

Evaluation of drought tolerance indices in promising barley lines (*Hordeum vulgare* L.)

Z. Hajibarat¹, A. Saidi^{1*}, H.A. Ghazvini²

1. Department of Plant Sciences and Biotechnology. Faculty of Life Sciences and Biotechnology. Shahid Beheshti University. Tehran. Iran

2. Department of Cereal Research. Seed and Plant Improvement Institute (SPII). Agricultural Research. Education and Extension Organization (AREEO). Karaj. Iran

Received 27 December 2021; Accepted 2 February 2022

Extended abstract

Introduction

Drought is one of the most important factors limiting the environment for plant growth and productivity, especially in the flowering and filling stages of barley. A study was conducted to compare some statistical methods and different indicators of stress tolerance with the aim of introducing an ideal method for selecting drought tolerant lines. After wheat, barley is one of the most important crops. Barley is the fourth cereal crop in the world after wheat, corn and rice. One of the factors affecting the production of plants is water deficit, and barley has more efficient mechanisms against water shortage than other grains. Because it has higher relative drought tolerance compared to other grains. In these arid and semi-arid regions like Iran, the presence of drought stress during plant growth is a natural problem.

Materials and methods

In this study, 18 diverse barley lines at two water levels (normal conditions and water deficit stress) were examined. This experiment was performed as a randomized complete block design with three replications at the Seed and Plant Improvement Research Institute of Karaj, Iran in 2020. Drought tolerance and susceptibility indices were assessed. These indices included stress sensitivity index, mean productivity, tolerance, stress tolerance index, geometric mean productivity, harmonic mean productivity, performance under stress conditions (Y_s) and normal (Y_p) conditions. Correlation coefficient between yield in drought and irrigation conditions and other stress indicators was estimated according to statistical techniques. Correlation between indices and grain yield under stress and normal conditions was calculated using Minitab software. Selection based on multiple traits in breeding programs is likely to be effective in improving grain yield under drought stress conditions. The purpose of this study is to identify the most suitable indicators and compare different stress tolerance indicators to select high-yielding and drought-tolerant lines and to identify the superior barley line.

Results and discussion

The highest GMP and MP were related to 4 and 13 lines. Based on tolerance index (TOL), genotype 1 had the lowest and line 7 showed the highest level of tolerance, respectively. Based on MP and GMP indices, 4, 7 and 13 lines had high drought tolerance. A high positive and significant correlation was observed between MP, GMP, Y_s , Y_p , which indicates that these indices are suitable for identifying drought tolerant lines. Based on the results of the principal component analysis and the bi-plot diagram, it was observed that the lines tolerant to drought stress are almost consistent with the clustering pattern of tolerant lines and the lines sensitive to drought stress are also consistent with the clustering of sensitive lines. MP and GMP indices are suitable for evaluating drought tolerance because they showed a high correlation with grain yield under normal conditions and under water stress. The closeness of 4

* Corresponding author: Abbas Saidi; E-Mail: abbas.saidi@gmail.com



and 13 lines to GMP, MP, HARM, Ys indicates the tolerance of these lines to drought stress and therefore they can be suggested as drought tolerant lines.

Conclusion

Selection of drought tolerant lines based on a combination of tolerance indices can provide useful criteria for drought tolerance. A high positive and significant correlation was observed between MP, GMP, Ys, Yp, which indicates that these indices are suitable for identifying drought tolerant lines. These results help the modifier to select lines in different environments. Principal component analysis showed that it is important to introduce genotypes with desirable traits such as genotypes with high yield and resistance to drought stress. It is possible to speed up the improvement of new barley cultivars by using stress tolerance indicators by breeders. In general, 4, 7, and 13 lines were drought tolerant and can be used for barley improvement programs. Based on principal component analysis, drought sensitive and tolerant lines were consistent with cluster analysis. Exploiting the results of the present study can help breeders to select and identify genotypes that have relative tolerance to drought stress.

Keywords: Barley, Correlation analysis, Seed yield, Tolerance indices, Water deficit

ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های امیدبخش جو (*Hordeum vulgare* L.)

زهره حاجی‌برات^۱، عباس سعیدی^{۱*}، حبیب‌الله قزوینی^۲

۱. گروه زیست‌فناوری گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	
تجزیه همبستگی	
تنش کم‌آبایی	
تنش کم‌آبایی جو	
شاخص‌های تحمل عملکرد دانه	خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده محیط برای رشد و بهره‌وری گیاه جو است. در این مطالعه، ۱۸ لاین متنوع جو در دو سطح آبیاری (شرایط نرمال و شرایط تنش کم‌آبایی) مورد بررسی قرار گرفتند. این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، ایران در سال ۱۳۹۹ انجام شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی بررسی شدند. این شاخص‌ها شامل شاخص حساسیت به تنش، میانگین بهره‌وری تحمل، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین بهره‌وری هارمونیک، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و نرمال (Yp) بود. بالاترین GMP و MP مربوط به ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۳ بود. بر اساس شاخص تحمل (TOL)، لاین شماره ۱ کمترین و لاین شماره ۷ بیشترین سطح تحمل را به ترتیب نشان دادند. بر اساس شاخص‌های MP و GMP، لاین‌های شماره ۴، ۷ و ۱۳ از تحمل به خشکی بالایی برخوردار بودند. تشابه نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف نشان داد که شاخص MP و GMP به دلیل محاسبه آسان‌تر و دقیق‌تر از سایر آنالیزهای آماری و شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان معیاری تلفیقی برای شناسایی لاین‌های مقاوم به خشکی در جو و طیف وسیعی از محصولات غلات در نظر گرفته شوند.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۱۰/۰۶	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۰/۱۱/۱۳	

مقدمه

یکی از عوامل مؤثر بر تولید گیاهان کمبود آب است که جو نسبت به سایر غلات دارای سازوکارهای کارآمدتری در برابر کمبود آب است. زیرا از تحمل به خشکی نسبی بالاتری در مقایسه با سایر غلات برخوردار است. در این مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، وجود تنش خشکی در طی رشد گیاه امری طبیعی است. از آنجایی که تولید این محصول با تنش خشکی آخر فصل و دمای بالا محدود می‌شود، محققان در پی یافتن ارقامی با پتانسیل عملکردی بالا و خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مناسب برای مقابله با خشکی می‌باشند. تنش خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌های محیطی بوده و از بین تنش‌های موجود، خشکی دومین عامل اصلی

جو بعد از گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی محسوب می‌شود. جو چهارمین محصول غلات در جهان پس از گندم، ذرت و برنج است (FAO, 2020). میزان عملکرد جو در سال ۲۰۲۱ در جهان به میزان ۱۵۷/۱۹ میلیون تن است. سطح زیر کشت جو در ایران در حدود ۱/۷ میلیون هکتار است که سطح زیر کشت در سطح جهان به میزان ۷۰ میلیون هکتار است. جو یکی از غلات مهم در کشورهای در حال توسعه بوده، خصوصاً مناطقی که در معرض خشکی شدید هستند. خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده محیط برای رشد و بهره‌وری گیاه به‌ویژه در مرحله گلدهی و پر شدن دانه جو است.

زراعی مانند عملکرد دانه و پارامترهای مرتبط با آن انتخاب می‌شوند (Hossain et al., 2012). ژنوتیپ‌های گیاهان مقاوم به خشکی که عملکرد و بهره‌وری مطلوب را نشان می‌دهند در شرایط خشکی و آبیاری معمولی بررسی شده‌اند (Haddadin, 2015). ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را می‌توان با دسترس بودن والدین در برنامه‌های اصلاحی برای تحمل به خشکی استفاده کرد (Khokhar et al., 2012)؛ بنابراین، عملکرد و اجزای آن را می‌توان در شرایط تنش و بدون تنش به‌طور مقایسه‌ای آنالیز کرد. در نتیجه می‌توان پیش‌بینی نمود که کدام ژنوتیپ به انواع مختلف تنش متحمل‌تر است (Plaut, 2003). تغییرات عملکرد دانه بین محیط‌های تحت تنش و بدون تنش از طریق مدل‌های ریاضی مقایسه شده است (Rosielle and Hamblin, 1981).

یکی از نگرانی‌های اصلی در میان اصلاح‌کنندگان گیاهی از دست دادن عملکرد تحت شرایط خشکی است؛ بنابراین غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، اصلاح‌کنندگان را ملزم می‌کند تا شاخص‌های خشکی را به‌عنوان معیارهای کیفی خشکی بر اساس کاهش عملکرد در شرایط خشکی نسبت به شرایط عادی در نظر بگیرند (Mitra, 2001). از شاخص‌های انتخابی مختلفی مانند شاخص تحمل (TOL^1)، میانگین بهره‌وری (MP^2)، شاخص حساسیت به تنش (SSI^3)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP^4)، شاخص تحمل به تنش (STI^5)، شاخص پایداری عملکرد (YSI^6) و شاخص عملکرد برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده شده است. این شاخص‌ها برای ارزیابی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر و توانایی‌های بیشتر در تحمل به خشکی اهمیت دارند (Clarke et al., 1992). شاخص‌های STI ، MP و GMP برای شناسایی لاین‌های پیشرفته جو پرمحصول در شرایط عادی و تنش‌زا استفاده شده‌اند. برای اصلاح گندم در شرایط تنش شدید، SSI یک پارامتر مفید شناخته شد، در حالی که MP ، GMP ، STI و TOL در شرایط تنش با شدت کمتر توصیه شده‌اند (Akçura et al., 2011; Amiri et al., 2014).

به‌عنوان یک راه‌حل، برای شناسایی لاین‌های متحمل می‌توان از تکنیک‌های آنالیز چند متغیره مانند آنالیز مؤلفه

کاهش عملکرد بعد از عوامل بیماری‌زا است. یکی از عمده‌ترین مشکلاتی که اصلاح‌گران گیاهی برای برنامه‌های اصلاح محصولات با آن روبرو هستند محدودیت خزانه ژن در محصولات بومی است. مساحت وسیعی از زمین‌های قابل کشت در کشورهای در حال توسعه به کشت جو اختصاص دارد. با این حال، تنش شدید خشکی اغلب بر تولید جو تا سطوح قابل توجهی تأثیر می‌گذارد (Ceccarelli and Grando, 2007).

عملکرد محصولات زراعی می‌تواند به‌شدت توسط خشکی محدود شود. مهم‌ترین محصولات اصلی غلات جهان (مانند برنج، گندم، ذرت و جو) تحت تأثیر بارندگی غیرقابل اطمینان قرار می‌گیرند. دانشمندان گیاهی با آینده‌ای چالش‌برانگیز به دلیل افزایش جمعیت جهانی، همراه با الگوهای بارندگی که به‌طور فزاینده‌ای نامنظم می‌شوند، روبرو هستند (Thornton et al., 2014). خشکی غیرقابل پیش‌بینی، کشاورزی را به حدود یک‌سوم از زمین‌های قابل کشت جهان محدود کرده است (Chaves and Oliveira, 2004). عملکرد به‌طور کلی با سه جزء پتانسیل عملکرد، فنولوژی مناسب و تحمل به خشکی (Ouk et al., 2006) تعریف می‌شود. همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه و دسترسی به آب وجود دارد؛ اما امروزه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با در نظر گرفتن چندین عامل دیگر در کنار شاخص‌های عملکرد انتخاب می‌شوند (Dadbakhsh et al., 2011; Mohammadi et al., 2011).

تحمل به خشکی یک پاسخ ساده نیست بلکه شدت و مدت کمبود آب به بسیاری از واکنش‌های شیمیایی شکل می‌دهد که از نظر بیولوژیکی باهم تعامل دارند و در بین محصولات مختلف متفاوت هستند. علاوه بر این، عوامل محیطی با مکانیسم‌های متعددی بر ویژگی‌های زراعی تأثیر می‌گذارند که در شرایط عادی و تنش، پیامدهای متفاوتی را به دنبال دارد؛ بنابراین، انجام انتخاب بر اساس فنوتیپ اغلب دشوار است (Hittalmani et al., 2003). اصلاح‌گران گیاهی تغییرات ژنتیکی را بررسی کرده و ژنوتیپ‌های متحمل مختلف را تحت شرایط تنش محیطی انتخاب می‌کنند (Haddadin, 2015). ژنوتیپ‌های جو متحمل به خشکی از طریق صفات

⁶ Yield Stability

¹ Tolernace

² Mean Productivity

³ Stress Susceptibility Index

⁴ Geometric Mean Productivity

⁵ Stress Tolerance Index

های بعدی آبیاری جو آبیاری نسبتاً سبک بوده و حدود ۵۰۰ مترمکعب آب در هکتار مصرف گردید. تعداد نوبت‌های آبیاری جو به میزان ۴ یا ۵ نوبت آبیاری بود. به‌طور معمول حجم میزان آب آبیاری حدود ۴۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار بود.

جدول ۱. لیست لاین‌های جو مورد استفاده در مطالعه.

Table 1. List of barley lines used in the study.

Genotype	Origin
G1	Jolge
G2	Bahman/3/MAKOUUEE//ZARJOW/80-5151
G3	ALGER/(CI10117/CHOYO./3/Makouee/4/STB-12
G4	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
G5	ZARJOW/80-5151//Makouee*2
G6	MAKOUUEE/3/ZARJOW/80-5151//Bahman
G7	Radical/Birgit//Pamir-154/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G8	CAL192/ROBUST//ND16301
G9	Radical/Birgit//Pamir-154/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G10	Yousef/4 /82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29
G11	Courlis/Rhn-03//Karooon
G12	Bereke-54/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G13	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
G14	Pamir-147/Sonata/8/Alpha/Durra/7/P101/5/3896/...
G15	Courlis/Rhn-03//Karooon
G16	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Yousef
G17	Sonata/8/Api/CM67//Hma-03/4/Cq/Cm//Apm/3/...
G18	Nadawa/Rhn-03//Birka

به‌منظور تعیین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی عملکرد ژنوتیپ‌ها با شاهد جلگه در ایستگاه کرج، تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله بعد از گلدهی مورد بررسی قرار گرفت. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ارقام و لاین‌های پیشرفته جو ایستگاه‌های سرد کشور در سال قبل با توجه به صفات عملکرد بالا گزینش شده بودند. کرت آزمایشی شامل دو پشته به طول شش متر بود. پهنای هر پشته برابر ۰/۶۰ متر و عرض هر کرت برابر ۱/۲۰ متر بود.

اصلی (PCA^۷) بهره جست (Kaspar et al., 2004). در این نوع تکنیک‌ها، متغیرهایی که به‌شدت با یکدیگر همبستگی دارند گروه‌بندی می‌شوند و سپس گروه‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل برای تحلیل رگرسیون استفاده می‌شوند. روابط بین ساختار و عملکرد بسیاری از جنبه‌های محصولات را می‌توان با استفاده از این روش بهتر درک کرد (Tousi Mojarad et al., 2005). به‌منظور غربال‌گری ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در گندم نان، شاخص تحمل به تنش (STS^۸) می‌تواند به‌طور مؤثر به‌عنوان یک معیار یکپارچه برای انتخاب ژنوتیپ‌ها استفاده شود (Abdolshahi et al., 2013). همچنین شاخص STS به‌عنوان ابزار غربالگری که می‌تواند ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی را به‌طور مؤثر شناسایی کند، توصیه شده است (Abdolshahi et al., 2013). انتخابی که بر اساس صفات چندگانه در برنامه‌های اصلاحی باشد، احتمالاً در بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی مؤثر است. این مطالعه باهدف شناسایی مناسب‌ترین شاخص‌ها و مقایسه بین شاخص‌های مختلف تحمل به تنش برای انتخاب لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی و شناسایی لاین برتر جو است.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش ۱۸ لاین جو که لاین‌ها از مواد اصلاحی بخش تحقیقات غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر هستند و از طریق برنامه‌های دورگ‌گیری جو در این بخش تولید شده‌اند. این لاین‌ها با قابلیت‌های مختلف تحمل به خشکی در سال زراعی ۱۳۹۸ در شرایط مزرعه کشت شدند. این لاین‌ها از نظر سازگاری با اقلیم و تحمل به خشکی متفاوت بوده و به‌طور گسترده در شرایط مختلف آب‌وهوای ایران کشت می‌شوند (جدول ۱). این آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار و در مزارع تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج و میانگین سالیانه بارندگی به میزان ۲۵۰ میلی‌متر، با طول جغرافیایی ۵۰° 54' E و عرض جغرافیایی ۳۵° 55' N و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۲/۵ متر انجام شد.

آبیاری ژنوتیپ‌ها از نوع نشتی و فارویی بود. در اولین نوبت آبیاری (خاک‌آب) و اولین آب بهاره آبیاری سنگین بوده و حدود ۱۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار مصرف شد. در نوبت

⁷ Principal Component Analysis

² Stress tolerance score equation

(Schneider et al., 1997)

$$YSI = Y_s/Y_p \quad [۶]$$

(Bousslama and Schapaugh, 1984)

$$RDI = [Y_s/Y_p] / [\bar{Y}_s/\bar{Y}_p] \quad [۷]$$

(Fischer and Wood, 1979)

$$RR = ((Y_p - Y_s) / Y_p) \times 10 \quad [۸]$$

(Chaves et al., 2003)

$$SSPI = [(Y_p - Y_s) / 2\bar{Y}_p] \times 100 \quad [۹]$$

(Moosavi et al., 2008)

$$ATI = [Y_p - Y_s] / [Y_p - \bar{Y}_s] \times \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad [۱۰]$$

(Moosavi et al., 2008)

$$DSI = [1 - Y_s/Y_p] / [1 - \bar{Y}_s/\bar{Y}_p] \quad [۱۱]$$

(Um et al., 2018)

که در این معادله‌ها، Y_p : متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها مورد نظر در شرایط بدون تنش، Y_s : متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها مورد نظر در شرایط تنش، \bar{Y}_p : متوسط عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و \bar{Y}_s : متوسط عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش هستند.

عملکرد دانه تحت شرایط تنش و نرمال یادداشت برداری و از میانگین داده‌ها برای محاسبه ضریب همبستگی و شاخص‌های تحمل و حساسیت استفاده شد. شاخص‌های تنش STI، GMP و MP به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی شناخته شده‌اند (Ilker et al., 2011). شاخص مقدار HARM، میانگین هارمونیک بهره‌وری بیانگر تحمل به تنش زیاد و پتانسیل عملکرد بالا است.

تجزیه‌های آماری

محاسبه داده‌ها شامل مؤلفه‌های اصلی و دیگر پارامترهای مرتبط با تنش خشکی با استفاده از نرم‌افزار Minitab v.16 انجام شد. خوشه‌بندی لاین‌ها بر اساس ضریب فاصله مربع اقلیدسی و به روش Ward با استفاده از میانگین شاخص‌های تحمل به تنش شامل Y_s ، STI، GMP، MP، Y_p ، HARM، SSPI، SNPI، DSI، ATI، RR، TOL و RDI انجام گردید. در این مطالعه جهت تفکیک و گروه‌بندی نمودار خوشه‌ای، مکان خط برش با استفاده از روش جذرگیری به روش $\frac{\sqrt{N}}{2}$ مشخص گردید (Ramezani et al., 2008). ضریب همبستگی در میان عملکرد در شرایط خشکی و آبیاری و دیگر شاخص‌های تنش مطابق با تکنیک‌های آماری تخمین زده شد. همبستگی میان شاخص‌ها و عملکرد دانه تحت

مساحت کاشت ۷/۲۰ مترمربع بود که پس از حذف نیم متر از بالا و پایین هر کرت مساحت برداشت هر کرت ۶/۰۰ مترمربع گردید. میزان بذر بر اساس ۴۰۰ دانه در هر مترمربع منظور شد و توزین بذر لازم برای کاشت در هر کرت با توجه به وزن هزار دانه ارقام انجام گردید. قبل از کاشت ضدعفونی بذور با سم ایپیرییدیون+کارباندازیم که کنترل مؤثری بر روی بیماری‌های جو دارد انجام گردید. تعداد دفعات آبیاری مطابق نیاز گیاه و با توجه به شرایط محیطی ایستگاه کرج انجام شد. برای به دست آوردن حداکثر عملکرد بالقوه ژنوتیپ‌های آزمایشی مصرف کود برای زراعت بر اساس آزمایش خاک مزرعه آزمایشی توسط آزمایشگاه خاکشناسی تعیین گردید. بر همین اساس میزان ۱۲۰ کیلوگرم فسفات آمونیم و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم هنگام کاشت و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در دو نوبت (۱۰۰ کیلوگرم هنگام کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم به‌صورت سرک) انجام گردید. برای مبارزه با علف‌های هرز نازک برگ از سم علف‌کش پوما اکسترا به میزان ۱/۲ لیتر در هکتار و برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ از سم گرانستار به میزان ۲۰ گرم در هکتار به‌صورت مخلوط در ابتدای مرحله ساقه‌دهی (ZGS 31) (مرحله رشدی ۳۱ در مقیاس زادوکس، Zadox) استفاده شد. مزرعه آزمایش در سال قبل از کاشت آیش بوده و عملیات تهیه زمین به‌طور معمول قبل از کاشت آزمایش انجام شد.

در پایان سال زراعی و بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی کلیه ژنوتیپ‌ها محصول کرت‌های آزمایشی توسط کمباین آزمایشی وینتراشتاگر (Research plot harvester) Classic ST 2015, WINTERSTEIGER AG, Austria) به‌طور جداگانه برداشت و با ترازوی دقیق توزین شده و عملکرد هر کرت تبدیل به واحد تن در هکتار شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات ایستگاه کرج محاسبات آماری آزمایش انجام شد. پس از برداشت، عملکرد دانه مربوط به هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد. شاخص‌های مربوط به تحمل یا حساسیت به خشکی با معادلات زیر محاسبه گردید. شاخص‌های تحمل به خشکی و فرمول‌های مرتبط با شاخص‌های تحمل به خشکی در زیر آورده شده است.

$$TOL = Y_p - Y_s \quad \text{(Hossain et al., 1990)} \quad [۱]$$

$$GMP = (Y_p - Y_s)0.5 \quad \text{(Fernandez, 1992)} \quad [۲]$$

$$STI = (Y_s + Y_p) / (\bar{Y}_p)2 \quad \text{(Fernandez, 1992)} \quad [۳]$$

$$MP = (Y_s + Y_p) / 2 \quad \text{(Hossain et al., 1990)} \quad [۴]$$

$$HARM = 2(Y_p \times Y_s) / (Y_p + Y_s) \quad [۵]$$

مطالعات قبلی در مورد گندم نان مطابقت داشت (Dadbakhsh et al., 2011; Mohammadi et al., 2011). همچنین سایر محققین GMP، STI و HARM را به‌عنوان شاخص‌های مناسب به‌منظور غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Jafari et al., 2012). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که شاخص SSI برای بررسی ژنوتیپ‌های متحمل بارز است (Mardeh et al., 2006). آنالیز هم‌زمان چندین پارامتر به‌منظور افزایش دقت و صحت در انتخاب مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها انجام شده است و رتبه‌بندی یکی از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از آنالیز چند متغیره در ارزیابی ژنوتیپ‌ها است (Zeng et al., 2002). اصلاح‌کنندگان نباتات باید اطمینان حاصل کنند که شاخص‌های تحمل به تنش مبتنی بر عملکرد می‌توانند به‌طور دقیق ژنوتیپ‌هایی را انتخاب کنند که نه تنها عملکرد بالایی داشته، بلکه همچنین با عملکرد نسبتاً ثابتی برای کشت در شرایط تنش‌زا مورد استفاده قرار گیرند (Bahrami et al., 2020). محققین از شاخص تحمل به تنش (STS) برای شناسایی ارقام مقاوم به خشکی در گندم استفاده نموده‌اند (Abdolshahi et al., 2013; Sardouie et al., 2014). آنالیز تجزیه واریانس لاین‌ها نشان داد که تیمارهای ژنوتیپ و کم‌آبیاری و اثر متقابل ژنوتیپ با کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، اثر متقابل ژنوتیپ و شرایط نرمال نشان داد که در شرایط نرمال لاین‌های ۱۳ و ۴ بیشترین عملکرد دانه به ترتیب (۷/۵۰ تن در هکتار) و (۷/۴۶ تن در هکتار) را داشت. همچنین لاین ۱۰ کمترین عملکرد دانه با میزان ۵/۱۲ تن در هکتار نشان داد. بر اساس شرایط تنش کم‌آبیاری، لاین ۷ با (۴/۰۷ تن در هکتار) بیشترین عملکرد دانه داشت و همچنین کمترین عملکرد دانه مربوط به لاین ۸ (۲/۶۵ تن در هکتار) بود (جدول ۴).

تجزیه همبستگی و تجزیه کلاستر

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward برای لاین‌های جو بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در شکل (۱) آورده شده است. ژنوتیپ‌های مورد بررسی به سه کلاستر تقسیم شدند. کلاستر اول، دوم، سوم به ترتیب شامل ۸، ۸ و ۲ لاین جو بود. متحمل‌ترین لاین‌ها در کلاستر اول قرار

شرایط تنش و نرمال با استفاده از نرم‌افزار Minitab محاسبه شد.

نتایج و بحث

در مطالعه حاضر، عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) و تنش (Ys) و شاخص‌های پایداری تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۲). مقادیر محاسبه‌شده برای شاخص‌ها با توجه به کلیه ژنوتیپ‌ها در جدول ۳ آورده شده است. میانگین شاخص Yp، Ys و ATIS به ترتیب ۶/۵۴ و ۵/۳۴ و ۰/۰۲ بود. شاخص‌های دیگر از جمله TOL و MP به ترتیب ۱/۲۱ و ۵/۹۴ برآورد گردید. همچنین شاخص GMP و SSPI به ترتیب با میانگین ۵/۹۲ و ۰/۰۰۹ اندازه‌گیری شد. میانگین HARM به میزان (۲/۹۳) و RDI (۱/۰۰۴)، DSI (۰/۹۸) و RR (۱۸/۱۳) تعیین گردید. بالاترین GMP و MP مربوط به ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۳ بود. بر اساس شاخص تحمل (TOL)، ژنوتیپ ۱ کمترین و ژنوتیپ ۷ بیشترین سطح تحمل را به ترتیب نشان دادند. بالاترین سطح HARM مربوط به ژنوتیپ ۴ بود. شاخص‌های MP و GMP نشان دادند که ژنوتیپ‌های ۴، ۷ و ۱۳ از تحمل به خشکی بالایی برخوردار بودند. شاخص TOL نشان داد که ژنوتیپ ۷ بهترین لاین در شرایط تنش کم‌آبیاری و شرایط نرمال بود (جدول ۲). از نظر حساسیت به تنش (SSPIS) و شاخص نسبی خشکی (RDI) ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۷ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. لاین‌های ۴ و ۱۳ برای شاخص تحمل به استرس غیرزیستی (ATI) و درصد شاخص حساسیت به استرس (SSPI) مقدار را در بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص دادند و پایین‌ترین میزان ATI و SSPIS مربوط به لاین‌های ۷ و ۱۲ بود.

نتایج ما نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI، شاخص‌های مناسبی برای بررسی تحمل به تنش در ژنوتیپ‌های جو است. بر اساس نتایج مطالعه‌ای نشان داده شد که مقادیر MP، GMP و STI پارامترهای مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های گندم با بازده بالا در شرایط تنش و نرمال می‌باشند (Ikler et al., 2011; Patel et al., 2019).

با توجه به شاخص مقاومت به خشکی (RDI)، لاین‌های ۵، ۷ و ۱۳ از تحمل به خشکی بالاتری برخوردار بودند. کمترین میزان کاهش نسبی عملکرد (RR) مربوط به لاین‌های ۷ و ۱۲ بود. شاخص میزان کاهش نسبی عملکرد (RR) و مقادیر TOL و SSPI شاخص‌های مناسبی برای تعیین سطح تحمل به خشکی هستند. نتایج این مطالعه با نتایج

داشتند. لاین‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۷، ۱۳، ۱۷ و ۱۸ از نظر شاخص-
های تحمل GMP، MP، TOL و RR متحمل به خشکی
بودند.

جدول ۲. میزان شاخص‌های تحمل به تنش مورد استفاده در ارزیابی لاین‌های امیدبخش جو.

Table 2. The amount of stress tolerance indices used in the evaluation of promising barley lines.

ژنوتیپ Genotype	عملکرد تحت شرایط نرمال (Yp)	عملکرد تحت شرایط خشکی (Ys)	درصد کاهش (RR)	شاخص تحمل (TOL)	میانگین بهره‌وری (MP)	شاخص تحمل به تنش (STI)
G1	7.34	4.74	35.43	2.6	6.04	8E-07
G2	7	5.41	22.78	1.59	6.2	9E-07
G3	7.08	5.4	23.76	1.68	6.24	9E-07
G4	7.78	6.13	21.14	1.64	6.96	1E-06
G5	6.07	5.17	14.74	0.89	5.62	7E-07
G6	6.32	5.47	13.53	0.86	5.89	8E-07
G7	6.4	6.79	-6.08	-0.39	6.59	1E-06
G8	5.93	4.42	25.47	1.51	5.18	6E-07
G9	6.40	5.6	12.58	0.81	6	8E-07
G10	5.16	4.34	15.82	0.82	4.75	5E-07
G11	7	5.7	18.57	1.3	6.35	9E-07
G12	5.79	5.49	5.182	0.3	5.64	7E-07
G13	7.48	5.93	20.71	1.55	6.71	1E-06
G14	6.49	5.22	19.52	1.27	5.86	8E-07
G15	6.20	5.06	18.44	1.14	5.63	7E-07
G16	6.43	5.67	11.84	0.76	6.05	9E-07
G17	5.92	4.18	29.39	1.74	5.05	6E-07
G18	7.02	5.37	23.58	1.66	6.19	9E-07
Mean	6.546	5.34	18.13	1.21	5.94	8E-07

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

ژنوتیپ Genotype	میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)	میانگین هارمونیک (HARM)	شاخص عملکرد بدون تنش (RDI)	شاخص حساسیت به خشکی (DSI)	شاخص تحمل (ATI)	شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPIS)
G1	5.89	2.87	0.79	1.92	0.05	0.02
G2	6.15	3.05	0.95	1.23	0.03	0.01
G3	6.18	3.06	0.94	1.29	0.04	0.01
G4	6.90	3.42	0.97	1.15	0.04	0.01
G5	5.60	2.79	1.05	0.8	0.02	0.01
G6	5.87	2.93	1.06	0.73	0.02	0.01
G7	6.59	3.29	1.30	-0.33	-0.01	-0.01
G8	5.12	2.53	0.91	1.38	0.03	0.01
G9	5.98	2.99	1.07	0.68	0.02	0.01
G10	4.73	2.36	1.03	0.86	0.01	0.01
G11	6.32	3.14	0.99	1.01	0.03	0.01
G12	5.63	2.82	1.16	0.28	0.01	0.01
G13	6.66	3.31	0.97	1.12	0.04	0.01
G14	5.82	2.89	0.99	1.06	0.03	0.01
G15	5.60	2.78	1.0	1.0	0.02	0.01
G16	6.03	3.01	1.08	0.64	0.02	0.01
G17	4.97	2.45	0.87	1.59	0.03	0.01
G18	6.14	3.04	0.94	1.28	0.03	0.01
Mean	5.902624	2.9319	1.004	0.98	0.0247	0.0092

جدول ۳. تجزیه واریانس برای صفت عملکرد دانه در ۱۸ لاین جو.

Table 3: Analysis of variance for traits of seed yield in 18 barley genotypes

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی Df	میانگین مربعات MS
Genotype (G)	ژنوتیپ	17	1.101**
Treatment (T)	تیمار	1	295.55**
Rep	تکرار	2	0.046
G*T	ژنوتیپ * تیمار	17	0.501**
Error	خطا	70	0.152
CV%	ضریب تغییرات		10.1

** و * به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اختلاف معنی‌دار دارند. ns اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

** , * and ns show significance difference at the level of 1 and 5% and non-significance, respectively.

لاین‌های ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ در کلاستر دوم قرار داشتند و از نظر این شاخص‌ها، حساس به خشکی بودند. لاین‌های ۷ و ۱۲ جزو لاین‌های نیمه متحمل بوده که در کلاستر سوم جای گرفتند. اخیراً مقاومت یا تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی لاین‌ها یا ژنوتیپ‌ها یکی از اهداف اصلی اصلاحگران گیاهی به شمار می‌رود. تنش خشکی یکی از رایج‌ترین تنش‌ها برای کاهش عملکرد محصولات زراعی است (Chaves et al., 2003). ژنوتیپ‌ها از نظر حساسیت به تنش خشکی به دو گروه متحمل یا حساس طبقه‌بندی می‌شوند (Cabello et al., 2013). برای انتخاب ژنوتیپ متحمل از ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و نرمال (Ys و Yp) استفاده می‌شود. برای بررسی لاین‌های متحمل به خشکی در جو، شاخصی که همبستگی معنی‌دار و بالا با عملکرد دارد به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شود (Mitra, 2001).

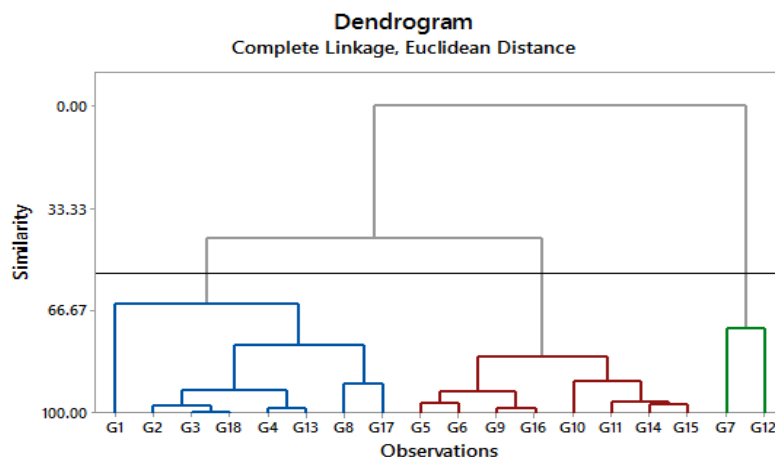
جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و تنش کم‌آبی بر صفت عملکرد دانه جو

Table 4. Interaction effect of genotype and water deficit on measured barley traits

ژنوتیپ Genotype	تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	عملکرد دانه Seed yield (t.ha ⁻¹)	ژنوتیپ Genotype	تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	عملکرد دانه Seed yield (t.ha ⁻¹)
1	آبیاری مطلوب	7.20 ^{ab}	1	تنش آبی	2.84 ^h
2	Optimal irrigation	6.95 ^{a-d}	2	Water Deficit	3.24 ^g
3		6.99 ^{a-d}	3		3.24 ^g
4		7.46 ^a	4		3.68 ^g
5		6.10 ^{b-e}	5		3.10 ^g
6		6.27 ^{a-d}	6		3.28 ^g
7		6.40 ^{a-d}	7		4.07 ^{fg}
8		5.92 ^{c-e}	8		2.65 ^h
9		6.41 ^{a-d}	9		3.36 ^g
10		5.12 ^{ef}	10		2.60 ^h
11		7.0 ^{a-d}	11		3.42 ^g
12		5.80 ^{de}	12		3.29 ^g
13		7.50 ^a	13		3.56 ^g
14		6.41 ^{a-d}	14		3.13 ^g
15		6.30 ^{a-d}	15		2.74 ^h
16		6.50 ^{a-d}	16		3.29 ^g
17		5.95 ^{b-e}	17		3.24 ^g
18		7.10 ^{a-c}	18		3.05 ^g

میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $\alpha=5\%$ probability level.



شکل ۱. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward برای لاین‌های جو بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی.
 Fig. 1. Dendrogram obtained from Ward method for barley lines based on drought tolerance indice

برخی از اصلاحگران برای شناسایی لاین‌های متحمل و حساس به تنش خشکی استفاده می‌گردد (Mardeh et al., 2006; Allet et al., 2019)؛ بنابراین با توجه به نتایج همبستگی بین شاخص‌ها، MP، GMP و RR به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها جهت شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی و نیز در بین لاین‌های مورد مطالعه، لاین‌های ۷ و ۱۳ به‌عنوان لاین‌های متحمل به شرایط کم‌آبایی معرفی می‌شوند.

ارتباط بین شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در بای-پلات با دو مؤلفه اول در شکل ۲ آورده شده است. مؤلفه‌های اول و دوم در مجموع ۹۹ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند (جدول ۶).

در نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آن‌ها به تنش خشکی است بر اساس نتایج مؤلفه اول درصد بالای (۵۴ درصد) از تغییرات را توجیه می‌نماید. این مؤلفه همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی را با عملکرد در شرایط تنش (Ys) و همچنین شاخص‌های مرتبط با عملکرد STI، HARM، MP، STI و GMP دارد و بنابراین، این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه اصلی عملکرد در شرایط تنش کم‌آبایی پیشنهاد می‌شود و می‌تواند ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و متحمل به تنش کم‌آبایی را از ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین و حساس جداسازی نماید. ژنوتیپ‌های متحمل معمولاً دارای مقدار STI و TOL پایین می‌باشند. دومین مؤلفه (PC2) دارای ۴۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را به خود اختصاص داد. در یک پژوهشی با استفاده از تجزیه مؤلفه اصلی، دو مؤلفه اصلی

برای تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی، ضریب همبستگی بین Ys، Yp و دیگر شاخص‌های کمی و یا به‌عبارت‌دیگر، آنالیز همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی می‌تواند معیار خوبی برای غربالگری بهترین لاین‌ها و شاخص‌های مورد استفاده باشد (جدول ۵). شاخص Ys با MP، GMP، STI، HARM و RDI همبستگی معنی‌دار و مثبتی نشان داد (جدول ۵). بالاترین همبستگی مثبت بین DSI و RR، بین STI و GMP، بین HARM و GMP و همچنین بین TOL و SSPIS و بیشترین همبستگی منفی بین RR و RDI و همچنین DSI و RDI مشاهده شد. همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین Yp و Ys مشاهده شد. همچنین همبستگی بالا و معنی‌داری بین MP با Yp و Ys مشاهده شد. شاخص Ys با TOL، RR و DIS همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. شاخص Yp با ATI، TOL، MP، STI، GMP، SSPIS و HARM همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بر اساس یک مطالعه، شاخص STI شاخص مناسبی برای بررسی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناخته شد (Farshadfar et al., 2018; Bihamta et al., 2018).

بر اساس شاخص‌های MP، GMP، Yp، Ys، SSPI، SNPI، HARM و RDI، لاین‌های ۴، ۷ و ۱۳ متحمل‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی شناسایی شدند. درحالی‌که لاین‌های ۱۰ و ۱۷ کمترین مقدار برای این شاخص‌ها را نشان دادند. لاین‌های دیگر به‌عنوان نیمه متحمل یا نیمه حساس به تنش خشکی شناخته شدند (جدول ۴). شاخص SSPIS توسط

بررسی شدند که مؤلفه اول ۸۱ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد و با همدیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و شاخص‌های Y_p ، STI ، MP و Y_s مؤلفه مرتبط با عملکرد و تحمل به خشکی را شامل شد. مؤلفه دوم حدود ۱۴ درصد از تغییرات کل را تفسیر کرد (Lipkovich and Smith, 2002).

جدول ۵. ضریب همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی در میان ۱۸ لاین جو.

Table 5. The correlation coefficients of drought tolerance indices among 18 barley lines

Correlation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Y_p	1											
2 Y_s	0.50*	1										
3 RR	0.35	-0.63**	1									
4 TOL	0.53*	-0.468	0.978**	1								
5 MP	0.87**	0.862**	-0.151	0.045	1							
6 STI	0.84**	0.885**	-0.201	-0.007	0.997**	1						
7 GMP	0.85**	0.887**	-0.201	-0.007	0.998**	0.998**	1					
8 HARM	0.817*	0.908**	-0.25	-0.058	0.993**	0.997**	0.998**	1				
9 RDI	-0.349	0.631**	-1.00**	-0.978**	0.151	0.201	0.201	0.25	1			
10 DSI	0.349	-0.63**	1.00**	0.978**	-0.151	-0.201	-0.201	-0.25	-1.00**	1		
11 ATIS	0.660**	-0.312	0.926**	0.982**	0.212	0.162	0.162	0.114	-0.926**	0.926**	1	
12 SSPIS	0.527*	-0.468	0.978**	1.000**	0.045	-0.007	-0.007	-0.058	-0.978**	0.978**	0.982**	1

Y_p : عملکرد تحت شرایط نرمال؛ Y_s : عملکرد تحت شرایط خشکی؛ RR: درصد کاهش؛ TOL: شاخص تحمل؛ MP: میانگین بهره‌وری؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ GMP: میانگین هندسی بهره‌وری؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ RDI: شاخص عملکرد بدون تنش؛ DSI: شاخص حساسیت به خشکی؛ ATIS: شاخص تحمل به تنش غیرزیستی؛ SSPIS: شاخص درصد حساسیت به تنش.

Y_p : Yield under normal conditions; Y_s : Yield under drought conditions; RR: Relative Reduction; TOL: tolerance index MP: Mean Productivity; STI: stress tolerance index GMP: geometric mean productivity HARM: harmonic mean RDI: Stress Non-stress Production Index; DSI: Drought Susceptibility Index; ATIS: Abiotic Tolerance Index; SSPIS: Stress Susceptibility Percentage Index

خوشه‌بندی لاین‌های متحمل تقریباً مطابقت دارد و لاین‌های حساس به تنش خشکی نیز با خوشه‌بندی لاین‌های حساس تطابق دارد. شاخص‌های MP و GMP برای ارزیابی تحمل به خشکی مناسب می‌باشند زیرا همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش کم‌آبایی از خود نشان دادند.

نتیجه‌گیری نهایی

انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی بر اساس ترکیبی از شاخص‌های تحمل می‌تواند معیارهای مفیدی برای تحمل به خشکی جو فراهم کند. همبستگی بالای مثبت و معنی‌داری بین Y_p ، Y_s ، GMP ، MP مشاهده شد که نشان‌دهنده این است که این شاخص‌ها برای شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی مناسب هستند. این نتایج به اصلاحگر برای انتخاب لاین‌ها در محیط‌های مختلف کمک می‌نماید. تجزیه مؤلفه اصلی نشان داد که برای معرفی ژنوتیپ‌هایی با صفات مطلوب مانند ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و مقاوم در برابر تنش خشکی کاربرد مهمی دارد. سرعت بخشیدن به اصلاح ارقام جدید جو با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش توسط اصلاحگران امکان‌پذیر است. به‌طور کلی لاین‌های ۴ و ۷ و ۱۳ متحمل به خشکی بودند و می‌توان برای برنامه‌های اصلاحی جو استفاده

به‌طور کلی می‌توان این نوع از توزیع ژنوتیپ‌ها در نمودار بای‌پلات را مرتبط با وجود تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت داد. عملکرد در شرایط تنش (Y_s) با بیشتر شاخص‌های تحمل به خشکی همبستگی بالایی نشان داد ولی با شاخص $ATIS$ همبستگی منفی نشان داد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین بر اساس روش ترسیم بای‌پلات گزارش شده است (Hajibar et al., 2020; Nouri et al., 2011; Safari et al., 2019). توزیع لاین‌ها بر روی نمودار بای‌پلات‌ها نشان‌دهنده وجود تنوع در پاسخ به تنش خشکی بین لاین‌ها بود (شکل ۲). زوایای تند شاخص‌ها نسبت به هم در نمودار بای‌پلات $ATIS$ ، RR ، DSI ، $SSPIS$ ، TOL نشان‌دهنده همبستگی بالای این شاخص‌ها بود. همچنین زوایای تند بین MP ، GMP ، $HARM$ ، Y_s نیز نشان‌دهنده همبستگی بالا بین شاخص‌ها است. این شاخص‌ها را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های تحمل به خشکی معرفی نمود. نزدیکی لاین‌های ۴ و ۱۳ به شاخص‌های GMP ، MP ، $HARM$ ، Y_s حاکی از تحمل این لاین‌ها به تنش خشکی است و لذا می‌توان آن‌ها را به‌عنوان لاین‌های متحمل به خشکی پیشنهاد داد. بر اساس مطابقت نتایج حاصل از تجزیه مؤلفه اصلی و نمودار بای‌پلات مشاهده شد که لاین‌های متحمل به تنش خشکی با الگوی

شوند. بر اساس تجزیه مؤلفه‌های اصلی لاین‌های حساس و شناسایی ژنوتیپ‌هایی که تحمل نسبی در برابر تنش خشکی متحمل به خشکی با آنالیز تجزیه خوشه‌ای مطابقت نشان داد. داشته‌اند را برای اصلاح‌گران فراهم کند. بهره‌برداری از نتایج مطالعه حاضر می‌تواند کمک به انتخاب و

جدول ۶. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های جو

Table 6. The results of principal components analysis for drought tolerance indices in barley lines

مؤلفه‌ها Component	مؤلفه اول PC1	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه چهارم PC4	مؤلفه پنجم PC5	مؤلفه ششم PC 6
Eigenvalue	6.5237	5.4558	0.0124	0.0055	0.0026	0.0000
Proportion	0.544	0.455	0.001	0.000	0.000	0.000
Cumulative	0.544	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000
Yp	0.025228	0.53728	0.38788	-0.21794	-5.88E-05	1.13E-01
Ys	-0.044065	0.42715	-0.40247	-0.37364	0.028327	1.15E-01
RR	0.99461	0.01001	-0.08596	-0.01312	0.001294	1.38E-04
TOL	0.069293	0.11013	0.79035	0.1557	-0.02839	-2.00E-03
MP	-0.009418	0.48221	-0.0073	-0.29579	0.014135	1.14E-01
STI	-3.38E-09	1.30E-07	-7.24E-08	6.92E-08	3.23E-05	-1.73E-05
GMP	-0.012508	0.47764	-0.16928	0.51783	-1.64E-03	-6.89E-01
HARM	-0.00777	0.23656	-0.16225	0.65377	-8.15E-02	6.95E-01
RDI	-0.012196	-0.0001	0.001054	0.000161	-1.59E-05	-8.43E-07
DSI	0.053921	0.00054	-0.00466	-0.00071	7.05E-05	7.27E-06
ATIS	0.0014113	0.00432	0.020659	0.073645	0.99576	5.09E-02
SSPIS	0.0005293	0.00084	0.006037	0.001189	-2.16E-04	-1.31E-05

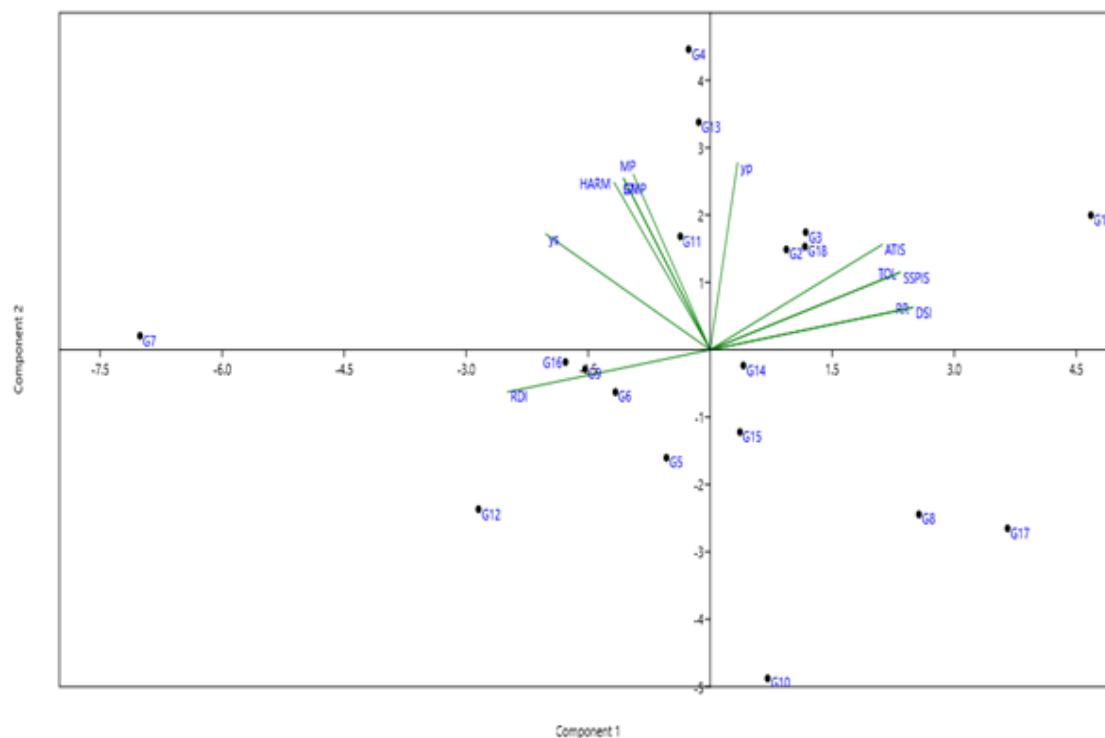
Table 6. Continued

جدول ۶. ادامه

مؤلفه‌ها Component	مؤلفه هفتم PC7	مؤلفه هشتم PC8	مؤلفه نهم PC9	مؤلفه دهم PC10	مؤلفه یازدهم PC11	مؤلفه دوازدهم PC12
Eigenvalue	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
Proportion	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.0000
Cumulative	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Yp	-3.99E-02	1.46E-01	-5.79E-01	3.35E-01	-1.34E-01	1.09E-01
Ys	6.77E-03	-3.92E-01	3.87E-01	4.03E-01	-1.02E-03	-1.87E-01
RR	-5.37E-03	-7.97E-03	1.28E-03	-1.30E-02	-5.24E-02	-8.63E-03
TOL	2.36E-02	-2.67E-01	4.81E-01	3.37E-02	6.72E-02	-1.55E-01
MP	3.32E-02	2.45E-01	1.92E-01	-7.38E-01	1.35E-01	7.74E-02
STI	9.91E-01	2.63E-02	-9.61E-03	3.24E-02	-1.19E-01	3.14E-02
GMP	-1.20E-05	-4.89E-07	-2.12E-07	9.83E-07	5.83E-07	1.07E-06
HARM	1.46E-05	5.73E-07	1.86E-07	-9.31E-07	-8.54E-07	-9.40E-07
RDI	-7.57E-02	7.21E-01	4.65E-01	2.91E-01	-4.09E-01	7.59E-02
DSI	8.19E-02	3.10E-01	8.15E-02	3.06E-01	8.73E-01	1.76E-01
ATIS	-3.11E-05	-1.00E-06	3.94E-07	-7.72E-07	3.49E-06	-1.77E-06
SSPIS	-3.52E-02	-2.76E-01	1.55E-01	2.53E-02	-1.12E-01	9.41E-01

Eigenvalue: مقدار ویژه؛ Proportion: نسبت؛ Cumulative: تجمعی؛ Yp: عملکرد تحت شرایط نرمال؛ Ys: عملکرد تحت شرایط خشکی؛ RR: درصد کاهش؛ TOL: شاخص تحمل؛ MP: میانگین بهره‌وری؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ GMP: میانگین هندسی بهره‌وری؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ RDI: شاخص عملکرد بدون تنش؛ DSI: شاخص حساسیت به خشکی؛ ATIS: شاخص تحمل به تنش غیرزیستی؛ SSPIS: شاخص درصد حساسیت به تنش

Yp: Yield under normal conditions; Ys: Yield under drought conditions; RR: Relative Reduction; TOL: tolerance index MP: Mean Productivity; STI: stress tolerance index GMP: geometric mean productivity HARM: harmonic mean RDI: Stress Non - stress Production Index; DSI: Drought Susceptibility Index; ATIS: Abiotic Tolerance Index ; SSPIS: Stress Susceptibility Percentage Index



شکل ۲. آنالیز بای‌پلات تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای لاین‌های جو و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی.

Fig. 2. Biplot analysis of PCA for barley lines and tolerant indices in drought stress

منابع

- Allel, D., BenAmar, A., Badri, M., Abdelly, C., 2019. Evaluation of salinity tolerance indices in North African barley accessions at reproductive stage. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 55, 61-69.
- Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 59, 685-704.
- Akçura, M., Partigoç, F., Kaya, Y., 2011. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in Turkish bread wheat landraces. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 21, 700-709.
- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S., Ghobadi, M., 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20, 101-111.
- Bahrami, F., Arzani, A., Rahimmalek, M., 2021. A novel tolerance index to identify heat tolerance in cultivated and wild barley genotypes. *bioRxiv*. 2020-05.
- Bihamta, M., Shirkavand, M., Hasanpour, J., Afzalifar, A., 2018. Evaluation of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*. 9, 119-136. (In Persian)
- Bousslama, M., Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop Science*. 24, 933-937. <http://doi.org/10.2135/cropsci1984.001118x002400050026x>.
- Cabello, R., Monneveux, P., De Mendiburu, F., Bonierbale, M., 2013. Comparison of yield-based drought tolerance indices in improved cultivars, genetic stocks, and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Euphytica*. 193, 147-156. <http://doi.org/10.1007/s10681-013-0887-1>.
- Ceccarelli, S., Grando, S., 2007. Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica*. 155, 349-360.
- Chaves, M.M., Oliveira, M.M., 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving

- agriculture. *Journal of Experimental Botany*. 55, 2365–2384.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. *Function Plant Biology*. 30, 239-264. <http://doi.org/10.1071/FP02076>.
- Clarke, J.M., DePauw, R.M., Townley-Smith, T.F., 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science*. 32, 723–728.
- Dadbakhsh, A., Sepas, A.Y., Aminzadeh, G., Hasanpanah, D., Mollasadeghi, V., 2011. Evaluation of drought tolerance indices for screening bread wheat genotypes in end-season drought stress conditions. *Advance Environment Biology*. 5, 1040–1045.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M., Safavi, S. M., 2018. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1, 143-158
- Fernandez, G.C.J., 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. Shanhu. Taiwan. 257–270.
- Fischer, R.A., Wood, J.T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars: III. Yield association with morphophysiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*. 30, 1001-1020.
- Haddadin, M.A., 2015. Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 5, 131-137.
- Hajibarat, Z., Saidi, A., Mosuapour Gorji, A., Ghaffari, M.R., Zeinalabedini, M., 2020. Evaluation of Drought Tolerance of Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Under Water Deficit. *Journal of Crop Breeding*. 12, 102-112. (In Persian)
- Hittalmani, S., Huang, N., Courtois, B., Venuprasad, R., Shashidhar, H.E., Zhuang, J.Y., Zheng, K.L., Liu, G.F. Wang, G.C., Sidhu, J.S., Srivantaneeyakul, S., 2003. Identification of QTL for growth-and grain yield-related traits in rice across nine locations of Asia. *Theoretical and Applied Genetics*. 107, 679-90.
- Hossain, A., da Silva, J.A., Lozovskaya, M.V., Zvolinsky, V.P., 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in South-Eastern Russia: I. Phenology and growth. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 19, 473-87.
- Ilkler, E., Tatar, O., Aykut, Tonk, F., Tosun, M., 2011. Determination of Tolerance Level of Some Wheat Genotypes to Post Anthesis Drought. *Turkish Journal of Field Crops*. 16, 59- 63.
- Jafari, A., Paknejad, F., Jami Al-Ahmadi, M., 2012. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal Plant Production*. 3, 33–38.
- Kaspar, T.C., Pulido, D.J., Fenton, T.E., Colvin, T.S., Karlen, D.L., Jaynes, D.B., Meek, D.W., 2004. Relationship of corn and soybean yield to soil and terrain properties. *Agronomy Journal*. 96, 700-709.
- Khokhar, M.I., da Silva, J.A.T., Spiertz, H., 2012. Evaluation of barley genotypes for yielding ability and drought tolerance under irrigated and water-stressed conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 12, 287–292
- Lipkovich, I. A., Smith, E. P., 2002. Biplot and singular value decomposition macros for excel. *Journal of Statistics Software*. 7, 1-14.
- Mardeh, A.S.S., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop Research*. 98, 222–229
- Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*. 80, 758-763.
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Abdipour, M., 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science* 5, 487–493.
- 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, 8-16.
- Ouk, M., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fischer, K. S., Cooper, M., Nesbitt, H., 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in

- rainfed lowland rice. *Field Crops Research*. 99, 48-58.
- Patel. J., Patel. A., Patel. C., Mamrutha, H., Pradeep, S., Pachchigar, K.P., 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8, 1165-1178.
- Plaut, Z., 2003. Plant exposure to water stress during specific growth stages. *Encyclopedia of Water Science*. 673-675
- Ramezani, M., Rahimi, M., Samezade, L.H., Rahimi, F., 2008. The Evaluation Of Grouping Accuracy Of Different Cluster Analysis Methods. 207-218.
- Rosielle, A.A., Hamblin. J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop Science*. 21.943-946.
- Safari, P., Danyali, S.F., Rahimi, M., Mahdavi Meyghan, A., 2019. Application of Gibbs Variable Selection Approach to Study Genetic Control of Water Deficient Stress Tolerance in Wheat. *Journal of Crop Breeding*. 11. 168-177, (In Persian)
- Sardouie-Nasab, S., Mohammadi-Nejad, G., Nakhoda. B., 2014. Field screening of salinity tolerance in Iranian bread wheat lines. *Crop Science*. 54, 1489-1496
- Schneider. KA., Rosales Serna. R., Ibarra Perez. F., Cazares Enriquez. B, Acosta Gallegos. JA., Ramirez Vallejo. P., Wassimi. N., Kelly. JD., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37, 43-50.
- Thornton, PK., Ericksen, PJ., Herrero, M., Challinor, AJ., 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*. 20, 3313-3328.
- Tousi Mojarrad, M., Ghanadha, MR., Khodarahimi, M., Shahabi, S., 2005. Factor analysis for grain yield and other attributes in bread wheat. *Journal Pazhohesh Sazandegi*. 66, 9-16.
- Um, M.J., Kim, Y., Park, D., 2018. Evaluation and modification of the drought severity index (DSI) in East Asia. *Remote Sensing of Environment*. 209, 66-76.
- Zeng, L., Shannon, M.C., Grieve, C.M., 2002. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Euphytica*. 127, 235-245.