

ارزیابی عملکرد لاین‌های امیدبخش جو در شرایط تنش کم آبی و آبیاری کامل

وحید رستگاری^۱، بهرام میرشکاری^{۲*}، سلیمان محمدی^۲، فرهاد فرح و ش^۲، ابراهیم خلیل و نند^۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۵

۱- دانشجوی دکتری رشته زراعت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

۳- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه

۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

*مسئول مکاتبه: Email: mirshekari@iaut.ac.ir

چکیده

به منظور ارزیابی پایداری عملکرد لاین‌های امیدبخش جو، تعداد ۹ لاین و رقم بهمن در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در دو شرایط آبیاری کامل و تنش کم‌آبی انتهایی فصل در سال‌های زراعی ۹۵-۹۳ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج میانگین دو ساله عملکرد دانه نشان داد در شرایط آبیاری کامل لاین‌های ۳، ۴، ۵، ۷، ۹ (رقم جلگه) و ۱۰ بین ۱۵ تا ۳۷ درصد و تحت شرایط تنش کم‌آبی لاین‌های ۲، ۷ و ۹ (رقم جلگه) بین ۱۵ تا ۱۹ درصد نسبت به رقم بهمن (شاهد) افزایش عملکرد داشتند. بر اساس شاخص‌های MP، HARM، STI و GMP لاین‌های ۷ و ۹ (رقم جلگه) به عنوان متحمل‌ترین لاین‌های امیدبخش جو نسبت به شرایط تنش کم‌آبی شناخته شدند. تجزیه کلاستر بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های جو را در سه کلاستر قرار داد. نتایج نشان داد میزان فعالیت آنزیم‌های GPX، CAT، MDA، H₂O₂ و SOD در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری کامل افزایش نشان دادند. آنزیم سوپراکسیددسموتاز به دلیل داشتن بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه، موثرترین آنزیم در تحمل گیاه به شرایط تنش کم‌آبی تشخیص داده شد. نتایج تجزیه کلاستر بر اساس خصوصیات آنتی‌اکسیدانتی نشان داد که ده ژنوتیپ مورد مطالعه در دو کلاستر قرار گرفتند که کلاستر دوم شامل لاین‌های ۱، ۲، ۷ و ۹ (رقم جلگه) به عنوان متحمل‌ترین لاین‌های امیدبخش جو معرفی شدند. در نهایت بر اساس کلیه شاخص‌های مورد بررسی لاین‌های شماره ۷ و ۹ (رقم جلگه) به عنوان لاین‌های برتر از رقم بهمن در شرایط آبیاری کامل و متحمل‌ترین لاین‌های جو نسبت به تنش کم‌آبی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، شاخص‌های تحمل، عملکرد دانه، خشکی، لاین‌های جو

Evaluation of Yield of Barley Elite Lines under Water Deficit and Full Irrigation Condition**Vahid Rastegari¹, Bahram Mirshekari^{2*}, Soleiman Mohammadi³, Farhad Farahvash², Ebrahim Khalilvand Behrouzfar⁴**

Received: July 18, 2017 Accepted: March 6, 2018

1-PhD Student, Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

3- Dept. of Seed and Plant Improvement Research, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran.

4-Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Email: mirshekari@iaut.ac.ir

Abstract

Yield of barley elite lines and Bahman genotype (control) evaluated by complete block design experiment under full irrigation and water deficit stress conditions in 2013-2015. The results of two years' mean revealed that grain yield under complete irrigation condition for lines 3, 4, 5, 7, 9 (Golgeh cultivar) and 10 between 15 to 37 percent and under stress condition, lines 2, 7 and 9 (Golgeh cultivar) between 15 to 19 percent were higher than Bahman cultivar (Control). Based on MP, HARM, STI and GMP indices, lines 7 and 9 (Golgeh cultivar) were identified as the most tolerant barley elite lines under stress condition. Cluster analysis based on drought tolerance indices placed barley genotypes in three clusters. The generation amount of enzymes GPX, CAT, MDA, H₂O₂ and SOD increased under stress compared to complete irrigation condition, Superoxide dismutase enzyme (SOD) due to the highest positive and significant correlation with seed yield, was detected as the most effective enzyme in tolerance to drought stress condition. The results of cluster analysis based on antioxidant properties showed that the studied lines were placed in two clusters, which second cluster including lines 1, 2, 7 and 9 (Golgeh cultivar) were presented as tolerant barley elite lines. Finally, regarding to all the indicators studied, lines 7 and 9 (Golgeh) were identified as superior lines compare with Bahman cultivar under normal and water deficit conditions and were identified as most tolerated lines to water deficit condition.

Keywords: Antioxidant Enzymes, Barley Lines, Drought, Grain Yield, Tolerance Indices**مقدمه**

از نظر تولید و مصرف بعد از گندم، دومین غله است. حدود دو سوم از کل جو در دنیا برای تغذیه دام، مابقی آن در صنعت به کار می رود (نیکخواه و همکاران ۲۰۱۴). کمبود بارندگی عامل اصلی تنش خشکی و کاهش رطوبت خاک محسوب شده، اما محدوده‌های از کمبود رطوبت خاک که روی گیاه تاثیر می‌گذارد به عواملی

جو یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از لحاظ سطح زیر کشت و تولید چهارمین غله مهم در دنیا می‌باشد. سطح زیر کشت جو در دنیا در سال ۲۰۱۳ بالغ بر ۴۹ میلیون هکتار و عملکرد آن بالغ بر ۱۴۵ میلیون تن گزارش شده است (فاو ۲۰۱۵). در ایران جو

محققین ژنوتیپ‌های ۲۴، ۲۱، ۳، و ۳۵ که دارای عملکرد بالا در شرایط آبیاری کامل و حداقل کاهش عملکرد در شرایط تنش کم آبی بودند را به عنوان ژنوتیپ‌های برتر آزمایش معرفی کردند و گزارش نمودند که شاخص‌های GMP، STI و MP بهترین شاخص‌ها، برای گزینش و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی می‌باشند. مهدوی و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی تحمل به خشکی در ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته جو با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، گزارش نمودند که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط آبیاری کامل به ژنوتیپ ۷ و در شرایط تنش به ژنوتیپ ۱۴ تعلق داشت. از طرفی بیشترین میانگین هارمونیک، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین بهره‌وری و شاخص تحمل مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱۴ بودند. همچنین این محققین گزارش نمودند که چهار شاخص GMP، MP، HARM و STI به دلیل همبستگی بالا با عملکرد دانه، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط آزمایش می‌باشند.

گیاهان از استراتژی‌های مختلفی شامل سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانت آنزیمی و غیر آنزیمی برای محدود کردن و یا کاهش سمیت گونه‌های فعال اکسیژن استفاده می‌کنند (کریسن و مولینوکس ۲۰۰۲). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت SOD، CAT، GPX و RGD نقش کلیدی در تولید و یا کاهش H_2O_2 بازی می‌کنند (ژن و همکاران ۲۰۰۹). یکی از تاثیرات معمول تنش خشکی، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن آزاد (ROS^1) از جمله رادیکال سوپراکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH^-) از طریق افزایش کمبود الکترون در مولکول اکسیژن است (والنتوویک و همکاران ۲۰۰۶). توکل افشاری و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه تاثیر پیری بذر بر صفات جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز و پراکسیداز در

مانند سرعت تعرق، واکنش گیاه به کم آبی و برخی از ویژگی‌های مؤثر بر جذب آب از خاک بوسیله گیاه مرتبط است (جونز و همکاران ۱۹۸۱). تنش‌های محیطی باعث بروز دامنه وسیعی از واکنش‌ها در گیاهان، از تغییر بیان ژن و متابولیسم سلول تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (ردی و همکاران ۲۰۰۴) تنش خشکی بیشتر از هر عامل محیطی دیگری رشد گیاهان را محدود می‌کند (هانگ ۲۰۰۰) و وقتی حادث می‌شود که خروج آب از گیاه به واسطه فرآیند تعرق بیشتر از جذب آن از طریق ریشه باشد (شفرد و همکاران ۲۰۰۲) لذا بررسی مقاومت واریته‌های زراعی به تنش خشکی از دیدگاه به‌نژادی همواره مورد توجه بوده است. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک کشور و محدودیت آب، تهیه ارقام و لاین‌هایی که در شرایط تنش آبی بتوانند عملکرد قابل قبول و پایداری داشته باشند ضرورت دارد.

روش‌های متعددی جهت بررسی پایداری عملکرد ارقام به محیط در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی ارائه شده‌اند. مقایسه عملکرد در شرایط محیطی متضاد (تنش و بدون تنش) و گزینش؛ ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگارند، هدف اصلی این گونه آزمایش‌ها است (اهدایی و همکاران ۱۹۸۸). ارزیابی مواد پیشرفته اصلاحی در چنین شرایطی این امکان را فراهم می‌آورد که علاوه بر شناسایی لاین‌ها/ ارقام دارای پایداری عملکرد در هر دو شرایط، ژنوتیپ‌هایی شناسایی شوند که مناسب شرایط متفاوت رطوبتی باشند. گزینش تحت شرایط مطلوب، گزینش تحت شرایط تنش کامل و گزینش توأم تحت هر دو شرایط سه استراتژی عمده‌ای هستند که برای انتخاب ارقام متحمل به تنش پیشنهاد شده‌اند (کالهوم و همکاران ۱۹۹۴).

اقبالی و همکاران (۲۰۱۶) با ارزیابی ۴۵ لاین هاپلوئید مضاعف‌شده جو با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش کم آبی گزارش نمودند بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تنوع ژنتیکی بالا وجود دارد. این

¹ - reactive oxygen species

و پراکسیداز نیز از هیدروژن پراکسید به عنوان پذیرنده الکترون برای کاتالیز تعدادی از واکنش‌های اکسیداتیو استفاده می‌کند.

با توجه به نیاز روزافزون کشور به تولید علوفه و همچنین بروز خشکسالی‌های مکرر، شناسایی ارقام ژنوتیپ‌هایی که در شرایط محدودیت آب بتوانند عملکرد قابل قبولی را تولید کنند از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. هدف از این پژوهش شناسایی و معرفی لاین/لاین‌های امیدبخش جو با پتانسیل تولید بالا در شرایط آبیاری کامل و تنش کم‌آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی و گزینش شاخص‌های کمی و کیفی تحمل به خشکی، آزمایش‌های جداگانه‌ای در دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری بعد از ۵۰٪ درصد گلدی (تنش کم‌آبی مرحله پر شدن دانه) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی میاندوآب در سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۳ اجرا شد. در این پژوهش ۹ لاین امیدبخش و رقم بهمن (شاهد متحمل) (محمدی و همکاران ۲۰۱۴) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱).

ژنوتیپ‌های جو بیان نمودند فعالیت این آنزیم‌ها در ژنوتیپ با بنیه ضعیف کمتر از ژنوتیپ با بنیه قوی بود. همچنان نتایج این تحقیق نشان داد فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتر تحت تاثیر پیری زودرس قرار گرفت و این آنزیم نقش کلیدی‌تری در جوانه‌زنی نسبت به آنزیم پراکسیداز داشت. محمدی و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه تحمل ارقام مختلف جو نسبت به تنش کمبود آب بیان نمودند تنوع ژنتیکی بالایی بین ارقام مختلف جو در شرایط آبیاری کامل و تنش وجود داشت. این محققین بیان نمودند میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارقام متحمل جو در شرایط تنش به طور معنی‌داری بالاتر از شرایط آبیاری کامل بود. همچنین بین عملکرد در شرایط تنش و آبیاری کامل همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. لذا ارقامی که در شرایط آبیاری کامل عملکرد خوبی داشتند در شرایط تنش از افت عملکرد کمتری برخوردار بودند، این محققین نتیجه گرفتند که انتخاب ارقامی که تحمل بیشتری برای کشت در شرایط تنش دارند بهترین روش برای فایق آمدن بر تنش کمبود آب می‌باشد. سیمونتچی و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مهم، پراکسیداز و کاتالاز می‌باشند که از بین‌برنده رادیکال‌های آزاد هستند، بطوری‌که کاتالاز، هیدروژن پراکسید (H_2O_2) را سریع به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند

جدول ۱- مشخصات شجره ای ژنوتیپ‌های جو مورد مطالعه

شماره ژنوتیپ	شجره نامه
1	Bahman (WA 2196-68/NY6005-18, F1//Scotia I)
2	(EC82-6)TWWd85-37/Kavir
3	L.527/Hortland//ICNB93-328
4	YEA 38903/YEA475.4//73M4-
5	NC86/INTseg07
6	Grecale//Sonata/Arta
7	Makouee/C.C89//Rihane"s"/3/Roho/Mazurka
8	(EDBYT82-9)Rhn-03//L.527/NK1272
9	EBYTC83-17 (MAKOUEE//ZARJOW/80-5151)
10	(EBYTC84-10) Bereke-54

به تن در هکتار تبدیل گردید. لازم بذکر است در نیمه دوم سال ۱۳۹۵ لاین شماره ۸ بنام رقم گوهران برای اقلیم معتدل بعنوان رقم متحمل به خشکی و لاین شماره ۹ بنام رقم جلگه برای اقلیم سرد بعنوان رقم پریپتانسیل برای شرایط آبی معرفی شدند. چندین معیار برای گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد آنها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است (فرناندز ۱۹۹۲).

$$STI = \frac{Y_P \cdot Y_S}{(\bar{Y}_P)^2}$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad MP = \frac{(Y_P + Y_S)}{2}$$

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{y_S}{y_P}\right)}{SI} \quad SI = 1 - \frac{\bar{y}_S}{\bar{y}_P}$$

شاخص کمتر باشد یعنی حساسیت ژنوتیپ به تنش کمتر است و مقاومت آن بیشتر می‌باشد...

$$GMP = \sqrt{Y_p \cdot Y_s}$$

$$HARM = \frac{2(Y_p \cdot Y_s)}{Y_p + Y_s}$$

Y_P = عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش Y_S = عملکرد هر ژنوتیپ در محیط با تنش

\bar{Y}_P = میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش \bar{Y}_S = میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط با تنش

(۱۹۸۷) و سوپر اکسید دسموتاز (SOD^4) از روش دیندسا و همکاران (۱۹۸۱) و میزان تخریب مولکول‌های چربی (MDA^5) از روش سایرام و همکاران (۱۹۹۸) استفاده گردید. تجزیه واریانس مرکب، مقایسه میانگین به روش دانکن و همبستگی بین صفات از طریق نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. جهت تعیین برترین

پس از تهیه زمین، کاشت بذور در کرت‌هایی به طول ۵ متر و عرض ۱/۲ متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. میزان تراکم بذر برای هر رقم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. یک نوبت آبیاری در پاییز جهت سبز نمودن بذور و استقرار آنها در خاک انجام شد. میزان کود مصرفی براساس نتایج آزمون خاک و مبارزه با علف‌های هرز برای همه ارقام بطور یکسان مصرف شد. پس از رسیدگی کامل، عملکرد دانه هر کرت برداشت و

- شاخص تحمل تنش (STI)

- شاخص تحمل (TOL) و عملکرد متوسط (MP)

(روزیل و هامبلین ۱۹۸۱)

- شاخص حساسیت به تنش (SSI) (فیسچر و مورر ۱۹۷۸)

در رابطه فوق SI معادل شدت تنش است که مقدارش بین صفر تا یک می‌باشد. بطورکلی هرچه میزان این

- متوسط قابلیت تولید (عملکرد هندسی) (GMP) (فرناندز ۱۹۹۲)

- شاخص میانگین هارمونیک (HARM) (اونس ۲۰۰۰)

مقادیر بالای شاخص‌های GMP، STI، HARM، MP و مقادیر کم شاخص‌های SSI و TOL نشانه تحمل زیاد تنش و عملکرد بالقوه زیاد است.

همچنین برای اندازه‌گیری میزان آنزیم‌های گلوتامین پرواکسیداز (GPX^2)، کاتالاز (CAT^3)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) از روش پاگلیا و والنتاین

⁴ - Superoxide Dismutase

⁵ - Malondialdehyde

² - Glutathione Peroxidase

³ - Catalase

عملکرد دانه داشتند، رقم بهمن ۲۶ درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی نسبت به آبیاری کامل نشان داد، لاین ۲ با ۱۵ درصد و لاین ۸ (رقم گوهران) با ۱۹ درصد کمترین کاهش عملکرد دانه در بین لاین‌های مورد مطالعه نشان دادند، رقم جلگه (لاین ۹) ۳۵ درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی نسبت به آبیاری کامل نشان داد (جدول ۳). اقبالی و همکاران (۲۰۱۶)، مهدوی و همکاران (۲۰۱۲) و تجلی و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه ارقام و لاین‌های جو در شرایط تنش خشکی و شرایط عدم تنش، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه مشاهده کردند که بیان نمودند این موضوع نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های جو می‌باشد.

از نظر شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره وری (GMP) که مقادیر بالای این شاخص‌ها، نشان دهنده متحمل‌تر بودن ارقام به تنش می‌باشد. مشخص گردید که از لحاظ شاخص STI رقم ۹ و از لحاظ شاخص GMP رقم ۷ بیشترین میزان را داشتند و به عنوان متحمل‌ترین لاین‌های امیدبخش جو نسبت به تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند. از طرفی نیز مشخص گردید که لاین شماره ۶ از لحاظ هر دو شاخص STI و GMP کمترین مقدار را داشت و به عنوان حساس‌ترین لاین جو نسبت به تنش آخر فصل معرفی گشت (جدول ۲). طبق نظر صادق زاده اهری (۲۰۰۶) بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش STI می‌باشد چون قادر است ارقامی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند را شناسایی نمایند. به اعتقاد فرناندز (۱۹۹۲) بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص‌های STI و GMP می‌باشند. چرا که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو محیط آبیاری کامل و تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند.

از شاخص TOL جهت گزینش ارقام متحمل و سازگار به شرایط تنش استفاده می‌گردد. بطوریکه

ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری کامل و تنش کم آبی از روش آروناچالام و باندیوپاندیای (۱۹۸۴) استفاده شد. این روش براساس مقایسه میانگین‌ها استوار است بطوری‌که ژنوتیپ‌های دارای مجموع ارزش پایین‌تر بهترین رتبه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. برای تجزیه کلاستر با استفاده از روش Wards از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد دانه در شرایط تنش و آبیاری کامل و نیز شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های امیدبخش جو نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین لاین‌های امیدبخش جو وجود دارد (تجزیه داده‌ها نشان داده نشده است). این موضوع بیان می‌دارد که بین لاین‌های مورد مطالعه جو اختلافات ژنتیکی وجود داشته و می‌توان با اعمال روش‌های صحیح، بهترین رقم را در شرایط آبیاری کامل و تنش انتخاب نمود (اقبالی و همکاران ۲۰۱۶ و محمدی و همکاران ۲۰۱۴)

نتایج میانگین دو سال عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نشان داد که لاین‌های امیدبخش ۲، ۶ و ۸ (رقم گوهران) عملکرد دانه معادل رقم بهمن تولید نمودند و سایر لاین‌های امیدبخش بین ۱۵ (لاین ۳) تا ۳۷ درصد (لاین ۷) افزایش عملکرد دانه داشتند. رقم جلگه (لاین ۹) نیز ۲۸ درصد عملکرد دانه بیشتر از رقم بهمن تولید نمود (جدول ۲). تحت شرایط تنش کم آبی، عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش ۳، ۴، ۵ و ۸ (رقم گوهران) عملکرد دانه معادل رقم بهمن تولید نمودند، لاین‌های ۶ و ۱۰ بترتیب ۲۴ و ۱۰ درصد عملکرد دانه کمتر از شاهد تولید نمودند، لاین‌های ۲، ۷ و ۹ (رقم جلگه) بترتیب ۱۵، ۱۵ و ۱۹ درصد نسبت به رقم بهمن افزایش عملکرد دانه نشان دادند. (جدول ۲). مقایسه عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش در شرایط تنش کم آبی با آبیاری کامل نشان داد همه لاین‌ها و رقم بهمن کاهش

برای شرایط آبیاری کامل توصیه نمود. از طرفی نیز مشخص گردید که لاین شماره ۶ کمترین میزان شاخص بهره‌وری متوسط MP و شاخص میانگین هارمونیک HARM را داشت لذا این رقم ضمن اینکه عملکرد پایینی در شرایط مطلوب آبیاری داشت نسبت به تنش خشکی نیز حساس بود. سی و سه مرده (۲۰۰۶) نیز معتقد بود که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش بازده دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز خیلی زیاد نباشد. به اعتقاد فرناندز (۱۹۹۲) انتخاب بر اساس MP موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌گردد.

بر اساس شاخص SSI هر چقدر عملکرد یک ژنوتیپ در محیط تنش خشکی به عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب، نزدیکتر باشد، حساسیت رقم به تنش خشکی کمتر و پایداری عملکرد آن رقم بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر هرچقدر میزان شاخص SSI در رقمی کمتر باشد آن رقم به تنش خشکی متحمل‌تر می‌باشد (چوکان و همکاران ۲۰۰۶). در این تحقیق مشخص گردید که لاین‌های شماره ۸ و ۲ کمترین مقدار این شاخص را داشتند و به عنوان متحمل‌ترین لاین‌های امیدبخش جو نسبت به شرایط تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند (جدول ۲). از طرفی نیز مشخص گردید که لاین شماره ۶ بیشترین اختلاف عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب (Yp) نسبت به عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) داشتند. لذا این رقم به عنوان حساس‌ترین لاین امیدبخش جو نسبت به تنش خشکی آخر فصل معرفی گشت (جدول ۲). به گزارش شیرری و همکاران (۲۰۱۰) استفاده از شاخص SSI برای انتخاب ارقام متحمل یعنی با تغییرات کمتر عملکرد ولی احتمالاً کم بازده در هر دو شرایط است. بنابراین، بهتر است از شاخص SSI برای حذف ارقام حساس، نه برای انتخاب ارقام متحمل به تنش استفاده کرد. از طرفی نادری و همکاران (۲۰۰۰) معتقد بودند که شاخص SSI،

هرچقدر میزان شاخص تحمل TOL کمتر باشد، نشان دهنده تحمل نسبی رقم به شرایط تنش می‌باشد. با این حال قابل توجه است که انتخاب بر اساس شاخص TOL اغلب موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط آبیاری کامل عملکرد پایینی دارند. بنابراین می‌توان از این شاخص جهت انتخاب ارقام سازگار به شرایط تنش استفاده نمود (روزیل و هامبلین ۱۹۸۴). کمترین میزان شاخص تحمل TOL به لاین‌های ۱، ۲ و ۸ اختصاص داشت و به عنوان متحمل‌ترین لاین‌های امیدبخش جو به شرایط تنش شناخته شدند. از طرفی نیز مشخص گردید لاین‌های ۵ و ۶ بیشترین میزان شاخص تحمل TOL را داشتند و به عنوان حساس‌ترین لاین‌های امیدبخش جو به شرایط تنش معرفی شدند (جدول ۲). روزیل و هامبلین (۱۹۸۴) در تحقیق خود، دو شاخص TOL و MP را مهم‌ترین شاخص‌ها جهت گزینش ارقام متحمل به تنش معرفی نمودند. این محققین اظهار داشتند که انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاح‌گر بستگی دارد. اگر افزایش عملکرد در شرایط تنش مدنظر باشد، شاخص TOL می‌تواند مفید باشد، اما اگر افزایش عملکرد در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش مورد نظر اطلاع‌گر باشد، بهتر است گزینش بر اساس شاخص MP انجام گیرد. در بررسی سی و سه مرده و همکاران (۲۰۰۶) که برای ارزیابی مقاومت به خشکی ۱۱ رقم گندم نان انجام شده بود، مشخص شد که انتخاب ارقام بر اساس شاخص تحمل TOL موجب کاهش عملکرد در شرایط عادی می‌شود.

استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط MP و شاخص میانگین هارمونیک HARM که مقادیر بالای عددی آن نشان دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، اغلب منجر به گزینش ارقامی با عملکرد بالا در شرایط آبیاری کامل ولی کم تحمل به شرایط تنش می‌گردد. در این تحقیق مشخص شد لاین‌های ۷ و ۹ بالاترین میزان شاخص‌های MP و HARM را در بین لاین‌های جو مورد مطالعه داشتند (جدول ۲) لذا می‌توان این ارقام را

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها، به دو گروه ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش گروه‌بندی می‌کند.

جدول ۲ - مقایسه لاین‌های امیدبخش جو بر اساس میانگین دو ساله عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی

HARM	GMP	SSI	MP	TOL	STI	Ys (ton/ha)	Yp (ton/ha)	لاین
۴/۰۰ c-d	۴/۰۵ c-d	۰/۲۹ c-d	۴/۱۱ b-c	۰/۹۳ c	۰/۵۹ c-d	۳/۶۴ b-c	۴/۵۷ c-d	۱
۴/۴۶ a-c	۴/۴۸ a-c	۰/۱۶ d	۴/۵۰ a-c	۰/۹۲ c	۰/۷۲ a-c	۴/۱۹ a-b	۴/۸۲ b-d	۲
۴/۱۶ c	۴/۲۸ c	۰/۴۵ b	۴/۴۱ a-c	۱/۹۵ a-b	۰/۷۰ a-c	۳/۵۷ b-c	۵/۲۶ a-d	۳
۴/۳۸ a-c	۴/۵۰ a-c	۰/۴۶ b	۴/۶۳ a-b	۱/۲۰ b-c	۰/۷۲ a-c	۳/۸۰ a-c	۵/۴۶ a-d	۴
۴/۳۱ b-c	۴/۵۳ a-c	۰/۵۰ b	۴/۷۶ a-b	۲/۲۸ a	۰/۷۳ a-c	۳/۵۰ c	۶/۰۳ a-b	۵
۳/۴۲ d	۳/۵۳ d	۰/۶۴ a	۳/۷۰ c	۲/۲۶ a	۰/۴۹ d	۲/۷۶ d	۴/۶۵ b-d	۶
۴/۹۹ a	۵/۱۱ a	۰/۳۹ b-c	۵/۲۳ a	۱/۵۹ a-c	۰/۸۵ a-b	۴/۲۰ a-b	۶/۲۶ a	۷
۳/۹۸ c-d	۴/۰۱ c-d	۰/۲۰ d	۴/۰۵ b-c	۱/۰۸ c	۰/۵۷ c-d	۳/۶۹ b-c	۴/۴۰ d	۸
۴/۹۲ a-b	۵/۰۱ a-b	۰/۳۹ b-c	۵/۱۰ a	۱/۶۴ a-c	۰/۹۰ a	۴/۳۴ a	۵/۸۵ a-c	۹
۴/۱۱ c	۴/۳۲ b-c	۰/۵۰ b	۴/۵۶ a-b	۱/۴۸ b-c	۰/۶۷ b-d	۳/۲۶ c-d	۵/۸۶ a-c	۱۰

*- میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی داری ندارند.

رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو

در مجموع برای معرفی بهترین و ضعیف‌ترین ارقام جو از لحاظ کلیه صفات از رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو بر اساس کلیه شاخص‌های تحمل با روش آرانوچالام و باندیوپاندیای استفاده گردید. نتایج نشان

داد (جدول ۳) که لاین‌های شماره ۷ و ۹ به ترتیب با کمترین رتبه (به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۲/۵) به عنوان بهترین ارقام و لاین‌های شماره ۱ و ۸ به ترتیب با ۲۵/۵ و ۲۶/۵ بالاترین رتبه به عنوان نامناسب‌ترین ارقام نسبت به تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند.

جدول ۳- رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو بر اساس میانگین دو ساله شاخص‌های کمی

لاین	Yp	Ys	STI	TOL	MP	SSI	GMP	HARM	جمع کل
۱	۳/۵	۲/۵	۳/۵	۳	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۲۵/۵
۲	۳	۱/۵	۲	۳	۲	۴	۲	۲	۱۹/۵
۳	۲/۵	۲/۵	۲	۱/۵	۲	۲	۳	۳	۱۸/۵
۴	۲/۵	۲	۲	۲/۵	۱/۵	۲	۲	۲	۱۶/۵
۵	۱/۵	۳	۲	۱	۱/۵	۲	۲	۲/۵	۱۵/۵
۶	۳	۴	۴	۱	۳	۱	۴	۴	۲۴
۷	۱	۱/۵	۱/۵	۲	۱	۲/۵	۱	۱	۱۱/۵
۸	۴	۲/۵	۳/۵	۳	۲/۵	۴	۳/۵	۳/۵	۲۶/۵
۹	۲	۱	۱	۲	۱	۲/۵	۱/۵	۱/۵	۱۲/۵
۱۰	۲	۳/۵	۳	۲/۵	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۲۰

ضرایب همبستگی

نتایج ضرایب همبستگی نشان داد (جدول ۴) عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی با شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد لذا از این شاخص‌ها می‌توان جهت گزینش ارقام دارای عملکرد بالا در شرایط آبیاری

مطلوب و تنش خشکی استفاده نمود. زهراوی (۲۰۰۹) نیز طی مطالعه شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM را در جو به عنوان معیارهای گزینش برتر معرفی کردند. خوکار و همکاران (۲۰۱۲) طی آزمایشی با ۱۲ ژنوتیپ جو در دو شرایط تنش کم آبی و آبیاری نرمال به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی عملکرد

(YI) در شرایط نرمال آبیاری نشان دادند، در حالیکه میانگین تولیدات (MP)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی تولیدات (GMP) و شاخص عملکرد (YI) عکس العمل زیادی به شرایط تنش نشان دادند.

برخی از ژنوتیپ‌ها را کاهش داد، در حالیکه ژنوتیپ‌های دیگری به خشکی مقاومت نشان دادند، که بعنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد شدند. همچنین نتایج آنها همبستگی معنی‌داری بین عملکرد دانه (Yp)، میانگین تولید (MP)، شاخص تحمل خشکی (STI)، میانگین هندسی تولیدات (GMP) و شاخص عملکرد

جدول ۴ - ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه بر اساس میانگین دو سال

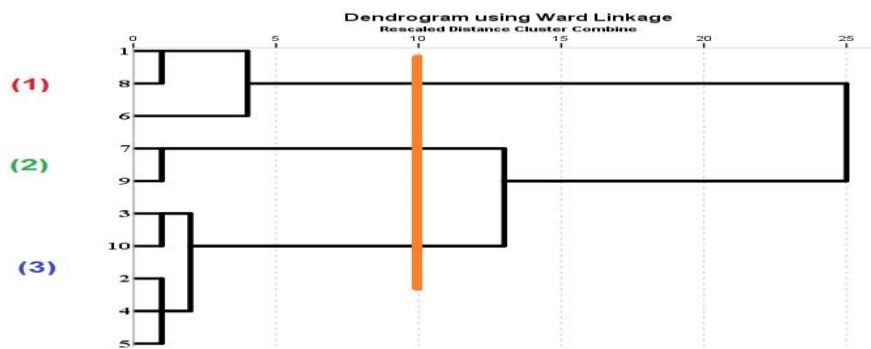
GMP	SSI	MP	TOL	STI	Ys	Yp	
					۱	۰/۳۱ ^{ns}	Ys
				۱	۰/۸۰ ^{**}	۰/۷۹ ^{**}	STI
			۱	۰/۰۱	-۰/۴۸ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	TOL
		۱	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۹۷ ^{**}	۰/۷۳ [*]	۰/۸۷ ^{**}	MP
	۱	-۰/۰۶ ^{ns}	۰/۸۰ ^{**}	-۰/۱۳ ^{ns}	-۰/۵۶ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	SSI
۱	-۰/۲۰ ^{ns}	۰/۹۸ ^{**}	-۰/۰۷ ^{ns}	۰/۹۸ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۰/۷۸ ^{**}	GMP
۰/۹۹ ^{**}	-۰/۳۱ ^{ns}	۰/۹۵ ^{**}	-۰/۱۷ ^{ns}	۰/۹۶ ^{**}	۰/۸۹ ^{**}	۰/۶۹ [*]	HARM

*, ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌داری می‌باشد.

مورد مطالعه جو در سه کلاستر قرار گرفتند. کلاستر دو شامل لاین‌های ۷ و ۹ بالاترین میزان شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM را داشتند (جدول ۵) و به عنوان متحمل‌ترین لاین‌های جو نسبت به تنش خشکی آخر فصل شناسایی شدند. از طرفی لاین‌های کلاستر سوم شامل لاین‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۰ مقاومت نسبی به شرایط تنش خشکی داشتند. در حالیکه لاین‌های کلاستر اول شامل ۱، ۶ و ۸ کمترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM را داشتند و به عنوان حساس‌ترین لاین‌های جو نسبت به تنش خشکی آخر فصل معرفی گشتند (جدول ۵).

تجزیه کلاستر

جهت گزینش بهترین لاین‌های امیدبخش جو در طی دو سال آزمایش بر اساس شاخص‌های تحمل، اقدام به تجزیه کلاستر شد. اما از آنجایی که شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط تنش در طی دو سال داشتند تنها از این شاخص‌ها جهت گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو استفاده شد (سینگ ۲۰۰۰). بر اساس دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر و نیز نتایج حاصل از میانگین شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM در داخل هر کلاستر مشخص گردید (شکل ۱ و جدول ۵) که لاین‌های



شکل ۱ - دندروگرام حاصل از گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو به روش WARD بر اساس شاخص‌های HARM و GMP, MP, STI

جدول ۵ - میانگین شاخص‌های HARM و GMP, MP, STI در داخل هر کلاستر

HARM	GMP	MP	STI	لاین‌های داخل هر کلاستر	کلاستر
۲/۸۰ c	۲/۸۸ c	۳/۹۶ c	۰/۵۵ c	۸-۶-۱	۱
۴/۹۶ a	۵/۰۶ a	۵/۱۷ a	۰/۸۸ a	۹-۷	۲
۴/۲۹ b	۴/۴۳ a-b	۴/۵۸ a-b	۰/۷۱ b	۱۰-۵-۴-۳-۲	۳

*- میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی داری ندارند.

مقایسه میانگین لاین‌های امیدبخش جو برای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (SOD, CAT و GPX)، تخریب مولکول‌های چربی و لیپیدها (HDA) و رادیکال‌های آزاد اکسیژن (H_2O_2) در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی آخر فصل نشان داد که در مجموع میزان این مواد در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط آبیاری کامل می‌باشد (جدول ۶). به عبارت دیگر وقتی که لاین‌های امیدبخش جو در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرند، باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن از جمله H_2O_2 در داخل سلول شده و متعاقباً ماکرومولکول‌های سلولی که از مهم‌ترین و حساس‌ترین آنها می‌توان به مولکول‌های چربی و لیپیدها اشاره کرد، آسیب دیده و باعث افزایش میزان MDA در داخل سلول می‌شوند (باتاچارجی و موخرجی ۲۰۰۲). در چنین شرایطی گیاه برای اینکه از آسیب دیدگی‌های بیشتر جلوگیری کند اقدام به تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (SOD, CAT و GPX) می‌کند. این

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب آنزیم‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل و تنش در لاین‌های امیدبخش جو نشان داد (نتایج نشان داده نشده است) که اثر رقم بر روی تولید تمامی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و نیز تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تخریب مولکول‌های چربی در سطح یک درصد بسیار معنی‌دار می‌باشند و این موضوع نشان می‌دهد که توانایی ارقام مورد مطالعه جو در سازگاری با شرایط تنش خشکی آخر فصل متفاوت بوده و تنوع ژنتیکی بالایی از این نظر در بین لاین‌های امیدبخش جو وجود دارد. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق محمدی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت داشت. جانسون و همکاران (۲۰۰۳) معتقد بودند که میزان فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت شرایط استرس خشکی، تنها در داخل گونه‌های گیاهی بلکه در بین ارقام داخل یک گونه متفاوت می‌باشد.

باعث افزایش فعالیت پراکسید هیدروژن (H_2O_2 : ۱۶/۷۳ و ۱۸/۳۴) در داخل سلول شده و این امر تخریب چربی-ها را افزایش داد (MDA: ۳۱/۹۳ و ۲۴/۵۲). سیمونتاجی و همکاران (۱۹۹۳) نیز معتقد بودند که هیدروژن پراکسید در بسیاری از واکنش‌های متابولیکی تولید می‌شود و بسیار سمی است. لذا باید توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بخصوص کاتالاز و پراکسیداز به آب و اکسیژن شکسته شود و یا اینکه به عنوان پذیرنده الکترون در واکنش‌های متابولیکی سلول مصرف شود. از طرفی کک مک و همکاران (۱۹۹۳) بیان نمودند که در لاین‌های مقاوم به تنش به دلیل اینکه سطح تولید و فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌های کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز و پراکسید بالا می‌باشد. لذا رادیکال‌های آزاد در سطح ثابتی در سلول باقی می‌مانند و باعث کاهش آسیب دیدگی گیاه می‌شوند. همچنین نتایج مقایسه میانگین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش نشان داد (جدول ۶) که میزان تولید تمامی این آنزیم‌ها در شرایط تنش افزایش چشمگیری در مقایسه با شرایط آبیاری کامل داشته است که این نتایج با نتایج محمدی و همکاران (۲۰۱۴)، توکل افشاری و همکاران (۲۰۰۷) که بیان نمودند لاین‌های مقاوم به تنش، سطح تولید و فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌های بیشتری دارند، همخوانی داشت. از طرفی نیز مشخص گردید که روند تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش خشکی تا حدودی همانند شرایط آبیاری کامل می‌باشد. بطوریکه در این محیط نیز لاین‌های امیدبخش ۷ و ۹ بیشترین میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و متقابلاً کمترین میزان تولید H_2O_2 و MDA را داشتند و در مجموع به عنوان مقاوم‌ترین ارقام جو به شرایط تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند. همچنین نیز مشخص گردید که لاین‌های ۸ و ۱۰ در مقایسه با دیگر لاین‌های امیدبخش جو در مجموع کمترین میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را داشتند و این امر باعث شد تا میزان فعالیت پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در داخل سلول

آنزیم با از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، باعث جلوگیری از تخریب ماکرومولکول‌های داخل سلولی از جمله چربی‌ها و لیپیدها می‌شوند (سایرام و همکاران ۲۰۰۲). از طرفی نتایج این تحقیق نشان داد که هر چه میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در رقمی بیشتر باشد آن رقم به شرایط تنش خشکی مقاوم‌تر می‌باشد و می‌توان آن را برای محیط‌های تنش‌زا توصیه نمود. بیبردی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که بخاطر افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تخریب ماکرومولکول‌ها در گیاه، سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط استرس‌های محیطی از جمله شوری، خشکی و گرما، به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. بندوگلو و همکاران (۲۰۰۴) بیان نمودند که اسیدهای چرب و لیپیدها به رادیکال‌های آزاد اکسیژن بسیار حساس می‌باشند و در محیط‌های اکسیداسیون، شدیداً کاهش می‌یابند. لذا غشاهای سلولی اولین قسمت‌های آسیب‌پذیر در شرایط استرس‌زا می‌باشند و در چنین شرایطی میزان MDA افزایش می‌یابد. بنابراین میزان MDA یک معیار مناسب برای تعیین سطح پاسخ گیاهان به استرس‌های محیطی می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (SOD، CAT و GPX) در شرایط آبیاری کامل نشان داد (جدول ۶) که لاین‌های شماره ۷ و ۹ به ترتیب بیشترین میزان این آنزیم‌ها را داشتند (SOD: ۴/۱۶ و ۳/۳۹، CAT: ۳/۰۷ و ۲/۵۸ و GPX: ۲/۰۵ و ۱/۹۰) و متقابلاً به دلیل حذف و غیر فعال کردن پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ضمن کاهش میزان این عامل مخرب در سلول، باعث کاهش آسیب دیدگی مولکول‌های چربی و لیپیدهای غشای سلولی و متعاقباً باعث کاهش میزان MDA در داخل سلول شدند (H_2O_2 : ۱۴/۶۱ و ۱۵/۵۹ MDA: ۸/۶۰ و ۹/۱۷). در مقابل لاین‌های ۸ و ۱۰ به دلیل اینکه کمترین میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را داشتند (SOD: ۲/۱۸ و CAT: ۱/۶۴ و ۱/۷۴ و GPX: ۱/۲۵ و ۱/۰۴)، لذا

متوقف می‌کند. توکل افشاری و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود نیز بیان نمود که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ژنوتیپ با بنیه ضعیف کمتر از ژنوتیپ با بنیه قوی می‌باشد. همچنین دولت آبادیان و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که افزایش میزان مالوندی آلدئید یک پارامتر مهم در ارزیابی اکسیداسیون غشای سلولی و ایجاد سمیت برای سلول می‌باشد.

افزایش و متعاقبا میزان آسیب پذیری مولکول‌های چربی و لیپید موجود در غشای سلولی بیشتر باشد. بنابراین این ارقام به عنوان حساس‌ترین لاین‌های امیدبخش جو شناخته شدند. موحدی دهنوی و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان نمودند که گونه‌های فعال اکسیژن (H_2O_2 ، O_2^- و OH^-) برای سلول سمی بوده و به دلیل واکنش پذیری بالا باعث تخریب DNA، پروتئین و چربی شده و در نهایت متابولیسم طبیعی سلول را

جدول ۶ - مقایسه میانگین لاین‌های امیدبخش جو برای آنزیم‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل و تنش

رقم	SOD		CAT		GPX		MDA		H ₂ O ₂	
	آبیاری	تنش	آبیاری	تنش	آبیاری	تنش	آبیاری	تنش	آبیاری	تنش
۱	۳/۱۹ a-b	۶/۳۱ b-d	۲/۱۱ a-b	۵/۶۲ a-b	۱/۸۶ a	۳/۵۶ a-b	۲۷/۷۸ a-b	۴۱/۱۴ d-f	۱۷/۰۴ a	۲۶/۵۱ c
۲	۲/۷۰ b	۶/۶۸ b-c	۲/۲۵ a-b	۴/۵۴ b-c	۱/۷۸ a	۳/۳۹ b	۲۳/۲۰ b	۳۷/۱۷ e-f	۹/۷۴ b	۲۹/۲۰ b-c
۳	۳/۴۲ a-b	۵/۳۲ c-e	۱/۸۰ b	۵/۴۷ a-b	۱/۷۳ a-b	۴/۱۳ a-b	۲۲/۲۲ b	۵۷/۷۱ c	۱۵/۸۷ a	۳۵/۵۲ b
۴	۲/۵۶ b	۴/۹۱ d-f	۲/۲۸ a-b	۳/۸۲ c	۱/۷۷ a	۳/۳۹ b	۲۶/۸۹ a-b	۶۱/۸۹ b-c	۱۴/۹۶ a	۳۵/۲۲ b
۵	۳/۱۰ a-b	۶/۰۱ b-e	۱/۹۷ a-b	۴/۷۳ a-c	۱/۶۰ a-b	۳/۵۶ a-b	۳۱/۷۷ a	۴۶/۵۵ d	۱۴/۴۷ a	۳۰/۴۵ b-c
۶	۳/۰۲ a-b	۴/۷۲ e-f	۲/۳۷ a-b	۴/۸۷ a-c	۱/۸۱ a	۳/۶۳ a-b	۲۴/۹۳ b	۶۵/۷۸ a-b	۱۴/۹۶ a	۳۳/۱۹ b-c
۷	۴/۱۶ a	۶/۹۴ a-b	۳/۰۷ a	۶/۱۰ a	۲/۰۵ a	۴/۹۷ a	۱۴/۶۱ c	۲۵/۹۸ f	۸/۶۰ b	۲۶/۲۶ c
۸	۲/۱۸ b	۳/۹۲ f	۱/۶۴ b	۴/۵۳ b-c	۱/۲۵ b-c	۳/۸۳ a-b	۳۱/۹۳ a	۴۴/۷۴ d-e	۱۶/۷۳ a	۴۲/۲۷ a
۹	۳/۳۹ a-b	۸/۲۴ a	۲/۵۸ a-b	۶/۱۲ a	۱/۹۰ a	۵/۰۰ a	۱۵/۹۳ c	۲۵/۰۵ g	۹/۱۷ b	۲۹/۰۱ b-c
۱۰	۲/۴۱ b	۴/۴۲ f	۱/۷۴ b	۳/۵۷ c	۱/۰۴ c	۲/۹۴ b	۲۴/۵۲ b	۷۱/۱۷ a	۱۸/۳۴ a	۴۳/۶۵ a

*- میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی داری ندارند.

داد که در هر دو محیط تنش و آبیاری کامل بین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت SOD، CAT و GPX همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد و بین تمامی این آنزیم‌ها با MDA و H₂O₂ همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد. نتایج ضرایب همبستگی در مجموع نشان داد که آنزیم سوپراکسید دسموتاز در مقایسه با آنزیم‌های کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل (*۰/۷۱) و شرایط تنش (۰/۳۳) داشته، بنابراین این آنزیم نقش مهمتری را در تخریب رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مقاومت گیاه به شرایط تنش داشته است. توکل افشاری و همکاران (۲۰۰۷) آنزیم کاتالاز و جین و همکاران (۲۰۰۶) آنزیم

نتایج ضرایب همبستگی نشان داد (جدول ۷) که عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت همبستگی مثبتی دارد. این نتیجه قابل پیش بینی و انتظار بود چرا که هر چه میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در رقمی بیشتر باشد. این آنزیم‌ها باعث حفاظت ماکرومولوکول‌های سلولی (پروتئین، چربی و DNA) در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و متعاقبا باعث رشد و نمو بهتر گیاه و افزایش عملکرد در گیاه می‌شود. بنابراین لاین‌های امیدبخش جو که از سطح بالایی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت برخوردار هستند گزینه‌های مناسبی برای مناطق خشک و شرایط استرسزا می‌باشند (دات و همکاران ۲۰۰۰). همچنین نتایج ضرایب همبستگی نشان

آنزیم‌ها همبستگی مثبت با یکدیگر و همبستگی منفی با تخریب ماکرومولکول‌ها دارند. این محققین همچنین بیان کردند که افزایش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت باعث افزایش مقاومت گیاه به استرس‌های محیطی می‌شود.

سوپراکسیددسموتاز را مهم‌ترین آنزیم‌ها در سیستم حفاظتی گیاه جهت فائق آمدن بر شرایط استرس‌زای محیطی معرفی نمودند. سایر ام و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که استرس‌های محیطی باعث افزایش فعالیت تقریباً همه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌شوند که این

جدول ۷ - ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در شرایط آبیاری کامل (بالای قطر اصلی) و تنش (پایین قطر اصلی)

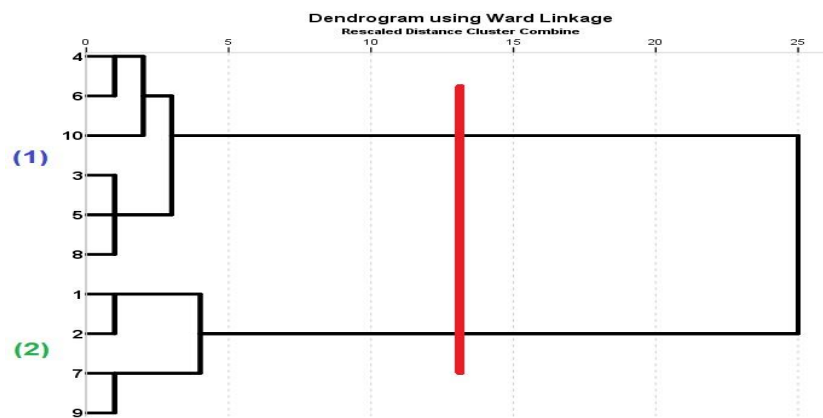
H ₂ O ₂	MDA	GPX	CAT	SOD	YS	
-۰/۲۶ ^{ns}	-۰/۶۸ *	۰/۳۱ ^{ns}	-۰/۲۷ ^{ns}	۰/۷۱ *	۱	Yp
-۰/۵۷ ^{ns}	-۰/۷۰ *	۰/۷۵ *	-۰/۷۲ *	۱	۰/۳۳ ^{ns}	SOD
-۰/۸۱ **	-۰/۷۵ *	۰/۷۹ **	۱	۰/۷۲ *	۰/۳۱ ^{ns}	CAT
-۰/۶۸ *	-۰/۵۴ ^{ns}	۱	۰/۸۶ **	۰/۶۵ *	۰/۱۴ ^{ns}	GPX
۰/۷۱ *	۱	-۰/۶۷ *	۰/۷۰ *	-۰/۸۱ **	-۰/۵۲ ^{ns}	MDA
۱	۰/۶۵ *	-۰/۴۸ ^{ns}	-۰/۷۱ *	-۰/۸۲ **	-۰/۵۶ ^{ns}	H ₂ O ₂

*, ** و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار می‌باشد.

اول شامل لاین‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۰ به دلیل اینکه کمترین میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را داشتند لذا بیشترین آسیب را از مولکول‌های H₂O₂ و بیشترین تخریب را در مولکول‌های چربی MDA متحمل شدند لذا در مجموع به عنوان ضعیف‌ترین و حساس‌ترین لاین‌های جو به شرایط تنش خشکی آخر فصل شناخته شدند. در حالیکه کلاستر دوم شامل لاین‌ها ۱، ۲، ۷ و ۹ در مجموع بیشترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و کمترین آسیب دیدگی از MDA و H₂O₂ را داشتند لذا به عنوان مقاوم‌ترین لاین‌های امیدبخش جو در شرایط تنش معرفی شدند (جدول ۸).

تجزیه کلاستر

جهت گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو از لحاظ تمامی صفات مورد مطالعه (SOD، CAT، GPX، MDA و H₂O₂) از تجزیه کلاستر به روش وارد استفاده گردید. نتایج نشان داد که ده لاین مورد مطالعه در مجموع در دو کلاستر قرار گرفتند (شکل ۲). برای اینکه صحت تجزیه کلاستر مورد تایید قرار بگیرد، گروه‌بندی حاصل از تجزیه کلاستر، مورد تجزیه واریانس (طرح بلوک کامل تصادفی چند مشاهده ای) قرار گرفت که اختلاف کاملاً معنی‌داری بین دو کلاستر مشاهده شد (نتایج تجزیه واریانس آورده نشده است). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که کلاستر



شکل ۲ - دندروگرام حاصل از گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو به روش WARD بر اساس آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

جدول ۸ - مقایسه میانگین شاخص‌های SOD, CAT, GPX, HDA و H₂O₂ در داخل هر کلاستر

H ₂ O ₂	MDA	GPX	CAT	SOD	لاین‌های داخل هر کلاستر	کلاستر
۲۶/۳۱ a	۴۲/۴۷ a	۲/۵۶ b	۳/۲۴ b	۳/۸۴ b	۱۰ و ۸، ۶، ۵، ۴، ۳	۱
۱۹/۴۴ b	۲۷/۶۱ b	۳/۰۷ a	۴/۰۵ a	۵/۲۱ a	۹ و ۷، ۲، ۱	۲

*- میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی داری ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

داشتند و میزان تولید آنها در ارقام متحمل به تنش در مقایسه با ارقام حساس بیشتر بود. رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو بر اساس شاخص‌های کمی و کیفی نشان داد، لاین‌های شماره ۷ و ۹ (رقم جلگه) به‌عنوان لاین‌های برتر از رقم بهمن در شرایط آبیاری کامل و محتمل‌ترین لاین‌های جو نسبت به تنش کم‌آبی شناسایی شدند.

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشخص شد تنوع ژنتیکی بالایی بین لاین‌های امیدبخش جو در هر دو شرایط آبیاری وجود داشت و تعدادی از لاین‌ها بر رقم بهمن در هر دو شرایط آبیاری برتری نشان دادند. میزان تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش در مقایسه با شرایط آبیاری کامل افزایش

منابع مورد استفاده

- Arunachalam V and Bandyopadhyay A. 1984. A method to make decisions jointly on a number of dependent characters. *Indian Journal of Genetics*, 44: 419-424.
- Bandeoglu E, Eyidogan F, Yucel M and Oktem HA. 2004. Antioxidant response of shoots and roots of lentil to NaCl Salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42: 69-77.
- Bhattacharjee S and Mukherjee AK. 2002. Salt stress induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. *Seed Science and Technology*, 30: 279- 287.
- Bybordi A, Tabatabaei SJ and Ahmadv A. 2010. Effect of salinity on fatty acid composition of Canola (*Brassica napus* L). *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8: 113-115.

- Cakmak I, Dragan S and Marschner H. 1993. Activities of hydrogen-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *Journal Of Experimental Botany*, 44: 127-133.
- Calhoun DS, Gebeyehu C, Miranda A, Rajaram S and Van Ginkel M. 1994. Choosing evaluation environments to increase grain yield under drought conditions. *Crop Science*. 34: 673-678.
- Choukan R, Taherkhani T, Ghannadha MR and Khodarahmi M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal Of Agricultural Sciences*, 8(1): 79-89.
- Creissen GP and Mullineaux PM. 2002. The molecular biology of the ascorbate-lutathione cycle in higher plants. In: *Oxidative Stress in Plants*, D. Inze, M. V. Montgan (Eds.), 247-270. Taylor & Francis, London, UK. (2002).
- Dat J, Vandenaabeele S, Vranova E, Van Montagu M, Inze D and Van Breusegem F. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 57: 779-795.
- Dolatabadian A, Modarres-Sanavy S and Ahmadian-Chashmi N. 2008. The effects of foliar application of ascorbic acid (vitamin C) on antioxidant enzymes activities, lipid peroxidation and proline accumulation of canola (*Brassica napus* L.) under conditions of salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194: 206-213.
- Eghbali S, Aharizad S, Yarnia M and Khalili M. 2016. Evaluating of Drought Tolerance of Doubled Haploid Barley (*Hordeum vulgare* L.) Lines using Tolerance Indices. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(1): 139-149. (In Persian).
- Ehdaie B, Waines JG and Hall AE. 1988. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress. *Crop Science*, 28: 838-842.
- FAO. 2015. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>.
- Fernandez GCJ. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Publication, Tainan, Taiwan.
- Huang B, 2000. Role of morphological and physiological characteristics in drought resistance of plants. Pp. 39-64. In: R. E. Willkinson (Ed). *Plant-Environmental Interactions*. Marcel Dekker Inc. New York,
- Jin J, Ningwei SH, Jinhe B and Junping G. 2006. Regulation of ascorbate peroxides at the transcript level is involved in tolerance to post harvest water deficit stress in the cut Rose (*Rose hybrida* L.) CV. Samantha. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7: 90-103.
- Jones MM, Turner N and Osmond CB, 1981. Mechanisms of drought resistance. Pp: 15-37. In: Paleg, LG, and Aspinall D (Eds.). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Academic Press Sydney.
- Khokhar MI, Jaime A, Dasilva T and Spiertz H. 2012. Evaluation of barley genotypes for yielding Ability and Drought tolerance under Irrigated and water stressed conditions. *American-Eurasian Journal Of Agricultural & Environmental Sciences*, 12 (3): 287-292.
- Mahdavi A, M, Sorkhi Allahlo B, Ahmadi S, and Zare Manesh H. 2012. Evaluation of drought tolerance in barley genotypes using stress tolerance indices. *Journal of Crop Production Research*, 4(2): 121-133. (In Persian).
- Mohammadi S, Sorkhy B, Bayat M and Sharafi S. 2014. Evaluating resistance of different barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to water deficit stress using physiological traits. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*. 2(6): 209-219.
- Movahhedy-Dehnavy M, Modarres-Sanavy SAM and Mokhtassi-Bidgoli A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Ind crop Prod* doi:10.1016/j.indcrop.2009.02.004.

- Naderi A, Majidi-Hervan E, Hashemi-Dezfoli A, Rezaei A and Nour mohammadi G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. *Plant and Seed Journal*, 15 (4): 390-402.
- Nikkhah HR, Naghavi MR, Mohammadi V and Soltanloo H. 2014. Physiological and Agronomic Traits Related to Drought Tolerance in Barley Recombinant Inbred Line Population (Arigashar ×Irri). *Seed And Plant Improvement Journal*, 30(4): 821-840. (In Persian).
- Paglia DE and Valentine WN. 1987. Studies on the quantitative and qualitative characterization of glutation proxidase. *Journal of Laboratory Medicine*, 70: 158-165.
- Reddy AR, Chaitanya KV and Vivekanadan MV, 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher Plants. *Plant Physiology*, 161: 1189-1202.
- Rosielle AA and Hamblin J. 1984. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21: 943-946.
- Sadeghzade-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dryland promising durum wheat genotypes. *Iran. J. Crop Science*, 8 (1): 30-45. (In Persian).
- Sairam RK, Verrabhadra RK and Srivastava GC. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress. *Plant Science*, 163: 1037-1046.
- Shepherd A, Ginn SMCM and Wyseure GCL, 2002. Simulation of the effect of water shortage on the yields of winter wheat in North-East England. *Ecological Modeling*, 147: 41-52.
- Shiri M, Aliyev RT and Choukan R. 2010. Water stress effects on combining ability and gene action of yield and genetic properties of drought tolerance indices in maize. *Research Journal of Environmental Sciences*, 4: 75- 82. (In Persian).
- Simontacchi MA, Caro G, Fraga G and Puntaralo S. 1993. Oxidative stress affects α -tocopherol content in soybean embrionic axes during germination. *Plant physiology*, 103: 949-953.
- Singh BD. 2000. *Plant Breeding-Principles and Methods*. Kalyani Publisher. 896pp.
- Sio-Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K and Mohammadi V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. *Field Crop Research*, 98: 222-229.
- Tajalli H, Mosavi SGR, Baradaran R and Saberi MH. 2012. Short Communication: The study of promising genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under end of season drought stress conditions. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 4(2): 173-177. (In Persian).
- Tavakol Afshari R, Ghasemi F, Majnon Hoseyni N, alizadeh H and Bihamta MR. 2007. Effect of seed aging on germination traits and activity of antioxidant enzymes catalase and peroxidase in barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 38(2): 337-346. (In Persian).
- Valentovic P, Luxova M, Kolarovic L and Gasparikova O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars, *Plant Soil Environment*, 52: 186-191.
- Zahravi M. 2009. Evaluation of Genotypes of Wild Barley (*Hordeum spontaneum* L.) Based on Drought Tolerance Indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 25(4): 533-549. (In Persian).
- Zhen Y, Miao L, Su J, Liu S, Yin Y, Wang S, Pang Y, Shen H, Tian D, Qi J and Yang Y. 2009. Differential Responses of Anti-Oxidative Enzymes to Aluminum Stress in Tolerant and Sensitive Soybean Genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 32: 1255-1270.