

بررسی واکنش ژرم پلاسما جو زراعی بومی اقلیم بیابانی نسبت به تنش خشکی آخر فصل

شکیبا شاهمرادی^{۱*}، سید علی طباطبایی^۲، بهنام بخشی^۳ و علی براتی^۴

*۱- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. shahmoradi@spii.ir

۲- دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران s.a.tabatabaei@areeo.ac.ir

۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان (زابل)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

b.bakhshi@areeo.ac.ir

۴- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. abarati@spii.ir

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی منابع ژنتیکی جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران در شرایط تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل، صورت گرفت. براین اساس ۵۰ ژنوتیپ از کلکسیون جو زراعی از اقلیم گرم و خشک ایران، در شرایط تنش خشکی ارزیابی شدند. ژنوتیپ‌ها در دو سال زراعی متوالی به صورت تکراردار به همراه ۶ رقم تجاری جو شامل نیمروز، یوسف، گوهران، مهر و خاتم مورد ارزیابی دقیق قرار گرفتند. طرح آماری مورد استفاده بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در ایستگاه تحقیقاتی یزد و ایستگاه تحقیقاتی زهک در استان سیستان بود. در شرایط تنش خشکی قطع آبیاری پس از ساقه رفتن ۵۰ درصد از مورفوتیپ‌ها، انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه مرکب صفات، اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ در تنش خشکی در سال بر همه صفات معنی‌دار شد. تجزیه به مولفه‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی در ایستگاه تحقیقاتی یزد در هر دو سال نتایج تقریباً مشابهی داشت و نشان داد ژنوتیپ شماره ۵۰ و رقم نصرت در میانگین عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند. تجزیه به مولفه‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی در ایستگاه زهک نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف بود. به نظر می‌رسد نتایج متفاوت در سال دوم نسبت به سال اول ناشی از شدت تنش بالاتر در این سال می‌باشد. در این شرایط پایداری ژنوتیپ‌ها اهمیت زیادی دارد، براساس آماره پایداری AMMI ژنوتیپ‌های شماره ۲۷، ۲۳ و ۳۴ به عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر در این آزمایش شناسایی شدند.

واژه های کلیدی:

اقلیم گرم و خشک، تحمل، تنش خشکی، جو، منابع ژنتیکی.

۱. مقدمه

جو زراعی یکی از مهمترین گیاهان زراعی جهان و کشور بوده و از نظر سطح زیر کشت در دنیا در مقام چهارم قرار دارد. سطح زیر کشت جهانی جو در سال ۲۰۲۲ معادل ۴۷ میلیون هکتار با تولید ۱۴۵ میلیون تن و میانگین عملکرد دانه ۳۲۸۵ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO, 2024). در ایران پس از گندم، جو مهمترین و دومین گیاه زراعی در کشت دیم است. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ سطح زیر کشت جو کشور حدود ۱۶۰۰ هزار هکتار با تولید حدود ۳۱۷۶ هزار تن و میانگین عملکرد دانه ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار آبی و ۸۳۶ کیلوگرم در هکتار دیم بوده است (Agricultural statistics of crops, 2022). با وجود اینکه بر اساس آمارنامه کشاورزی در حدود نیمی از اراضی جو به کشت دیم اختصاص دارد، اما عملکرد تولیدی آن کمتر از یک سوم از کل است و این امر اهمیت محدودیت منابع آبی را در تعیین عملکرد جو نمایان می‌سازد.

خشکی یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های محیطی است که باعث کاهش شدید عملکرد می‌شود (Farooq *et al.*, 2014; Kadam *et al.*, 2009) و مناطق مستعد خشکسالی بخش وسیعی از زمین‌های قابل کشت در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند (Wang *et al.*, 2014; Kebede *et al.*, 2019). خشکی تقریباً تمام مراحل رشد و نمو در طول چرخه زندگی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش فتوسنتز، ناهنجاری‌های گل، عقیمی سنبلیچه، افت عملکرد دانه و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Kadam *et al.*, 2014).

یک جنبه حیاتی در تمام مطالعات اختصاص داده شده به تحمل به خشکی، ارزیابی درجه تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مختلف است (Cattivelli *et al.*, 2008). منابع ژنتیکی متنوع، صفات قابل اعتماد و روش‌های ارزیابی دقیق در شناسایی مواد مقاوم به خشکی بسیار مهم هستند. تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تحت تنش خشکی بازتاب تنوع ژنتیکی گیاهان در تحمل به خشکی است و ژنوتیپ‌هایی که سازگاری بالایی با تنش خشکی دارند می‌توانند منابع ژنتیکی برای بهبود تحمل به خشکی در ارقام جو باشند (Nevo & Chen, 2010). تاکنون، صفات زراعی، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی متعددی به طور گسترده برای غربالگری تحمل به خشکی استفاده شده است (Mwadzingeni *et al.*, 2016). اغلب این صفات به طور قابل توجهی با تحمل به خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی همبستگی دارند و برخی از آنها به عنوان معیار انتخاب در برنامه‌های اصلاح جو متحمل به خشکی استفاده شده‌اند (Sallam *et al.*, 2019). با این حال، اینکه کدام یک از این صفات می‌تواند معیار انتخاب برتر برای انتخاب ژنوتیپ‌های جو متحمل به خشکی باشد، باید به دقت مورد توجه قرار گیرد (Sallam *et al.*, 2019). به عنوان مثال، ماده خشک برگ و محتوای نسبی آب به عنوان صفات اساسی به طور گسترده در آزمایش‌های خشکی در گندم و جو استفاده می‌شوند، در حالی که حسن‌زمان و همکاران (Hasanuzzaman *et al.*, 2017) دریافتند که تنوع در این پارامترها با تفاوت ژنوتیپی در تحمل به خشکی در جو ارتباط معنی‌داری نشان نمی‌دهد. تحقیقات صارمی و همکاران (Saremi *et al.*, 2022) در بررسی تحمل به خشکی ۱۲۱ ژنوتیپ، لاین و ارقام جو نشان داد، صفات تعداد سنبله و وزن هزار دانه همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های تحمل تنش دارند. بنابراین، استفاده از ژنوتیپ‌های بسیار محدود یا جمعیت ژنتیکی لاین‌ها برای

غربالگری تحمل به خشکی، ممکن است جهانی بودن نتایج و قابلیت تعمیم به سایر ژنوتیپ‌ها را به خطا بیندازد (Jabbari *et al.*, 2018; Sallam *et al.*, 2019).

بنابراین، یک عمل غربالگری در مقیاس بزرگ با ژنوتیپ‌هایی منشا گرفته از اقلیم‌های مرتبط با تنش مورد ارزیابی و استفاده از صفات مرتبط با تحمل، برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب در تحمل به خشکی بسیار ضروری است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی واکنش ژرم‌پلاسما جو موجود در کلکسیون جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران نسبت به تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی انجام شد.

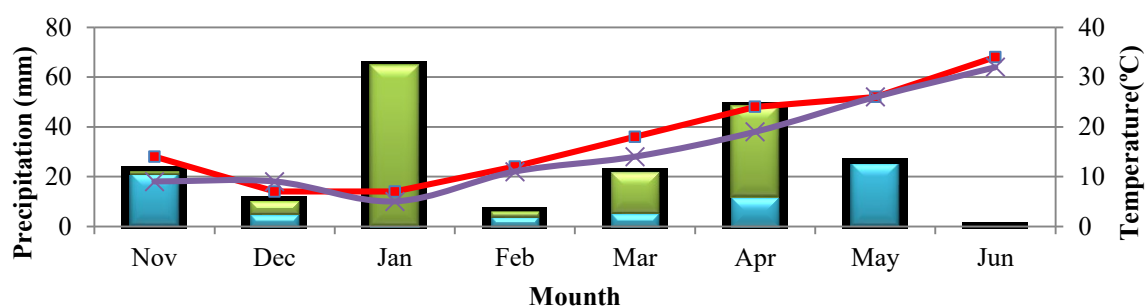
۲. روش تحقیق

در این تحقیق ۵۰ ژنوتیپ از کلکسیون جو زراعی (*Hordeum vulgare*) در بانک ژن گیاهی ملی ایران که از استان‌های دارای اقلیم گرم و خشک ایران جمع‌آوری شده بودند، به همراه ۶ رقم تجاری جو شامل نیمروز، یوسف، گوهران، مهر و خاتم (در مجموع ۵۶ ژنوتیپ) در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. این تحقیق در دو سال زراعی ۹۹-۹۸ و ۱۴۰۰-۹۹ و در دو مکان شامل ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد و ایستگاه تحقیقاتی زهک در مرکز تحقیقات سیستان اجرا شد. طرح آماری مورد استفاده در این آزمایش بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بود. در هر ایستگاه، آزمایش در شرایط نرمال و تنش خشکی به طور جداگانه اجرا شد. تاریخ کشت در هردو ایستگاه نیمه دوم آبان ماه بود و کشت ژنوتیپ‌ها در کرت‌هایی شامل دو خط دو متری صورت گرفت و فواصل خطوط کشت ۲۰ سانتیمتر بود. در آزمایش تنش خشکی، آبیاری در سه مرحله کشت، استقرار و ساقه رفتن ۵۰ درصد ژنوتیپ‌ها انجام شد و قطع آبیاری پس از ساقه رفتن ۵۰ درصد از ژنوتیپ‌ها، اعمال گردید. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی گرم و خشک این دو ایستگاه (شکل ۱) وقوع بارندگی پس از مرحله ساقه رفتن محدود و ناکافی است، لذا از اعمال تنش خشکی اطمینان حاصل شد. صفات شامل: تعداد روزتا گلدهی، تعداد روز تارسیدن، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند.

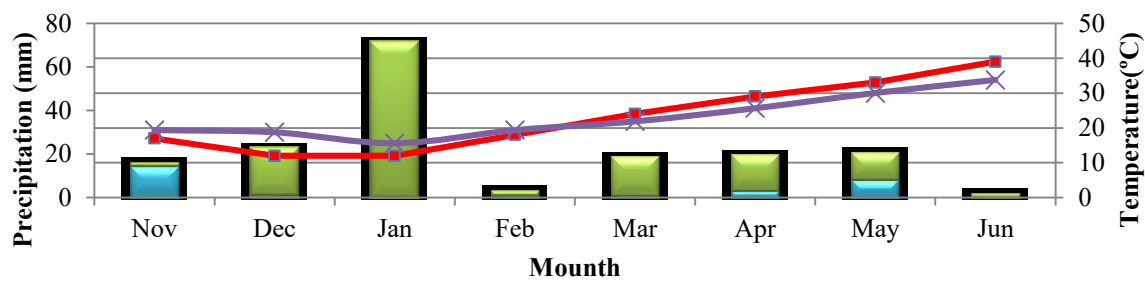
جدول ۱. ژنوتیپ‌های جو مورد ارزیابی در آزمایش به همراه ارقام شاهد زراعی

Cultivar	No.	KC	No.	KC	No.	KC	No.	KC	No.	KC	No.
Nosrat	51	20079	41	19262	31	18723	21	18514	11	70233	1
Yusef	52	20123	42	19360	32	18725	22	18515	12	70343	2
Nimrooz	53	20134	43	19503	33	18739	23	18517	13	70344	3
Goharan	54	20136	44	19588	34	18743	24	18555	14	18040	4
Mehr	55	20137	45	19589	35	18746	25	20019	15	18042	5
Khatam	56	20142	46	19593	36	18759	26	20037	16	18074	6
		20143	47	19610	37	18910	27	20367	17	18396	7
		20155	48	19613	38	18913	28	20418	18	18410	8
		20160	49	19717	39	19013	29	20966	19	18414	9

اطلاعات مربوط به روند تغییرات دما و بارندگی در ماه‌های مختلف دو سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در یزد و زهک (شکل ۱) نشان داده شده است. همانطور که در نمودارهای اطلاعات هواشناسی هر دو شهر ملاحظه می‌شود، میزان بارندگی در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از سال دوم (۱۳۹۹-۱۴۰۰) بود.



a)



b)

شکل ۱. روند تغییرات دما و بارندگی در ماه‌های مختلف سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در یزد (a) و زهک (b).

Figure 1-Changes in temperature and precipitation in different months of the 2019-2020, 2020-2021 cropping seasons in Yazd (a) and Zehak. (b)

در این تحقیق همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون یکنواختی واریانس لون (Levene, 1960) انجام و نرمال بودن داده‌ها تایید شد. سپس به منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در دو فصل زراعی، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت. با توجه به تفاوت‌های آب و هوایی بین دو مکان آزمایش و نتایج آزمون یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس مرکب در هر مکان به‌طور جداگانه انجام شد. در تجزیه مرکب سال به‌عنوان عامل تصادفی و تنش به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شد. تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین صفات به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) انجام شد. به منظور ارزیابی روابط صفات و نقش آنها در میزان تنوع تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. به منظور گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد

بالا در هر دو محیط تنش و محیط بدون تنش، نمودار بای پلات براساس عملکرد در شرایط نرمال و شرایط تنش رسم گردید. تجزیه به مولفه‌های اصلی، به وسیله نرم افزار Stat Graphics (نسخه ۱۵) انجام شد.

شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب و سازگار با محیط‌های مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. در این تحقیق روش AMMI یکی از مهم‌ترین روش‌های چند متغیره تجزیه پایداری با قابلیت جمع‌پذیری اثرات اصلی و ضرب‌پذیری اثر متقابل (Yan *et al.*, 2002) با هدف بررسی پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌ها، با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۴,۳,۳) مورد استفاده قرار گرفت.

۳. نتایج و بحث

۱,۳. ایستگاه یزد

با در نظر گرفتن تفاوت‌های آب و هوایی بین دو مکان آزمایش و نتایج آزمون یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس مرکب در هر ایستگاه تحقیقاتی به‌طور جداگانه انجام شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه مرکب صفات فنولوژیک و آگرونومیک در ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد ارزیابی در دو سال زراعی و دو شرایط نرمال و تنش خشکی در ایستگاه تحقیقاتی یزد در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل سال و تنش خشکی بر صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدن، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد و تنها صفاتی که اثر متقابل سال و تنش خشکی بر آن معنی‌دار نشد، صفت وزن هزار دانه بود.

بر اساس نتایج تجزیه مرکب صفات، اثر عامل ژنوتیپ بر همه صفات اندازه‌گیری شده به جز صفت وزن هزار دانه اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی بر صفات روز تا گلدهی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد ولی بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ در تنش خشکی در سال بر همه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. این امر نشان می‌دهد که این صفات تحت تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی می‌باشند. براساس این نتایج، تجزیه و تحلیل صفات در ژنوتیپ‌ها و واکنش آنها نسبت به شرایط خشکی به‌طور جداگانه در هر سال مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس شاخص شدت تنش (SI)، شدت تنش خشکی در سال اول آزمایش ۰/۳۸ و در سال دوم ۰/۵۵ بود لذا در آزمایش، تنش خشکی قابل قبولی بر ژنوتیپ‌ها اعمال گردید.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات در ژنوتیپ‌های جو در دو سال زراعی و شرایط تنش خشکی و بدون تنش در ایستگاه مرکز تحقیقات یزد
Table 2. Combined analysis of variance for traits in barley genotypes in two cropping seasons and drought stress and normal conditions in Yazd station

Mean Square						
S.O.V ¹	DF	Days to flowering	Days to maturity	Plant height	1000 Grain weight	Grain yield
Year	1	1295.3 ^{ns}	328.7 ^{ns}	2089.7 ^{ns}	21.11 ^{ns}	7783.9 ^{ns}
Drought	1	24.76 ^{ns}	1281.5 ^{ns}	505.7 ^{ns}	4.78 ^{ns}	1311370.2 ^{ns}
Year*Drought	1	722.9 ^{**}	1880.0 ^{**}	6138.3 ^{**}	0.17 ^{ns}	115125.5 ^{**}
Rep (Year*Drought)	8	5.79	6.35	47.25	0.06	1033.6
Genotype	55	489.2 ^{**}	192.7 ^{**}	484.32 ^{**}	1.30 ^{ns}	17843.1 ^{**}
Genotype*Year	55	14.26 ^{ns}	11.11 ^{ns}	85.23 ^{ns}	0.10 ^{ns}	3771.4 ^{ns}
Genotype*Drought	55	40.82 ^{**}	22.76 ^{ns}	105.39 ^{ns}	0.12 ^{ns}	4064.7 ^{ns}
Year*Drought*Genotype	55	15.86 ^{**}	14.67 ^{**}	82.01 ^{**}	0.13 ^{**}	4371.1 ^{**}
Error	440	2.132	2.500	16.615	0.03	524.765
**and * significant at P≤0.01 and P≤0.05						
** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪						

به منظور ارزیابی دقیق‌تر داده‌ها و مقایسه میانگین صفات در ژنوتیپ‌های مختلف جو زراعی، مقایسه میانگین اثر متقابل

سه گانه بر صفات مورد ارزیابی در سال اول و دوم آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی یزد ارزیابی شد (جدول ۳).

جدول ۳. اثر متقابل سه گانه سال، تنش و ژنوتیپ بر صفات ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط نرمال و تنش خشکی ایستگاه تحقیقاتی یزد سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

Table 3. The triple interaction effect of year, stress, and genotype on the characteristics of the crop genotypes under normal conditions and drought stress at the Yazd Research Station in 2019-20 and 2020-21.

Genotype	Plant height(cm)				Kernel weight(g)				Grain yield (gm ⁻²)			
	2019-20		2020-21		2019-20		2020-21		2019-20		2020-21	
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
1	86.7	80	68.4	72.5	3.8	3.7	4.1	4.2	342	169	341	112
2	92.1	88	76.3	68.1	3.3	3.2	4.1	3.8	141	84.5	296	131
3	85.1	76	68.8	72.4	3.9	3.2	4.1	3.8	216	50.2	268	150
4	83.7	72	74.8	74.3	3.6	3.4	4.5	4.2	302	106	231	128
5	85.9	73	71.1	73.4	4.2	3.7	4.3	3.9	231	84.3	249	195
6	90.9	76	74.5	79.2	3.8	3.2	4.2	3.7	374	72	186	147
7	82.1	70	72.1	76.1	3.9	3.5	4.1	3.9	267	62	226	117
8	91.7	82	69.4	78.1	3.4	3.3	3.6	3.3	470	187	251	139
9	83.1	80	72.7	87.2	3.4	3.2	3.6	3.3	251	69	254	198
10	82	67	63.7	80.1	3.7	3.9	4.4	4.1	167	161	325	150
11	83.9	78	68.2	74.7	3.9	3.8	4.5	4	278	172	238	186
12	78.6	65	76.8	78.2	3.8	3.6	4.2	4.2	273	60.8	291	150
13	83.5	67	74.7	82.4	3.7	3.6	4.2	3.8	270	79.5	209	191
14	74.6	74	69.2	72.8	3.9	4.1	4.6	4.3	189	132	212	175
15	82	74	65.4	75.7	3.9	3.8	3.9	4	175	84	166	126
16	85.3	94	84.3	81.7	3.9	3.3	4.1	4.1	318	187	297	228
17	88.7	81	74.6	85.8	3.5	3.6	3.9	3.7	353	148	352	256
18	91.3	73	77.5	80.8	4	3.8	4.2	4.1	214	103	293	132
19	87.6	83	92.9	101	3.1	2.9	3.3	3.7	283	104	306	222
20	80.8	76	77.6	81.7	3.8	3.6	3.8	4.1	315	160	248	173
21	89.8	87	71.9	87.1	4.2	3.5	4.2	4.2	288	186	229	236
22	83	84	75.4	80.8	4.1	3.9	4.1	4.2	324	193	337	130
23	93.6	84	87.5	92.9	3.5	3.1	3.8	3.4	445	169	380	177
24	86.3	83	82.6	93.9	3.6	3.5	3.8	3.9	325	174	358	211
25	96.7	84	82.5	88.4	3.4	3.3	3.6	3.4	281	209	365	278
26	87.6	77	79.9	82.7	3.8	3.7	4.1	4	259	93.2	332	188
27	92.9	90	99.7	99.6	4.3	3.8	4.3	4	415	206	421	208
28	91.3	87	81.8	86.6	3.6	3.7	4.1	4.3	440	326	321	230
29	98.1	80	79.8	95.1	3	3.7	4.2	4	352	144	387	225
30	85.9	87	86.1	85.9	4	4	4.7	4.2	296	201	255	208
31	93.5	99	89.8	83.4	3.1	3.2	4.3	4.2	348	194	419	204
32	91.3	78	80.8	81.2	3.4	3.6	3.9	3.8	335	210	345	230
33	88.9	90	81.8	84.6	4.4	4.3	4.7	4.6	450	252	299	231
34	90.9	78	83.9	90.9	4.1	3.8	4.5	4.6	435	178	283	231
35	98.9	72	81.4	83.7	4.1	4	4.3	4.3	630	109	329	181
36	88.7	92	87.6	80.9	4.1	4	4.3	4.4	422	194	374	192
37	91.3	82	87.5	91.9	3.4	4	4.5	4.1	302	198	299	147

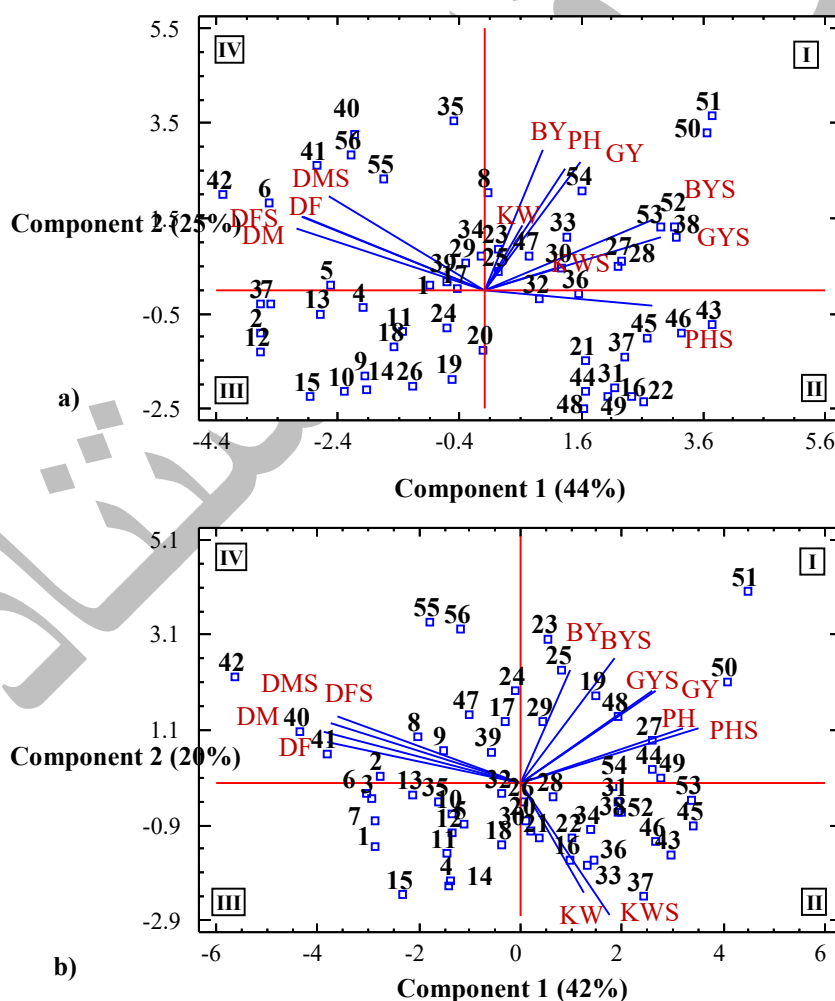
38	96.6	95	87.3	95.9	4.2	4.2	4.6	4.5	455	260	300	236
39	95.8	84	73.1	80.3	3.3	3.8	3.9	3.7	207	221	303	146
40	88.8	78	73.7	76.1	3.8	3.3	3.9	3.8	446	170	200	152
41	92.3	76	81.4	73.4	3.9	3.2	3.7	3.7	466	124	189	153
42	94.9	74	74.3	78.9	3.6	2.6	3.4	2.9	359	113	215	84.5
43	89	97	81.2	85.7	4.1	3.5	4.2	4.2	413	239	282	231
44	87.6	96	82.5	90.6	3.5	3	3.6	3.7	299	146	299	216
45	92.9	91	92.5	90.4	4	3.5	4.1	4.2	341	200	323	215
46	93.2	93	90.4	84.6	4	3.6	4.2	4.3	360	202	309	191
47	91.5	85	80.9	89.1	3.1	3.3	3.4	3.3	512	174	305	204
48	83.1	91	83.7	83.9	3.1	2.7	3.3	3.4	407	155	357	221
49	84.3	82	85.1	95.9	3.3	3.1	3.5	3.7	389	199	334	203
50	107	93	106	104	4.3	4.3	4.7	4.4	541	351	602	276
Nosrat	96.4	82	95.4	98.3	4.1	3.6	4.1	3.7	638	355	420	484
Yusef	96.9	100	76.9	93.1	3.9	3.7	4.3	4.3	516	259	233	333
Nimrooz	91.3	80	74.4	88.9	4.4	4.2	4.6	4.3	473	286	363	324
Goharan	99.1	84	94.2	88.2	4.1	3.8	4.6	4.3	485	199	308	245
Mehr	96.5	73	74.6	79.7	3.6	3.2	3.2	3.6	479	140	326	253
Khatam	88.2	65	78.4	77.4	3.9	3.5	3.7	3.8	538	103	374	232
LSD	2.3				0.1				13.4			

بررسی میانگین صفت ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های مختلف در سال اول و دوم نشان داد که در شرایط نرمال ژنوتیپ شماره ۵۰ به ترتیب با میانگین ۱۰۷ و ۱۰۵ سانتیمتر به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها و حتی ارقام شاهد آزمایش بود. در شرایط تنش خشکی در سال اول بالاترین میانگین ارتفاع بوته ۱۰۰ سانتیمتر در رقم یوسف و در سال دوم در ژنوتیپ ۵۰ با ارتفاع بوته ۱۰۴ سانتیمتر مشاهده شد. بالاترین میانگین در صفت وزن هزاردانه در شرایط نرمال در ژنوتیپ‌های شماره ۲۷، ۳۳، ۵۰ و رقم نیمروز مشاهده شد و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ شماره ۳۳ و ۵۰ بالاترین میانگین را داشتند.

در سال اول صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های شماره ۳۵، ۵۰ و رقم نصرت بالاترین میانگین را داشتند و در شرایط تنش نیز، ژنوتیپ‌های شماره ۲۸، ۵۰ و رقم نصرت میانگین عملکرد دانه بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. در سال دوم صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال ژنوتیپ شماره ۵۰ با میانگین ۶۰۲ گرم در مترمربع بالاترین میانگین را با تفاوت زیادی به خود اختصاص داد ولی در شرایط تنش رقم نصرت با میانگین ۴۸۴ گرم در مترمربع عملکرد دانه بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۳).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر سال در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس میانگین داده‌های به دست آمده از اجرای آزمایش تنش خشکی و نرمال در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۴۰۰ در ایستگاه یزد به طور جداگانه انجام شد و بای پلات‌های دو مولفه اول و دوم برای این دو سال زراعی در نمودارهای شکل ۲-a و ۲-b ارائه شده است. در سال اول آزمایش (سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹) تجزیه مولفه‌های اصلی در صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های جو زراعی نشان داد که دو مولفه اول در مجموع ۶۹ درصد از کل واریانس موجود در صفات مورد بررسی را توجیه کردند (شکل ۲-a). در مولفه اول که ۴۴ درصد از واریانس را به خود اختصاص داده بود، صفات ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در شرایط تنش خشکی با علامت مثبت و صفات فنولوژیکی با علامت منفی بیشترین واریانس را ایجاد کردند. در مولفه دوم که ۲۵ درصد از واریانس را به خود اختصاص داد، بیشترین واریانس مربوط به صفت عملکرد بیولوژیکی در شرایط نرمال بود. ژنوتیپ‌های برتر در این سال در

ربع اول نمودار در نزدیکی بردار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، شامل ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۱ (نصرت)، ۵۲ (یوسف)، ۳۸ و ۵۳ (نیمروز) می‌باشند. در سال دوم (سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹) دو مولفه اول در مجموع ۶۲ درصد از کل واریانس موجود در صفات مورد بررسی را توجیه کردند (شکل ۲-b). در مولفه اول که ۴۲ درصد از واریانس را به خود اختصاص داده بود، صفات ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی با علامت مثبت و صفات فنولوژیکی در شرایط تنش و نرمال با علامت منفی بیشترین واریانس را ایجاد کردند. در مولفه دوم که ۲۰ درصد از واریانس را به خود اختصاص داد، بیشترین واریانس مربوط به صفت عملکرد بیولوژیکی با علامت مثبت و وزن هزار دانه با علامت منفی بود. در هر دو سال آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ و ۵۱ (نصرت) در ربع اول نمودار در نزدیکی بردارهای عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی قرار گرفتند و بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را داشتند.



شکل ۲. نمودار بای پلات دو مولفه اصلی برای میانگین صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های جو زراعی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (a) و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (b) در ایستگاه یزد (GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیکی، PH: ارتفاع بوته، DS: روز تا ظهور سنبله، DF: روز تا گلدهی DM: روز تا رسیدن و KW: وزن هزار دانه، پسوند S به معنای شرایط تنش می‌باشد).

Figure 2. Bi-plot of first two principal components for characters in cultivated barley genotypes in cropping seasons 2019-20 (a) and 2020-21 (b) in yazd station. (GY: grain yield, BY: biological yield, PH: plant height, DS: days to spike emergence, DF: days to flowering, DM: days to maturity, KW: kernel weight, S: stands for stress condition.)

۲.۳. ایستگاه زهک (سیستان)

تجزیه مرکب صفات فنولوژیک و آگرونومیک در ژنوتیپ‌های جو زراعی مورد ارزیابی در دو سال زراعی و دو شرایط نرمال و تنش خشکی در ایستگاه تحقیقاتی زهک در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تجزیه مرکب صفات، اثر متقابل سال و تنش خشکی بر صفات روزتا گلدهی، روزتارسیدن، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد و تنها صفتی که اثر متقابل سال و تنش خشکی بر آن معنی‌دار نشد، صفت وزن هزار دانه بود. اثر متقابل ژنوتیپ و تنش خشکی بر صفات روزتا گلدهی و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد ولی بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل سه گانه ژنوتیپ در تنش خشکی در سال بر همه صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. این امر نشان می‌دهد که این صفات تحت تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی می‌باشند. براساس این نتایج، تجزیه و تحلیل صفات در ژنوتیپ‌ها و واکنش آنها نسبت به شرایط خشکی به طور جداگانه در هر سال مورد بررسی قرار می‌گیرد. براساس شاخص شدت تنش (SI)، شدت تنش خشکی در سال اول آزمایش ۰/۳۸ و در سال دوم ۰/۷۳ بود لذا در سال اول تنش متوسط، و در سال دوم تنش خشکی شدید بر ژنوتیپ‌ها اعمال گردید.

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب صفات در ژنوتیپ‌های جو در دو سال زراعی و در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در ایستگاه تحقیقاتی زهک
Table 4. Combined analysis of variance for traits in barley genotypes in two cropping seasons and drought stress and normal conditions in Zehak station

S.O.V	DF	Mean Square				
		Days to flowering	Days to maturity	Plant hight	100 Grain weight	Grain yield
Year	1	7681.5 ^{ns}	338.5 ^{ns}	65291.7 ^{ns}	1.49*	10136.8 ^{ns}
Drought	1	3584.3 ^{ns}	8881.3 ^{ns}	45479.3 ^{ns}	156.8*	1757263.4 ^{ns}
Year*Drought	1	1597.1 **	478.4**	7472.6 **	0.06 ^{ns}	75189.7**
Rep(Year *Drought)	8	4.22	0.426	12.33	0.08	583.1
Genotype	55	154.2**	10.33 ^{ns}	49.75 ^{ns}	0.21 ^{ns}	7968.9**
Genotype*Year	55	17.8 ^{ns}	8.88 ^{ns}	42.88 ^{ns}	0.10*	5414.5**
Genotype*Drought	55	75.05 **	13.33 ^{ns}	88.08 ^{ns}	0.24 **	2294.5 ^{ns}
Year*Drought*Genotype	55	25.7 **	8.26 **	61.42 **	0.06 **	2773.7 **
Error	440	3.390	4.094	12.001	0.031	217.214

**and * significant at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$

** و * : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

مقایسه میانگین اثر متقابل متقابل سه گانه ژنوتیپ، تنش خشکی و سال بر صفات مختلف ژنوتیپ‌های جو زراعی در ایستگاه تحقیقاتی زهک مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۵). میانگین صفت ارتفاع بوته در سال اول نشان داد که در شرایط نرمال ژنوتیپ شماره ۲۴ با میانگین ۹۵ سانتیمتر به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها و حتی ارقام شاهد آزمایش بود. در شرایط تنش خشکی بالاترین میانگین ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های ۹، ۱۷، ۲۴ و رقم گوهران مشاهده شد. بررسی میانگین صفت ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های مختلف در سال دوم نشان داد که در شرایط نرمال ژنوتیپ شماره ۱۴ و ۴۶ با میانگین ۱۱۱ و ۱۱۰ سانتیمتر به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها و حتی ارقام شاهد آزمایش بود. در شرایط تنش خشکی نیز بالاترین میانگین ارتفاع بوته با میانگین ۸۸ سانتیمتر در ژنوتیپ شماره ۱۹ مشاهده شد. بالاترین میانگین درصد وزن هزارانه در شرایط نرمال در ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۱ و ۱۳ مشاهده شد و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ شماره ۴، ۸، ۱۷ و ۲۱ بالاترین میانگین را داشتند که تفاوت معنی‌داری با ارقام شاهد نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵. اثر متقابل سه گانه سال، تنش و ژنوتیپ بر صفات ژنوتیپ‌های جو زراعی در شرایط نرمال و تنش خشکی ایستگاه تحقیقاتی زهک سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

Table 5. The triple interaction effect of year, stress, and genotype on the characteristics of the crop genotypes under normal conditions and drought stress at the Zehak Research Station in 2019-20 and 2020-21.

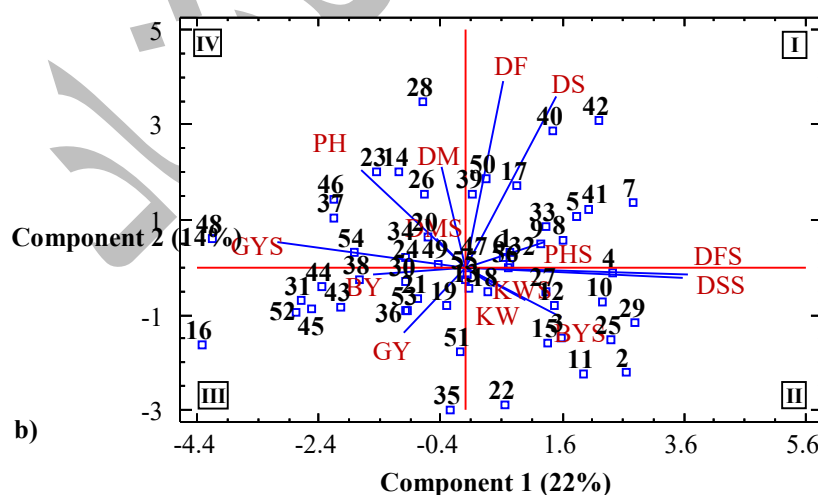
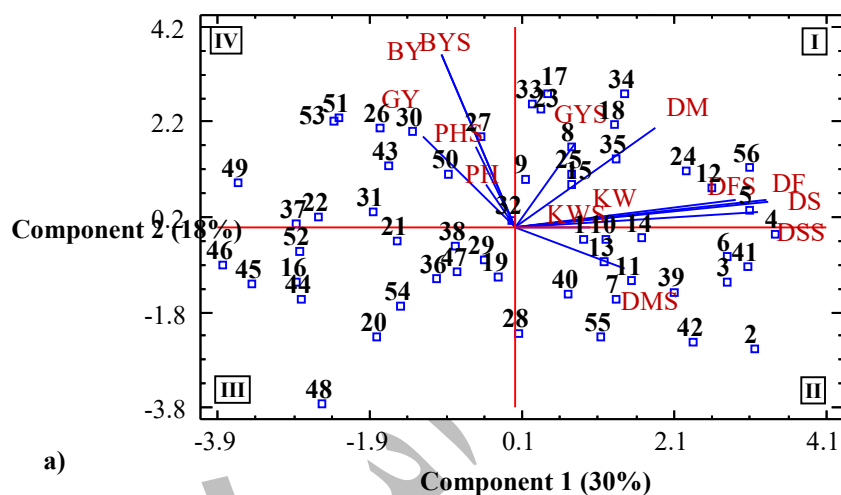
Genotype	Plant height(cm)				Kernel weight(g)				Grain yield (gm ⁻²)			
	2019-20		2020-21		2019-20		2020-21		2019-20		2020-21	
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
1	74.3	63.1	99.7	81.3	3.5	2.8	3.8	3	185	133.5	200.2	42.3
2	74.7	55.2	101.3	79.8	3.9	3.1	3.9	2.9	80	85	229.2	33.8
3	73.5	64.8	92.6	81.2	3.6	2.9	3.8	3	142	127.3	240.2	30.7
4	72.9	66.1	99.5	78.1	4.3	3.6	3.9	3	237.5	208.8	180.7	67.5
5	74.4	55.8	93.7	78.9	4.2	3.5	4.1	3.3	182	121.8	241.3	62.2
6	74.8	62.8	103.4	76.8	4.2	3.4	4	2.6	91.8	140.5	167.2	40
7	67.1	56	100.5	75.9	4	2.6	4.2	2.6	145.8	145.8	140	36.5
8	74.7	63.9	98.9	80.9	4.3	3.6	3.8	2.9	192.5	177.7	228.3	91.3
9	78.1	72.3	98.6	81.9	4.4	3.3	3.7	3.3	211.3	66	202.5	73.7
10	67.9	57.5	104.4	83.8	3.6	2.9	3.9	3.5	242	132.5	281.8	45.7
11	69.4	66	102.1	77.5	4.5	3.4	3.6	3.2	226.5	166.3	257	61
12	69.5	62.4	99.7	59.5	4.2	3.1	3.9	2.7	211.2	225	228.8	44.7
13	70.2	60.3	103.7	75.2	4.1	3.2	3.9	2.7	146.2	159	263.3	55.3
14	70.1	59.6	111.8	70.1	3.7	2.7	3.7	2.6	178.2	218	207	90
15	72.5	59.2	97.9	78.2	4.1	3	4	2.6	246.5	122.5	228.8	62.5
16	74.7	63.6	100.9	76.2	3.9	3	3.8	3	264.3	107.5	206.2	151.8
17	80.2	70.1	100.2	81.3	4.2	3.6	4	2.9	209.3	132.3	231.2	65.8
18	71.1	67.2	94.6	81.2	4.6	3.2	3.8	2.9	184.7	138.8	316.2	59.2
19	72.7	58.5	101.5	88.1	4.2	3	3.8	2.8	287.5	108.8	259.8	51.5
20	68.5	64.7	106.8	83.5	3.9	2.9	3.9	2.7	162.5	94.2	224	114
21	78.4	58.4	101.8	71.6	4.3	3.6	3.7	2.8	214.2	204.5	231.2	82.2
22	74.6	66.6	96.2	80.2	4	2.9	4	2.9	288.3	107.8	333.8	54.8
23	75.2	68.1	102.9	81.6	4.1	3.2	3.7	2.9	211.7	175.2	356.3	111.8
24	95.1	70.3	79.3	78	4.3	3.3	3.8	2.7	188.3	143.7	332.5	81.7
25	77.7	68.6	93.3	80.8	3.8	2.9	4.2	3.3	224.2	157.7	338.2	67.3
26	74.4	65.8	103.8	74	3.7	2.8	3.7	2.8	230.7	179.5	298	83.8
27	74.4	66.7	98.4	82.2	4	2.7	3.9	2.7	287.3	172.7	327.5	43
28	74.8	61.1	105.9	82.3	4.3	3.5	3.7	2.9	248.8	184.8	278.7	87.3
29	72	62.8	95.5	79.2	4.3	3.1	3.8	2.8	400.7	137.3	291.3	46
30	74.2	71.3	102.1	77.8	4	3	4	3.1	500	191.7	389	90.8
31	73	66	104.2	80.9	4	3	3.8	2.6	223.5	129.5	275.8	106.2
32	73.8	64.9	102.5	80.7	4	2.9	3.8	2.7	343.7	248.3	307.3	72.2
33	74.5	67.7	98.5	75.2	3.9	2.9	4.1	2.9	376.3	250.3	361.5	64.5
34	75.9	64.9	108.2	75.3	4	2.6	4.2	2.7	350.3	220.8	385.3	86.7
35	72.6	63.3	100.4	74.2	4	2.9	3.9	3	311.7	268.8	389.3	40.8
36	74.3	60.2	101	74.4	4	3	3.9	2.8	338.5	105	264.2	78.8
37	72	61.8	104.4	82.3	3.5	2.9	3.8	2.9	343.2	111.7	292	81.8
38	77	68.8	98.9	74	3.6	2.6	3.9	3	293.2	121.3	367.5	73.5

39	74.3	67.6	100.9	70.5	3.9	2.9	3.7	2.6	152.5	125.8	279.3	113.7
40	80.3	68.6	100.5	81.9	3.6	2.8	3.7	3	96	64.3	196.3	32
41	73.2	66.9	98.2	80.3	3.9	2.9	3.9	3	151.3	79.2	176.7	31.7
42	74.5	61.3	103.6	77.2	3.9	3	3.9	2.9	68	58.7	131.5	79.2
43	73.1	64.9	101	73.2	4	2.9	3.9	3	237.3	98.2	267.3	70.8
44	72.9	66.9	103	83.9	3.9	2.9	4.3	3.1	191.7	96.7	295.2	136.7
45	74.5	65.8	94.6	75.4	3.7	2.9	3.9	3	229	105	298.3	96.5
46	74.6	66.3	110.2	71	3.8	2.8	3.7	2.8	173.2	110.8	261.8	77.3
47	74	64.8	99.9	69.2	3.7	2.7	3.8	3.2	302.7	197	416	66.2
48	72.2	58.3	103.4	74	4	2.8	3.9	2.8	118	74.3	200.8	168.7
49	70.1	60.3	97.7	77.3	3.8	2.7	3.9	3	145.3	120	180.5	82.8
50	78.6	64.4	99.4	74.3	3.5	3.1	3.9	3	250.8	200.5	295	67.2
Nosrat	79.7	67.2	100.2	71.3	4	3	4	3.3	428.8	104.8	358.3	109.5
Yusef	70	59.5	97.4	74.7	3.5	2.8	3.8	2.8	276	101.2	390.2	110.8
Nimrooz	75.8	70.2	106	77.9	3.5	2.9	3.8	2.8	293.2	192.3	264.7	77
Goharan	75.3	71.8	97.9	71.5	3.9	3	3.7	2.9	213.8	161.3	271.5	119.7
Mehr	73.3	63.6	99.3	77	3.7	2.9	4	2.8	249.7	219	424.8	53.3
Khatam	68.2	66.8	104.9	77.3	3.7	2.8	3.9	2.6	233.7	191.5	276.8	65.8
LSD	2				0.101				11.3			

در شرایط نرمال سال اول، ژنوتیپ‌های شماره ۲۹، ۳۰ و رقم نصرت بالاترین میانگین عملکرد دانه را داشتند ولی در شرایط تنش ژنوتیپ‌های شماره ۳۵، ۳۱ و ۳۲ میانگین عملکرد دانه بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. در سال دوم آزمایش عملکرد دانه رقم مهر در شرایط نرمال با میانگین عملکرد دانه ۴۲۴ گرم در مترمربع و ژنوتیپ شماره ۴۷ با میانگین ۴۱۶ گرم در مترمربع بالاترین میانگین را به خود اختصاص دادند ولی در شرایط تنش ژنوتیپ‌های شماره ۴۸ و ۱۶ عملکرد دانه بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند.

با توجه به معنی دار شدن اثر سه‌گانه سال در تنش در ژنوتیپ، تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس میانگین داده‌های به دست آمده از اجرای آزمایش تنش خشکی و نرمال در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در ایستگاه زهک سیستان به طور جداگانه انجام شد و بای پلات‌های دو مولفه اول و دوم برای این دو سال زراعی در نمودارهای شکل ۳-a و ۳-b ارائه شده است. در سال اول آزمایش (سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸) تجزیه مولفه‌های اصلی در صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های جو زراعی نشان داد که دو مولفه اول در مجموع ۴۸ درصد از کل واریانس موجود در صفات مورد بررسی را توجیه کردند (نمودار ۳-a). در مولفه اول که ۳۰ درصد از واریانس را به خود اختصاص داده بود، صفات فنولوژیکی در شرایط تنش خشکی و نرمال با علامت مثبت بیشترین واریانس را ایجاد کردند. در مولفه دوم که ۱۸ درصد از واریانس را به خود اختصاص داد، بیشترین واریانس مربوط به صفت عملکرد بیولوژیکی در شرایط تنش خشکی و نرمال بود. لذا به نظر می‌رسد در این سال صفات فنولوژیکی و پس از آن صفت عملکرد بیولوژیکی تاثیر زیادی در واریانس مشاهده شده داشتند. ژنوتیپ‌های برتر در این سال در ربع چهارم نمودار در نزدیکی بردار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، شامل ژنوتیپ‌های شماره ۲۷، ۳۰، ۲۶، ۵۱ (نصرت) و ۵۳ (نیمروز) می‌باشند. در سال دوم (سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹) دو مولفه اول در مجموع ۳۹ درصد از کل واریانس موجود در صفات مورد بررسی را توجیه کردند (شکل ۳-b). در مولفه اول که ۲۲ درصد از واریانس را به خود اختصاص داده بود، صفات فنولوژیکی در شرایط تنش با علامت مثبت و صفت عملکرد دانه در شرایط تنش با علامت منفی بیشترین واریانس را ایجاد کردند. در مولفه دوم که ۱۴ درصد از

واریانس را به خود اختصاص داد، بیشترین واریانس مربوط به صفات فنولوژیکی در شرایط نرمال با علامت مثبت بود. در سال دوم آزمایش بردار صفات مورد ارزیابی موقعیت متفاوتی نسبت به یکدیگر پیدا کردند به طوریکه صفت عملکرد دانه در شرایط تنش در مقابل صفات فنولوژیکی قرار گرفت و این امر نشان‌دهنده ارتباط معکوس این صفات در شرایط تنش بود و ژنوتیپ‌های دیرگل در شرایط تنش، عملکرد دانه پایین‌تری داشتند. به نظر می‌رسد نتایج متفاوت در سال دوم نسبت به سال اول ناشی از شدت تنش بالاتر در این سال می‌باشد ($SI=0.73$). تحقیقات نشان داده که پارامترهای اقلیمی بر فرایندهای فیزیولوژیک گیاه موثر است و تفاوت این پارامترها در سال‌های مختلف موجب تغییر این صفات در سال‌های مختلف می‌گردد (Shahmoradi, 2022; Shavrukove et al., 2017).



شکل ۳. نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی برای میانگین صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های جو زراعی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (a) و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (b) در ایستگاه زهک (GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیکی، PH: ارتفاع بوته، DS: روز تا ظهور سنبله، DF: روز تا گلدهی، DM: روز تا رسیدن و KW: وزن هزار دانه، پسوند S به معنای شرایط تنش می‌باشد).

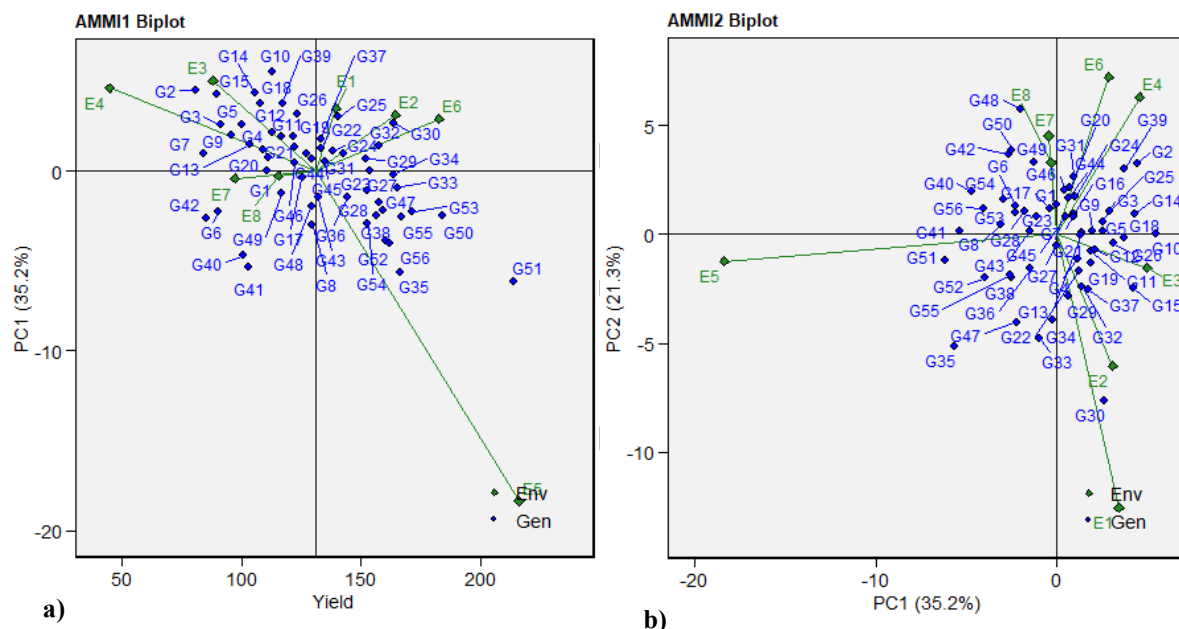
Figure 3. Bi-plot of first two principal components for characters in cultivated barley genotypes in cropping seasons 2019-20 (a) and 2020-21 (b) in Zehak station. (GY: grain yield, BY: biological yield, PH: plant height, DS: days to spike emergence, DF: days to flowering, DM: days to maturity, KW: kernel weight, S: stands for stress condition.)

۳.۳. پایداری ژنوتیپ‌ها

با هدف شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب و سازگار و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف، آماره پایداری AMMI نیز در این ژنوتیپ‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در بای پلات نوع اول AMMI (شکل ۴- a)، دو محور افقی و عمودی به ترتیب به عملکرد دانه به عنوان نمود یا بیان فنوتیپی یک ژنوتیپ و نخستین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ در محیط اختصاص داده می‌شوند و بر مبنای بزرگی (با علامت مثبت یا منفی) و کوچکی (نزدیکی به صفر و مبدأ مختصات) ضرایب ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در این مؤلفه اصلی، پایداری آنها شناسایی می‌شود. مؤلفه اصلی اول ۳۵/۲ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده است. ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالا در اولین مؤلفه اصلی (با علامت مثبت یا منفی)، برهمکنش بالایی با محیط دارند، در حالیکه ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر، دارای برهمکنش پایینی هستند. بنابراین براین اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۳۳، ۳۴، ۲۳ و ۲۷ دارای کمترین مقادیر در مؤلفه اصلی اول بودند و میانگین عملکرد دانه بیشتر از میانگین کل (۱۳۰ گرم در مترمربع) داشتند لذا به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شدند. از سوی دیگر، ژنوتیپ‌های شماره ۵۱ (نصرت)، ۳۵، ۵۴ (گوهران) و ۴۱ دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای پلات بودند و دارای بیشترین ضرایب در مؤلفه اصلی اول بودند لذا بر اساس این شاخص، ناپایدار ارزیابی شدند (شکل ۴- a). تحقیقات نشان داده ارقام مدرن جو در برابر تنش‌های غیرزیستی و زیستی آسیب پذیرتر هستند و زمینه ژنتیکی یکنواخت آنها مانع از اصلاح و بهبود گونه‌های جو می‌شود (Zhao et al., 2010).

در بای پلات نوع دوم AMMI (شکل ۴- b) دو مؤلفه اصلی اول و دوم در محور عمودی و افقی قرار دارند. در این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در مرکز نمودار قرار گرفته‌اند دارای پایداری بالاتری می‌باشند. با توجه به اینکه ضریب مؤلفه اول (۳۵/۲ درصد) بالاتر از مؤلفه دوم (۲۱/۳ درصد) است، لذا ژنوتیپ‌هایی که به محور مؤلفه اول نزدیک‌تر هستند، ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند، بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۲۷، ۲۳ و ۳۴ به عنوان ژنوتیپ‌های پایدارتر شناسایی شدند. تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تحت تنش خشکی بازتاب تنوع ژنتیکی گیاهان در تحمل به خشکی است و ژنوتیپ‌هایی که سازگاری بالایی با تنش خشکی دارند می‌توانند منابع ژنتیکی برای بهبود تحمل به خشکی در ارقام جو باشند (Nevo & Chen, 2010). عملکرد ژنوتیپ‌ها معمولاً به دلیل وجود برهمکنش ژنوتیپ و محیط در بین محیط‌های مختلف در نوسان است. برهمکنش ژنوتیپ و محیط نتیجه تغییرات

در عملکرد نسبی ژنوتیپ به دلیل پاسخ‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها نسبت به تغییرات محیط است (Sharifi *et al.*, 2017) و زمانی رخ می‌دهد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار شده باشد. در این تحقیق نیز اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار شد، این امر نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف به طور متفاوتی به عوامل محیطی واکنش نشان دادند. معرفی ژنوتیپ‌های برتر با عملکرد پایدار، هدف نهایی به‌زادگران برای کاهش آسیب‌پذیری آن در برابر محیط‌های مختلف است. تحقیقات در ژنوتیپ‌های یولاف زراعی نشان داده است که افزایش عملکرد دانه ارقام مدرن با اختلال در پایداری فنوتیپی همراه است و ژنوتیپ‌های دارای وزن دانه بالا، حساسیت بیشتری نسبت به شرایط نامطلوب رشد پس از گرده‌افشانی دارند (Peltonen-Sainio, 1994 Shahmoradi *et al.*, 2024).



شکل ۴. نمودار AMMI1 بر پایه میانگین عملکرد دانه و مولفه اصلی اول (a) و AMMI2 بر پایه دو مولفه اصلی اول (b) در ژنوتیپ‌های جو زراعی در دو شرایط تنش خشکی و نرمال در دو ایستگاه تحقیقاتی استان یزد و استان سیستان (زهک) و دو سال زراعی

Figure 4. AMMI1 biplot based on mean seed yield and PC1(a), and AMMI2 based on the first two PCs(b) in barley genotypes, in two conditions of drought stress and normal, and two research stations of yazd and Sistan(Zehak) provinces in two years.

۴. نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تلاش شد تا با بهره‌گیری از بخشی از منابع ژنتیکی متنوع موجود در کلکسیون ژرم‌پلاسم جو زراعی بانک ژن گیاهی ملی ایران، قابلیت‌ها و ویژگی‌های این منابع را در شرایط و تنش خشکی در دو ایستگاه تحقیقاتی در منطقه گرم و خشک شامل ایستگاه تحقیقاتی یزد و ایستگاه تحقیقاتی زهک مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج نشان داد، صفات فنولوژیکی

روزتاظه‌ور سنبله و روزتاگله‌ی نقش موثری در تعیین عملکرد جو بویژه در شرایط تنش خشکی ایفا می‌کنند. محققین رابطه کلی بین فنولوژی و عملکرد محصول، از طریق سازگاری و پتانسیل عملکرد را محدود به یک اقلیم خاص ندانسته‌اند (Yan *et al.*, 2007). این تحقیق که در دو اقلیم مختلف و دوسال زراعی متوالی انجام شد نشان داد که تغییرات اقلیمی در سال‌های مختلف نقش مهمی در میزان تولید عملکرد دانه و واکنش ژنوتیپ‌ها دارد در حقیقت 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.

۵. منابع

- Agricultural statistics of crops. 2022. *Volume 1: Crops. Information and Communication Technology Center*. Planning and Economic Deputy of the Ministry of Jihad Agriculture, 100 pp
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A. & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105, 1–14. doi: 10.1016/j.fcr.2007.07.004
- Food and Agriculture Organization. (2024). *Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome. from <http://www.fao.org/statistics>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185–212. doi: 10.1051/agro:2008021
- Hasanuzzaman, S. L., Brodribb, T. J., Zhou, M. & Shabala, S. (2017). Assessing the suitability of various screening methods as a proxy for drought tolerance in barley. *Functional Plant Biology*, 44 (2), 253–266. doi: 10.1071/FP16263
- Jabbari, M., Fakheri, B. A., Aghnoum, R., Mahdi Nezhad, N. & Ataei, R. (2018). GWAS analysis in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) for morphological traits exposed to drought. *PloS One*, 13, e0204952. doi: 10.1371/journal.pone.0204952
- Kadam, N., Xiao, G., Melgar - Nazareno, R. J., Bahuguna, R., Quiñones, C., Tamilselavan, A., Prasad, P. V. V., & Jagadish, K. (2014). Agronomic and Physiological Responses to High Temperature, Drought, and Elevated CO2 Interactions in Cereals. *Advances in Agronomy*, 127, 111-156. 10.1016/B978-0-12-800131-8.00003-0.
- Kebede, A., Kang, M. S. & Bekele, E. (2019). Advances in Agronomy. In: D. L. Sparks (Ed), *Chapter Five - Advances in mechanisms of drought tolerance in crops, with emphasis on barley*. (pp. 265–314.) Salt Lake City: Academic Press. doi: 10.1016/bs.agron.2019.01.008.
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In: I. Olkin (Ed), *Contributions to Probability and Statistics*. (pp. 278-292.) Stanford University Press, Palo Alto.
- Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Tesfay, S. & Tsilo, T. J. (2016). Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses. *Frontiers in Plant Sciences*, 7, 1276. doi: 10.3389/fpls.2016.01276.
- Nevo, E. & Chen, G. (2010). Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell & Environment*. 33, 670–685. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02107.

- Peltonen-Sainio, P. (1994). Characteristics associated with reduced yield stability in oats. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 44(3), 179–183. doi: 10.1080/09064719409410242.
- Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F. A., Baenziger, P. S. & Börner, A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 3137. doi: 10.3390/ijms20133137.
- Saremi Z, Shahbazi M, Zeinalabedini M, Majidi Haravan E, Azizinezhad R. (2022). Evaluation of Drought Tolerance in Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using Drought Tolerance Indices. *Journal of Crop Breeding*. 14(41), 10-18. doi:10.52547/jcb.14.41.10. (In Farsi)
- Shahmoradi, sh. (2022). Evaluation of quality and quantity in forage and grain yield of Iranian rye ecotypes. *Journal of Crops Improvement*, 24(3), 855-867. doi: 10.22059/jci.2022.328142.2592. (In Farsi)
- Shahmoradi, Sh., Sorkhi Lalehloo, B., Ghotbi, V., Taheri Ardestsni, S. & Nikkhah, H. R. (2024). Evaluation of Some Phenological and Agronomic Characteristics of Cultivated Oat (*Avena sativa* L.) Genotypes. *Seed and Plant Journal*, 39(4), 544-527. doi: 10.22092/spj.2024.365379.1352. (In Farsi)
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A. & Abbasian, A. (2017). Evaluation of genotype × environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24, 173-180. doi: 10.1016/j.rsci.2017.02.001. (In Farsi)
- Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K. & Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How Can It Aid Wheat Production? *Front Plant Science*, 8, 1950. doi: 10.3389/fpls.2017.01950
- Wang, Q., Wu, J., Lei, T., He, B., Wu, Z., Liu, M., Mo, X., Geng, G., Li, X., Zhou, H., Liu, D. (2014). Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. *Quaternary International*, 349, 10–21. doi: 10.1016/j.quaint.2014.06.021
- Yan, W. & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42, 11-20. doi: 10.2135/cropsci2002.1100.
- Zhao, J., Sun, H., Dai, H., Zhang, G. & Wu, F. (2010). Difference in response to drought stress among Tibet wild barley genotypes. *Euphytica* 172, 395–403. doi: 10.1007/s10681-009-0064-8

Investigating the reaction of barley germplasm from the desert climate to late season drought stress abstract

This research was carried out with the aim of evaluating the genetic resources of barley germplasm of the National Plant Gene Bank of Iran under drought stress conditions and identifying tolerant genotypes. Therefore, 50 genotypes of the barley collection from the hot and dry climate of Iran were evaluated under drought stress conditions. Genotypes were evaluated in two consecutive crop years along with 6 commercial varieties of barley including Nimroz, Yusof, Goharan, Mehr and Khatam. The statistical design used was complete randomized block with three replications in two conditions of normal irrigation and drought stress in Yazd research station and Zehak research station in Sistan province. In drought stress conditions, irrigation was stopped after stem elongation in 50% of the genotypes. Based on the results of compound analysis of traits, the triple interaction effect of genotype in drought stress in year was significant for all traits. Components analysis under normal and drought stress conditions in Yazd in both years had almost similar results and showed that based on mean yield genotype number 50 and Nosrat cultivar were superior to other genotypes. Components analysis at the Zehak

station in two crop years shows the different response of genotypes in different years. It seems that the different results in the second year compared to the first year are due to the higher intensity of stress in this year. In this situation, the stability of genotypes is very important, based on AMMI stability statistics, genotypes number 27, 23 and 34 were identified as more stable genotypes in this experiment.

Keywords:

Hot and dry climate, tolerance, drought stress, barley, genetic resources.

فایل استناد