

گزینش لاین‌های جو متحمل به خشکی انتهایی فصل بر اساس پایداری عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش

الیاس آرزمجو^{۱*} و حمیدرضا نیکخواه چمن‌آباد^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

چکیده

برای غلبه بر نیاز روزافزون تولید محصولات کشاورزی در سناریوهای اقلیمی آینده، موثرترین و اقتصادی‌ترین رویکرد، اصلاح ارقام با تحمل به خشکی بالا است. به‌منظور انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی در جو، تعداد ۱۹ لاین امیدبخش جو به‌همراه رقم شاهد گوهران در دو محیط نرمال و تنش خشکی انتهایی فصل مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی طی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۴۰۰ انجام شد. مقایسه میانگین اثر محیط نشان داد که صفات تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه لاین‌های مورد بررسی در سال اول به‌طور معنی‌داری با قرارگیری در شرایط تنش خشکی انتهایی فصل کاهش یافت. نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد که برای انتخاب ارقام و لاین‌های جو در مناطقی که با تنش خشکی انتهایی فصل مواجه می‌شوند، می‌توان به‌ترتیب از شاخص‌های YI ، HM ، STI و GMP استفاده کرد، اما در مناطقی که با تنش خشکی انتهایی فصل مواجه نیستند، شاخص‌های MP ، STI ، GMP و HM پیشنهاد می‌شوند. بر این اساس، به‌ترتیب لاین‌های شماره ۲۰، ۱۱ و ۱۴ متحمل‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی انتهایی فصل در این آزمایش بودند. ارزیابی شاخص‌های پایداری و برآورد همبستگی آنها با عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه نیز نشان داد که عملکرد دانه با واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(I)}$) و ضریب رگسیون (b) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با آماره‌های کانگ (KR) و تنارازو ($NP^{(2,3)}$) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. جمع‌بندی نتایج بر اساس بیش‌تر آماره‌های پایداری مورد بررسی نشان داد که لاین‌های ۲۰، ۱۴ و ۸، لاین‌های پرمحصول و پایدار برای کشت تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی انتهایی فصل بودند.

واژه‌های کلیدی: آماره‌های پارامتری و ناپارامتری، بهره‌وری، تجزیه خوشه‌ای، صفات زراعی، همبستگی

۱- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

۲- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول: e.arazmjo@areeo.ac.ir

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید غلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. خشک‌سالی مخرب‌ترین محدودیت محیطی است که نسبت به هر تنش غیرزیستی دیگری باعث کاهش عملکرد بسیار بیش‌تری می‌شود (Farooq *et al.*, 2009; Kadam *et al.*, 2014). تنش خشکی تقریباً در تمام مناطق آب و هوایی رخ داده و مناطق مستعد خشک‌سالی، ۱۶/۲ تا ۴۱/۲ درصد از زمین‌های قابل‌کشت در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند (Kebede *et al.*, 2019). همچنین، پیش‌بینی شده است که فراوانی و شدت خشک‌سالی در مناطق خشک فعلی به دلیل تغییرات آب و هوایی افزایش خواهد یافت (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). با افزایش جمعیت، نیاز به استفاده از آب نیز بیش‌تر شده و لذا منابع آب به‌طور فزاینده‌ای مورد تهدید قرار می‌گیرند. در همین حال، انتظار می‌رود جمعیت جهان از ۷/۷ میلیارد نفر در حال حاضر به ۹/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ افزایش یابد (United Nations: Department of Economic and Social Affairs - Population Division, 2019)، و این می‌تواند امنیت غذایی جهانی را به‌طور جدی دچار چالش کند. بنابراین، شناسایی ارقام جو متحمل به خشکی که بتوانند با حداقل آب مصرفی، محصول قابل قبولی را به کشاورز بدهند، امری ضروری است.

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. جزء چهار غله مهم جهان به‌شمار می‌رود. تولید جهانی این محصول در سال ۲۰۱۹ میلادی حدود ۱۶۰ میلیون تن بوده که از سطح زیر کشت معادل ۷۰ میلیون هکتار به‌دست آمده است (FAO, 2019). بر اساس آمارهای موجود طی سال زراعی ۹۷-۹۸ سطح زیر کشت جو در ایران ۱۵۴۷۳۷۵ هکتار شامل ۶۲۱۹۴۰ هکتار کشت آبی و ۹۲۵۴۳۴ هکتار کشت دیم بوده است که به‌ترتیب با میانگین‌های عملکرد ۳۷۶۳ و ۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار، مقدار ۲۳۴۰۵۸۹ و ۱۱۷۳۶۹۲ تن و در مجموع ۳۵۱۴۲۸۰ تن از این محصول تولید شده است (Ministry of Jihad Agriculture, 2020). در استان خراسان جنوبی در سال زراعی ۹۷-۹۸، از ۱۹۶۰۵ هکتار سطح زیر کشت جو آبی با متوسط عملکرد ۳۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۶۳۷۱۶ تن جو برداشت شده است (Ministry of Jihad Agriculture, 2020). به‌نظر می‌رسد اصلاح ارقام جو متحمل به خشکی

موثرترین و اقتصادی‌ترین رویکرد برای به‌حداقل رساندن اثرات نامطلوب تنش خشکی بر تولید این گیاه باشد. ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برای همه مطالعات مربوط به تحمل به خشکی حیاتی است (Cattivelli *et al.*, 2008). خشکی تقریباً تمام مراحل رشد و نمو در طول چرخه زندگی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش چشم‌گیر فتوسنتز، ناهنجاری‌های گل، عقیمی سنبلچه و دانه و کاهش عملکرد و کیفیت دانه می‌شود (Kadam *et al.*, 2014). گزارش شده است که تنش خشکی می‌تواند عملکرد دانه جو را به‌میزان ۴۹ تا ۸۷ درصد کاهش دهد (Samarah, 2005; Samarah *et al.*, 2009). تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی، از طریق تسریع پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره رشد و کاهش سرعت پر شدن دانه، منجر به کاهش میانگین وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Royo *et al.*, 2000).

در برنامه‌های به‌نژادی برای گزینش ژنوتیپ‌های مناسب، از روش‌های متعددی بسته به زمان وقوع تنش (ابتدای فصل رشد یا اواخر فصل) استفاده می‌شود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش (شرایط مطلوب)، گزینش تحت شرایط تنش کامل و گزینش توأم تحت هر دو شرایط سه راهکار عمده‌ای هستند که برای انتخاب ارقام متحمل به تنش پیشنهاد شده‌اند (Rajaram and Van Ginkle, 2001). در یک بررسی برای ارزیابی مقاومت به خشکی در ۱۱ رقم گندم نان، مشخص شد که انتخاب ارقام بر اساس شاخص تحمل (TOL) موجب کاهش عملکرد در شرایط عادی می‌شود (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). این محققین در بررسی شاخص‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآمدی شاخص‌های انتخاب، به شدت تنش محیط و هدف بستگی دارد و بر این اساس، شاخص SSI را برای محیط‌های با تنش ملایم و شاخص‌های STI، MP و GMP را برای محیط‌های با شدت تنش بالا پیشنهاد دادند (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). در آزمایش دیگری جهت بررسی تحمل ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش شوری، گزارش شد که از بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص تحمل به تنش، شاخص میانگین بهره‌وری و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری بهترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل بودند و ارقام بولانی، شعله و ماهونی بیش‌ترین تحمل را نشان دادند (Molla Heydari Bafghi *et al.*, 2017).

این محصول با شرایط اقلیمی کشور و استان خراسان جنوبی، شناسایی ارقام جدیدی که در چنین شرایطی عملکرد بیش‌تری از ارقام موجود داشته باشند، اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از اجرای این آزمایش، بررسی عملکرد دانه، صفات مورفولوژیک، تحمل به تنش خشکی انتهای فصل بر اساس شاخص‌های حساسیت و تحمل و ارزیابی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو بود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی پایداری عملکرد دانه و شاخص‌های تنش در لاین‌های امیدبخش جو در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، تعداد ۱۹ لاین امیدبخش حاصل از برنامه‌های به‌نژادی جو اقلیم معتدل همراه با رقم شاهد گوه‌ران به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) در دو شرایط نرمال و تنش خشکی انتهای فصل در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی واقع در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش نرمال و خشکی در هر سال به صورت مجزا از یکدیگر و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

اسامی ارقام و شجره لاین‌های جو مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. میزان بارندگی و میانگین درجه حرارت ماهانه در دو سال اجرای آزمایش نیز در شکل ۱ و ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۲ ارائه شده است. زمین مورد نظر در سال قبل آیش بود. کاشت بذر به کمک دستگاه بذرکار مدل وینتاشتاگر ویژه آزمایش‌های غلات در ۶ ردیف ۶ متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و مساحت ۷/۲ متر مربع به روش جوی و پشته انجام شد. روش آبیاری به صورت نشتی و برای سال اول شامل سه مدار آبیاری در پائیز و زمستان و سه مدار آبیاری در بهار و برای سال دوم شامل چهار مدار آبیاری در پاییز و زمستان و سه مدار آبیاری در بهار بود. بر اساس آزمون خاک، کود اوره، سولفات پتاسیم و فسفات دی‌آمونیم قبل از کاشت به ترتیب به میزان ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد و باقیمانده کود اوره به صورت سرک در دو نوبت و هر نوبت ۱۰۰ کیلوگرم در اواسط اسفند و فروردین به مصرف رسید. تاریخ کاشت در هر دو سال در نیمه دوم آبان و میزان بذر برای کاشت

آهک‌پز و همکاران (Ahakpaz *et al.*, 2020) ضمن مطالعه تعداد ۱۰۸ رقم و لاین جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی گزارش کردند که شاخص‌های MP, SSPI, STI, GMP دارای بیش‌ترین همبستگی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بودند و بر این اساس تعداد ۲۵ ژنوتیپ جو مقاوم به خشکی تشخیص داده شدند.

برای ارزیابی پایداری ارقام مختلف نیز روش‌های آماری مختلفی پیشنهاد شده است. آکورا و همکاران (Akcura *et al.*, 2006) در ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، ۱۵ ژنوتیپ گندم دوروم را در هشت محیط در ترکیه بررسی و پایداری ژنوتیپ‌ها را بر اساس پارامترهای b_i , R_i^2 , S_{di}^2 , w_i^2 , α_i و $\delta_i^2 \lambda_i$ ارزیابی کردند که بر اساس آن ارقام Ylimaz-98 و C-akmak-79 را به‌عنوان ارقام پایدار شناسایی کردند. امینی و همکاران (Amini *et al.*, 2010) ضمن بررسی همبستگی رتبه‌ای بین آماره‌های مختلف پایداری و عملکرد، روش ناپارامتری رتبه‌بندی و معیار کانگ را معیارهای مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار معرفی کردند. سوقی و همکاران (Soughi *et al.*, 2016) نیز در گزینش ژنوتیپ‌های گندم از روش‌های ناپارامتری و گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری استفاده و گزارش کردند که بر اساس معیارهای ناپارامتری $NP_1^{(1)}$, $NP_1^{(2)}$, $NP_1^{(3)}$ و $NP_1^{(2)}$ ژنوتیپ‌هایی با عملکرد کم‌تر از میانگین کل گزینش شدند، اما آماره عملکرد-پایداری (YS_i) ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بیش‌تر از میانگین کل را شناسایی کرد. امینی و همکاران (Amini *et al.*, 2021) در آزمایش دیگری از روش‌های رگرسیونی و آماره‌های نصار و هان، تنارازو، شوکلا، اکوالانس ریک و روش AMMI جهت بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در مناطق شور ایران استفاده و بر این اساس ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار G_1 , G_2 , G_3 , G_6 , G_9 و G_{10} را شناسایی کردند. نجفی میرک و همکاران (Najafi-Mirak *et al.*, 2019) از روش‌های رتبه (R)، انحراف رتبه (Sd-R)، ضریب تغییرات محیطی (CV) و روش AMMI برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم استفاده و بیان کردند که آماره‌های مختلف به‌خوبی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بودند.

جو محصولی اقتصادی و متناسب با الگوی مناسب کشت در استان خراسان جنوبی است. با توجه به کمبود علوفه و فقر مراتع و توانایی و تولید بالا و سازگاری خوب

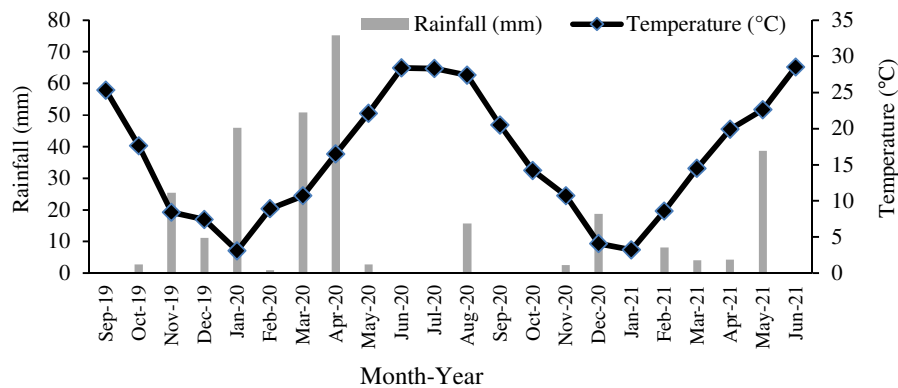
طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بودند. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد پنج بوته تصادفی بعد از رسیدگی کامل انتخاب و اندازه‌گیری روی ساقه اصلی انجام شد. جهت تعیین عملکرد دانه، کل کرت با رعایت اثر حاشیه، برداشت و پس از بوجاری، عملکرد دانه توزین شد. برای وزن هزار دانه نیز سه دسته ۱۰۰۰ تایی دانه از هر لاین و رقم شمارش و میانگین آن‌ها ثبت شد.

۵۰۰ دانه در متر مربع بر اساس وزن هزار دانه منظور شد. یک مرحله مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ با علف‌کش توفوردی و یک مرحله مبارزه با آفت شته با آفت‌کش دیازینون در هر سال انجام شد. به‌منظور اعمال تنش خشکی آخر فصل، آبیاری هر دو مزرعه در مرحله ۵۰ درصد ظهور سنبله قطع شد. برداشت در نیمه اول تیر ماه هر سال انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک،

جدول ۱- شجره لاین‌های جو ارزیابی شده در این آزمایش

Table 1. Pedigree of barley lines evaluated in this experiment

No.	Pedigree	No.	Pedigree
1	Goharan	11	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Yousef*2
2	(Salt-4)LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir/4/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63	12	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//...Alanda-01/6/Sahra/7/(D10)Rhn-03//L.527/NK1272
3	CLN-B/80.5138//GLORIA-BAR/COPAL/3/ALISO/4/CABUYA/5/Yousef	13	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
4	(D-13)Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//...)/4/Yousef	14	(D10)Rhn-03//L.527/NK1272// (D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766
5	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Kavir	15	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Yousef
6	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Nosrat	16	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Nosrat
7	CABUYA/PETUNIA 1/CIRU/3/MALOUH//Aths/Lignee686	17	Dz-38-2/3/(D10)Rhn-03//L.527/NK1272
8	D10*2/5/CLN-B/80.5138//GLORIA-BAR/COPAL/3/ALISO/4/CABUYA	18	LIGNEE527//GERBEL/3/BOY-B*2/SURB//...
9	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Zarjou/4/Yousef	19	CANELA//E.ACACIA/DEFRA
10	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Karoon/4/Rhn03	20	MB-96-10(Ashar/Victoria//CWB117-5-9-5/3/Lignee 527/NK1272//JLB 70-63)



شکل ۱- مجموع بارندگی و میانگین درجه حرارت ماهانه طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰

Figure 1. Monthly precipitation and average temperature during 2019 - 2021

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2. Physico-chemical characteristics of the experimental field soil

Year	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	pH	EC (ds.m ⁻¹)
2020	40.5	36	23.5	Loam	7.82	4.27
2021	44.4	31.4	24.2	Loam	8.22	4.15

STATISTICA، نمودار پراکنش سه‌بعدی ارقام و لاین‌ها در محدوده‌های A، B، C و D ترسیم شد. در روابط زیر، Y_p و Y_s به ترتیب میانگین عملکرد کلیه ارقام و لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش و Y_{pi} و Y_{si} میانگین عملکرد هر یک از آن‌ها در دو شرایط است.

پس از تعیین عملکرد دانه در دو شرایط نرمال و تنش، شاخص‌های MP، GMP، TOL، HARM، STI، YI، YSI، RSI و SSI و همبستگی آن‌ها با عملکرد دانه با استفاده از برنامه iPASTIC محاسبه (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) و با استفاده از نرم‌افزار

(Fischer and Maurer, 1978)	$SI = 1 - (Y_s / Y_p)$	(۱)	شدت تنش
(Fischer and Maurer, 1978)	$SSI = (1 - (Y_{si} / Y_{pi})) / SI$	(۲)	شاخص حساسیت به تنش
(Rosielle and Hamblin, 1981)	$TOL = Y_{pi} - Y_{si}$	(۳)	شاخص تحمل
(Fernandez, 1992)	$STI = (Y_{pi} \times Y_{si}) / (Y_p)^2$	(۴)	شاخص تحمل به تنش
(Rosielle and Hamblin, 1981)	$MP = (Y_{pi} + Y_{si}) / 2$	(۵)	شاخص میانگین بهره‌وری
(Fernandez, 1992)	$GMP = (Y_{pi} \times Y_{si})^{0.5}$	(۶)	میانگین هندسی بهره‌وری
(Bidinger <i>et al.</i> , 1987)	$HARM = (2 \times (Y_{pi} \times Y_{si})) / (Y_{pi} + Y_{si})$	(۷)	میانگین هارمونیک بهره‌وری
(Gavuzzi <i>et al.</i> , 1997)	$YI = Y_{si} / Y_s$	(۸)	شاخص عملکرد
(Bousslama and Schapaugh, 1984)	$YSI = Y_{si} / Y_{pi}$	(۹)	شاخص ثبات عملکرد
(Fischer and Wood, 1979)	$RSI = (Y_{si} / Y_{pi}) / (Y_s + Y_p)$	(۱۰)	شاخص تنش نسبی

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد در سال اول آزمایش تحت تأثیر محیط قرار گرفتند، اما محیط در سال دوم تأثیر معنی‌داری بر هیچ یک از صفات مورد بررسی نداشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر محیط نشان داد که تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه لاین‌های مورد بررسی در سال اول به‌طور معنی‌داری تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد (جدول ۴). میانگین صفات فنولوژیک روز تا رسیدگی و طول دوره پر شدن دانه در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۵/۹ و ۶/۵ روز نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت (جدول ۴). وزن هزار دانه نیز به میزان ۸/۴ درصد و عملکرد دانه به میزان ۱۴/۸ درصد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال در سال اول اجرا کاهش یافت (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در شرایط خشکی در مقایسه با شرایط نرمال در سال دوم نیز ۲۶/۳ درصد بود، اما این میزان به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو توسط آکاش و همکاران (Akash *et al.*, 2009) بین ۱۳ تا ۳۷ درصد و توسط سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.*, 2017) ۳۶ درصد گزارش شده است.

تجزیه واریانس مرکب به‌منظور تعیین اثرات اصلی و متقابل در دو سال آزمایش به‌صورت جداگانه انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. قبل از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی خط‌های آزمایش به روش بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی ساده با استفاده از نرم‌افزار SAS-9.0 و تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس Ward از طریق برنامه StatGraphics انجام گرفت. آماره‌های پایداری در این بررسی شامل شیب خط رگرسیون (Wilkinson, 1963)، انحراف از خط رگرسیون (S^2_d ; Eberhart and Russell, 1966)، میانگین واریانس‌ها (θ ; Plaisted and Peterson, 1959)، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($\theta_{(i)}$; Plaisted, 1960)، اکووالانس ریک (W_i^2 ; Wricke, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i ; Shukla, 1972)، ضریب تغییرات محیطی (CV; Francis and Kannenberg, 1978)، آماره‌های پایداری نصار و هان ($S^{(1-6)}$; Nassar and Huhn, 1987)، آماره‌های پایداری تنارازو ($NP^{(1-4)}$; Thenarasu, 1995) و مجموع رتبه کانگ (KR ; Kang, 1988) بودند که به‌همراه همبستگی پیرسون جهت بررسی روابط بین آنها با استفاده از نرم‌افزار STABILITYSOFT (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) محاسبه شدند.

دانه در سال دوم مربوط به لاین شماره ۱۰ بود که این لاین در سال دوم، کمترین روز تا ظهور سنبله را نیز داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که لاین‌های ۴ و ۱۶ با میانگین‌های ۹۸/۸ و ۹۸/۳ سانتی‌متر در سال اول و لاین‌های ۱۴ و ۱۶ با میانگین‌های ۷۷/۷ و ۷۷/۰ سانتی‌متر در سال دوم به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بوته بیش‌تری در مقایسه با سایر لاین‌ها برخوردار بودند و لاین شماره ۱۸ نیز در هر دو سال با میانگین ۷۷/۳ و ۶۲ سانتی‌متر، کمترین ارتفاع بوته را به‌خود اختصاص داد (جدول ۴). از نظر وزن هزار دانه، در سال اول لاین‌های ۱۷ و ۵ به‌ترتیب با میانگین ۴۵/۳ و ۴۴/۶ گرم و در سال دوم لاین‌های ۵، ۱۷ و ۱۱ به‌ترتیب با میانگین ۴۲/۲، ۴۱/۸ و ۴۱/۴ گرم به‌طور معنی‌داری دارای وزن هزار دانه بالاتری در مقایسه با لاین‌های دیگر بودند و لاین شماره ۷ نیز در هر دو سال از کمترین وزن هزار دانه برخوردار بود (جدول ۴). مقایسه عملکرد دانه نشان داد که لاین‌های ۲۰ و ۱۱ با میانگین‌های ۸/۵۴ و ۸/۳۳ تن در هکتار در سال اول بیش‌ترین عملکرد دانه و لاین‌های ۱۹ و ۱۸ با میانگین‌های ۶/۱۳ و ۶/۲۲ تن در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴).

اختلاف بین ارقام و لاین‌های مورد بررسی از نظر تمامی صفات به‌جز تعداد روز تا رسیدگی و عملکرد دانه در سال دوم در هر دو شرایط معنی‌دار بود (جدول ۳) که حاکی از تنوع مناسب لاین‌های امیدبخش جو مورد بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی انتهای فصل است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که لاین شماره ۱۲ در هر دو سال اجرای آزمایش به‌ترتیب با میانگین ۹۴/۸ و ۸۹ روز از بیش‌ترین تعداد روز تا ظهور سنبله برخوردار بود. لاین شماره ۱۸ نیز با میانگین ۸۴/۳ روز در سال اول و لاین شماره ۱۰ با میانگین ۸۴/۳ روز در سال دوم، کمترین مقدار این صفت را داشتند (جدول ۴). بیش‌ترین تعداد روز تا رسیدگی نیز در سال اول اجرای آزمایش، به‌ترتیب مربوط به لاین‌های ۴، ۱، ۶، ۳ و ۱۲ و کمترین آن مربوط به لاین‌های ۷، ۱۴ و ۱۸ بود (جدول ۴). با اینکه لاین شماره ۱۸ در سال اول از کمترین تعداد روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدگی برخوردار بود، اما با این وجود با میانگین ۴۹/۸ روز بیش‌ترین طول دوره پر شدن دانه را به‌خود اختصاص داد و کمترین طول دوره پر شدن دانه نیز در این سال مربوط به لاین شماره ۱۲ با میانگین ۴۲/۲ روز بود که در هر دو سال بیش‌ترین تعداد روز تا ظهور سنبله را داشت (جدول ۴). بیش‌ترین طول دوره پر شدن

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی لاین‌های امیدبخش جو در دو شرایط نرمال و تنش خشکی طی دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۸)

Table 3. Analysis of variance for agronomic traits of barley promising lines under normal and drought stress conditions during two cropping years (2019-2021)

Source of variation	df	Mean squares					
		Days to heading		Days to maturity		Grain filling period	
		2019-20	2020-21	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year
Stress	1	9.07 ^{ns}	12.67 ^{ns}	1050.2 ^{**}	48.13 ^{ns}	1254.5 ^{**}	11.41 ^{ns}
Replication/(Stress)	4	5.97	50.67	33.53	27.42	12.13	24.26
Line	19	48.36 ^{**}	6.65 ^{**}	9.00 ^{**}	6.40 ^{ns}	26.45 ^{**}	15.16 ^{**}
Linex Stress	19	7.85 ^{**}	4.66 ^{ns}	3.52 ^{ns}	2.36 ^{ns}	6.87 ^{ns}	2.86 ^{ns}
Error	76	2.56	2.85	3.43	4.09	4.15	2.34
CV (%)	-	1.76	1.96	1.36	1.63	4.52	4.04

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 3. Continued

جدول ۳- ادامه

Source of variation	df	Mean squares					
		Plant height		1000 grain weight		Grain yield	
		2019-20	2020-21	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year
Stress	1	529.20 ^{ns}	106.41 ^{ns}	360.53 ^{**}	63.66 ^{ns}	42.17 [*]	75.60 ^{ns}
Replication/(Stress)	4	762.79	19.01	4.97	233.92	2.42	13.22
Line	19	160.79 ^{**}	132.71 ^{**}	50.11 ^{**}	49.20 ^{**}	2.38 ^{**}	0.96 ^{ns}
Linex Stress	19	18.76 ^{ns}	31.71 ^{ns}	6.80 [*]	4.31 ^{ns}	0.62 ^{ns}	0.56 ^{ns}
Error	76	28.64	32.61	3.32	4.83	0.39	0.78
CV (%)	-	5.74	8.07	4.57	5.78	8.37	16.96

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات زراعی لاین‌های امیدبخش جو در دو محیط تنش خشکی و شرایط نرمال در دو سال اجرا

Table 4. Mean comparison for agronomic traits of barley promising lines under drought stress and normal condition in two years

Treatment	Days to heading		Days to maturity		Grain filling period (day)	
	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21
Environment						
Normal	90.6 ^a	86.4 ^a	138.9 ^a	124.5 ^a	48.3 ^a	38.1 ^a
Drought stress	91.2 ^a	85.7 ^a	133.0 ^b	123.2 ^a	41.8 ^b	37.5 ^a
Barley line						
1	94.5 ^{ab}	87.0 ^{ab}	137.5 ^{ab}	123.5 ^{abc}	43.0 ^{efg}	36.5 ^{efg}
2	92.8 ^{a-d}	86.8 ^b	136.7 ^{a-e}	123.0 ^{bc}	43.8 ^{d-g}	36.2 ^{fg}
3	92.8 ^{a-d}	86.0 ^{bc}	137.3 ^{ab}	124.5 ^{abc}	44.5 ^{c-g}	38.5 ^{b-e}
4	93.7 ^{abc}	86.7 ^{bc}	137.7 ^a	123.3 ^{abc}	44.0 ^{d-g}	36.7 ^{efg}
5	89.8 ^{gh}	84.8 ^{bc}	136.8 ^{a-d}	124.0 ^{abc}	47.0 ^{bc}	39.2 ^{bcd}
6	91.7 ^{c-g}	86.2 ^{bc}	137.5 ^{ab}	126.0 ^a	45.8 ^{cd}	39.8 ^b
7	90.0 ^{gh}	87.0 ^{ab}	134.2 ^e	123.2 ^{bc}	44.2 ^{d-e}	36.2 ^{fg}
8	92.5 ^{bcd}	86.3 ^{bc}	136.3 ^{a-e}	123.5 ^{abc}	43.8 ^{d-g}	37.2 ^{d-g}
9	90.2 ^{fgh}	86.5 ^{bc}	134.5 ^{cde}	124.0 ^{abc}	44.3 ^{c-g}	37.5 ^{d-g}
10	92.2 ^{c-f}	84.3 ^c	136.5 ^{a-e}	126.0 ^a	44.3 ^{c-g}	41.7 ^a
11	90.3 ^{e-h}	85.5 ^{bc}	136.3 ^{a-e}	124.3 ^{abc}	46.0 ^{cd}	38.8 ^{bcd}
12	94.8 ^a	89.0 ^a	137.0 ^{abc}	124.7 ^{abc}	42.2 ^g	35.7 ^g
13	92.3 ^{cde}	86.3 ^{bc}	136.2 ^{a-e}	124.0 ^{abc}	43.8 ^{d-g}	37.7 ^{c-g}
14	85.3 ^{ij}	84.7 ^{bc}	134.2 ^e	123.8 ^{abc}	48.8 ^{ab}	39.2 ^{bcd}
15	88.7 ^h	85.5 ^{bc}	134.3 ^{de}	123.5 ^{abc}	45.7 ^{cde}	38.0 ^{b-f}
16	91.0 ^{d-g}	85.0 ^{bc}	136.2 ^{a-e}	123.3 ^{abc}	45.2 ^{c-f}	38.3 ^{b-e}
17	91.8 ^{c-g}	85.3 ^{bc}	135.5 ^{a-e}	122.7 ^{bc}	43.7 ^{d-g}	37.3 ^{d-g}
18	84.3 ^j	86.3 ^{bc}	134.2 ^e	122.0 ^c	49.8 ^a	35.7 ^g
19	92.3 ^{cde}	86.2 ^{bc}	135.0 ^{b-e}	122.7 ^{bc}	42.7 ^{fg}	36.5 ^{efg}
20	86.7 ⁱ	85.3 ^{bc}	135.3 ^{a-e}	125.0 ^{ab}	48.7 ^{ab}	39.7 ^{bc}

Means followed by similar letter in each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan Test.

Table 4. Continued

جدول ۴- ادامه

Treatment	Plant height		1000 grain weight		Grain yield	
	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21
Environment						
Normal	91.1 ^a	71.7 ^a	41.6 ^a	38.7 ^a	8.05 ^a	6.00 ^a
Drought stress	95.3 ^a	69.8 ^a	38.1 ^b	37.3 ^a	6.86 ^b	4.42 ^a
Barley line						
1	93.3 ^{a-d}	65.5 ^{cde}	41.4 ^{cde}	39.6 ^{a-e}	7.31 ^{c-f}	5.43 ^{ab}
2	97.0 ^{ab}	76.3 ^{ab}	40.3 ^{def}	39.2 ^{b-e}	7.60 ^{b-e}	4.82 ^{ab}
3	92.8 ^{a-d}	74.5 ^{ab}	41.1 ^{cde}	40.1 ^{a-d}	6.63 ^{fg}	4.68 ^b
4	98.8 ^a	71.5 ^{abc}	40.7 ^{c-f}	39.0 ^{b-e}	8.06 ^{abc}	5.33 ^{ab}
5	94.7 ^{a-d}	69.8 ^{a-d}	44.6 ^{ab}	42.2 ^a	8.08 ^{abc}	4.60 ^b
6	90.8 ^{bcd}	65.3 ^{cde}	36.3 ^{hi}	34.8 ^g	7.51 ^{b-e}	5.41 ^{ab}
7	84.0 ^e	62.5 ^{de}	35.3 ⁱ	31.3 ^h	7.35 ^{c-f}	4.92 ^{ab}
8	93.8 ^{a-d}	70.3 ^{abc}	36.7 ^{hi}	35.6 ^{fg}	7.91 ^{a-e}	5.56 ^{ab}
9	89.2 ^{cde}	68.7 ^{b-e}	38.5 ^{fgh}	36.7 ^{efg}	7.31 ^{c-f}	5.18 ^{ab}
10	96.8 ^{ab}	76.2 ^{ab}	37.4 ^{ghi}	34.5 ^g	7.46 ^{cde}	5.19 ^{ab}
11	96.5 ^{abc}	71.3 ^{abc}	43.1 ^{bc}	41.4 ^{abc}	8.33 ^{ab}	5.35 ^{ab}
12	97.0 ^{ab}	71.0 ^{abc}	39.3 ^{efg}	39.5 ^{a-e}	7.13 ^{def}	4.83 ^{ab}
13	95.7 ^{a-d}	74.2 ^{ab}	35.7 ⁱ	35.4 ^{a-e}	7.28 ^{c-f}	5.03 ^{ab}
14	93.5 ^{a-d}	77.7 ^a	42.0 ^{cd}	38.5 ^{fg}	7.95 ^{a-d}	5.64 ^{ab}
15	95.3 ^{a-d}	70.8 ^{abc}	42.8 ^{bc}	39.3 ^{cde}	7.66 ^{b-e}	4.98 ^{ab}
16	98.3 ^a	77.0 ^a	39.9 ^{def}	38.6 ^{a-e}	7.53 ^{b-e}	5.55 ^{ab}
17	96.2 ^{a-d}	74.8 ^{ab}	45.3 ^a	41.8 ^{cde}	7.08 ^{ef}	5.96 ^a
18	77.3 ^f	62.0 ^e	36.9 ^{hi}	34.5 ^g	6.22 ^g	4.85 ^{ab}
19	93.2 ^{a-d}	69.0 ^{b-e}	40.3 ^{def}	40.1 ^{a-d}	6.13 ^g	4.91 ^{ab}
20	89.0 ^{de}	66.3 ^{cde}	39.6 ^{d-g}	38.1 ^{def}	8.54 ^a	5.99 ^a

Means followed by similar letter in each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan Test.

شاخص‌های تحمل به تنش

مقادیر عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه تحت شرایط نرمال (Yp) و تنش خشکی انتهایی فصل (Ys) به همراه مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش لاین‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. بر مبنای شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) که مقادیر پایین عددی آن‌ها نشان دهنده تحمل بالاتر نسبت به تنش است (Choukan *et al.*, 2006)، لاین شماره ۱۸ و رقم گوهران به ترتیب با داشتن کمترین مقادیر، به عنوان متحمل‌ترین و لاین‌های شماره ۷ و ۹ با بیشترین مقادیر به عنوان حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی انتهایی فصل بودند (جدول ۵). باید توجه داشت که پایین بودن مقدار شاخص TOL الزاماً به دلیل بالا بودن عملکرد رقم در محیط تنش نیست، زیرا ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد و در نتیجه موجب کوچک شدن شاخص TOL شود و رقم به عنوان متحمل معرفی شود (Moghaddam and Hadizade, 2002). این موضوع برای لاین‌های ۱۸ و ۱۹ این آزمایش صادق بود.

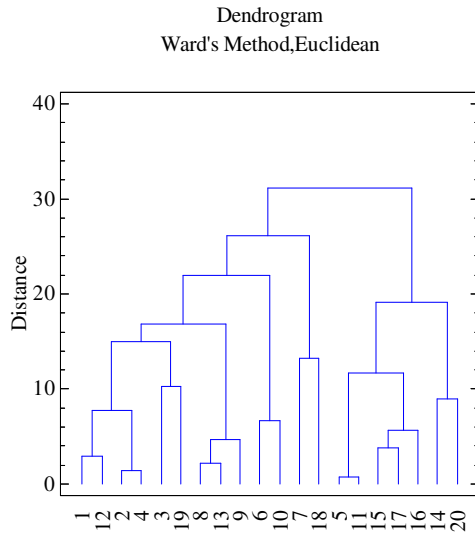
از نظر شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، بهره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص عملکرد (YI) که مقادیر بالاتر آن‌ها نشان دهنده تحمل بیشتر به تنش است، لاین‌های شماره ۲۰، ۱۱ و ۱۴ به عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها شناخته شدند. همچنین، بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI لاین‌های ۱۹ و ۱۸، شاخص HM لاین‌های ۱۹ و ۳ و شاخص YI لاین‌های ۳ و ۷ به عنوان حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی انتهایی فصل شناسایی شدند (جدول ۵). بر اساس شاخص خشکی نسبی (RDI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز که مقادیر بالاتر آن‌ها نشان دهنده متحمل‌تر بودن رقم است، لاین ۱۸، رقم گوهران و لاین ۱۶ متحمل‌ترین و لاین‌های ۷، ۹ و ۳ حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی انتهایی فصل تعیین شدند (جدول ۵). از طرف دیگر مناسب‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی داشته باشد. بنابراین با ارزیابی میزان همبستگی بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در دو شرایط نرمال و تنش، شناسایی مناسب‌ترین شاخص امکان‌پذیر است (Naemi *et al.*, 2008).

نمودار پراکنش سه‌بعدی لاین‌ها بر اساس عملکرد دانه در دو محیط نرمال و تنش خشکی انتهایی فصل و شاخص STI در شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس این نمودار، لاین‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند در گروه A، آن‌هایی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند در گروه B، آن‌هایی که فقط در شرایط تنش خشکی عملکرد بالایی دارند در گروه C و آن‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد نسبتاً کمتری هستند در گروه D قرار می‌گیرند (Fernandez, 1992). بر اساس نتایج این آزمایش، لاین‌های شماره ۶، ۸، ۱۱، ۱۴، ۱۷، ۲۰ در گروه A، لاین‌های ۴، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۵ در گروه B، لاین‌های ۱، ۱۶ و ۵ در گروه C و لاین‌های ۲، ۳، ۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ در گروه D قرار گرفتند (شکل ۲). استفاده از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها توسط برخی دیگر از محققان نیز مورد استفاده و تایید قرار گرفته است (Nakhaei *et al.*, 2019). در شکل ۳ نتایج گروه‌بندی لاین‌ها به صورت نمودار درختی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward نشان داده شده است. ادغام گروه‌های مورد بررسی در فاصله ادغام ۲۵ واحد موجب گروه‌بندی لاین‌ها در سه خوشه مجزا شد. لاین‌های ۵، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۲۰ در خوشه اول، دو لاین ۷ و ۱۸ در خوشه دوم و سایر لاین‌ها نیز در خوشه سوم قرار گرفتند. لاین‌های خوشه اول از نظر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، از مقادیر بالاتری از میانگین کل برخوردار بودند. لاین‌های خوشه دوم از نظر تمامی صفات دارای مقادیر کمتری از میانگین کل بودند و لاین‌های موجود در خوشه سوم نیز حد واسط دو خوشه دیگر بودند (جدول ۵). در برنامه‌های به‌نژادی می‌توان از تنوع بین خوشه‌ها استفاده و از صفات موثر بر عملکرد در صورت داشتن وراثت‌پذیری مطلوب، به منظور اصلاح ارقام جدید جو و افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی بهره برد.

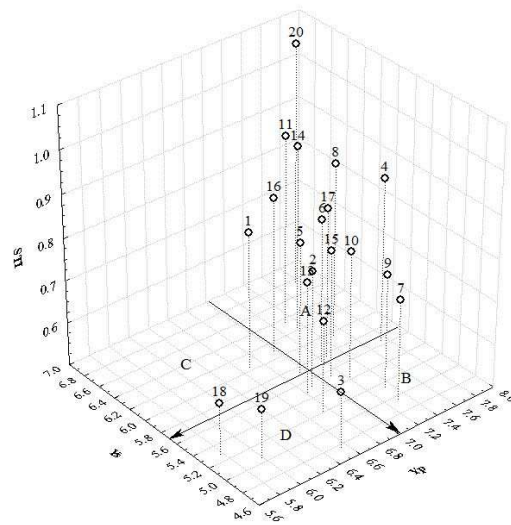
جدول ۵- میانگین عملکرد دانه ۲۰ لاین امیدبخش جو به‌همراه شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و رتبه‌بندی آن‌ها

Table 5. Average grain yield of 20 elite barley genotypes and tolerance and susceptibility indices and their ranking

Barley line	Yp	R	Ys	R	TOL	R	MP	R	GMP	R	HM	R	SSI	R	STI	R	YI	R	YSI	R	RDI	R	SR	AR	SD
1	6.69	17	6.04	5	0.64	2	6.37	9	6.36	9	6.35	9	0.49	2	0.82	9	1.07	5	0.90	2	1.13	2	71	6.45	4.70
2	6.90	14	5.52	12	1.38	10	6.21	14	6.17	13	6.13	13	1.01	10	0.77	13	0.98	12	0.80	10	1.00	10	131	11.91	1.64
3	6.54	18	4.76	20	1.78	16	5.65	18	5.58	18	5.51	19	1.38	18	0.63	18	0.84	20	0.73	18	0.91	18	201	18.27	1.10
4	7.74	2	5.65	10	2.09	18	6.70	5	6.61	5	6.53	5	1.37	17	0.89	5	1.00	10	0.73	17	0.91	17	111	10.09	6.12
5	6.95	13	5.73	9	1.22	8	6.34	10	6.31	10	6.28	10	0.89	8	0.81	10	1.02	9	0.82	8	1.03	8	103	9.36	1.50
6	7.18	10	5.74	8	1.44	11	6.46	8	6.42	8	6.38	8	1.02	11	0.84	8	1.02	8	0.80	11	1.00	11	102	9.27	1.49
7	7.31	7	4.96	19	2.35	20	6.13	16	6.02	16	5.91	16	1.63	20	0.73	16	0.88	19	0.68	20	0.85	20	189	17.18	3.84
8	7.50	3	5.96	6	1.54	14	6.73	4	6.69	4	6.64	4	1.04	13	0.91	4	1.06	6	0.79	13	0.99	13	84	7.64	4.54
9	7.34	5	5.14	17	2.20	19	6.24	13	6.15	14	6.05	15	1.52	19	0.77	14	0.91	17	0.70	19	0.87	19	171	15.55	4.18
10	7.22	9	5.44	14	1.78	16	6.33	11	6.26	12	6.20	12	1.25	16	0.80	12	0.96	14	0.75	16	0.94	16	148	13.45	2.42
11	7.32	6	6.36	2	0.96	5	6.84	2	6.82	2	6.80	2	0.67	5	0.94	2	1.13	2	0.87	5	1.08	5	38	3.45	1.69
12	6.75	16	5.21	16	1.53	13	5.98	17	5.93	17	5.88	17	1.15	15	0.71	17	0.92	16	0.77	15	0.96	15	174	15.82	1.25
13	6.82	15	5.49	13	1.33	9	6.15	15	6.12	15	6.08	14	0.99	9	0.76	15	0.97	13	0.80	9	1.00	9	136	12.36	2.77
14	7.34	4	6.24	3	1.11	7	6.79	3	6.77	3	6.75	3	0.76	6	0.93	3	1.11	3	0.85	6	1.06	6	47	4.27	1.62
15	7.10	11	5.54	11	1.57	15	6.32	12	6.27	11	6.22	11	1.12	14	0.80	11	0.98	11	0.78	14	0.97	14	135	12.27	1.62
16	6.98	12	6.10	4	0.88	3	6.54	6	6.52	6	6.51	6	0.64	3	0.86	6	1.08	4	0.87	3	1.09	3	56	5.09	2.66
17	7.26	8	5.77	7	1.49	12	6.52	7	6.47	7	6.43	7	1.04	12	0.85	7	1.02	7	0.79	12	0.99	12	98	8.91	2.47
18	5.78	20	5.29	15	0.49	1	5.53	19	5.53	19	5.52	18	0.43	1	0.62	19	0.94	15	0.92	1	1.14	1	129	11.73	8.65
19	5.99	19	5.05	18	0.94	4	5.52	20	5.50	20	5.48	20	0.80	7	0.61	20	0.90	18	0.84	7	1.05	7	160	14.55	6.67
20	7.78	1	6.76	1	1.01	6	7.27	1	7.25	1	7.23	1	0.66	4	1.07	1	1.20	1	0.87	4	1.08	4	25	2.27	1.85



شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای ۲۰ لاین و رقم جو مورد مطالعه
Figure 3. Cluster analysis of 20 studied barley lines and cultivars



شکل ۲- نمودار پراکنش لاین‌های جو بر اساس شاخص‌های Y_s ، Y_p و STI
Figure 2. Scatter plot of barley lines based on Y_s , Y_p and STI indices

بیش‌تر با خشکی انتهای فصل روبه‌رو هستند، به ترتیب می‌توان از شاخص‌های YI ، HM ، STI و GMP و برای در مناطقی که با خشکی انتهای فصل مواجه نیستند از شاخص‌های MP ، STI ، GMP و HM استفاده کرد. امینی و همکاران (Amini *et al.*, 2016) نیز در ارزیابی تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط مزرعه از شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل استفاده و گزارش کردند که شاخص‌های STI ، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط شوری و نرمال مناسب هستند که در بین آن‌ها STI مناسب‌ترین شاخص شناخته شد. مطلوبیت شاخص STI در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Salehi and Mosavat, 2008; Ranjbar and Rousta, 2010). اسلامی و همکاران (Eslami *et al.*, 2021) نیز در ارزیابی لاین‌های جو در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، بالاترین همبستگی را با شاخص‌های $KISTI$ ، MP و GMP داشت، در حالی که تحت شرایط آبیاری معمولی، همبستگی عملکرد با شاخص‌های YI ، $WGMI$ ، $K2STI$ و HM دارای بالاترین مقادیر بود.

نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در دو محیط در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل ضرایب همبستگی به صورت دایر کوچک و بزرگ نشان داده شده است و هر چه قطر دایر بزرگ‌تر باشد، بیانگر همبستگی بالاتر و معنی‌دار بین دو آماره است. طیف رنگی سفید تا قرمز و آبی تا سفید نیز به ترتیب بیانگر شدت ارتباط مثبت و منفی است. بر این اساس بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی همبستگی ضعیف و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت، به عبارت دیگر لاین‌های دارای عملکرد بالا در شرایط نرمال از عملکرد خوبی در شرایط تنش خشکی برخوردار نبودند (شکل ۴). عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل (Y_s) به ترتیب با شاخص‌های YI ، HM ، STI ، GMP ، MP ، YSI و RDI همبستگی مثبت و معنی‌دار و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. در مقابل تحت شرایط نرمال، عملکرد دانه (Y_p) به ترتیب با شاخص‌های STI ، MP ، GMP ، HM ، YI و TOL همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، در حالی که با شاخص‌های SSI ، YSI و RDI همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴). به عبارت دیگر برای انتخاب ارقام و لاین‌های جو در مناطقی که

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار) و آماره‌های پارامتری و ناپارامتری پایداری ۲۰ لاین امیدبخش جو

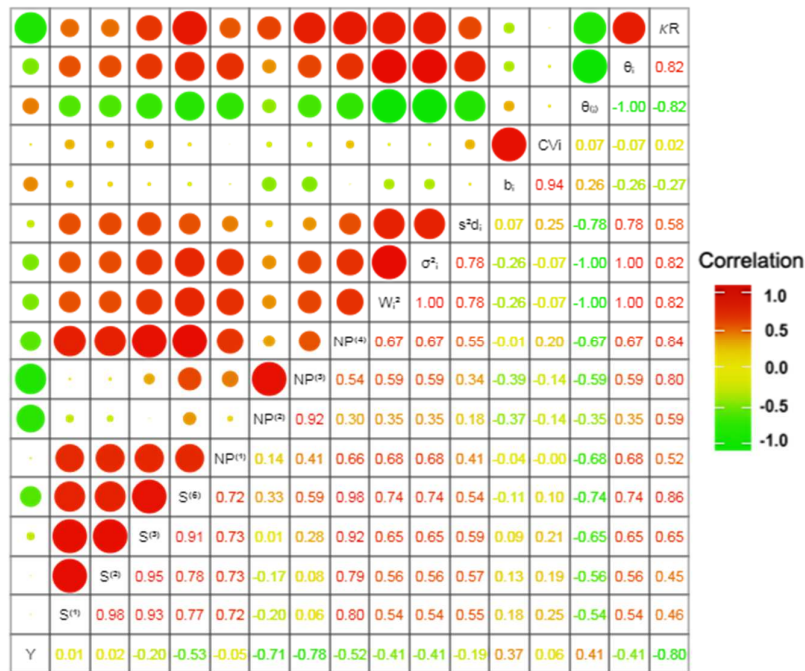
Table 6. Mean grain yield and parametric and non-parametric stability statistics of the 20 elite barley lines

Genotype	GY	S ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	S ⁽³⁾	S ⁽⁶⁾	NP ⁽¹⁾	NP ⁽²⁾	NP ⁽³⁾	NP ⁽⁴⁾	W _r ²	σ _i ²	s ² d _i	b _i	CV _i	θ _(i)	θ _i	KR
1	6.37	7.83	37.58	10.02	1.69	5.50	0.45	0.54	0.70	0.80	0.28	0.04	0.73	18.06	0.24	0.27	23
2	6.21	7.17	32.92	11.29	1.94	4.25	0.45	0.65	0.82	0.77	0.27	0.09	1.15	29.20	0.24	0.26	26
3	5.65	1.50	1.58	1.73	1.27	3.75	3.42	1.88	0.55	0.32	0.10	0.04	0.98	26.96	0.25	0.18	26
4	6.70	5.67	20.33	4.21	0.83	5.75	0.48	0.45	0.39	0.77	0.27	0.03	1.29	29.65	0.24	0.26	18
5	6.34	9.33	57.67	18.21	2.74	8.00	0.68	0.85	0.98	1.56	0.56	0.09	1.36	33.64	0.23	0.40	29
6	6.46	1.17	0.92	0.23	0.26	2.75	0.07	0.28	0.10	0.05	0.00	0.01	0.96	22.79	0.25	0.14	11
7	6.13	8.83	47.58	17.30	2.55	6.25	0.83	0.82	1.07	1.16	0.42	0.10	1.26	32.38	0.23	0.33	32
8	6.73	2.00	2.67	0.53	0.27	3.00	0.40	0.22	0.13	0.12	0.03	0.01	1.06	24.10	0.25	0.15	8
9	6.24	8.83	50.92	16.51	2.11	4.50	0.59	0.70	0.95	1.10	0.39	0.14	1.14	29.39	0.23	0.32	28
10	6.33	3.00	6.00	1.80	0.80	4.25	0.19	0.43	0.30	0.16	0.04	0.01	1.09	26.43	0.25	0.16	17
11	6.84	5.17	20.92	3.98	0.86	6.25	0.34	0.43	0.33	0.76	0.27	0.09	1.15	26.41	0.24	0.26	13
12	5.98	2.67	4.33	2.36	1.09	1.00	0.73	0.20	0.48	0.05	0.00	0.00	1.04	26.65	0.25	0.14	19
13	6.15	2.17	2.92	1.00	0.57	1.75	0.21	0.28	0.25	0.01	-0.01	0.00	0.99	24.63	0.26	0.13	16
14	6.79	2.50	4.25	0.81	0.35	2.50	0.45	0.21	0.16	0.14	0.04	0.02	0.97	22.09	0.25	0.15	8
15	6.32	5.67	20.33	5.81	1.14	4.75	0.36	0.51	0.54	0.47	0.16	0.04	1.16	28.55	0.25	0.21	21
16	6.54	6.00	29.33	7.33	1.33	4.25	0.23	0.46	0.50	0.51	0.17	0.04	0.83	19.97	0.25	0.22	16
17	6.52	10.00	66.67	16.67	2.33	8.00	0.58	0.67	0.83	1.28	0.46	0.07	0.66	16.63	0.23	0.35	25
18	5.53	2.50	6.25	3.95	1.58	4.25	2.04	1.49	0.53	2.32	0.85	0.14	0.57	18.80	0.21	0.54	39
19	5.52	4.17	14.92	10.53	2.71	7.50	2.20	1.78	0.98	1.25	0.45	0.01	0.59	16.32	0.23	0.35	37
20	7.27	1.17	0.92	0.14	0.16	3.75	0.47	0.22	0.06	0.24	0.08	0.03	1.02	21.81	0.25	0.17	8

GY, grain yield; S⁽¹⁻⁶⁾, Nassar and Huehn's and Huehn's stability statistics; NP⁽¹⁻⁴⁾, Thennarasu's stability statistics; W_r², Wricke's ecovalence; σ_i², Shukla's stability variance; b_i, regression coefficient; S²d_i, deviation from regression; CV, coefficient of variance; θ_(i), GE variance component; θ_i, mean variance component; KR, Kang's sum of ranks; SD, standard deviation.

نشان دهنده ضرایب مثبت و منفی است. بر این اساس، عملکرد دانه تنها با واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (θ_{ij}) و ضریب رگسیون (b) همبستگی مثبتی داشت، در حالی که همبستگی آن با آماره‌های کانگ (KR) ، $NP^{(3)}$ و $NP^{(2)}$ منفی و بسیار معنی‌دار بود (شکل ۵). بنابراین، از این آماره‌ها می‌توان جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کرد. براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2021) نیز در بررسی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو در اقلیم گرم گزارش کردند که آماره‌های $S_i^{(3)}$ ، $S_i^{(6)}$ ، $NP_i^{(1)}$ ، $NP_i^{(2)}$ ، $NP_i^{(3)}$ و $NP_i^{(4)}$ همبستگی منفی بالایی با عملکرد دانه داشتند، در حالی که آماره‌های $S_i^{(1)}$ ، $S_i^{(2)}$ همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نداشتند.

نتایج حاصل از ارزیابی آماره کانگ (KR) نیز نشان داد که لاین‌های ۸، ۱۴، ۲۰ و ۶ لاین‌های پایداری هستند، در حالی که بر اساس واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (θ_{ij}) ، لاین‌های شماره ۱۳، ۱۲، ۶ و ۸ و بر اساس آماره پلستید و پترسون (θ_i) لاین‌های شماره ۱۸، ۵، ۱۷ و ۱۹ به‌عنوان لاین‌های پایدار شناسایی شدند (جدول ۶). در نهایت برای ارزیابی همبستگی بین آماره‌های پایداری مختلف، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. در شکل ۵ میزان همبستگی به‌صورت دایره با اندازه‌های متفاوت و جهت همبستگی به‌صورت طیف‌های رنگی نشان داده شده است، به‌طوری‌که هر قدر یک دایره بزرگ‌تر باشد، بیانگر همبستگی بیش‌تر و معنی‌دار بین دو آماره است و طیف رنگی قرمز تا زرد و زرد تا سبز نیز به‌ترتیب



شکل ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با آماره‌های پایداری پارامتری و ناپارامتری در ۲۰ لاین جو مورد مطالعه

Figure 5. Correlation coefficients between grain yield with parametric and non-parametric stability statistics in 20 studied barley lines

هستند، می‌توان از شاخص‌های YI، HM، STI و GMP استفاده کرد. بر این اساس، لاین‌های شماره ۲۰، ۱۱ و ۱۴ متحمل‌ترین لاین‌ها به خشکی انتهایی فصل تعیین شدند. جمع‌بندی نتایج بر اساس آماره‌های پارامتری و ناپارامتری مورد بررسی نشان داد که لاین‌های ۲۰، ۱۴ و ۸ به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۷/۲۷، ۶/۷۹ و ۶/۷۳ تن در هکتار،

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که تنوع ژنتیکی بالایی از لحاظ صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد دانه در بین لاین‌های امیدبخش جو مورد بررسی وجود داشت. همچنین نتایج نشان داد که برای انتخاب ارقام و لاین‌های جو در مناطقی که با تنش خشکی انتهایی فصل مواجه

جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کند.

لاین‌های پرمحصول و پایدار برای کشت در هر دو شرایط نرمال و خشکی انتهای فصل بودند. در مقابل، لاین‌های ۵، ۷ و ۱۸ به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۶/۳۴، ۶/۱۳ و ۵/۵۳ تن در هکتار ناپیدارترین لاین‌ها بودند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تأیید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار،

References

- Aharpaz, F., Bernosi, I., Abdollahi, B., Golkari, S., Jafarzadeh, J. and Udupa S. 2020. Evaluation of barley genotypes based on morpho-physiological traits and drought tolerance indices under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture* 8(2): 153-176. (In Persian with English Abstract).
- Akash, M. W., Al-abdallat, A. M., Saoub, H. M. and Ayad, J. Y. 2009. Molecular and field comparison of selected barley cultivars for drought tolerance. *Journal of New Seeds* 10 (2): 98-111.
- Akcura, M., Kaya, Y., Taner, S. and Ayranci, R. 2006. Parametric stability analyses for grain yield of durum wheat. *Plant, Soil and Environment* 52 (6): 254-261.
- Amini, A., Amirnia, R. and Ghazvini, H. A. 2016. Evaluation of salinity tolerance in bread wheat genotypes under field conditions. *Seed and Plant Journal* 1 (31): 95-115. (In Persian with English Abstract).
- Amini, A., Tabatabaee, M. T., Akbari Mogadam, H., Ravari, Z., Amin Azarm, D. and Tajali, H. 2021. Evaluation of grain yield and its stability in bread wheat genotypes in saline regions of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science* 51 (4): 191-202. (In Persian with English Abstract).
- Amini, A., Vahabzadeh, M., Majidi, E., Afyouni, D., Tabatabaee, S. M. T., Saberi, M. H., Lotfi, A. A. and Ravari, S. Z. A. 2010. Grain yield stability and adaptability of bread wheat genotypes using different stability indices under salinity stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 26 (3): 397-411. (In Persian with English Abstract).
- Barati, A., Zali, H., Lakzedeh, I., Koohkan, Sh., Jafary, J., Jabari, M., Hosseinpour, A., Marzoghiyan, A., Gholipour, A., Poodineh, O. and Kheirgo, M. 2021. Path analysis of genotypexenvironment interaction and evaluation of grain yield stability of barley promising lines in warm zones. *Journal of Crop Breeding* 13 (38): 179-192. (In Persian with English Abstract).
- Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V. and Rao, G. D. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 49-59.
- Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, a. and Stanca, A. M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105: 1-14.
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R. and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Agriculture Science* 8 (1): 79-89. (In Persian with English Abstract).
- Eberhart, S. A. T. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6 (1): 36-40.

- Eslami, P., Bernousi, I., Aharizad, S. and Jafarzadeh, J. 2021.** Evaluation of drought stress tolerance in barley lines using tolerance indices. **Journal of Crop Breeding** 13 (38): 71-83. (In Persian with English Abstract).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. 2009.** Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development** 29: 185-212.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C. G. (Eds.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Tainan Publication, Taiwan.
- Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963.** Adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research** 14: 742-754.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research** 29: 897-912.
- Fischer, R. A. and Wood, T. 1979.** Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield association with morphological traits. **Australian Journal of Agricultural Research** 30: 1001-1020.
- FAO. 2019.** FAOSTAT. Food and Agriculture Organization. Retrieved June 15, 2019, from <http://fao.org/crop/statistics>.
- Francis, T. R. and Kannenberg, L. W. 1978.** Yield stability studies in short-season maize: I. A descriptive method for grouping genotypes. **Canadian Journal of Plant Science** 58: 1029-1034.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 523-531.
- Huhn, M. 1990.** Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. **Euphytica** 47: 189-190.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.** Climate change 2013. The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
- Kadam, N. N., Xiao, G., Melgar, R. J., Bahuguna, R. N., Quinones, C., Tamilselvan, A., Prasad, P. V. V. and Jagadish, k. S. V. 2014.** Chapter three: Agronomic and physiological responses to high temperature, drought, and elevated CO₂ interactions in cereals. **Advances in Agronomy** 127: 111-156.
- Kang, M. S. 1988.** A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. **Cereal Research Communication** 16: 113-115.
- Kebede, A., Kang, M. S. and Bekele, E. 2019.** Chapter Five - Advances in mechanisms of drought tolerance in crops, with emphasis on barley. **Advances in Agronomy** 156: 265-314.
- Ministry of Jihad Agriculture. 2020.** Agricultural statistics. Vol. one: Crop production of 2018-2019. Information and Communication Technology Center. 97 pages.
- Moghaddam, A. and Hadizade, M. H. 2002.** Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. **Seed and Plant Journal** 18 (3): 255-272. (In Persian with English Abstract).
- Molla Heydari Bafghi, R., Baghizadeh, A. and Mohammadinezhad, Gh. 2017.** Evaluation of salinity and drought stresses tolerance in wheat genotypes using tolerance indices. **Journal of Crop Breeding** 9 (23): 27-34. (In Persian with English Abstract).
- Naeemi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Modares Sanavi, S. A. M., Sadat Nuri, S. A. and Jabari, H. 2008.** Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. **Journal of Crop Production** 1(3): 83-98. (In Persian with English Abstract).
- Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, S. and Ghandi, A. 2019.** Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 21 (2): 127-138. (In Persian with English Abstract).
- Nakhaei, A., Arazmjoo, E. and Abbasi, M. R. 2019.** Evaluation of yield and agronomical traits of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) genotypes under salinity stress and introducing the best tolerance index to salinity. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 14 (3): 933-948. (In Persian with English Abstract).
- Nassar, R. and Huhn, M. 1987.** Studies on estimation of phenotypic stability: tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. **Biometrics** 43: 45-53.

- Plaisted, R. I. and Peterson, L. C. 1959.** A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal** 36: 381-385.
- Plaisted, R. L. 1960.** A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. **American Potato Journal** 37: 166-172.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P. and Siddique, K. H. M. 2019.** iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. **Applications in Plant Sciences** 7 (7): e11278.
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Poczai, P. and Siddique, K. H. M. 2019.** STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. **Applications in Plant Sciences** 7 (1): e1211.
- Rajaram, S. and Van Ginkle, M. 2001.** Mexico, 50 years of international wheat breeding. In: Bonjean, A. P., Angus, W. J. (Eds.). *The world wheat book: A history of wheat breeding*. Lavoisier Publications, Paris, France. pp: 579-604.
- Ranjbar, G. H. and Rousta, M. J. 2010.** The most effective stability index for selection of wheat genotypes in saline condition. **Soil Research Journal** 24 (3): 283-290. (In Persian with English Abstract).
- Rosielle, A. A. and Hambling, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science** 21: 943-946.
- Royo, C., Abaza, M., Blanco, R. and Garcia del Moral, L. F. 2000.** Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. **Australian Journal of Plant Physiology** 27: 1051-1059.
- Salehi, M. and Mosavat, S. A. 2008.** Selection criteria of wheat genotypes under salt stress in Golestan province. **Electronic Journal of Crop Production** 1 (4): 19-33. (In Persian with English Abstract).
- Samarah, H. N. 2005.** Effects of drought stress on growth and yield of barley. **Agronomy for Sustainable Development** 25: 145-149.
- Samarah, N. H., Alqudah, A. M., Amayreh, J. A. and McAndrews, G. M. 2009.** The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science** 195: 427-441.
- Shukla, G. K. 1972.** Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. **Heredity** 29: 237-245.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. **Field Crops Research** 98: 222-229.
- Soleimani, A., Valizadeh, M., Darvishzadeh, R., Aharizad, S. and Alipour, H. 2017.** Evaluation of yield and yield component of spring barely genotypes under late season drought stress. **Journal of Crop Breeding** 9 (23): 105-116. (In Persian with English Abstract).
- Soughi, H. A., Babaeian Jelodar, A. A., Ranjbar, Gh. A. and Pahlevani, M. H. 2016.** Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. **Journal of Crop Breeding** 8 (18): 119-125. (In Persian with English Abstract).
- Thennarasu, K. 1995.** On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph. D. Dissertation. PJ School, IARI, New Delhi, India.
- United Nations: Department of Economic and Social Affairs - Population Division 2019.** World Population Prospects 2019: Highlights. United Nations Publication, New York City.
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. and Siddique, K. H. M. 2019.** Integrating different stability models to investigate genotype×environment interaction and identify stable and high-yielding barley genotypes. **Euphytica** 215: 63. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5>.
- Wricke, G. 1962.** Übereine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung** 47: 92-96



Selecting tolerant barley genotypes to terminal drought stress based on grain yield stability and stress tolerance indices

Elias Arazmjoo^{1*} and Hamid Reza Nikkhah Chamanabad²

Received: October 19, 2021

Accepted: January 15, 2022

Abstract

To overcome the increasing requirement of agricultural production in the future climate scenarios, the most effective and economic approach is to breed cultivars with high drought tolerance. To select drought tolerant lines in barley, 19 promising barley lines along with a check variety, Goharan, were evaluated under two environmental conditions, normal and terminal drought stress. The experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications at the South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, during two cropping years, 2019-2021. Comparison of the environmental means showed that days to maturity, grain filling period, 1000-grain weight and grain yield of the studied lines in the first year were significantly reduced by drought stress. The results of the drought sensitivity and tolerance indices indicated that YI, HM, STI and GMP indices can be used to select barley cultivars and lines in the areas that are exposed to terminal drought stress, but in other areas, MP, STI, GMP and HM indices are suggested. Based on this result, lines number 20, 11 and 14 were respectively determined as the most tolerant lines to terminal drought stress in this experiment. Evaluation of stability indices and estimation of their correlation with grain yield of the studied lines also showed that grain yield had a positive and significant correlation with the variance of genotype and environment interaction (θ_{ij}) and regression coefficient (b) and a negative and significant correlation with the Kang (KR) and Thenarasu ($NP^{(2,3)}$) statistics. In total, the results of most stability statistics investigated in this experiment showed that lines number 20, 14 and 8 were high-yielding and stable lines for cultivation under both normal and terminal drought stress conditions.

Keywords: Agronomic traits, Cluster analysis, Correlation, Parametric and non-parametric statistics, Productivity

1. Assist. Prof., Dept. of Horticulture Crops Research, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran

2. Assist. Prof., Dept. of Horticulture Crops Research, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

* Corresponding author: e.arazmjo@areeo.ac.ir