دیم و تحت آبیاری تکمیلی: نظر به اینکه مقاومت به خشکی یک صفت پیچیده است و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند لذا قضاوت پیرامون ژنوتیپ‌ها از نظر یک صفت، پیچیده و گاهی اوقات با نتایج متناقض همراه است. بنابراین با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های کمی تحمل خشکی شاخص‌های مناسب انتخاب شدند. براساس نتایج حاصله، ضریب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط دیم و تحت آبیاری تکمیلی برابر با ۰/۲۹ بود که از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. همبستگی ضعیف YP و YS نشان می‌دهد که پتانسیل عملکرد بالا در شرایط آبیاری تکمیلی ملاکی برای داشتن عملکرد دانه بالا در شرایط تنش خشکی نیست بنابراین گزینش غیر مستقیم برای بهبود YS از طریق YP مؤثر نخواهد بود (شکل ۳). عملکرد دانه در شرایط تحت آبیاری تکمیلی با شاخص‌های MP و GMP همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱٪ و با شاخص‌های HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان داد که بالاترین آن مربوط به همبستگی با شاخص MP و ضریب همبستگی ۰/۷۳ بود و با

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

سایر شاخص‌ها همبستگی منفی و غیر معنی‌دار داشت. عملکرد دانه در شرایط دیم با تمام شاخص‌ها به جز RC، TOL و SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان داد. همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ عملکرد دانه در شرایط دیم با شاخص TOL نشان می‌دهد که افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی با کاهش حساسیت به تنش همراه می‌باشد (جدول۵). این نتایج با نتایج برخی محققین مطابقت داشت (Rabieyan et al., 2023).

تعیین ژنوتیپ‌های متحمل با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور دسته‌بندی شاخص‌ها، تعیین اهمیت شاخص‌ها، ارتباط هریک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل و همچنین گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها انجام شد (Rabieyan et al., 2022b). نتایج حاصل نشان داد که ۹۸/۵ درصد از تغییرات کل بین شاخص‌ها را دو عامل اول توجیه کردند و سایر عامل‌ها تغییرات کمی را توجیه کردند (شکل ۴ و جدول ۵). به طوری که عامل اول ۶۸/۷ درصد و عامل دوم ۲۹/۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را به‌خود اختصاص دادند و دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت (همبستگی) با شاخص‌های GMP، HM و YI و ضرایب عاملی بزرگ منفی با شاخص‌های SSI، RP و TOL بود و نیز کسینوس زاویه بین مؤلفه‌ها در نمودار بای پلات (زاویه کمتر دو مؤلفه نسبت به همدیگر می‌تواند نشان دهنده همبستگی بیشتر آنها باشد). این موارد با نتایج نوری و همکاران (Nouri et al., 2011) و ربیعیان و همکاران (Rabieyan et al., 2023) مطابقت داشت. بنابراین شاخص‌های GMP و HM شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و با عملکرد دانه مناسب در شرایط بدون تنش بودند در نتیجه آن‌را مولفه پتانسیل عملکرد و متحمل به تنش خشکی می‌نامند. با توجه به ضرایب مثبت و بالاتر شاخص‌های TOL و SSI با مؤلفه دوم، که انتخاب مقادیر پایین آن منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌گردد آن را مؤلفه اندازه گیری حساسیت به تنش می‌نامند که می‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را از هم جدا کند (شکل ۱ و جدول ۶). در یک تحقیق روی ژنوتیپ‌های گندم اعلام نمودند که شاخص‌های MP، GM، STI و HM بهترین شاخص‌ها جهت شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشند (Asghari et al., 2022).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

جدول ۴- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش برای عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو

Table 4. Tolerance and susceptibility indices for grain yield in Barley genotypes

RP	YI	YSI	HM	STI	TOL	SSI	GMP	MP	Yp	YS	ژنوتیپ Genotype
24.48^{g}±1.62	1.01^{d}±0.05	0.76^{cd}±0.03	3370.61^{cd}±42.4	0.65^{d}±0.04	959^{e}±68.8	0.8^{g}±0.04	3403.89^{efg}±370.9	3437.5^{ed}±51.9	3916.75^{efg}±131.8	2958^{d}±170.5	G1
27.15^{g}±0.38	0.93^{def}±0.01	0.73^{de}±0.03	3133.27^{de}±155.2	0.57^{ef}±0.01	1009^{e}±9.3	0^{k}±0	3172.64^{fgh}±154.2	3212.5^{ef}±88.4	3717^{gh}±163.6	2708^{d-g}±179	G2
61.31^{a}±4.64	0.64^{h}±0.05	0.39^{j}±0.01	2673.6^{f}±61.9	0.5^{g}±0.01	2938^{a}±79.8	2^{a}±0.09	2980.67^{hi}±105.1	3230^{ef}±134.3	4792^{ab}±133.7	1853.75^{h}±95.1	G3
52.96^{b}±1.55	0.73^{gh}±0.07	0.47^{i}±0.02	2879.4e^{f}±143.5	0.54^{fg}±0.01	2383^{b}±180.2	1.72^{b}±0.04	3086.5^{ghi}±171.4	3308.75^{e}±92	4500.25^{bc}±136.6	2117.25^{h}±43.7	G4
23.9^{g}±1.1	1^{d}±0.01	0.76^{cd}±0.03	3312.85^{cd}±132.4	0.63^{de}±0.02	916^{ef}±31.5	0.78^{g}±0.09	3343.78^{e-h}±102.9	3375d^{e}±127	3833^{fg}±146.7	2917de±139.7	G5
25.61^{g}±1.62	0.87^{ef}±0.01	0.74^{d}±0.01	2915.26^{ef}±62.8	0.49^{g}±0.02	875^{efg}±10.4	0.83^{g}±0.05	2974.2^{hi}±94.3	2979.5^{fg}±126.7	3416.75^{hi}±139.1	2542^{fg}±113.6	G6
23.68^{g}±1.77	0.83^{fg}±0.04	0.76^{cd}±0.01	2741.63^{f}±74	0.43^{h}±0.03	750^{gh}±23.6	0.77^{g}±0.02	2766.7^{i}±57.6	2792.25^{g}±122.2	3167^{i}±68	2417^{g}±60.3	G7
31.52^{f}±2.16	0.9^{def}±0.05	0.68^{ef}±0.03	3116.2^{de}±172.3	0.57^{ef}±0.04	1208^{d}±28.1	1.03^{f}±0.02	3172.1f^{gh}±179.3	3228.75^{ef}±112.5	3833^{fg}±118	2625.25^{efg}±76.4	G8
17.14^{hi}±0.72	1.33^{a}±0.16	0.83^{ab}±0.04	4252.33^{a}±202.8	1.03^{a}±0.03	804^{fgh}±12.8	0.56^{hi}±0.02	4271.12^{ab}±96.5	4290^{a}±270.1	4692.25^{ab}±246.9	3888^{a}±351	G9
19.46^{h}±1.48	1.3^{ab}±0.07	0.81^{bc}±0.06	4200.64^{a}±323.7	1.01^{a}±0.05	916^{ef}±50.5	0.63^{h}±0.03	4225.25^{ab}±353.1	4249.75^{a}±131.3	4708^{ab}±283.8	3792.25^{ab}±172.6	G10
11.8^{i}±0.75	1.39^{a}±0.01	0.88^{a}±0.03	4295.53^{a}±188.4	1.04^{a}±0.03	541^{i}±15.7	0.38^{j}±0.01	4304.1^{a}±112.9	4312.75^{a}±161.5	4583.25^{ab}±157.9	4042^{a}±231.1	G11
15.83^{i}±0.62	1.21^{bc}±0.03	0.84^{ab}±0.03	3846.38^{b}±172.9	0.84^{b}±0.03	666^{hi}±49.2	0.52^{i}±0.02	3860.67^{cd}±106.3	3875.25^{bc}±169.6	4208^{cde}±216.7	3542^{bc}±68.5	G12
47.04^{c}±1.53	0.89^{def}±0.03	0.53^{h}±0.02	3404.83^{cd}±187.3	0.72^{c}±0.03	2313^{b}±108.1	1.53^{c}±0.07	3578.25^{cde}±174.4	3760.5^{bc}±181.6	4916.75^{a}±160.2	2604^{efg}±109.7	G13
39.9^{d}±1.35	0.85^{ef}±0.06	0.6^{g}±0.03	3096.87^{de}±190.2	0.58^{ef}±0.01	1646^{c}±97.2	1.3^{d}±0.06	3197.79^{fgh}±137.3	3302^{e}±102	4125^{def}±124.7	2479^{g}±136.6	G14
25.87^{g}±1.07	1.15^{c}±0.03	0.74^{d}±0.04	3867.22^{b}±88.5	0.86^{b}±0.04	1175^{d}±75.9	0.84^{g}±0.04	3910.62^{bc}±260.9	3954.25^{b}±146.5	4542^{abc}±155.5	3366.75^{c}±109	G15
35.86^{e}±0.77	0.97^{de}±0.03	0.64^{fg}±0.01	3451.96^{c}±120.4	0.71^{c}±0.01	1584^{c}±86	1.17^{e}±0.06	3537.42^{def}±188.8	3624.75^{cd}±225.8	4416.75^{bcd}±324.7	2833^{def}±18.1	G16

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند از لحاظ آزمون دانکن با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

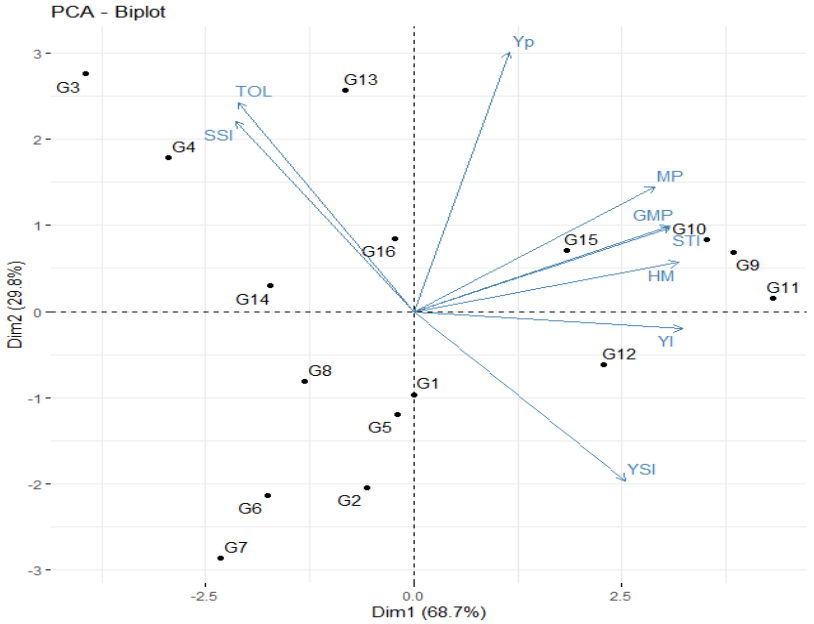
Columns that have at least one letter in common are not significantly different in terms of Duncan's test

شاخص حساسیت به تنش: SSI، شاخص تحمل تنش: TOL، شاخص میانگین بهره‌وری: MP، شاخص تحمل به تنش: STI، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری: GMP، شاخص عملکرد: YI، شاخص پایداری عملکرد: YSI، درصد کاهش: RP، میانگین‌هارمونیک: HM.

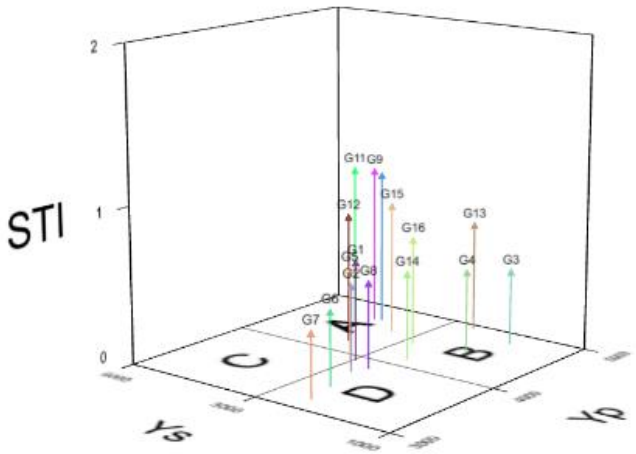
Stress Susceptibility Index: SSI,Tolerance Index: TOL, Mean Productivity: MP, Stress Tolerance Index: STI, Geometric Mean Productivity: GMP, Yield Index: YI, Yield Stability Index: YSI, Reduction Percent: RP, Harmonic Mean: HM.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

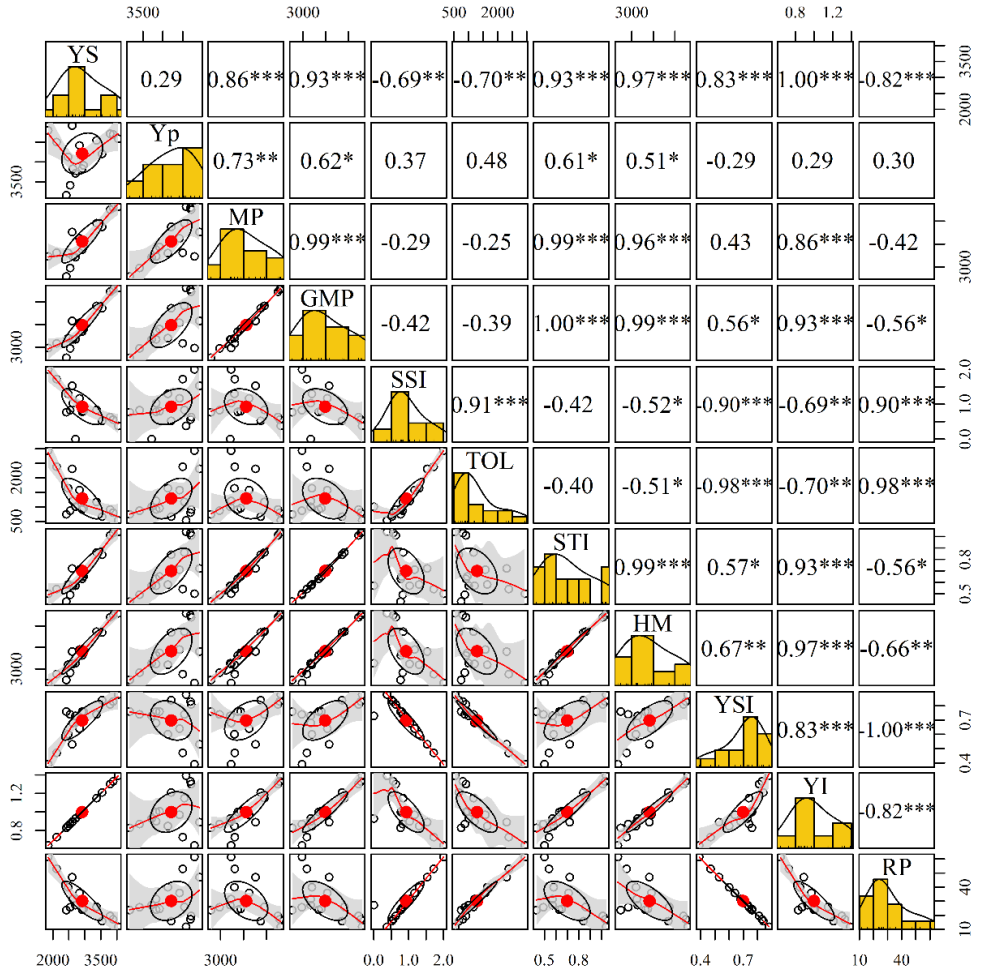


شکل ۱- نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های جو با شاخص‌های مقاومت به خشکی
Figure1. Biplot diagram of Barley genotypes with drought tolerance indices
شاخص حساسیت به تنش: SSI، شاخص تحمل تنش: TOL، شاخص میانگین بهره‌وری: MP، شاخص تحمل به تنش: STI، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری: GMP، شاخص عملکرد: YI، شاخص پایداری عملکرد: YSI، درصد کاهش: RP، میانگین‌هارمونیک: HM.
Stress Susceptibility Index: SSI, Tolerance Index: TOL, Mean Productivity: MP, Stress Tolerance Index: STI, Geometric Mean Productivity: GMP, Yield Index: YI, Yield Stability Index: YSI, Reduction Percent: RP, Harmonic Mean: HM.



شکل ۲- پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی (Yp) و شاخص‌های تحمل به تنش (STI)
Figure2. Distribution of genotypes based on grain yield under stress conditions (Ys) and grain yield under supplementary irrigation conditions (Yp) and stress tolerance index (STI)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

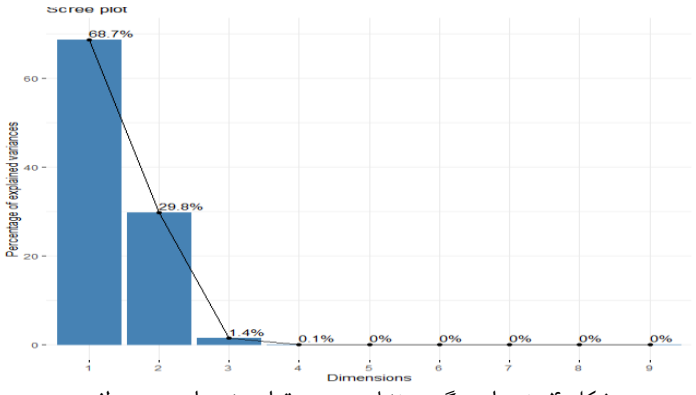


شکل ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط آزمایش

Figure 2. Correlation coefficients between tolerance and susceptibility indices and seed yield of barley genotypes under rainfed and suplementry irrigation conditions

شاخص حساسیت به تنش: SSI، شاخص تحمل تنش: TOL، شاخص میانگین بهره‌وری: MP، شاخص تحمل به تنش: STI، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری: GMP، شاخص عملکرد: YI، شاخص پایداری عملکرد: YSI، درصد کاهش: RP، میانگین‌هارمونیک: HM.

Stress Susceptibility Index: SSI,Tolerance Index: TOL, Mean Productivity: MP, Stress Tolerance Index: STI, Geometric Mean Productivity: GMP, Yield Index: YI, Yield Stability Index: YSI, Reduction Percent: RP, Harmonic Mean: HM.



شکل ۴- نمودار سنگریزه نشان دهنده مقدار ویژه برای همه مولفه

Figure 4. Scree plot showing eigenvalue for all components

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

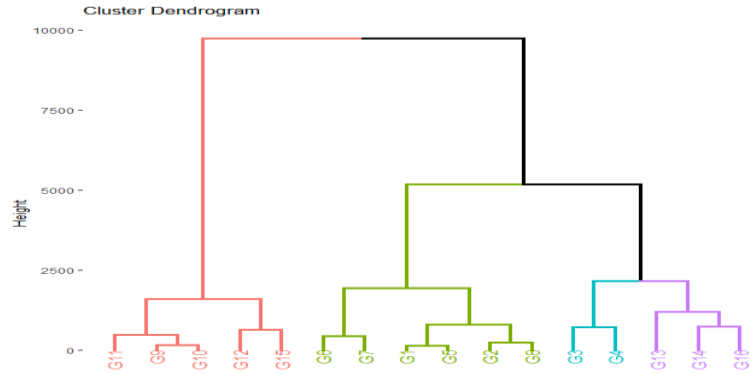
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

تجزیه خوشه‌ای

با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی ارزیابی شده در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای به‌روش UPGMA و معیار فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود (Rabieyan et al., 2022a)، که با برش خطی نمودار تجزیه خوشه‌ای از نقطه ۲۳۹۳ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در ۴ گروه قرار گرفتند (شکل۳). گروه یک شامل ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ می‌باشد که بیشترین مقدار شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد در هر دو شرایط آزمایش، کمترین مقدار شاخص‌های حساسیت به خشکی و همچنین کمترین مقدار شاخص RC را به خود اختصاص دادند لذا این ژنوتیپ‌ها را می‌توان متحمل به تنش خشکی معرفی نمود. گروه دو شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۵، ۶، ۷ و ۸ می‌باشد که در هردو شرایط آزمایش عملکرد نسبتاً پایین، کمترین مقادیر شاخص‌های حساسیت و مقاومت به تنش خشکی و مقادیر متوسط شاخص RC را نشان دادند. گروه سه شامل ژنوتیپ‌های شماره ۳ و ۴ می‌باشد که دارای عملکرد دانه بالا در شرایط آبیاری تکمیلی و عملکرد پایین در شرایط دیم، مقادیر بالای شاخص‌های حساسیت به تنش و مقادیر کم شاخص‌های تحمل به تنش و بالاترین مقادیر شاخص RC می‌باشند و می‌توان آنها را حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی نمود و گروه چهار شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۶ بود دارای عملکرد دانه نسبتاً خوب در شرایط آبیاری تکمیلی و عملکرد و شرایط دیم، مقادیر بالای شاخص‌های مقاومت به تنش و مقادیر پایین شاخص‌های حساسیت به تنش و همچنین مقادیر متوسط شاخص RC را به‌خود اختصاص دادند.

جدول ۵- مقادیر دو مؤلفه اول برای شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی
Table 5. Values of the first two components for drought tolerance indices and Barley grain yield under rainfed and supplementary irrigation conditions

مولفه دوم PC2	مولفه اول PC1	فاکتور Factors
-0.608	0.793	YS
0.579	0.811	Yp
-0.124	0.992	MP
-0.272	0.962	GMP
0.926	-0.172	SSI
0.988	-0.126	TOL
-0.281	0.959	STI
-0.400	0.915	HM
-0.945	0.318	YSI
-0.606	0.794	YI
0.947	-0.310	RC
2.999	7.850	مقادیر ویژه Eigen values
29.78	68.72	درصد واریانس Variance٪
98.50	68.72	واریانس تجمعی Cumulative٪



شکل ۵- نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جو بر اساس شاخص‌های کمی‌مقاومت و عملکرد دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی
Figure 5. Dendrogram obtained from cluster analysis Barley Genotypes based on tolerance indices and yield in rainfed and supplementary irrigation conditions.

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

در این تحقیق به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام شاخص‌های تحمل به تنش، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل استفاده شد. شاخص SIIG بر مبنای تمام شاخص‌های کمی تحمل به تنش محاسبه شد (جدول ۸). در این محاسبه فرض بر این بود که ژنوتیپ‌هایی با بیشترین مقدار Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI، YI، YSI و RSI و کمترین مقدار شاخص‌های RC، TOL و SSI ایده‌آل می‌باشند. در واقع با استفاده از شاخص SIIG شاخص‌های مذکور ادغام شده و به‌صورت یک شاخص واحد درآمده و در نتیجه می‌توان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد. از آنجایی‌که میزان تغییرات شاخص SIIG بین صفر و یک می‌باشد، هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد آن ژنوتیپ از نظر صفات مورد استفاده و بررسی برتر و مطلوب‌تر

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

می‌باشد (Zali et al., 2016; Zali et al., 2023). بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ با مقدار SIIG بیشتر (به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹، ۰/۸۵ و ۰/۸۴) جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند از طرفی ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۱۳ و ۱۴ با مقدار SIIG کمتر (به‌ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۸، ۰/۲۵ و ۰/۴۴) جزء ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر اکثر شاخص‌های مورد بررسی بودند و سایر ژنوتیپ‌ها حد فاصل این ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند (جدول ۶). نتایج به‌دست آمده از نمودار بای پلات به‌دست آمده از تجزیه به عامل‌های اصلی تایید کننده این یافته می‌باشند. در تحقیقی مشابه از شاخص SIIG به‌منظور ادغام صفات زراعی جو استفاده نمودند و بیان داشتند که این شاخص یک روش جدید و کارا در انتخاب مؤثر ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشد (Zali & Barati, 2020).

جدول ۶- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل جو بر مبنای همه شاخص‌های کمی تحمل به تنش مورد مطالعه و فواصل از ژنوتیپ مطلوب (+d)، ژنوتیپ نامطلوب (-d) و عملکرد دانه

Table 6. Selection index of ideal barley genotype based on all tolerance and susceptibility indices and distance from ideal genotype (d+), non – ideal genotype (d-) and seed yield

Rank	SIIG	d-	d+	genotype
6	0.6644	0.55271723	0.2792	1
8	0.6020	0.51438202	0.0340	2
16	0.2512	0.26822563	0.7996	3
15	0.2838	0.26328413	0.6643	4
7	0.6625	0.55764192	0.2841	5
9	0.5927	0.53214611	0.3657	6
10	0.5906	0.55707912	0.3862	7
11	0.5475	0.46220476	0.3820	8
2	0.8974	0.70767200	0.0809	9
3	0.8527	0.67433546	0.1165	10
1	0.9753	0.77718301	0.0197	11
4	0.8447	0.68596047	0.1261	12
14	0.3655	0.32310306	0.5609	13
13	0.4355	0.36750963	0.4763	14
5	0.7119	0.56626482	0.2292	15
12	0.5169	0.42333368	0.3956	16

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از بررسی درصد تغییرات عملکرد، می‌توان دو ژنوتیپ ۱۱ و ۱۲ با کمترین مقداردرصد تغییرات را متحمل به تنش کم آبی و دو ژنوتیپ ۳ و ۴ را با بیشترین مقدار درصد تغییرات به‌عنوان حساس به تنش و سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را نیمه‌متحمل نام‌گذاری نمود. براساس اکثر شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ به‌ترتیب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. نتایج جمع‌بندی همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد دانه در دو شرایط مورد آزمایش در این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص‌های MP, GMP, STIو HM بالاترین میزان همبستگی مثبت را با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش دارا می‌باشند در نتیجه بهترین شاخص‌ها جهت گزینش لاین‌ها و ارقام متحمل به تنش خشکی در بین لاین‌های جو می‌باشند. براساس شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۲ به‌ترتیب به‌عنوان لاین‌های دارای بالاترین میزان تحمل به تنش خشکی شناخته شدند. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای پلات، در حدود ۹۹ درصد تغییرات کل توسط دو مؤلفه اول توجیه می‌شود و از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌های ۹، ۱۱و ۱۰ در وضعیت بهتری از نظر این دو مؤلفه قرار داشته و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مطرح باشند. بنابراین وقتی که دو مؤلفه اصلی اولیه علت بیشتر واریانس موجود در داده‌ها هستند، تهیه نمودار داده‌ها در مقابل این دو مؤلفه اصلی روش خوبی برای گزینش ژنوتیپ‌ها خواهد بود.

ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۵در ناحیه A قرار گرفته‌اند، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۵ و ۱۲ در ناحیه B قرار گرفته‌اند ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۳، ۱۴ و ۱۶ در ناحیه C (عملکرد بالا در شرایط آبیاری مطلوب و در عین حال حساسیت آن به کمبود آب) قرار گرفته‌اند و در نهایت ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶، ۷ و ۸ در ناحیه D قرار گرفته است. خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در دو شرایط آزمایش و شاخص‌های کمی تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که ژنوتیپ‌ها در ۴ دسته قرار گرفتندکه این نتیجه با نتیجه حاصل از نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (شکل ۱) مطابقت دارد. بنابر نتایج به‌دست آمده از شاخص SIIG، ژنوتیپ شماره ۱۱ به‌عنوان برترین و ژنوتیپ شماره ۳ به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند که این موضوع در نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای پلات (شکل ۱) به‌وضوح دیده می‌شود.

منابع

Ahakpaz, F., Bernosi, I., Abdollahi, B., Golkari, S., Jafarzadeh, J., & Udupa, S. (2020). Evaluation of barley genotypes based on morpho-physiological traits and drought tolerance indices under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *8*(2), 153-176.

Ajay, B. C., Bera, S. K., Singh, A. L., Kumar, N., Gangadhar, K., & Kona, P. (2020). Evaluation of genotype× environment interaction and yield stability analysis in peanut under phosphorus stress condition using stability parameters of AMMI model. *Agricultural Research*, *9*, 477-486.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]

Asghari, A., Hassanpanah, D., & Karimizadeh, R. (2022). Application of Principal Coordinates Analysis to Evaluate Yield Stability of Potato Hybrids (Solanum tubersum L.). *Journal of Crop Breeding*, *14*(43), 11-20.
Bouslama, M., & Schapaugh Jr, W. T. (1984). Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop science*, *24*(5), 933-937.
Creissen, H. E., Jorgensen, T. H., & Brown, J. K. (2016). Increased yield stability of field-grown winter barley (Hordeum vulgare L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Protection*, *85*, 1-8.
El Sherbiny, H. A., El-Hashash, E. F., Abou El-Enin, M. M., Nofal, R. S., Abd El-Mageed, T. A., Bleih, E. M., ... & Shaaban, A. (2022). Exogenously applied salicylic acid boosts morpho-physiological traits, yield, and water productivity of lowland rice under normal and deficit irrigation. *Agronomy*, *12*(8), 1860.
FAO, F. (2022). FAOSTAT statistical database. *Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations*.
Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992* (pp. 257-270).
Ferreira, J. R., Pereira, J. F., Turchetto, C., Minella, E., Consoli, L., & Delatorre, C. A. (2016). Assessment of genetic diversity in Brazilian barley using SSR markers. *Genetics and molecular biology*, *39*, 86-96.
Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*(5), 897-912.
Gavuzzi, P., Delogu, G., Boggini, G., Di Fonzo, N., & Borghi, B. (1993). Identification of bread wheat, durum wheat and barley cultivars adapted to dry areas of Southern Italy. *Euphytica*, *68*, 131-145.
Karimizadeh, R., Azar, M. Y., & Mohammadi, M. (2013). Evaluation of Durum Wheat Genotypes in Rainfed and Supplemental Irrigation Conditions in Gachsaran Region of Iran. *Seed and Plant Production Journal*, *29*(4), 505-522.
Kazemitabar, S. K., & Saberi, M. H. (2020). Multivariate Assessment of Salt Tolerance (NaCl) in Barley (Hordeum Volgar L.) Genotypes. *Journal of Crop Breeding*, *12*(36), 1-8.
Martínez-López, J. A., López-Urrea, R., Martínez-Romero, Á., Pardo, J. J., Montero, J., & Domínguez, A. (2022). Sustainable Production of Barley in a Water-Scarce Mediterranean Agroecosystem. *Agronomy*, *12*(6), 1358.
Mohammadnia, S., Asghari, A., Sofalian, O., Mohammaddoust, H., & Karimizadeh, R. (2017). Evaluation of Durum Wheat Lines using Seed Yild based Indices in Drought Condition and relation between these Indices. *Journal of Crop Breeding*, *8*(20), 23-11.
Mousavi, S. S., YAZDI, S. B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., & Pourshahbazi, A. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes.
Naderi, A., Moghaddam, H. A., & Mahmoodi, K. (2013). Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in South-Warm Regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, *29*(3).
Nouri, A., Etminan, A., Teixeira da Silva, J. A., & Mohammadi, R. (2011). Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (Triticum turjidum var. durum Desf.). *Australian Journal of Crop Science*, *5*(1), 8-16.
Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Alipour, H., Mohammadi, V., Azizyan, K., & Javid, S. (2023). Analysis of genetic diversity and genome-wide association study for drought tolerance related traits in Iranian bread wheat. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 431.
Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Mohammadi, V., & Alipour, H. (2022a). Genome-wide association mapping and genomic prediction of agronomical traits and breeding values in Iranian wheat under rain-fed and well-watered conditions. *BMC genomics*, *23*(1), 1-25.
Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Mohammadi, V., Alipour, H., & Cammarano, D. (2022b). Imaging-based screening of wheat seed characteristics towards distinguishing drought-responsive Iranian landraces and cultivars. *Crop and Pasture Science*, *73*(4), 337-355.
Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop science*, *21*(6), 943-946.
Tahmasebi, S., Dastfal, M., Zali, H., & 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.
Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*, *12*(34), 93-104.
Zali, H., Barati, A., Pour-Aboughadareh, A., Gholipour, A., Koohkan, S., Marzoghiyan, A., ... & Nowosad, K. (2023). Identification of Superior Barley Genotypes Using Selection Index of Ideal Genotype (SIIG). *Plants*, *12*(9), 1843.
Zali, H., Hassanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., & Zeinalabedini, M. (2017). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, *8*(20), 90-77.
Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A., & Hoseini, S. M. (2015, July). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. In *Biological Forum* (Vol. 7, No. 2, p. 703). Research Trend.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.189]