

ارزیابی تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.)

Evaluation of Salinity Stress Tolerance of Cultivated Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes

شکیبا شاهمرادی^{۱*} و سید علی طباطبایی^۲

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲

چکیده

شاهمرادی، ش. و طباطبایی، س. ع. ۱۴۰۱. ارزیابی تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.). مجله نهال و بذر ۳۸: ۲۵۹-۲۸۱.

به منظور ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، تعداد ۵۰ ژنوتیپ جو زراعی با منشاء ایران در دو آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد (آزمایش شرایط بهینه در ایستگاه مرکزی یزد و آزمایش تنش شوری در ایستگاه شهرستان اردکان) ارزیابی شدند. آزمایش در قالب طرح لاتیس مستطیل ۷×۸ با سه تکرار اجرا شد. هدایت الکتریکی خاک و آب آبیاری در آزمایش بهینه به ترتیب ۳/۴ و ۳/۶ دسی‌زیمنس و در آزمایش شوری به ترتیب ۱۴ و ۱۰ دسی‌زیمنس بود. شاخص شدت تنش (SI) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، ۰/۲۱ و در سال زراعی ۱۴۰۰-۹۹ این شاخص ۰/۳۲ برآورد شد، که نشان دهنده شدت بیشتر تنش شوری در سال دوم آزمایش بود. برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ارقام اصلاح شده، شش رقم جو زراعی از جمله دو شاهد متحمل به شوری مهر و خاتم، در آزمایش‌ها گنجانده شد. خصوصیات فنولوژیکی تعداد روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه برای ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد. میانگین عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش شوری در سال اول آزمایش، به ترتیب ۲۱۵ و ۱۷۴ گرم در مترمربع بود و در سال دوم به ترتیب ۲۷۱/۹ و ۱۸۴ گرم در مترمربع بود. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر متقابل سال × تنش شوری × ژنوتیپ بر صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های جو معنی‌دار بود. بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی و شاخص‌های تنش، در سال اول آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۳ (TN4247) و ۳۸ (TN4357) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند. در حالیکه در سال دوم دو ژنوتیپ شماره ۲۴ (TN3474)، ۲۷ (TN3643) به همراه ارقام متحمل خاتم و مهر دارای عملکرد دانه بالاتری بودند. محل جمع‌آوری این دو ژنوتیپ متحمل، به ترتیب استان کرمان و استان فارس بود. با استفاده از نتایج این پژوهش، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: جو، شاخص شدت تنش، تنوع ژنتیکی، سازگاری، عملکرد دانه.

مقدمه

ایجاد می کند (Zhu, 2003; Munns, 2005).

علاوه بر این، هنگامی که گیاهان در معرض تنش شوری قرار می گیرند، مقدار زیادی از گونه های فعال اکسیژن (ROS) در سلول های گیاهی تولید می شود که منجر به آسیب جدی و حتی مرگ گیاهان می شود. تا به امروز، به خوبی ثابت شده است که تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش های ثانویه (یعنی اکسیداسیون) سه آسیب عمده به گیاهان در پاسخ به تنش شوری هستند (Munns, 2005) (Munns and Tester, 2008). با این حال، در بیشتر موارد، این آثار به طور همزمان اتفاق می افتند و زمانی که گیاهان با تنش شوری مواجه می شوند، پاسخ های فیزیولوژیکی متفاوتی با توجه به ژنوتیپ و مرحله رشدی نشان می دهند.

یکی از مؤثرترین و عملی ترین راه ها برای به حداقل رساندن آثار زیان آور شوری بر تولید محصول، افزایش توانایی تحمل به شوری در محصولات زراعی است (Luo *et al.*, 2019; Sergey, 2013). در واقع و در مقیاس جهانی هیچ ماده ای به اندازه نمک رشد گیاهان را محدود نمی کند (FAO, 2015). در ایران، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک حدود ۳۴ میلیون هکتار متاثر از سطوح بالای غلظت نمک در خاک می باشد (FAO, 2015).

شهرنشینی، صنعتی شدن و کشت فشرده به طور چشمگیری بر منابع خاک و آب تأثیر گذاشته است. بهره برداری از آب های زیرزمینی از دهه ۷۰ میلادی تا سال های اخیر حدود چهار

شوری خاک یکی از مهمترین تنش های غیرزیستی است که بر عملکرد محصولات گیاهان زراعی تأثیر می گذارد. حدود شش درصد از مساحت کل زمین در معرض خطر شوری قرار دارد که ۲۰ درصد از زمین های قابل کشت و ۳۳ درصد از زمین های کشت آبی را در بر می گیرد (Shrivastava and Kumar, 2015; Kuang *et al.*, 2019; Safdar *et al.*, 2019). علاوه بر این، گسترش اراضی شور در حال افزایش است، به طوری که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین های کشاورزی به دلیل انباشت نمک به واسطه فعالیت های انسانی و سایر عوامل مرتبط با تغییرات آب و هوایی قابلیت کشت را از دست می دهند (Smajgl *et al.*, 2015; Isayenkov, 2019).

تنش شوری به طور قابل توجهی رشد و بهره وری گیاه را کاهش می دهد که به طور قابل توجهی عملکرد را نیز متاثر می کند (Munns *et al.*, 2019). غلظت بالای یون های نمک در خاک آثار منفی و سمیت های شدید بر روی گیاهان ایجاد می کند. تنش شوری ابتدا جذب آب و مواد مغذی توسط ریشه گیاه را به دلیل تنش اسمزی مختل می کند (Munns, 2005) و سپس هنگامی که گیاه برای مدت طولانی در معرض محیط شور قرار می گیرد، ورود مستقیم و بیش از حد یون های سدیم به سلول های گیاهی باعث سمیت یونی و عدم تعادل مواد مغذی می شود و در فتوسنتز و متابولیسم گیاه اختلال

سازکارهای فیزیولوژیکی در گونه‌های گیاهی استفاده شده است (El-Esawi et al., 2018). این مطالعات سطوح مختلفی از تنوع را برای ژرم پلاسم جو ثبت کرده اند و اطلاعات مفیدی برای درک تنوع در ژرم پلاسم ارائه کردند. با این حال اکثر آنها تعداد محدودی از ژنوتیپ‌ها را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده اند. بنابراین، هنوز اطلاعات بیشتری در مورد تنوع ژنتیکی، ساختار و روابط ژنتیکی ژنوتیپ‌های جو با منشاء مختلف مورد نیاز است.

این پژوهش، با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های منتخب جو زراعی از آزمایشات مقدماتی در شرایط تنش شوری (Shahmoradi et al., 2018)، و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری برای استفاده در برنامه های به نژادی، در یزد انجام شد.

مواد و روشها

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در قالب طرح لاتیس مستطیل با سه تکرار در ایستگاه های تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد (یزد و اردکان) اجرا شد. این دو ایستگاه از نظر آب و هوایی بسیار مشابه می باشند. در این آزمایش ۵۰ ژنوتیپ منتخب جو زراعی از کلکسیون ژرم پلاسم جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران، که پس از جداسازی مورفوتیپ‌ها و حصول یکنواختی در آزمایشات شوری برتری نشان دادند، در شرایط بهینه و تنش شوری در شرایط محیطی یزد و اردکان مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱).

برابر افزایش یافته است (Emadodin et al., 2012). حدود ۷۷ درصد از زمین‌های کشاورزی آبی از سطوح مختلف شوری آب آبیاری رنج می‌برند (Emadodin et al., 2012). بنابراین به نظر می‌رسد که شوری آب و خاک تهدیدی جدی برای کشاورزی پایدار در جهان محسوب می‌شود (FAO, 2015).

منصور و همکاران (Mansour et al., 2021) در آزمایش‌های مزرعه‌ای در اقلیم مدیترانه‌ای واکنش بیست و یک ژنوتیپ مختلف جو را نسبت به تنش شوری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد تنوع قابل توجهی در واکنش ژنوتیپ‌های مختلف جو نسبت به تنش شوری وجود داشت. شاهمرادی و همکاران (Shahmoradi et al., 2018) با ارزیابی واکنش ژرم پلاسم جو بومی ایران نسبت به تنش شوری گزارش کردند که در شرایط تنش شوری و بهینه، علاوه بر عملکرد دانه خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد روز تا گلدهی و روز تا رسیدن نیز ارتباط معنی‌داری با تحمل به شوری داشتند. بررسی تحمل به تنش شوری در ۳۴۰ توده جو زراعی و ۲۹۹ گونه وحشی از این جنس در مرحله جوانه‌زنی نشان داد که تحمل نسبت به تنش شوری در گونه‌های وحشی بیشتر از گونه‌های زراعی بود (Mano and Takeda, 1998).

ارزیابی تنوع ژنتیکی و تحمل به تنش‌های غیرزیستی برای توسعه برنامه‌های به نژادی جو به منظور افزایش بهره‌وری محصول مهم است. روش‌های مختلفی برای مطالعه تنوع ژنتیکی و

جدول ۱- پنجاه ژنوتیپ‌های جو مورد ارزیابی در آزمایش شوری

Table 1. Fifty cultivated barley genotypes evaluated for salinity tolerance

شماره	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ	Province	استان	City	شهر	شماره	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ	Province	استان	City	شهر
No.	Accession/Genotype no.					No.	Accession/Genotype no.				
1	KC70233	Esfahan	اصفهان	Unknown	ناشناخته	26	TN3490	Khorasan	خراسان	Nishabour	نیشابور
2	KC70343	Khorasan	خراسان	Bojnourd	بجنورد	27	TN3643	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
3	KC70344	Khorasan	خراسان	Bojnourd	بجنورد	28	TN3646	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
4	TN0222	Yazd	یزد	Yazd	یزد	29	TN3748	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
5	TN0224	Yazd	یزد	Yazd	یزد	30	TN3947	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
6	TN0258	Yazd	یزد	Yazd	یزد	31	TN4006	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
7	TN0586	Yazd	یزد	Yazd	یزد	32	TN4104	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
8	TN0601	Kerman	کرمان	Kerman	کرمان	33	TN4247	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
9	TN0605	Kerman	کرمان	Kerman	کرمان	34	TN4332	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
10	TN3243	Yazd	یزد	Bafgh	بافق	35	TN4333	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
11	TN3244	Yazd	یزد	UnKnown	ناشناخته	36	TN4337	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
12	TN3245	Yazd	یزد	Bafgh	بافق	37	TN4354	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
13	TN3247	Yazd	یزد	Mehriz	مهریز	38	TN4357	Fars	فارس	Unknown	ناشناخته
14	TN3285	Yazd	یزد	Yazd	یزد	39	TN4461	Yazd	یزد	Mehriz	مهریز
15	KC20019	Yazd	یزد	Ardakan	اردکان	40	TN4596	Zanjan	زنجان	Khodabandeh	خدابنده
16	KC20037	Boushehr	بوشهر	Boshehr	بوشهر	41	TN4847	Kurdistan	کردستان	Ghorveh	قروه
17	TN6135	Unknown	ناشناخته	Unknown	ناشناخته	42	TN4891	Lorestan	لرستان	Khorramabad	خرم‌آباد
18	KC20418	Yazd	یزد	Yazd	یزد	43	TN4902	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
19	KC20966	Khuzestan	خوزستان	Shoshtar	شوشتر	44	TN4904	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
20	KC70443	Lorestan	لرستان	Khorramabad	خرم‌آباد	45	TN4905	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
21	TN3454	Lorestan	لرستان	Borujerd	بروجرد	46	TN4910	Boushehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
22	TN3456	West Azarbaijan	آذربایجان غربی	Salmas	سلماس	47	TN4911	Boshehr	بوشهر	Dashtestan	دشتستان
23	TN3470	Kerman	کرمان	Jiroft	جیرفت	48	TN4923	Boushehr	بوشهر	Dashti	دشتی
24	TN3474	Kerman	کرمان	Jiroft	جیرفت	49	TN4928	Boshehr	بوشهر	Dashti	دشتی
25	TN3477	Kerman	کرمان	Jiroft	جیرفت	50	TN5008	West Azarbaijan	آذربایجان غربی	Miandoab	میاندوآب

(STI) براساس عملکرد دانه در شرایط تنش شوری (YS) و نرمال (YP) در ژنوتیپ‌های جو (Fischer and Maurer, 1978; محاسبه گردید; Fernandez, 1992). همچنین شاخص شدت تنش (SI) براساس میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش شوری (YS) و شرایط نرمال (YP) محاسبه شد (Fischer and Maurer, 1978).

برای بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی و بررسی امکان انجام تجزیه واریانس مرکب داده‌ها آزمون لون انجام شد و سپس تجزیه واریانس بر اساس طرح لاتیس مستطیل انجام شد. به منظور ارزیابی روابط صفات و نقش آنها در میزان تنوع از ضرایب همبستگی و تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. به منظور بررسی روابط صفات و شاخص‌های تنش همچنین ارزیابی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها، نمودار بای‌پلات براساس صفات مورد ارزیابی در شرایط بهینه و شرایط تنش شوری و شاخص‌های تنش، رسم گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Stat Graphics و نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای صفات ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد ارزیابی در دو سال زراعی و دو شرایط بهینه و تنش شوری در ایستگاه تحقیقاتی اردکان و یزد در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر تنش شوری تنها وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. این در حالی است که اثر متقابل سال \times تنش شوری بر همه صفات بجز وزن هزاردانه معنی دار شد (جدول ۲).

میانگین نتایج آزمایش خاک در ایستگاه یزد (شرایط بهینه) نشان داد که هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری در حدود ۳/۴ دسی‌زیمنس و هدایت الکتریکی آب آبیاری در حدود ۳/۶ دسی‌زیمنس بود. در مزرعه تحقیقات شوری اردکان یزد (شرایط تنش شوری شوری)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک، در حدود ۱۴ دسی‌زیمنس و هدایت الکتریکی آب آبیاری در حدود ۱۰ دسی‌زیمنس بود.

به منظور مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ارقام اصلاح شده، شش رقم جو تجاری از جمله ارقام نصرت، نیمروز و گوهران و دو شاهد متحمل به شوری شامل ارقام مهر و خاتم (Ghazvini, et al., 2016; Nikkhah et al., 2019) و شاهد نیمه‌حساس یوسف نیز در آزمایش‌ها گنجانده شدند. آزمایش در قالب طرح لاتیس مستطیل ۷ \times ۸ با دو تکرار اجرا شد. کاشت ژنوتیپ‌ها در آبان در دو خط دو متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتیمتر در بلوک‌هایی شامل هفت واحد آزمایشی انجام گرفت.

در این آزمایش‌ها علاوه بر یادداشت برداری خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد تا روزتا گلدهی و روزتارسیدگی فیزیولوژیکی، صفات ارتفاع گیاه، میزان عملکرد دانه و وزن هزاردانه نیز اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه پس از برداشت کل کرت و خرمنکوبی، بر حسب گرم در مترمربع محاسبه شد. شاخص‌های تنش شامل میانگین عملکرد (MP)، تحمل (TOL)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل تنش

جدول ۲ - تجزیه مرکب صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های جو زراعی در دو سال زراعی و شرایط تنش شوری و بدون تنش

Table 2. Combined analysis of variance for traits in barley genotypes in two growing seasons under normal and salt stress conditions

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزاردانه 1000-kernel weight
Year (Y)	سال	1	1774.50	1052.50	644.29	24295.31	19.52
Salt stress (S)	تنش شوری	1	470.00	7.93	40362.00	65977.60	43.38**
Y × S	سال × تنش	1	2585.00**	9115.50**	8657.3**	76514.10**	0.03
Y × S (Rep)	سال × تنش (تکرار)	8	16.71	2.26	34.53	2058.20	0.27**
Rep (Block)	تکرار (بلوک)	21	16.08	8.08	31.05	2180.45 ^{ns}	0.09
Y × S (Rep(Block))	سال × تنش (تکرار بلوک)	84	22.47**	10.89**	48.69**	2289.43**	0.09**
Genotype (G)	ژنوتیپ	55	402.20**	117.75**	236.86**	9314.40	1.03**
G × Y	ژنوتیپ × سال	55	32.37*	7.54	76.88	7722.60**	0.15
G × S	ژنوتیپ × تنش	55	23.25	15.42	113.68*	6965.90*	0.15
Y × S × G	سال × تنش × ژنوتیپ	55	17.77**	29.58**	80.02**	4055.01**	0.14**
Error	خطا	356	6.72	4.62	19.79	1051.04	0.49

* and **: Significant at the 5% and 1% probability level, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط شوری به طور جداگانه در هر سال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

آماره‌های توصیفی برای صفات کمی ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد ارزیابی در دو سال زراعی در شرایط محیطی بهینه و تنش شوری در جدول ۳ ارائه شده است. در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بررسی و مقایسه میانگین خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد روزتاگلدهی و روزتا-رسیدگی فیزیولوژیکی در شرایط بهینه (به ترتیب ۱۲۶ و ۱۶۹ روز) و تنش شوری (به ترتیب ۱۲۴ و ۱۶۱ روز) نشان داد که میانگین این خصوصیات در شرایط تنش شوری کاهش نشان داد (جدول ۳). میانگین ارتفاع گیاه در شرایط بهینه ۸۸ سانتیمتر بود، در حالی که در شرایط تنش شوری به حدود ۶۶ سانتیمتر کاهش یافت (جدول ۳). بنابراین ارتفاع گیاه بیشتر از خصوصیات فنولوژیکی تحت شرایط تنش شوری قرار گرفت. در شرایط بهینه میانگین عملکرد دانه (۲۱۵ گرم در متر مربع) و وزن هزاردانه (۴۱/۴ گرم) بیشتر از میانگین عملکرد (۱۷۴ دانه (گرم) در متر مربع) و وزن هزاردانه (۳۲/۳ گرم) در شرایط تنش شوری بود (جدول ۳). دامنه تغییرات برای کلیه صفات کمی بجز ارتفاع گیاه در اثر تنش شوری کاهش یافت. بررسی ضریب تغییرات، در هر دو شرایط، نشان داد که بیشترین تنوع برای عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و وزن هزاردانه بود. ضریب تغییرات برای عملکرد دانه در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط بهینه افزایش یافت. شاهمرادی و همکاران (Shahmoradi et al., 2018)

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر خصوصیات فنولوژیکی مثل تعداد روزتاگلدهی و روزتارسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). این نشان از وجود تنوع برای صفات مورد ارزیابی در میان ژنوتیپ‌های جو زراعی بود که توسط شاهمرادی و همکاران نیز گزارش شده است (Shahmoradi, 2021). وجود تنوع در منابع ژنتیکی جو با قابلیت سازگاری با شرایط محیطی بسیار متفاوت باعث شده است ذخایر توارثی این گیاه برای تحمل/مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزنده مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد (Dawson et al., 2015).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سال \times ژنوتیپ بر تعداد روزتاگلدهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در حالیکه اثر متقابل سال \times ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل ژنوتیپ \times تنش شوری بر ارتفاع گیاه و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. سایر پژوهشگران نیز وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ \times تنش شوری را گزارش کرده‌اند (Mansour et al., 2021). بنابراین انتظار می‌رفت ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش شوری واکنش‌های متفاوتی داشته باشند. اثر متقابل ژنوتیپ \times تنش شوری \times سال بر کلیه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این نشان می‌دهد که این صفات تحت تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی می‌باشند. بنابراین، تجزیه و تحلیل

جدول ۳- آماره‌های توصیفی برای صفات کمی ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط بهینه (یزد) و تنش شوری (اردکان) در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 3. Descriptive statistics for quantitative traits of cultivated barley genotypes under optimum (Yazd) and salinity stress (Ardakan) conditions in 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons

		بهینه Optimum					تنش شوری Salinity stress				
		حداقل	حداکثر	میانگین	خطای استاندارد	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر	میانگین	خطای استاندارد	ضریب تغییرات
		Min	Max	Mean	SE	C.V.	Min	Max	Mean	SE	C.V.
2019-2020											
Days to flowering	روز تا گلدهی	110	148	126.52	0.58	6.02	119	151	124.3	0.62	6.47
Days to physiological maturity	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	160	184	169.33	0.49	3.79	151	170	161.7	0.24	1.93
Plant height(cm)	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)	68	110	88.98	0.56	8.21	40	94	66.30	0.62	12.15
Grain yield (g m ⁻²)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	71.4	449.0	215.83	5.83	35.06	78	290	174.7	3.69	27.39
1000-kernel weight (g)	وزن هزاردانه (گرم)	24.2	47.3	41.4	0.03	11.02	21.3	43.0	32.3	0.04	14.94
2020-2021											
Days to flowering	روز تا گلدهی	111	146	131.5	0.63	6.22	111	140	125.8	0.45	4.637
Days to maturity	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	159	182	171.6	0.38	2.91	158	173	164.5	0.23	1.81
Plant height (cm)	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)	57	112	79.94	0.74	11.98	55	88	71.52	0.53	9.70
Grain yield (g m ⁻²)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)	143	399	271.9	4.01	21.94	90	340	184.2	3.97	28.1
1000-kernel weight (g)	وزن هزاردانه (گرم)	29.3	50.4	40.83	0.03	10.22	22.1	44.0	33.2	0.04	13.94

Min.: Minimum, Max.: Maximum, SE: Standrad error, C.V.: Coefficient of variation,

نیز افزایش میزان واریانس برای عملکرد دانه در شرایط تنش شوری را گزارش کردند. بررسی آماره‌های توصیفی برای صفات اندازه گیری شده ژنوتیپ‌های جو زراعی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و مقایسه میانگین تعداد روزتا گلدهی و روزتاریسیدگی فیزیولوژیکی در شرایط بهینه (به ترتیب ۱۳۱ و ۱۷۱ روز) و در شرایط تنش شوری (به ترتیب ۱۲۵ و ۱۶۴ روز) بود. این نتایج در سال ۱۳۹۸-۹۹ نیز مشاهده شد. بنابراین در شرایط تنش شوری طول دوره مراحل فنولوژیکی و چرخه زندگی ژنوتیپ‌ها کوتاه تر شد. (جدول ۳).

در هر دو سال آزمایش میانگین ارتفاع گیاه در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط نرمال کاهش چشمگیری نشان داد (جدول ۳). میانگین ارتفاع گیاه در شرایط بهینه ۷۹ سانتیمتر بود، در حالی که در شرایط تنش شوری به ۷۱ سانتیمتر کاهش یافت. ابوقداره و همکاران (Pour-Aboughadareh et al., 2021) گزارش کردند که در ارزیابی تحمل به تنش شوری ۲۰ ژنوتیپ جو، تا ۶۰ درصد کاهش در وزن خشک ساقه در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط بهینه وجود داشت. آنها این کاهش در وزن خشک ساقه را به کاهش ارتفاع گیاه نسبت دادند.

در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، میانگین عملکرد دانه و وزن هزاردانه در شرایط بهینه (به ترتیب ۲۷۱/۹ گرم در متر مربع و ۴۰/۸ گرم) بیشتر از میانگین این صفات در شرایط تنش شوری (به ترتیب ۱۸۴ گرم در متر مربع و ۳۳/۲

گرم) بود. محاسبه شاخص شدت تنش (SI) بر اساس فرمول فیشر و ماورر (Fischer and Maurer, 1978) در دو سال آزمایش نشان داد این شاخص در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹، ۰/۲۱ و در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ این شاخص ۰/۳۲ برآورد شد. بنابراین بر اساس این شاخص شدت تنش در سال دوم آزمایش بیشتر بود و بر کلیه صفات اندازه گیری شده اثر کاهنده بیشتری داشت. بررسی ضریب تغییرات در هر دو شرایط در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ نیز نشان‌دهنده وجود بالاترین ضریب تغییرات برای عملکرد دانه (۲۸/۱ درصد)، وزن هزاردانه (۱۳/۹ درصد) و ارتفاع گیاه (۹/۷ درصد) بود که تنوع ژنوتیپ‌های جو برای این صفات را نشان داد (جدول ۳).

ضرایب همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد بررسی در شرایط بهینه و تنش شوری با شاخص‌های تنش در سال ۱۳۹۸-۹۹ در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که پیش‌بینی می‌شد، همبستگی بسیار معنی‌داری ($P < 0.01$) بین شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) با عملکرد دانه و وزن هزاردانه در شرایط بهینه و تنش شوری وجود داشت. ارتفاع گیاه نیز همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) نشان داد و ضریب همبستگی در شرایط بهینه با شاخص تحمل ($r = 0.47^{**}$) بالاتر بود (جدول ۴). در شرایط تنش شوری ضریب همبستگی ارتفاع گیاه نیز با شاخص‌های تنش ($r = 0.34^{**}$) معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در شرایط بهینه (N) و تنش شوری (S) و شاخص های تنش در ژنوتیپ های جو زراعی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (d.f. = 54)

Table 4. Correlation coefficients between evaluated traits under optimum (N) and salinity stress (S) conditions and stress indices in cultivated barley genotypes in 2019-2020 cropping season (df = 54)

	روز تا گلدهی (بهینه) DF (N)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (بهینه) DM (N)	ارتفاع گیاه (بهینه) PH (N)	عملکرد دانه (بهینه) GY(N)	وزن هزاردانه (بهینه) TKW (N)	روز تا گلدهی (تنش) DF (S)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (تنش) DM (S)	ارتفاع گیاه (تنش) PH (S)	عملکرد دانه (تنش) GY (S)	وزن هزاردانه (تنش) TKW (S)	میانگین حسابی عملکرد MP	میانگین هندسی تحمیل TOL	میانگین هندسی عملکرد GMP
DF (N)	1												
DM (N)	0.91**	1											
PH (N)	-0.19	-0.13	1										
GY (N)	-0.28*	-0.27*	0.65**	1									
TKW (N)	-0.18	-0.10	0.38**	0.38**	1								
DF (S)	0.86**	0.87**	-0.01	-0.18	-0.15	1							
DM (S)	0.65**	0.64**	-0.26	-0.13	-0.05	0.66**	1						
PH (S)	0.02	-0.03	-0.15	0.15	0.13	-0.11	0.33*	1					
GY (S)	-0.37**	-0.34*	0.08	0.44**	0.31*	-0.43**	0.06	0.44**	1				
KW (S)	-0.35**	-0.38**	-0.09	0.20	0.46**	-0.38**	0.15	0.44**	0.56**	1			
MP	-0.37**	-0.35**	0.49**	0.91**	0.42**	-0.33*	-0.06	0.32*	0.78**	0.41**	1		
TOL	-0.03	-0.05	0.64**	0.76**	0.18	0.12	-0.18	-0.16	-0.25	-0.19	0.41**	1	
GMP	-0.38**	-0.35**	0.45**	0.86**	0.40**	-0.35**	-0.05	0.34*	0.83**	0.44**	0.99**	0.31*	1
STI	-0.36**	-0.32*	0.47**	0.85**	0.41**	-0.34*	-0.05	0.34*	0.82**	0.43**	0.98**	0.31*	0.99**

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

DF: Days to flowering, DM: Days to physiological maturity, PH: Plant height, GY: Grain yield, TKW: 1000-kernel weight, MP: Mean productivity, TOL: Tolerance, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index.

فیزیولوژیکی نیز در شرایط بهینه و تنش شوری نیز مشاهده شد. از آنجایی که در شرایط بهینه همبستگی میان تعداد روزتا گلدهی و عملکرد دانه منفی و معنی دار بود، به تبع آن ژنوتیپ‌های زودرس تر عملکرد دانه بیشتری داشتند.

ارتفاع گیاه در شرایط بهینه همبستگی مثبت معنی داری را با شاخص‌های تنش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش شوری همبستگی ارتفاع گیاه با شاخص‌های میانگین عملکرد (MP) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) مثبت و معنی دار ($P < 0.05$) بود. ارتفاع گیاه در شرایط بهینه با عملکرد دانه همبستگی معنی دار نشان داد. همبستگی بسیار معنی داری ($P < 0.01$) بین شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) با عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش شوری وجود داشت (جدول ۵)

مقادیر شاخص‌های تنش در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی و ارقام شاهد در جدول ۶ ارائه شده است. براساس شاخص STI که با توجه به همبستگی قوی آن با عملکرد دانه بهترین شاخص برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها شناسایی شد، در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ ارقام شاهد نصرت، یوسف و گوهران به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۸ (TN4357) و ۳۳ (TN4247) بالاترین مقدار شاخص تحمل به تنش شوری را داشتند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ارقام شاهد مهر و خاتم به همراه ژنوتیپ‌های شماره ۲۴ (TN3474)، ۲۷ (TN3643) و ۱ (KC70233) شاخص تحمل بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند (جدول ۶).

ارتفاع گیاه با عملکرد دانه در هر دو شرایط بهینه ($r = 0.65^{**}$) و تنش شوری ($r = 0.44^{**}$) همبستگی مثبت و بسیار معنی دار داشت (جدول ۴). این امر نشان‌دهنده اهمیت ارتفاع گیاه در تولید زیست توده و به تبع آن بر عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بهینه بود. همبستگی وزن هزار دانه نیز با عملکرد دانه در هر دو شرایط بهینه ($r = 0.38^{**}$) و تنش شوری ($r = 0.56^{**}$) مثبت و بسیار معنی دار بود (جدول ۴). این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران (Shahmoradi et al., 2018; Mansour et al., 2021) در خصوص همبستگی وزن هزاردانه با شاخص تحمل تنش موافقت دارد. ضریب همبستگی بین تعداد روزتا گلدهی با شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) منفی و بسیار معنی دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۴). همبستگی منفی و بسیار معنی دار بین تعداد روزتا رسیدگی فیزیولوژیکی با شاخص‌های تنش در شرایط بهینه نیز مشاهده شد. از آنجایی که در تنش شوری همبستگی بین تعداد روز تا گلدهی و عملکرد دانه منفی و معنی دار بود، در نتیجه ژنوتیپ‌های زودرس تر عملکرد دانه بیشتری داشتند.

ضرایب همبستگی بین صفات ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد بررسی در شرایط بهینه و تنش شوری در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در جدول ۵ ارائه شده است. ضریب همبستگی بین تعداد روزتا گلدهی با شاخص تحمل (TOL) منفی و بسیار معنی دار بود (جدول ۵). این همبستگی منفی و بسیار معنی دار برای تعداد روزتارسیدگی

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در شرایط بهینه (N) و تنش شوری (S) و شاخص های تنش در ژنوتیپ های جو در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (d.f. = 54)

Table 5. Correlation coefficients between evaluated traits under optimum (N) and salinity stress (S) conditions and stress indices in cultivated barley genotypes in 2020-2021 cropping season (d.f. = 54)

	روز تا گلدهی (بهینه) DF (N)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (بهینه) DM (N)	ارتفاع گیاه (بهینه) PH (N)	عملکرد دانه (بهینه) GY (N)	وزن هزاردانه (بهینه) TKW (N)	روز تا گلدهی (تنش) DF (S)	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی (تنش) DM (S)	ارتفاع گیاه (تنش) PH (S)	عملکرد دانه (تنش) GY (S)	وزن هزاردانه (تنش) TKW (S)	میانگین حسابی عملکرد MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی عملکرد GMP
DF (N)	1												
DM (N)	0.82**	1											
PH (N)	-0.24	-0.20	1										
GY (N)	-0.29*	-0.26*	0.64**	1									
TKW (N)	-0.11	0.07	0.47**	0.16	1								
DF (S)	0.88**	0.81**	-0.23	-0.20	0.01	1							
DM (S)	0.78**	0.75**	-0.12	-0.21	0.11	0.81**	1						
PH (S)	-0.49**	-0.37**	0.17	0.21	-0.13	-0.42**	-0.46**	1					
GY (S)	0.15	0.22	-0.06	0.24	-0.24	0.16	0.37**	0.22	1				
KW (S)	-0.21	-0.19	0.00	0.05	0.29*	-0.16	-0.39**	0.19	-0.42**	1			
MP	-0.08	-0.02	0.36**	0.78**	-0.05	-0.02	0.11	0.27*	0.79**	-0.24	1		
TOL	-0.36**	-0.39**	0.56**	0.59**	0.32*	-0.29*	-0.47**	-0.01	-0.63**	0.39**	-0.04	1	
GMP	-0.08	-0.03	0.34*	0.77**	-0.08	-0.03	0.10	0.27*	0.81**	-0.25	0.99**	-0.05	1
STI	-0.05	0.01	0.34*	0.76**	-0.08	-0.01	0.13	0.26	0.81**	-0.26	0.99**	-0.06	0.99**

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

DF: Days to flowering, DM: Days to physiological maturity, PH: Plant height, GY: Grain yield, TKW: 1000-kernel weight, MP: Mean productivity, TOL: Tolerance, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index.

جدول ۶- شاخص های تنش برای ژنوتیپ های جو زراعی در سال های زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹

Table 6. Stress indices for cultivated barley genotypes in 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons

2019-2020						2020-2021					
شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی /ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI	شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی /ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI
1	70233	161.30	71.26	157.31	0.53	1	70233	291.08	18.83	290.90	1.12
2	70343	96.38	-37.23	94.56	0.19	2	70343	264.41	12.16	264.30	0.93
3	70344	132.10	3.53	132.08	0.37	3	70344	216.83	50.33	215.36	0.61
4	18040	164.23	41.13	162.94	0.56	4	18040	206.25	12.50	206.15	0.56
5	18042	125.48	26.96	124.75	0.33	5	18042	232.08	-19.16	231.88	0.71
6	18074	183.33	80.66	178.84	0.68	6	18074	189.50	-51.00	187.77	0.47
7	18396	171.71	-23.23	171.32	0.63	7	18396	187.50	25.00	187.08	0.46
8	18410	225.90	105.8	219.61	1.03	8	18410	226.25	12.50	226.16	0.68
9	18414	139.38	12.10	139.25	0.41	9	18414	199.33	65.33	196.63	0.51
10	18513	107.90	-32.86	106.64	0.24	10	18513	247.33	121.33	239.77	0.76
11	18514	157.68	16.70	157.46	0.53	11	18514	176.00	82.00	171.15	0.39
12	18515	170.95	-4.10	170.93	0.62	12	18515	209.83	86.33	205.34	0.56
13	18517	160.45	6.90	160.41	0.55	13	18517	178.16	19.66	177.89	0.42
14	18555	140.38	-52.56	137.90	0.40	14	18555	216.16	-4.33	216.15	0.62
15	20019	139.95	-81.43	133.89	0.38	15	20019	169.83	-53.66	167.70	0.37
16	20037	178.01	31.36	177.32	0.67	16	20037	205.00	100.00	198.80	0.52
17	6135	226.35	-22.63	226.06	1.09	17	6135	259.66	62.66	257.76	0.88
18	20418	131.65	-8.70	131.57	0.37	18	20418	236.66	56.66	234.96	0.73
19	20966	200.65	-63.36	198.13	0.84	19	20966	220.25	110.50	213.20	0.61
20	70443	170.56	14.46	170.41	0.62	20	70443	195.58	57.83	193.43	0.49
21	3454	184.48	-1.70	184.48	0.73	21	3454	186.50	43.00	185.25	0.45
22	3456	204.35	-21.30	204.07	0.89	22	3456	247.91	109.16	241.83	0.78
23	3470	213.75	98.16	208.03	0.92	23	3470	280.33	117.33	274.12	1.00
24	3474	185.51	27.70	184.99	0.73	24	3474	293.58	83.83	290.57	1.12
25	3477	180.46	-42.40	179.21	0.68	25	3477	260.33	127.33	252.42	0.85
26	3490	167.20	-21.60	166.85	0.59	26	3490	233.66	120.66	225.74	0.68
27	3643	213.23	45.80	212.01	0.96	27	3643	298.33	133.33	290.78	1.12
28	3646	207.86	116.40	199.55	0.85	28	3646	221.75	143.5	209.82	0.58

Table 6. Continued

2019-2020						2020-2021					
شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI	شماره No.	شماره نمونه ژنتیکی/ژنوتیپ Accession/Genotype no.	میانگین حسابی MP	تحمل TOL	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل تنش STI
29	3748	190.45	77.56	186.45	0.74	29	3748	278.08	242.83	250.17	0.83
30	3947	155.55	95.10	148.10	0.47	30	3947	181.91	107.16	173.84	0.40
31	4006	199.400	15.46	199.25	0.85	31	4006	262.00	254.00	229.16	0.70
32	4104	154.01	125.36	140.68	0.42	32	4104	200.83	178.33	179.95	0.43
33	4247	264.13	25.60	263.82	1.49	33	4247	196.500	153.00	180.99	0.43
34	4332	230.83	53.66	229.26	1.12	34	4332	208.500	117.00	200.12	0.53
35	4333	242.46	275.60	199.50	0.85	35	4333	212.25	144.5	199.57	0.53
36	4337	230.90	57.13	229.12	1.12	36	4337	258.91	151.16	247.63	0.81
37	4354	209.33	-46.00	208.06	0.92	37	4354	232.25	84.50	228.37	0.69
38	4357	256.38	48.76	255.22	1.39	38	4357	202.25	104.50	195.38	0.50
39	4461	160.83	-73.00	156.63	0.52	39	4461	254.50	39.00	253.75	0.85
40	4596	217.93	104.53	211.57	0.96	40	4596	172.33	31.33	171.61	0.39
41	4847	246.11	88.23	242.13	1.25	41	4847	181.16	-24.33	180.75	0.43
42	4891	174.00	97.33	167.05	0.59	42	4891	175.75	61.50	173.03	0.39
43	4902	223.20	27.73	222.76	1.06	43	4902	219.83	56.33	218.02	0.63
44	4904	191.55	13.76	191.42	0.78	44	4904	207.16	117.66	198.63	0.52
45	4905	182.31	41.96	181.10	0.70	45	4905	201.25	162.5	184.11	0.45
46	4910	174.18	37.03	173.19	0.64	46	4910	192.41	174.16	171.58	0.39
47	4911	250.76	82.86	247.32	1.31	47	4911	222.41	48.16	221.10	0.65
48	4923	204.95	89.23	200.03	0.85	48	4923	277.00	124.00	269.97	0.97
49	4928	187.38	70.10	184.07	0.72	49	4928	221.00	122.00	212.41	0.60
50	5008	253.86	100.4	248.85	1.32	50	5008	295.63	207.93	276.74	1.02
51	Nosrat	322.03	134.73	314.90	2.12	51	Nosrat	276.16	195.66	258.25	0.89
52	Yousef	267.61	85.90	264.14	1.49	52	Yousef	181.58	59.83	179.10	0.42
53	Nimrooz	229.43	107.53	223.04	1.06	53	Nimrooz	248.33	153.33	236.20	0.74
54	Goharan	269.25	37.83	268.58	1.54	54	Goharan	232.41	98.16	227.17	0.68
55	Mehr	251.46	106.26	245.78	1.29	55	Mehr	300.00	40.00	299.33	1.19
56	Khatam	252.81	138.30	243.17	1.26	56	Khatam	323.00	76.00	320.75	1.37

MP: Mean productivity, TOL: Tolerance, GMP: Geometric mean productivity, STI: Stress tolerance index.

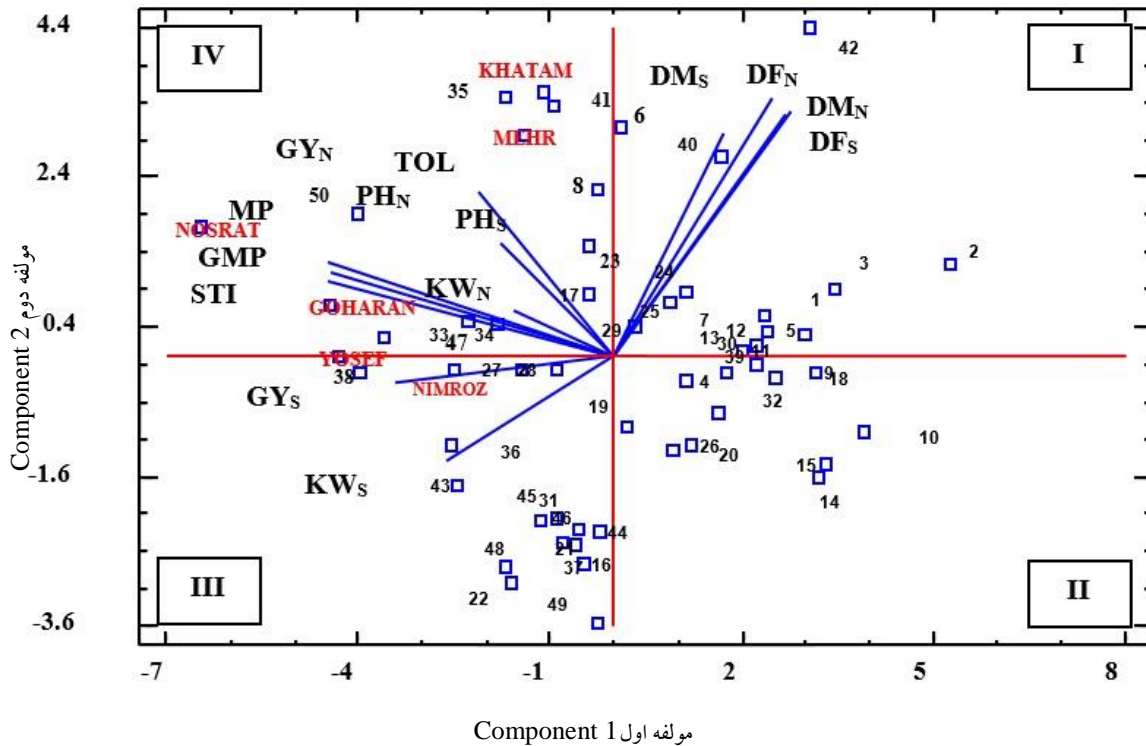
به منظور مقایسه واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش شوری با در نظر گرفتن شاخص‌های تحمل تنش و بررسی ارتباط میان صفات مورد ارزیابی و شاخص‌ها، تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ چهار مولفه مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و در مجموع ۸۵/۳۴ درصد از واریانس مشاهده شده را توجیه کردند. مولفه اول و دوم در مجموع ۶۶/۲۶ درصد از واریانس را توجیه کردند. نمودار بای پلات مولفه‌های اصلی اول و دوم براساس صفات مورد ارزیابی و شاخص‌های تحمل به تنش برای ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط بهینه و تنش شوری در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در شکل ۱ نشان داده شده است.

در سال ۹۹-۱۳۹۸ صفات زراعی از جمله عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش (GY_S, GY_N) به همراه شاخص‌های تنش شامل میانگین عملکرد (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) که دارای بیشترین ضریب در مولفه اول بودند، بردارهایی نزدیک به یکدیگر دارند و در ربع چهارم نمودار قرار گرفتند (شکل ۱). این امر نشان می‌دهد که صفات زراعی در شرایط بهینه و تنش ارتباط نزدیکی با تحمل به تنش شوری دارد. بنابراین با توجه به شاخص شدت تنش (SI) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (۰/۲۱)، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در شرایط بهینه، در شرایط تنش شوری هم

عملکرد دانه بالایی دارند (شکل ۱). علاوه بر این بردار ارتفاع گیاه (PH) نیز در نزدیکی این بردارها واقع شده است. این امر ارتباط نزدیک و اهمیت ارتفاع گیاه را با عملکرد دانه گیاه جو زراعی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود برخی ژنوتیپ‌ها مانند ژنوتیپ شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۸ (TN4357) و ۳۳ (TN4247) به همراه ارقام شاهد نصرت، گوه‌ران و یوسف در این ربع نمودار و در نزدیکی بردار شاخص تحمل تنش (STI) قرار گرفتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند (شکل ۲).

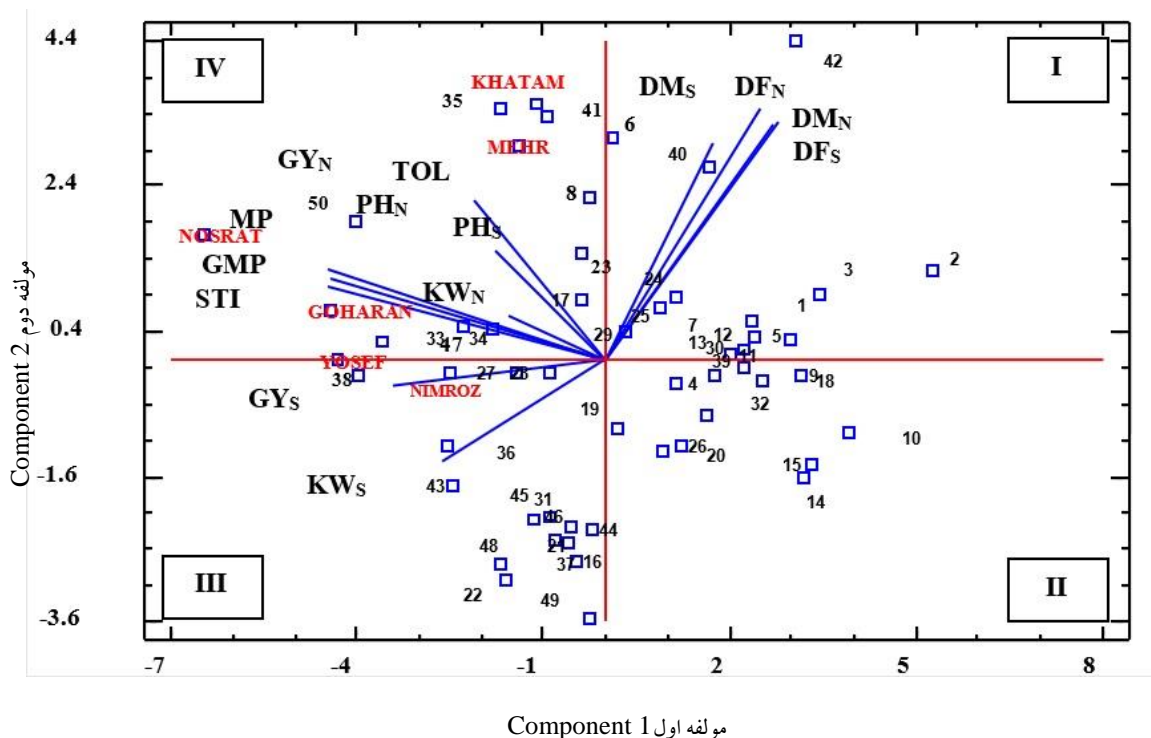
نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نیز نشان داد که چهار مولفه که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند در مجموع ۸۶/۳۳ درصد از واریانس مشاهده شده را توجیه کردند. مولفه اول و دوم در مجموع ۶۵/۴۲ درصد از واریانس را توجیه نمودند. نمودار بای پلات مولفه‌های اصلی اول و دوم براساس صفات مورد ارزیابی و شاخص‌های تحمل تنش در ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط بهینه و تنش شوری در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نشان داد که در این سال صفات زراعی از جمله عملکرد دانه در شرایط تنش (GY_S) به همراه شاخص‌های تنش شامل میانگین عملکرد (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی

عملکرد (GMP) که دارای بیشترین ضریب
برای مولفه دوم بودند، بردارهایی نزدیک به
یکدیگر دارند و در ربع اول نمودار قرار گرفتند
(شکل ۲).



شکل ۱- نمودار بای پلات دو مولفه اصلی برای صفات مورد ارزیابی و شاخص های تحمل به تنش شوری برای ژنوتیپ های جو زراعی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸. STI: شاخص تحمل تنش، GMP: میانگین هندسی عملکرد، MP: میانگین حسابی عملکرد، TOL: تحمل، GYN: عملکرد دانه بهینه، PHN: ارتفاع گیاه بهینه، KWN: وزن هزار دانه بهینه، DFN: تعداد روز تا گلدهی بهینه، DMN: تعداد روز تا رسیدن بهینه، GYs: عملکرد دانه تنش، PHs: ارتفاع گیاه تنش، KWs: وزن هزار دانه تنش، DFs: تعداد روز تا گلدهی تنش، DMs: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی تنش

Fig. 1. Bi-plot of first two principal components for evaluated traits and salt stress indices in cultivated barley genotypes in 2019-2020 cropping season STI: stress tolerance index, GMP: geometric mean productivity, TOL: Tolerance, MP: Mean productivity, GYN: optimum-grain yield, PHN: optimum- plant height, KWN: optimum-1000 kernel weight, DFN: optimum- days to flowering, DMN: optimum- days to physiological maturity, GYs: stress -grain yield, PHs: stress -plant height, KWs: stress-1000 kernel weight, DFs: stress- days to flowering, DMs: stress-days to physiological maturity, PHs: stress- plant height



شکل ۲- نمودار بای پلات دو مولفه اصلی برای صفات مورد ارزیابی و شاخص های تنش شوری در ژنوتیپ های جو زراعی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹. STI: شاخص تحمل تنش، GMP: میانگین هندسی عملکرد، MP: میانگین حسابی عملکرد، TOL: تحمل، GYN: عملکرد دانه بهینه، ارتفاع گیاه بهینه، KWN: وزن هزار دانه بهینه، DFN: تعداد روز تا گلدهی بهینه، DMN: تعداد روز تا رسیدن بهینه، GYs: عملکرد دانه تنش، PHs: ارتفاع گیاه تنش، KWs: وزن هزار دانه تنش، DFs: تعداد روز تا گلدهی تنش، DMs: تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی تنش

Fig. 2. Bi-plot of first two principal components for evaluated traits and salt stress indices in cultivated barley genotypes in 2020-2021 cropping season STI: stress tolerance index, GMP: geometric mean productivity, TOL: Tolerance, MP: Mean productivity, GYN: optimum-grain yield, PHN: optimum- plant height, KWN: optimum-1000 kernel weight, DFN: optimum- days to flowering, DMN: optimum- days to physiological maturity, GYs: stress -grain yield, PHs: stress -plant height, KWs: stress-1000 kernel weight, DFs: stress- days to flowering, DMs: stress-days to physiological maturity, PHs: stress- plant height

وزن هزاردانه در شرایط بهینه و تنش قرار دارند و در ربع چهارم بردار عملکرد دانه در شرایط بهینه و ارتفاع گیاه به همراه شاخص تحمل

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود بردار خصوصیات فنولوژیکی در کنار هم و در ربع دوم نمودار قرار دارند. در ربع سوم نمودار

قرار گرفتند.

در پژوهش حاضر عملکرد دانه معیار ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها بود و شاخص های تحمل به تنش بر اساس آن محاسبه شد. بر اساس نتایج به دست آمده واکنش ژنوتیپ‌ها در دو سال آزمایش متفاوت بود. در سال اول آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ (TN5008)، ۳۳ (TN4247) و ۳۸ (TN4357) به همراه ارقام شاهد نصرت، گوهران و یوسف از نظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند. بر اساس اطلاعات موجود، محل جمع‌آوری ژنوتیپ شماره ۵۰، استان آذربایجان غربی، و برای ژنوتیپ‌های شماره‌های ۳۳ و ۳۸ استان فارس می‌باشد (جدول ۱). در سال دوم ژنوتیپ شماره ۲۴ (TN3474) و ۲۷ (TN3643) به همراه ارقام متحمل به شوری خاتم و مهر عملکرد دانه بالاتری داشتند. محل جمع‌آوری این دو ژنوتیپ به ترتیب استانهای کرمان و فارس می‌باشد (جدول ۱). شهرستان محل جمع‌آوری ژنوتیپ شماره ۲۴ جیرفت می‌باشد که از نظر طبقه‌بندی‌های اقلیمی دارای اقلیم گرم خشک و نیمه خشک می‌باشد.

پاسخ رشد گیاه نسبت به تنش شوری در مراحل مختلف چرخه زندگی گیاه متفاوت است. معیارهای ارزیابی و غربالگری تحمل به شوری در گیاهان زراعی بسته به سطح و شدت تنش شوری و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Neumann, 1997). بررسی شاخص شدت

(TOL) قرار دارد. ژنوتیپ‌هایی که در این ربع و در نزدیکی بردار شاخص تحمل (TOL) قرار دارند، افت عملکرد کمتری در اثر تنش نشان دادند، هرچند که در مجموع عملکرد بالایی تولید نکردند، ژنوتیپ‌های شماره ۴۹ (TN4928)، ۳۷ (TN4354)، ۴۳ (TN4902) و ۳۱ (TN4006) به همراه رقم گوهران و نیمروز از این جمله بودند. ژنوتیپ‌های که در ربع اول نمودار و نزدیک بردارهای شاخص‌های میانگین عملکرد (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) قرار دارند، شامل ژنوتیپ شماره ۲۴ (TN3474) و ۲۷ (TN3643) به همراه ارقام شاهد خاتم و مهر در این ربع نمودار قرار گرفتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات زراعی و شاخص‌های تحمل به تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند.

در مطالعات ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های مختلف از شاخص‌های تحمل تنش برای غربالگری سریع و راحت استفاده می‌شود (Tao et al., 2021; Javed et al., 2022). شاخص‌های تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) با در نظر گرفتن عملکرد پتانسیل و تنش به طور همزمان، قابلیت انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط تنش و بهینه را به وجود می‌آورند و همبستگی بالای مشاهده شده بین این شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط بهینه و تنش شوری در این پژوهش این موضوع را تایید کردند بنابراین، به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مد نظر

خاک‌های شور، تنها با ژنوتیپ سازگار و متحمل، و در نظر گرفتن مدیریت مناسب شرایط خاک، آب، و اکولوژی منطقه مقدور است (Al Menale *et al.*, 2005). در واقع نوسانات و تغییرات عوامل اقلیمی در سال‌های مختلف تاثیر بسزایی در تعیین شدت تنش واقع شده، دارند و شدت تنش بر ژنوتیپ‌های برتر معرفی شده در هر آزمایش تاثیر بسزایی دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد به منظور شناسایی دقیق ژنوتیپ‌های برتر و پایدار در شرایط اقلیمی هر منطقه، لازم است مطالعات دقیق چند ساله با در نظر گرفتن شرایط و تغییرات کوتاه مدت آب و هوایی و بلند مدت اقلیمی انجام شود.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از مدیریت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای تامین اعتبارات لازم برای اجرای این پژوهش و کارکنان ایستگاه تحقیقات کشاورزی یزد و اردکان که در اجرای این پروژه پژوهشی همکاری کردند، سپاسگزاری می‌کنند.

تنش (SI) در دو سال آزمایش نشان داد این شاخص در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، ۰/۲۱ و در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ این شاخص ۰/۳۲ برآورد شد. بنابراین، شدت تنش در سال دوم آزمایش بیشتر بود. پژوهش‌های قبلی نیز نشان داده است که در شرایط تنش شوری پایین تا متوسط، ظرفیت عملکرد دانه ژنوتیپ، مناسب‌ترین معیار برای ارزیابی تحمل به تنش شوری است، در حالی که در سطوح شوری نسبتاً بالا توانایی بقا به عنوان معیار شناخته می‌شود (Epstein *et al.*, 1980). بنابراین، بر اساس محاسبه شاخص شدت تنش در این آزمایش، شدت تنش در محدوده مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود. به ویژه در سال دوم آزمایش که ژنوتیپ‌های برتر به همراه ارقام شاهد متحمل به شوری متمایز شدند.

تفاوت نتایج دو سال آزمایش نشان داد که در سال اول ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در شرایط تنش ملایم شوری و در سال دوم ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری شناسایی شدند. قرار گرفتن ارقام متحمل به شوری خاتم و مهر در بین ژنوتیپ‌های برتر تایید کننده این امر بود. افزایش سطح زیر کشت جو در

References

- Al-Menale, H. S., Calingari, P. D., and Forster, B. P. 2005. Development of salt tolerant barley for sustainable agriculture in Kuwait. *Options Mediterraneennes* 81: 369-372.
- Emadodin, I., Narita, D. and Bork, H. R. 2012. Soil degradation and agricultural

- sustainability: an overview from Iran. *Environment, development and sustainability* 14: 611-625.
- Epstein, E., Norlyn, J. D., Rush, D. W., Kingsbury, R. W., Kelly, D. B., Cunningham, G. A., and Wrona, A. F. 1980.** Saline culture of crops: a genetic approach. *Science* 210:399–404.
- FAO, 2015.** Extent of salt-affected soils. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/>
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.). pp. 257-270. In: *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, AVRDC Publication, Tainan,
- Fischer, A. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 894-912.
- Ghazvini, H., Nikkhah, H. R., Yousefi, A., Mahlouji, M., Ravari, Z., Sharifalhossaini, M., Morovati, Y., and Arazmjoo, M., 2016.** Khatam, a new irrigated barley cultivar with wide adaptability in the saline marginal areas of temperate argo- climate zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 5 (2): 119-132. (in Persian).
- Isayenkov, S. V. 2019.** Genetic sources for the development of salt tolerance in crops. *Plant Growth Regulation* 89: 1-17.
- Javed, M. M., Al-Doss, A. A., Tahir, M. U., Khan, M. A., and El-Hendawy, S. 2022.** Assessing the Suitability of Selection Approaches and Genetic Diversity Analysis for Early Detection of Salt Tolerance of Barley Genotypes. *Agronomy* 12: 3217. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123217>.
- Kuang, L., Shen, Q., Wu, L., Yu, J., Fu, L., Wu, D., and Zhang, G. 2019.** Identification of microRNAs responding to salt stress in barley by high-throughput sequencing and degradome analysis. *Environmental and Experimental Botany* 160: 59-70.
- Luo, Q., Teng, W., Fang, S., Li, H., Li, B., Chu, J., Li, Z., and Zhang, Q. 2019.** Transcriptome analysis of salt-stress response in three seedling tissues of common wheat. *Crop Journal* 7: 378-392.
- Mano, Y., and Takeda, K. 1998.** Genetic resources of salt tolerance in wild *Hordeum*

- species. *Euphytica* 103: 137–141.
- Mansour, E., Moustafa, E. S. A., Abdul-Hamid, M. I. E., Ash-shormillesy, S. M. A. I., Merwad, A. M. A., Wafa, H. A., and Igartua, E. 2021.** Field responses of barley genotypes across a salinity gradient in an arid Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 258: 107206. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107206
- Munns, R., 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist* 167: 645-663.
- Munns, R., and Tester, M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Munns, R., Day, D. A., Fricke, W., Watt, M., Arsova, B., Barkla, B. J., Bose, J., Byrt, C.S., Chen, Z.H., Foster, K.J. and Gilliham, M. 2019.** Energy costs of salt tolerance in crop plants. *New Phytologist* 225: 1072-1090.
- Neumann, P. 1997.** Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant, Cell & Environment* 20:1193-1198.
- Nikkhah, H. R., Tabatabaee, S. A., Yousefi, A., Ghazvini, H., Saberi, H., Tajali, H., Mahlooji, M., Binabaji, M. H., Aghnoum, R., Dehghan, M. A., Zakeri, A. and Safavi, S. A. 2019.** Mehr, Barley cultivar tolerant to salt stress for cultivation in the temperate climate of the country. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 7 (2): 235-249. (in Persian).
- Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H. Mehrvar, M. R., Asadi, A. and Amini, A. 2021.** Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. *Bulletin of the National Research Centre* 45: 117. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00576-0>.
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., and Sarwar, M. I., Shoukat, A., Ul Hussan, M., Sarwar, M. I. 2019.** A review: Impact of salinity on plant growth. *Natural Sciences* 1: 34-40.
- Sergey, S. 2013.** Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany* 112: 1209–1221.
- Smajgl, A., Toan, T. Q., Nhan, D. K., Ward, J., Trung, N. H., Tri, L. Q., Tri, V. P. D., and Vu, P. T. 2015.** Responding to rising sea levels in the Mekong Delta. *Nature Climate Change* 5: 167-174.
- Shahmoradi, Sh., Tabatabaie, S. A., and Pouresmaeil, M. 2018.** Analysis and

classification of salt tolerance in native barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm of Iran. Iranian Journal of Crop Science 19 (4): 319-333. (in Persian).

Shahmoradi, Sh. 2021. Exploiting the morphological and phenological diversity in barley landraces of Iran. Desert 26 (2): 267-278.

Shrivastava, P., and Kumar, R. 2015. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences 22: 123-131.

Tao, R., Ding, J., Li, C., Zhu, X., Guo, W., and Zhu, M. 2021. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage. Frontiers in Plant Science 12:646175.

Zhu, J. K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology 6: 441-445.

Evaluation of Salinity Stress Tolerance of Cultivated Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes

Sh. Shahmoradi^{1*} and S. A. Tabatabaie²

1. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran.

ABSTRACT

Shahmoradi, Sh., and Tabatabaie, S. A. 2022. Evaluation of salinity stress tolerance of cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Seed and Plant Journal* 38: 259-281 (in Persian).

To identify salinity tolerant cultivated genotypes, 50 barley genotypes originated from Iran were evaluated in a field experiment during 2019-2020 and 2020-2021 cropping seasons in Yazd; Optimum experiment at Yazd central field station, and stress experiment in Ardakan field station, Iran. Six improved barley cultivars; Mehr and Khatam (Salinity tolerant), Nosrat, Nimrooz, Yousef and Gohran were also included in the experiments. The experiments were carried out using 8×7 rectangular lattice design with three replications. Phenological traits, grain yield and 1000-kernel weight were measured in all genotypes under optimum and salinity stress conditions. The electrical conductivity of soil and irrigation water in optimum condition was 3.4 and 3.6 dS m⁻¹, and in the salinity condition, it was 14 and 10 dS m⁻¹, respectively. The stress intensity index (SI) was 0.21 and 0.32 in 2019-20 and 2020-21 cropping seasons, respectively, which indicated higher stress intensity in the second year in the stress experiment. The mean grain yield under optimum and salt stress conditions in 2019-20 was 215 and 174 g m⁻², respectively. In 2020-21 cropping season, mean grain yield under optimum stress conditions were 271.9 and 184 g m⁻², respectively. Combined analysis of traits showed that the of year × salinity stress × genotype interaction effect was significant on evaluated traits. Based on the results of principle component analysis and stress indices in 2019-20 cropping season, genotypes no. 50 (TN5008), 33 (TN4247) and 38 (TN4357) were superior genotypes. While in 2020-21 cropping season genotypes no. 24 (TN3474) and 27 (TN3643) together with salinity tolerant barley cultivars; Khatam and Mehr had higher grain yield. The collecting site of these two genotypes is Kerman province and Fars province, respectively. Based on the results of this research, tolerant cultivated barley genotypes were identified for further studies.

Keywords: Barley, stress intensity index, genetic diversity, adaptation, grain yield.

*Corresponding author: shakibashahmoradi@gmail.com

Tel.: +98262701260

Received: 07 July 2022

Accepted: 14 October 2022