

Original article

Grouping promising lines of durum wheat for frost resistance using some morphophysiological traits

Fatemeh Mohamadi Azar¹, Omid Sofalian^{2*}, Ali Asghari², Asghar Ebadi³,
Rahmatollah Karimizadeh⁴

1. Ph.D. Graduate of Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, faculty of agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, faculty of agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4. Assistant Professor, Gachsaran Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources. Iran

Received 27 September 2023; Revised 14 November 2023; Accepted 25 November 2023

Extended abstract

Introduction

Wheat is one of the most important crops and an essential source of calories and protein in the world. Food security depends on agricultural production to supply the growing world population with certain nutrients. Plants are often exposed to stressful conditions. Stress can occur within minutes, days, or even months. Temperature is the most important environmental variable that affects the growth, development, and final productivity of agricultural grain products. Cold or freezing temperatures cause a lot of damage to agriculture, especially in cereal crops in subtropical and temperate regions. Most of the world's wheat fields are often under low-temperature stress. The ability of plants to tolerate cold without damaging their growth cycle is called cold tolerance. Crop plants, including wheat, tend to overcome cold stress through cold adaptation. In winter cereals, low-temperature stress in the vegetative stage causes chlorosis and wilting of leaves and eventually leads to necrosis and growth inhibition. Wheat needs an ideal temperature range for growth and ideal performance, and any deviation from it affects the natural growth process. In general, winter cereals like wheat have two varieties, sensitive to cold and resistant to cold. Numerous studies show that the intraspecies genetic diversity of wheat has not yet been fully exploited. The purpose of this study is to investigate the diversity of durum wheat lines under conditions of freezing stress, identify cold-resistant lines in durum wheat based on some morphophysiological traits, and determine the relationship between durum wheat traits and cold tolerance.

Materials and methods

Freezing and laboratory experiments were carried out in the greenhouse and plant breeding laboratory of Mohaghegh Ardabili University in 2019 on 45 durum wheat genotypes as a factorial experiment in the form of a randomized complete block design with three replications. In this experiment, four control temperature treatments (without freezing), -8, -10 and -12 degrees Celsius were investigated. LT₅₀ of several applied temperatures (-8, -10, and -12), and by analyzing Probit was calculated for each genotype. The mean comparison was done with the LSD method at the five percent probability level. Lines grouping was done by Ward's clustering method using the square measure of Euclidean distance.

* Corresponding author: omid.sofalian; E-Mail: sofalian@gmail.com



Results and discussion

The highest amount of LT50 trait was observed in genotype number 44, and the lowest amount was observed in genotype number 36. LT50, survival percentage, height, fresh weight of shoots, dry weight of shoots, saturated weight of shoots, number of leaves, relative water content, and electrolyte leakage were investigated. The correlation was calculated separately in stress levels. Lines with high height in terms of LT50 trait were also included in the group of resistant lines. Multivariate variance analysis based on unbalanced one-way variance analysis was used to determine the most favorable groups. The lines were placed in four groups in the control conditions, the stress of -8, and -12°C, and in five groups in the -10°C stresses. The traits of shoot weight, number of leaves, relative leaf water content and electrical conductivity had an important role in the average of the groups. Decomposition into factors was done in separate stress levels. Four factors were selected in control levels, and -8°C stress, and three factors were selected in the -10°C, and -12°C stress levels.

Conclusion

In general, lines 35, 40, and 44 were recognized as lines with higher averages in all clusters, and lines 4, 5, 6, and 20 were placed in groups with lower averages. The traits of shoot weight, number of leaves, relative leaf water content, and electrical conductivity had an important role in the average of the groups. According to the final results of the study, lines 17, 24, 27, 35, 38, and 40 were recognized as resistant lines. Lines 3, 12, 18, 20, and 44 were found to be sensitive.

Acknowledgments

We sincerely thank Gachsaran Agricultural Research Institute and Maragheh dryland Agricultural Research Institute for providing the studied lines seeds.

Keywords: Cluster analysis, Diversity, Durum wheat, Freezing, LT50

گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش گندم دوروم برای مقاومت به یخ‌زدگی با استفاده از برخی صفات مورفوفیزیولوژیک

فاطمه محمدی آذر^۱، امید سفالیان^{۲*}، علی اصغری^۳، اصغر عبادی^۴، رحمت‌الله کریمی‌زاده^۴

۱. دانش‌آموخته دکتری اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲. استاد تمام دانشگاه محقق اردبیلی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳. دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۴. استادیار پژوهشکده کشاورزی گچساران مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای تنش یخ‌زدگی تنوع گندم دوروم LT50	با توجه به وجود تنش سرما در مناطق سردسیر کشور لزوم گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و سایر ویژگی‌های مناسب زراعی بیش‌ازپیش آشکار می‌باشد. هدف این مطالعه بررسی تنوع لاین‌های گندم دوروم در شرایط تنش یخ‌زدگی و شناسایی لاین‌های مقاوم به سرما در گندم دوروم بر اساس برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و تعیین رابطه بین صفات گندم دوروم و تحمل به سرما بود. آزمایش‌های یخ‌زدگی و آزمایشگاهی در گلخانه و آزمایشگاه اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۸ بر روی ۴۵ لاین امیدبخش گندم دوروم به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. تمامی لاین‌های موردبررسی قادر به تحمل تنش بودند. در مجموع لاین‌های ۳۴، ۳۶ و ۳۷ بیشترین درصد زنده‌مانی و لاین‌های ۱، ۲۳ و ۲۵ کمترین میزان زنده‌مانی را نشان دادند. صفات LT50، درصد زنده‌مانی، ارتفاع، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن اشباع اندام هوایی، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت موردبررسی قرار گرفتند. لاین‌هایی که در گروه لاین‌های پابلند خوشه‌بندی شدند از نظر صفت LT50 نیز در گروه لاین‌های مقاوم قرار گرفتند. در تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها در شرایط شاهد، تنش ۸- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد لاین‌ها در چهار گروه و در شرایط تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد لاین‌ها در ۵ گروه قرار گرفتند. صفات وزن تر اندام هوایی، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ و هدایت الکتریکی نقش مهمی در میانگین گروه‌ها داشتند. در تجزیه به عامل‌ها در سطوح شاهد و تنش ۸- درجه سانتی‌گراد چهار عامل و برای سطوح تنش ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد سه عامل برای تفسیر داده‌ها انتخاب شد. با توجه به نتایج نهایی مطالعه، لاین‌های ۱۷، ۲۴، ۲۷، ۳۵، ۳۸ و ۴۰ لاین‌های مقاوم شناخته شدند. لاین‌های ۳، ۱۲، ۱۸، ۲۰ و ۴۴ حساس شناخته شدند.

مقدمه

درصد گندم تولیدی دنیا، به گندم نان و ۱۰ درصد به گندم دوروم اختصاص دارد (Martínez-Moreno et al., 2020). گندم دوروم دومین گونه زراعی مهم گندم و دهمین محصول زراعی مهم دنیا است که حدود شش درصد سطح زیر کشت گندم را شامل و تولید سالانه آن بین ۳۷ تا ۴۰ میلیون تن است (Mohammadi and Haghighparast, 2022). عمده تولیدکنندگان گندم دوروم در حوضه مدیترانه واقع‌شده‌اند

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی و منبع ضروری کالری و پروتئین در جهان است (Farahani et al., 2011). تولید جهانی گندم بیش از ۷۸۱ میلیون تن بوده و این بزرگ‌ترین سطح زیر کشت در جهان است (Fao, 2023). اهمیت گندم برای تغذیه انسان و مصرف خوراک دام، آن را به یک عامل حیاتی برای امنیت غذایی تبدیل می‌کند (Farahani et al., 2011). بالغ‌بر ۹۰

نمود (Bagheri et al., 2000). گیاهان زراعی از جمله گندم، تمایل به غلبه بر تنش سرما از طریق سازگاری با سرما دارند (Theocharis et al., 2012). در غلات زمستانه، تنش دمای پایین در مرحله رویشی باعث کلروز و پژمردگی برگ‌ها و در نهایت منجر به نکروز و مهار رشد می‌شود (Janowiak et al., 2002; Ruelland and Zachowski, 2010; Whaley et al., 2004). به‌طور خلاصه، تنش سرما در مرحله اولیه گیاهچه منجر به تأخیر در سبز شدن و استقرار ضعیف توده می‌شود (Muhammad et al., 2021).

تنش سرما باعث ایجاد تغییرات فراساختاری بسیاری در گونه‌های گیاهی حساس به سرما می‌شود (Kratsch and Wise, 2000) که باعث عدم تعادل محتوای مایع غشا و نفوذپذیری شده و منجر به اختلال در کلیه فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با غشا می‌شود (Los et al., 2013). اغلب، این اثرات نامطلوب با تغییرات ساختاری در غشا همراه است (Bohn et al., 2007) که متعاقباً با نشت سلولی الکترولیت‌ها و اسیدهای آمینه، انحراف جریان الکترون به سمت مسیرهای متناوب همراه می‌شود (Seo et al., 2010). به نظر می‌رسد با اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها بتوان معیار مناسبی جهت تعیین میزان خسارت وارده بر غشاء دست‌یافت (Nezami et al., 2016). میرعشقی و خلیل‌زاده نیز با انجام تحقیقی بر روی گندم گزارش کردند که ژنوتیپ‌های متحمل عموماً غشا سیتوپلاسمی پایدارتر و نشت الکترولیت کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس داشتند (Miresghhi and Khlilzadeh, 2002).

بسیاری از محصولات غلات تمایل به زنده ماندن و ادامه چرخه زندگی خود را با توسعه توانایی تحمل خود تحت درجه انجماد از طریق نشان دادن طیف گسترده‌ای از بیان ژنتیکی افزایش می‌دهند؛ چنین رفتاری به‌عنوان عادت به سرما نامیده می‌شود (Dubcovsky and Dvorak, 2007). گندم برای رشد و عملکرد ایده‌آل به محدوده دمایی مطلوب نیاز دارد و هرگونه انحراف از آن بر روند رشد طبیعی تأثیر می‌گذارد (Muhammad et al., 2021). در مطالعه فولر و همکاران (Fuller et al., 2007) در تیمارهای مختلف تنش سرما بر روی دو رقم گندم صدمات شدیدی به برگ‌ها مشاهده شده و با کاهش دما میزان خسارت افزایش یافت.

(Bonjean et al., 2016; Karabina and Leonardi, 2016). گندم دوروم از لحاظ ژنتیکی، مورفولوژیک و فیزیولوژیک، متفاوت از گندم نان است و از لحاظ ترکیبات شیمیایی، میزان پروتئین، املاح و ویتامین‌ها و رنگ‌دانه‌های کاروتنوئیدی نیز غنی‌تر از گندم نان است (Mohammadi and Haghparast, 2022). امنیت غذایی به تولید کشاورزی بستگی دارد که جمعیت رو به رشد جهان را با مواد غذایی خاصی تأمین کند (Henry et al., 2016). ثبات سیستم‌های غذایی ممکن است به دلیل نوسان‌های کوتاه‌مدت آب‌وهوایی تهدید شود و این احتمال وجود دارد که تغییرات آب‌وهوایی ناامنی غذایی را در مناطقی که در حال حاضر در معرض خطر گرسنگی و سوءتغذیه هستند را تشدید کند (Wheeler and Braun, 2013). عوامل تنش محیطی به‌شدت تولیدات کشاورزی را در سرتاسر جهان محدود می‌کند، باعث تلفات زیادی در عملکرد می‌شود و تا حد زیادی توزیع گونه‌های گیاهی خاص را تعیین می‌کند (Skendžić et al., 2023). دما مهم‌ترین متغیر محیطی است که بر رشد، توسعه و بهره‌وری نهایی محصولات غلات کشاورزی تأثیر می‌گذارد (Lin and Huybers, 2012). سرمای شدید در مناطق کشاورزی در سراسر جهان با فرکانس، شدت و مدت‌زمان متفاوت مشاهده شده است (Kodra et al., 2011; Augspurger, 2013). دماهای سرد یا یخبندان خسارات زیادی را در کشاورزی به‌خصوص در محصولات غلات در مناطق نیمه‌گرمسیری و معتدل ایجاد می‌کند (Thakur et al., 2010). محیط یخبندان جذب آب توسط ریشه را مختل می‌کند و کمبود آب در ساقه منجر به تنش خشکی می‌شود (Aroca et al., 2012). این تنش خشکی سرعت جذب ریشه و انتقال مواد مغذی به سایر قسمت‌های گیاه را کاهش می‌دهد و در نهایت منجر به عدم توسعه گیاه می‌شود (Dolferus et al., 2011; Hassan et al., 2021). بیشتر مناطق گندم-زار جهان اغلب تحت تنش دمای پایین قرار می‌گیرند (Zheng et al., 2015; Crimp et al., 2016). توانایی گیاهان برای تحمل سرما بدون آسیب رساندن به چرخه رشد آن‌ها تحمل سرما نامیده می‌شود (Liu et al., 2020). پس از تنش سرما واکنش بازایی ذاتی گیاه فعال می‌شود که این فرایند فعال پس از توقف تنش برای رشد و نمو بیشتر گیاهان حیاتی است (Muhammad et al., 2021). تاکنون پژوهش‌های بسیاری برای یافتن روش‌های ارزیابی سریع و مؤثر انجام شده است تا بتوان مقاومت به سرمای گیاهان را پیش‌بینی

در ساعت کاهش یافت تا به دمای موردنظر رسید تا شرایط برای توزیع مجدد آب به بافت‌های گیاهی فراهم شود و از تشکیل یخ‌زدگی درون سلولی که در طبیعت به‌ندرت اتفاق می‌افتد، جلوگیری شود (Murray et al., 1998). در دمای منفی سه درجه سانتی‌گراد دما به مدت ۱۲ ساعت ثابت نگه داشته شد تا اطمینان حاصل شود که پدیده فراسرما و ایجاد هستک یخ در گیاهچه رخ ندهد و سازوکار از نوع تحمل باشد نه اجتناب. پس‌از آن دما با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت (Nezami et al., 2010). هر گیاه بعد از رسیدن به تیمار دمایی موردنظر در فریزر، به مدت یک ساعت در این تیمار دمایی باقی ماند تا با دمای محیط ایجاد تعادل کنند (Auld et al., 1983). سپس دمای اتاق سرد روی ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم‌شده و گیاهان به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در این دما نگهداری شدند. درنهایت گلدها برای اندازه‌گیری صفات مربوط به بقا و رشد مجدد به گلخانه منتقل شدند (Bridger et al., 1996). بعد از ۲۱ روز بازیابی گیاه، صفات موردنظر آن‌ها ارزیابی شد. درصد بقای گیاهان از طریق شمارش تعداد بوته زنده در هر گلدها و از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد بقا} = (\text{تعداد گیاهان زنده} / \text{تعداد گیاهان قبل از تیمار یخ‌زدگی}) \times 100 \quad [1]$$

برای محاسبه LT50 از چند دمای مختلف (۸-، ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد) استفاده شد سپس با تجزیه پروبیت LT50 هر لاین مشخص شد و متحمل‌ترین لاین شناخته شد. LT50 موردنظر دمایی است که باعث مرگ ۵۰ درصد بوته‌ها می‌شود و منظور این تحقیق از LT50 بوته‌هایی بودند که زنده مانده‌اند و مورد بررسی‌های تکمیلی قرار گرفتند. در هر تکرار بوته‌هایی که بیشترین ارتفاع را داشتند، اندازه‌گیری شدند و میانگین آن‌ها به‌عنوان صفت ارتفاع بوته ثبت شد. با استفاده از خط‌کش طول اندام هوایی برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن تر اندام‌های هوایی با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ به دست آمد. وزن خشک اندام‌های هوایی پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت از طریق ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

LT50^۱، یعنی دمای کشنده‌ای که در آن ۵۰ درصد از گیاهچه‌های مورد آزمایش از بین می‌روند، یک صفت مناسب برای ارزیابی تحمل به سرما محسوب می‌شود (Briger et al., 1996). پراسیل و همکاران (Prasil et al., 2007) گزارش کردند که LT50 علاوه بر ژنوتیپ، به شرایط قبل از عادت‌دهی گیاه در آزمایش‌های کنترل‌شده نیز وابسته است. ارزیابی تحمل به سرما از طریق یک معیار ممکن است از موفقیت بالایی برخوردار نباشد، بنابراین، استفاده از چند شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل با توانایی تولید بالا در شرایط دمایی سرد لازم است (MirmohammadiMeibodi and Tarkesh Esfahani, 2000). هدف از این مطالعه بررسی تنوع لاین‌های گندم دوروم از نظر تحمل به تنش یخ‌زدگی و شناسایی لاین‌های مقاوم به سرما در گندم دوروم بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های یخ‌زدگی و آزمایشگاهی در گلخانه و آزمایشگاه اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۸ انجام شد. ۴۵ لاین گندم دوروم در مرحله گیاهچه مورد مطالعه قرار گرفتند. شجره لاین‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش چهار تیمار درجه‌حرارت شاهد (بدون یخ‌زدگی)، ۸-، ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفتند. گلخانه روی رطوبت نسبی ۴۰ درصد، دمای دوره روشنائی ۲۰±۳ درجه سانتی-گراد و دمای دوره تاریکی ۱۶±۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. برای نزدیک بودن طول روز و شب به حالت طبیعی در پاییز (آغاز خوسرمایی گیاه به سرما) میزان طول روز و شب به ترتیب ۱۱ و ۱۳ ساعت در نظر گرفته شد (Mahfoozi et al., 2001). به علت متفاوت بودن بافت خاک گلدها و همچنین اجرای تکرارها در گلدهای جداگانه، خوسرمایی طرح به‌صورت بلوک اجرا شد. گیاهان پس از مرحله سه تا پنج برگ برای ایجاد تنش به اتاقک سرما منتقل شدند. دوره نوری ۱۱ ساعت و تاریکی ۱۳ ساعت در نظر گرفته شد. دمای فریزر در شروع آزمایش چهار درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها در فریزر، دما با سرعت ۲ درجه سانتی‌گراد

¹ Lethal Temperature

Table 1. Pedigree of durum wheat lines

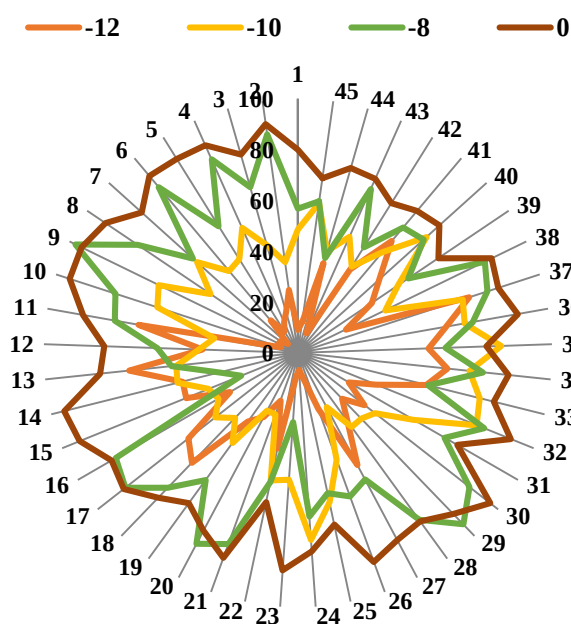
جدول ۱. شجره لاین‌های گندم دوروم

line	Pedigree	شجره
1	Dehdasht	
2	ALTAR84/STINT//SILVER_45/LLARETAINIACDSS99 Y00376S-0M-0Y-13Y-0M-0Y-2M-0Y	
3	SIMETO/3/SORA/2*PLATA_12//SRN_3/NIGRIS_4/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1CDSS06 B00488T-099Y-099M-11Y-0M-04Y-0B	
4	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21/5/1A. 1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/ CANELO_9.1CDSS07Y00068S-099Y-099M-4Y-3M-04Y-0B	
5	Icarasha2-ICD99-0091-T-3AP-AP-10AP-AP	
6	BELLAROI/5/1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN_3/ NIGRIS_4/3/CANELO_9. 1CDSS07Y00444S-099Y-099M-8Y-2M-04Y-0B	
7	E90040/MFOWL_13//LOTAIL_6/3/PROZANA/ARLIN//MUSK_6/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDEnte/7/HUI/YA V79/8/POD_9/10/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1CDSS06Y00497S-11Y-0M-1Y-2M-0Y	
8	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/ CANELO_9.1/8/ SHAG_21/DIPPER_2//PATA_2/6/ARAM_7 //CREX/	
9	ALLA/5/ENTE/ MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/7/ ARMENT// SRN_3/ NIGRIS_4/3/CANELO_9.1CDSS07Y00151S-099Y-099M-19Y-2M-04Y-0B	
10	YAV79/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/10/INRAM_1805/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDEnte/7/H UI/YAV79/8/POD_9CDSS05B00936D-7Y-0M-3Y-4M-0Y	
11	JUPARE C 2001*2/IM/6/ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR 84/3/ SNITAN /4/SOMAT_4/INTER_8/5/SOOTY_9/RASCON_37/7/ GUAYACAN INIA/ KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/ CANELO_9.1CDSS07Y00533T-099Y-099M-2Y-2M-04Y-0B	
12	ICAMOR-TA04-1/Quabrach-1//Adnan-1ICD06-0877-0AP-4AP-0AP-5AP-0THTD -0TR	
13	CandocrossH25/Ysf1//CM829/CandocrossH25ICD07-497-BLMSD-0AP-0Tr-2AP-0Tr-1AP-0THT-0AP -0TR	
14	Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajihan12 ICD07-094-BLMSD-0AP-6AP-0Tr-1AP-0THT-0AP -0TR	
15	Sebatel-2//Wdz6/Gil4-ICD02-0992-C-12AP-0AP-7AP-0AP-7AP-0AP-1AP-0AP	
16	Mgnl3/Ainzen-1/4/Aghrass-1/3/Mrf1//Mrb16/Ru-ICD06-1620-0AP-3AP-0AP-2AP-0THTD	
17	ALTAR84/STINT//SILVER_45/3/LLARETAINIACDSS99 Y00376S-0M-0Y-13Y-0M-0Y-2M-0Y	
18	OROBEL//BUSHEN_4/2*GREEN_18/8/GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN_1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/6/SOMB RA_20/7/JUPARE C 2001CDSS07Y00746T-099Y-099M-5Y-3M-04Y-0B	
19	Bezajihan*Ossl1/Stj5/5/Bicrederaa1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajihan12	
20	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21/5/1A.1D 5+1 -06/3*MOJO// RCOL/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1 CDSS07Y00068S-099Y-099M-4Y-3M-04Y-0B	
21	MÂALI/6/MUSK_1//ACO89/FNFOOT_2/4/MUSK_4/3/PLATA_3//CREX/ALLA/5/OLUS*2/ILBOR//PATKA_7/YAZI_1/10/SELIM/9/ALTAR 84/860137 //YAZI_1/4/LIS_8/FILLO_6/3/FUUT// HORA/JOR/8/GEDIZ/FGO//GTA/3/ SRN_1/4/	
22	TOTUS/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60// JO69/6/SOMBRACDSS07Y00784D-2B-07Y-07M-8Y-1B-04Y-0B	
23	WID22202/4/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)/PLATA_13/5/CF4-JS 21//TECA96/TILO_1CDSS07B00 683T-OTOPY-099Y-014M-20Y-1M-0Y	
24	EXELDUR/8/GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN_1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/6/SOMBRA_20/7/JUPARE C 2001/9/ SOMAT_3/ PHAX_1//TILO_1/ LOTUS_4/3/RASCON_22/RASCON_21// MOJO_2 CDSS08Y00900T-OTOPB-099Y-07M-13Y-3M-0Y	
25	PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.11/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USD A573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI /7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ ALTAR 84/3/HUI/ POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT	
26	CDSS08Y00518S-099Y-025M-11Y-1M-0Y	
27	SOMAT_3/GREEN_22/4/GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/7/CMH83.2578/4/D88059//WARD/YAV79/3/ACO89/5/2*SOOTY_9/RASCO N_37/6/1A.1D 5+1-06/3*MOJO/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)/ PLATA_13 CDSS08Y00394S-099Y-025M-9Y-2M-0Y	
28	TOPDY_18/FOCHA_1//ALTAR 84/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO. 135.85)/ PLATA_13/4/ SOMAT_3/GREEN_22/6/LAHN/HCN//PATA_2/3/	
29	SOMAT_4/INTER_8/5/CREX//BOY/ YAV_1/3/PLATA_6/4/PORRON_11CDSS07B00051S-099Y-018M-1Y-2M-0Y	
30	Mrf1/Stj2/3/1718/BT24//Karim = Icajihan*ICD01-0251-T-8AP-TR-8AP-0AP-5AP-0AP-2AP-0AP-2AP-0AP-0TR	
31	Terbol975/Gerufel2*ICD06-1790-0AP-4AP-0AP-4AP-0THTD-0TR	
32	Maamouri1/5/IcamorTA0462/4/Stj3//Bcr/Lks4/3/Icamor"s"/6/Mgnl3/Ainzen1*ICD06-0367-BLMSD-0AP-2AP-0Tr-2AP-0Tr-4AP-0THT-0AP-0TR	
33	Mgnl3/Ainzen1/3/IcamorTA0463//H.mouline/Sbl2/4/Mgnl3/Ainzen1*ICD06-0261-BLMSD-0AP-1AP-0Tr-4AP-0Tr-2AP-0THT-0AP-0TR	
34	PH896-21/5/BRAK_2//AJAIA_2//SOLGA_8/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/YAZI_1/AKAKI_4//	
35	SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/6/HUBEI// SOOTY_9/RASCON_37/2*SOOTY_9/RASCON_37/4/SOOTY_9/ RASCON_37CDSS07Y00461T-099Y-099M-1Y-3M-04Y-0B	
36	CBC 509 CHILE/4/SKEST//HUI/TUB/3/SILVER/5/GREEN_14//YAV_10/AUK	
37	STOT//ALTAR 84/ALD*2/3/AUK/GUIL//GREEN	
38	AINZEN-1/3/SNTURKMI83-84503/LOTUS_4//MUSK_4/6/CMH82A.1062/3/GGOVZ394//SBA81/PLC/4/AAZ_1/CREX/5/HUI//CIT71/CII	
39	TRN//21563/AA/3/BD2080/4/BD2339/5/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/6/AUK/GUIL//GREEN,CDSS00B00364T-OTOPY-0B-2Y-0M-0Y-1B-0Y	
40	TRN//21563/AA/3/BD2080/4/BD2339/5/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/6/AUK/GUIL//GREEN,CDSS00B00364T-OTOPY-0B-33Y-0M-0Y-1B-0Y	
41	STOT//ALTAR 84/ALD*2/3/YAV79/CROC_1	
42	SNITAN/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/4/STOT//ALTAR 84/ALD	
43	HAHKA_1/SNITAN/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDEnte/7/HUI/YAV79/8/POD_9	
44	KUCUK_2/PATA_2//AJAIA_13/YAZI_1/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN	
45	AKAKI_7/BEJAH_7//BUSCA_3/3/STOT//ALTAR 84/ALD/4/AKAKI_7/BEJAH_7//BUSCA_3	
46	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM	
47	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)/PLATA_13/3/SOMAT_3/4/SOOTY_9/RASCON_37,CDSS97Y00729S-OTOPM-2Y-0M-0Y-0B-0B-1Y-0BLR-4Y-0B	
48	GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN_1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI_2//HUI/3/YAV_1/GEDIZ/6/SOMBRA_20/7/STOT//ALTAR 84/ALD	
49	GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/DF900.83/2*RASCON_37/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1	
50	Stk/Hau//Heca-1/3/1536-OGDOI	

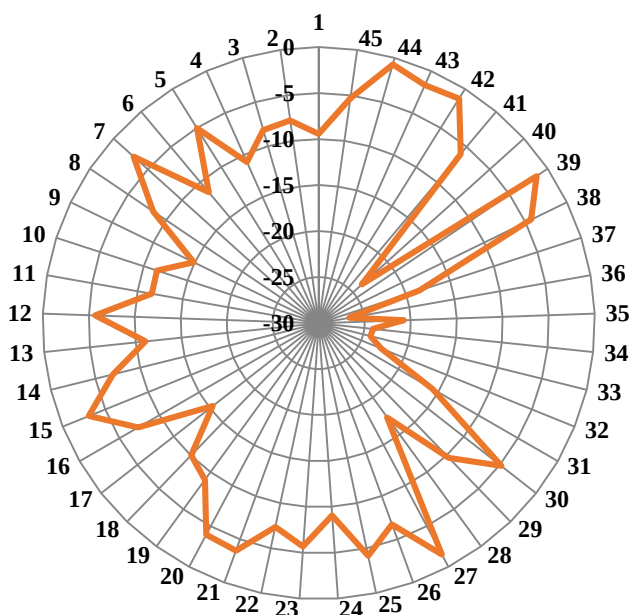
نتایج و بحث

مقایسه میانگین درصد زنده‌مانی لاین‌ها در ۴ سطح تنش نشان داد که با افزایش تنش، درصد زنده‌مانی گیاهان کاهش یافت. در سطح شاهد بیشترین و کمترین درصد زنده‌مانی مربوط به لاین‌های ۳۰ و ۲۲ بود. در دمای ۸- درجه سانتی-گراد لاین‌های ۹ و ۲۳ به ترتیب بیشترین و کمترین درصد زنده‌مانی را داشتند. در تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد زنده‌مانی در لاین ۳۵ و کمترین آن در لاین ۲۰ و ۲۱ مشاهده شد. در تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد زنده‌مانی مربوط به لاین‌های ۳۷، ۱۳ و ۱۱ بود و کمترین آن در سطح شاهد در لاین‌های ۲۲ و ۳۹ حاصل شد. به بیان دیگر تمامی لاین‌های موردبررسی قادر به تحمل دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد بودند (شکل ۱). قدرت زنده ماندن ژنوتیپ‌ها در برابر سرمای زمستان به‌عنوان یکی از نهایی‌ترین فاکتورها در انتخاب ژنوتیپ‌ها محسوب می‌گردد (Sio-Se Mardeh et al., 2010). از آنجایی که تنش یخ‌زدگی منجر به کاهش درصد بقای می‌شود، تعیین دمایی که منجر به کاهش ۵۰ درصدی بقای گیاهان می‌شود، شاخص مناسبی برای اصلاح انواع لاین‌های محتمل است (Rashed Mohassel et al., 2009).

محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش ریچی و همکاران (Ritchie and Nguyen, 1990) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)، نمونه‌های برگ از تیمارهای شاهد و سرما جمع‌آوری شد. برگ‌ها وزن شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آب دیونیزه غوطه‌ور شدند و پس از آن وزن اشباع ثبت شد. پس از ۲۴ ساعت خشک‌کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک نمونه ثبت شد (Lugojan and Ciulca, 2011). نشت الکترولیت از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته از هر گیاه و با روش تثبوتنیکا و همکاران صورت گرفت (Teutonica et al., 1993). قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن برای تمام صفات انجام گرفت و همه صفات دارای توزیع نرمال بودند. مقایسه میانگین با روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. گروه‌بندی لاین‌ها با روش خوشه‌ای Ward با استفاده از معیار توان دوم فاصله اقلیدسی انجام شد. تجزیه‌های آماری با نرم‌افزارهای MSTATC (نسخه ۲/۱۰)، SPSS16 (نسخه ۱۶) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) انجام شد.



شکل ۱. درصد زنده‌مانی لاین‌های مختلف گندم دوروم در سطوح مختلف تنش یخ‌زدگی
Fig. 1. Survival percentage of different durum wheat lines at different levels of freezing stress



شکل ۲. میزان صفت LT₅₀ در لاین‌های متنوع گندم دوروم بر اساس سه سطح تنش اعمال شده (۸-، ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی گراد)

Fig. 2. The amount of LT₅₀ trait in various durum wheat lines based on three applied stress levels (-8, -10 and -12°C)

میانگین این صفت را داشتند. در بررسی رشد گیاهان پس از اعمال تیمارهای یخ‌زدگی مشاهده شد که بیشترین وزن خشک گیاهچه مربوط به لاین ۲۷ در سطح تنش شاهد، لاین ۲۶ در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد، لاین ۲۲ در تنش ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد بود. از طرفی با کاهش دما میزان ماده خشک تولیدی گیاهچه‌ها کم شد و لاین ۹ در سطح تنش شاهد، لاین ۱۶ در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد، لاین ۱۸ در تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد و لاین ۱۲ در تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد کمترین میانگین این صفت را داشتند. نعمتی (Nemati, 2011) و طهماسب عالی (Tahmasab Aali, 2013) نتایج مشابهی را گزارش کردند. عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2007) و نظامی و همکاران (Nezami et al., 2010) به ترتیب در بررسی گندم و جو، کاهش وزن خشک گیاهان را در دوره بازیافت به دلیل اثر خسارت ناشی از یخ‌زدگی و کاهش رشد مجدد اندام‌های هوایی دانسته‌اند. میانگین وزن اشباع برگ در لاین ۳۸ بیشترین مقدار در تمام سطوح و کمترین مقدار را برای لاین ۹ در سطح شاهد، لاین ۴۴ در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد و لاین ۱۲ در تنش ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد داشت. با افزایش تنش تعداد برگ کاهش یافت. در سطح شاهد لاین‌های ۱۴، ۲۲، ۲۴، ۲۷، ۲۹ و ۳۰ بیشترین میانگین و لاین‌های ۱۲ و ۳۶ کمترین میانگین برای صفت تعداد برگ داشتند. در سطح تنش ۸- درجه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که صفت LT₅₀ بیشترین میزان را در لاین شماره ۴۴ (۰/۷۵۴-) و کمترین میزان را در لاین شماره ۳۶ (۲۶/۶۰۹-) داشت (شکل ۲). هرچه میزان LT₅₀ در لاین کمتر باشد نشان‌دهنده مقاومت بیشتر آن به تنش است. بر اساس آزمایش‌های سی‌وسه مرده (Sio-Se Mardeh et al., 2010) تنش سرما و ژنوتیپ تأثیر معنی‌دار بر مقاومت به سرما داشتند.

با توجه به مقایسه میانگین صفات، به‌طور کلی میانگین ارتفاع در طول تنش کاهش پیدا کرد. لاین ۴۴ دارای کمترین میانگین در کل سطوح تنش بود. لاین ۴ در سطح تنش شاهد و تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد، لاین ۵ در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد و لاین ۲۴ در تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد بیشترین میانگین این صفت را داشتند. کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش سرما در اغلب مطالعات مشاهده شده است. برخی محققان اظهار داشتند که رابطه رشد گیاه در شرایط تنش سرما با مقاومت به سرما منفی است (Azizi et al., 2007). همانند مطالعات عباس‌زاده و همکاران (Abbaszadeh et al., 2012) وزن تر برگ در طول تنش کاهش یافت. بیشترین وزن تر برگ مربوط به لاین‌های ۳۸ در تمام سطوح تنش بود. لاین ۹ در سطح تنش شاهد، لاین ۱ در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد، لاین ۱۲ در تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد و لاین ۱۹ در تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد کمترین

اتفاق می‌افتد. بنابراین، می‌تواند معیار مناسبی برای تعیین میزان و مقدار خسارت وارده بر غشا باشد (Nezami et al., 2016).

بیشترین محتوای نسبی آب برگ در سطوح تنش به ترتیب مربوط به لاین‌های ۳۸، ۱۷، ۴۴ و ۳۷ و کمترین میزان این صفت در سطوح تنش به ترتیب مربوط به لاین‌های ۱، ۴۵، ۱۹ و ۴۲ بود. قبلاً گزارش شده بود که با افزایش کمبود آب، RWC و پتانسیل آب برگ کاهش یافت (Ahmed et al., 2020). علاوه بر این، RWC در برگ‌ها پارامتری است که به‌طور قابل‌توجهی در گیاهان تحت تیمارهای خشکی نسبت به گیاهان شاهد کمتر گزارش شده است (Ali et al., 1999). در آزمایش‌های دونجاک و همکاران (Duvnjak et al., 2023) RWC به‌طور قابل‌توجهی در برگ‌های همه واریته‌ها به‌جز سیلویا و فیفی کاهش یافت که نشان‌دهنده تلفات آب بیشتر در شرایط خشکی است (جدول ۲).

نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که در سطح شاهد بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را صفت LT50 با تعداد برگ و صفت وزن خشک گیاهچه با صفت ارتفاع داشت. این بدان معنی است که گیاهچه‌های با جثه بزرگ‌تر قادر به بازیابی و تولید برگ‌های بیشتری تحت تنش سرما هستند (Saeedi et al., 2019). در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد صفت LT50 بیشترین همبستگی را با صفت درصد زنده‌مانی داشت. در تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد صفت LT50 با تعداد برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. در تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد صفت LT50 با نشت الکترولیت همبستگی منفی و معنی‌دار داشت.

گروه‌بندی لاین‌ها در چهار سطح تنش به‌صورت جداگانه انجام شد. از تجزیه واریانس چند متغیره بر پایه تجزیه واریانس یک‌طرفه نامتعادل برای تعیین مطلوب‌ترین گروه‌ها استفاده شد. در شرایط شاهد، تنش ۸- و ۱۲- درجه سانتی-گراد لاین‌ها در چهار گروه و در شرایط تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد لاین‌ها در ۵ گروه قرار گرفتند. ویژگی‌های هر گروه و صفات مورد مطالعه، مانند میانگین و انحراف از میانگین کل محاسبه گردید. در شرایط شاهد گروه سه بیشترین و گروه چهار کمترین میانگین را داشتند. گروه سه دارای میانگین بالاتری برای صفات وزن تر برگ، وزن اشباع برگ و محتوای نسبی آب و گروه چهار دارای کمترین میانگین در صفت هدایت الکتریکی نسبت به دیگر گروه‌ها بود. در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد گروه یک بیشترین و گروه دو کمترین

سانتی‌گراد، لاین‌های ۴۱ و ۴۴ بیشترین و لاین‌های ۳، ۴ و ۹ کمترین میانگین را داشتند. در سطح تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد، لاین‌های ۴۰، ۴۱ و ۴۵ بیشترین میانگین و لاین‌های ۳، ۱۶، ۲۰ و ۳۰ کمترین مقدار را داشتند. لاین ۳۸ بیشترین میانگین و لاین‌های ۱۸، ۲۸، ۲۹ و ۳۰ کمترین تعداد برگ در سطح تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد را داشتند. نتایج نعمتی (Nemati, 2011) و سعیدی و همکاران (Saeedi et al., 2019) نیز نشان داد که تعداد برگ طی تنش کاهش معنی‌داری داشت. بیشترین میزان نشت الکترولیت در سطح شاهد مربوط به لاین‌های ۱۶ و ۳۰، در سطح تنش ۸- درجه سانتی‌گراد مربوط به لاین ۱۷، در سطح تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد مربوط به لاین‌های ۱۶ و ۳۶ و در سطح تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد مربوط به لاین ۳۶ بود. کمترین میزان این صفت در سطح شاهد مربوط به لاین ۲۳، در تنش ۸- درجه سانتی‌گراد مربوط به لاین ۱۸، در تنش ۱۰- و تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد مربوط به لاین‌های ۹ و ۱۲ بود. بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها در دمای ۱۲- درجه و کمترین آن در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. در آزمایش‌های ایزدی دربندی و همکاران (Izadi darbandi et al., 2016) تنش یخ‌زدگی تأثیر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیت‌ها داشت. به نظر می‌رسد اختلال در ساختار غشای سلولی عامل اصلی افزایش نشت الکترولیت‌ها در این آزمایش باشد، زیرا اثرات ناشی از تنش یخ‌زدگی سبب اختلال در ساختار و از بین رفتن تمامیت غشا شده و حاصل این تغییرات، کاهش انسجام غشاها و افزایش نشت الکترولیت از آن‌ها است (Campos et al., 2003). آزمون نشت الکترولیت‌ها از بافت‌های گیاهی به‌عنوان روشی مناسب برای ارزیابی تراوایی غشا در ارتباط با اثر تنش‌های محیطی از جمله سرما بر گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گرفته است (Eugenía et al., 2003). زمانی که بافت گیاه در سرما دچار آسیب می‌شود، غشا دچار اختلال در عملکرد شده و الکترولیت‌های داخل سلول به خارج از آن نشت می‌کنند (Hanna and Bischof, 2004). کاهش تورم سلول و افزایش نشت الکترولیت‌ها در طول تنش یخ‌زدگی، نشان‌دهنده نقش مهم غشا در حفاظت گیاه از خسارت تنش سرما است (McKersie and Leshem, 1994). یومورا و همکاران (Uemura et al., 2006) بیان کردند که غشای اولین بخش گیاه است که در تنش یخ‌زدگی دچار آسیب شده و در طی سازگاری گیاه به سرما تغییرات ساختاری در آن

بالاتری برای صفات درصد زنده‌مانی، وزن تر برگ، وزن اشباع برگ و هدایت الکتریکی و گروه یک دارای کمترین میانگین در صفات درصد زنده‌مانی و محتوای نسبی آب برگ نسبت به دیگر گروه‌ها بود. به‌طور کلی لاین‌های ۳۵، ۴۰ و ۴۴ در تمام خوشه‌بندی‌ها به‌عنوان لاین با میانگین بالاتر شناخته شدند و لاین‌های ۴، ۵، ۶ و ۲۰ در گروه‌های با میانگین پایین‌تر قرار گرفتند. صفات وزن تر برگ، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ و هدایت الکتریکی نقش مهمی در میانگین گروه‌ها داشتند (جدول ۳).

میانگین را داشتند. گروه یک دارای میانگین بالاتری برای صفت تعداد برگ و گروه دو دارای کمترین میانگین در صفات وزن خشک برگ و هدایت الکتریکی نسبت به دیگر گروه‌ها بود. در شرایط تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد گروه دو بیشترین و گروه پنج کمترین میانگین را داشتند. گروه دو دارای میانگین بالاتری برای صفات درصد زنده‌مانی و تعداد برگ و گروه دو دارای کمترین میانگین در صفات تعداد برگ و هدایت الکتریکی نسبت به دیگر گروه‌ها بود (جدول ۳). در تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد گروه سه بیشترین و گروه یک کمترین میانگین را داشتند. گروه سه دارای میانگین

جدول ۲. تأثیر سطوح تنش بر صفات در لاین‌های مختلف گندم دوروم

Table 2. The effect of stress levels on traits in different lines of durum wheat

انحراف معیار standard deviation	لاین‌ها lines	دامنه تغییرات variation range			دمای تنش (درجه سانتی‌گراد) Degree of stress (°C)	میانگین Mean	LT ₅₀
		حداکثر Maximum	حداقل Minimum	بیشترین max			
6.99162	44	0.91	-24.94	36	normal	-8.136	
14.642	30	96	0.52	22	-8	80.248	درصد زنده‌مانی Survival rate
19.381	9	97.3	0.42	15	-10	64.924	
15.477	35	80	0.32	27	-12	47.667	
19.638	37	70.91	0.3	7	normal	31.324	
7.736	4	49.33	19.33	44	-8	35.778	ارتفاع Height
5.137	5	39.67	18.33	44	-10	28.482	
4.547	24	41	17.33	44	-12	27.459	
4.045	4	37	15.67	44	normal	24.748	
0.118	38	0.64	0.11	9	-8	0.358	وزن تر برگ Fresh weight of leaves
0.121	38	0.58	0.08	1	-10	0.283	
0.124	38	0.54	0.05	12	-12	0.228	
0.125	38	0.53	0.06	19	normal	0.219	
0.079	27	0.36	0.08	9	-8	0.191	وزن خشک برگ Dry weight of leaves
0.041	26	0.19	0.04	16	-10	0.092	
0.072	22	0.27	0.02	18	-12	0.115	
0.063	22	0.22	0.02	12	normal	0.103	
0.135	38	0.8	0.27	9	-8	0.522	وزن اشباع برگ Saturation weight of leaves
0.122	38	0.69	0.19	44	-10	0.422	
0.131	38	0.62	0.1	12	-12	0.323	
0.133	38	0.6	0.11	12	normal	0.301	
8.312	14, 22, 24, 27, 29, 30	41	0.52	36	-8	31.49	تعداد برگ Number of leaves
7.265	41, 44	39	0.42	3	-10	28.564	
5.769	45	33.5	0.32	6	-12	22.627	
8.406	38	40	0.3	28, 30	normal	16.4087	
17.607	38	72.2	0.52	1	-8	47.431	محتوای نسبی آب برگ RWC
16.697	17	82.96	0.42	45	-10	56.053	
15.48	44	76.05	0.32	19	-12	48.034	
15.252	37	79.29	0.3	42	normal	51.72	
17.591	16	92.1	0.52	4	-8	49.894	هدایت الکتریکی EC
15.444	17	82.23	0.42	18	-10	45.951	
11.214	16	57.17	0.32	9	-12	37.019	
11.798	36	62.32	0.3	9		37.953	

کمترین همبستگی را نشان می‌دهند، شناخته می‌شوند. صفات وزن تر برگ، وزن اشباع برگ و وزن خشک برگ در تمام سطوح دارای عامل اول و بزرگ بودند (جداول ۴، ۵، ۶ و ۷).

وزن تر برگ در تجزیه خوشه‌ای در گروه‌های برتر دارای بالاترین مقدار بود همچنین در تجزیه عاملی دارای عوامل بزرگ بود و به‌عنوان صفت تأثیرگذار در شناسایی لاین‌های برتر شناخته شد. بر اساس پراکنش لاین‌ها با استفاده از عامل-ها لاین ۲۱ در تمام مؤلفه‌ها و سطوح تنش در سطح بالاتر گروه‌بندی شد و این لاین در گروه گندم پابلند نیز شناسایی شد. لاین ۳۹ نیز در سطوح پایین‌تر مؤلفه گروه‌بندی شدند. نتایج حاصل از تجزیه عاملی تا حدودی با تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها همخوانی داشت (شکل ۳). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برخی از ژنوتیپ‌های گندم دوروم توانایی تحمل دماهای پایین‌تر از ۱۲- را هم داشتند.

تجزیه به عامل‌ها در سطوح تنش جداگانه انجام شد. برای سطوح شاهد و تنش ۸- درجه سانتی‌گراد چهار عامل و برای سطوح تنش ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد سه عامل برای تفسیر داده‌ها انتخاب شد. این عوامل به ترتیب در سطح شاهد، تنش ۸-، تنش ۱۰- و تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد ۷۱/۷۱، ۷۳/۹۲، ۶۹/۸۴ و ۶۹/۶۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. روش‌های آماری چند متغیره برای کاهش حجم بالای متغیرهای همبسته به تعداد کمتری عامل اصلی توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است. بعد از انجام چرخش عامل‌ها به روش واریماکس صفات به عوامل مختلف بر اساس مقادیر ضرایب عاملی اختصاص یافتند. در مقایسه با یک ماتریس ساده تجزیه عاملی اطلاعات بیشتری در اختیار قرار می‌دهد. در این روش گروه‌هایی از متغیرها و درصد سهم هر عامل نشان داده می‌شود (Seiler and Stafford, 1985). به‌علاوه، گروه‌هایی از متغیرها که بیشترین همبستگی درون‌گروهی را دارند و با دیگر گروه‌ها

جدول ۳. میانگین صفات در خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در سطوح تنش

Table 3. Average traits in the clusters resulting from cluster analysis in stress levels

سطح تنش (درجه سانتی گراد) Stress level (°C)	اعضای خوشه cluster members	میانگین گروه Group average	انحراف میانگین گروه Deviation of the group mean	درصد زنده مانعی LT ₅₀ survival rate	ارتفاع Height	
Control						
1	1, 9, 10, 33, 37, 43	22.167	17.555	-9.915	75.536	29.533
2	13, 16, 17, 29, 30, 36, 42	26.143	11.037	-10.405	95.026	35.778
3	22, 25, 26, 35, 39, 40, 44, 45	34.5	9.024	-8.953	82.425	35.095
4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 23, 247, 27, 28, 31, 32, 34, 38, 41	18.458	11.651	-10.301	83.138	39.778
-8						
1	1, 26, 34, 35, 42, 44, 45	32.429	15.393	-5.702	53.864	24.222
2	2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 20, 28, 29, 30, 38, 43	17.933	13.008	-7.248	80.839	29.333
3	6, 17, 21, 31, 32, 33, 36, 37, 40, 41	29.4	11.266	-13.779	72.425	30.359
4	5, 7, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 24, 25, 27, 39	18.846	9.2	-4.274	49.134	27.583
-10						
1	1, 7, 13, 25, 27, 28, 34, 37, 42, 44	25.091	14.903	-4.886	35.973	24.667
2	2, 3, 35, 36, 38, 39, 40, 43	27.25	15.471	-19.526	71.765	26.708
3	4, 8, 10, 14, 17, 19, 24, 26, 30, 33	18.091	12.581	-5.821	41.581	27.167
4	9, 11, 12, 29, 31, 41	22.571	15.098	-4.912	49.129	29.3
5	5, 6, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 32, 45	17.273	11.172	-8.829	55.26	31.667
-12						
1	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 19, 20, 23, 24, 25, 29, 31, 45	16.25	12.631	-6.345	13.975	27.208
2	2, 9, 1,2 1,4 16, 21, 22, 26, 28, 30, 32, 38, 39, 43	25.067	12.859	-4.461	20.223	22.222
3	33, 36, 37	35.333	2.082	-18.122	54.482	23.593
4	11, 13, 15, 17, 18, 27, 34, 35, 40, 41, 42, 44	30.357	12.983	-5.338	43.238	23.762

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

سطح تنش (درجه سانتی‌گراد) Stress level (°C)	اعضای خوشه cluster members	وزن تر برگ Fresh weight of leaves	وزن خشک برگ Dry weight of leaves	وزن اشباع برگ Saturation weight of leaves	تعداد برگ number of leaves	محتوای نسبی آب برگ RWC	هدایت الکتریکی EC
Control							
1	1, 9, 10, 33, 37, 43	0.265	0.181	0.466	32.8	29.73	54.2
2	13, 16, 17, 29, 30, 36, 42	0.243	0.157	0.41	33	29.83	78.67
3	22, 25, 26, 35, 39, 40, 44, 45	0.408	0.184	0.561	31.857	60.3	59.99
4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 23, 247, 27, 28, 31, 32, 34, 38, 41	0.3885	0.207	0.541	31.944	52.79	37.6
-8							
1	1, 26, 34, 35, 42, 44, 45	0.186	0.103	0.345	34.667	34.081	50.869
2	2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 20, 28, 29, 30, 38, 43	0.274	0.079	0.408	26.75	57.706	35.512
3	6, 17, 21, 31, 32, 33, 36, 37, 40, 41	0.327	0.1	0.476	32.308	62.037	61.914
4	5, 7, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 24, 25, 27, 39	0.294	0.092	0.418	25.917	63.264	42.174
-10							
1	1, 7, 13, 25, 27, 28, 34, 37, 42, 44	0.323	0.161	0.412	24.222	61.579	38.365
2	2, 3, 35, 36, 38, 39, 40, 43	0.285	0.147	0.374	25.25	52.058	44.632
3	4, 8, 10, 14, 17, 19, 24, 26, 30, 33	0.141	0.081	0.236	21.929	35.185	31.27
4	9, 11, 12, 29, 31, 41	0.2	0.105	0.292	22.75	50.68	44.636
5	5, 6, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 32, 45	0.278	0.098	0.398	21.5	59.793	29.016
-12							
1	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 19, 20, 23, 24, 25, 29, 31, 45	0.215	0.111	0.312	14.219	48.396	39.886
2	2, 9, 1, 2, 1, 4, 16, 21, 22, 26, 28, 30, 32, 38, 39, 43	0.261	0.109	0.315	26.25	68.338	32.08
3	33, 36, 37	0.262	0.111	0.343	22.778	59.344	49.054
4	11, 13, 15, 17, 18, 27, 34, 35, 40, 41, 42, 44	0.177	0.086	0.256	11.75	47.168	33.815

جدول ۴. ماتریس ضرایب عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس در شرایط شاهد

Table 4. Matrix of factor coefficients after varimax rotation in control conditions

	عامل اول Component 1	عامل دوم Component 2	عامل سوم Component 3	عامل چهارم Component 4
Height	ارتفاع	0.788	0.213	-0.033
RWC	محتوای نسبی آب برگ	0.635	0.086	-0.380
Saturation weight of leaves	وزن اشباع برگ	0.101	0.947	0.036
Fresh weight of leaves	وزن تر برگ	0.321	0.915	-0.040
Dry weight of leaves	وزن خشک برگ	0.011	0.854	0.179
number of leaves	تعداد برگ	-0.048	0.281	0.774
LT ₅₀		0.207	-0.071	0.729
EC	هدایت الکتریکی	-0.235	0.028	0.090
survival rate	درصد زنده‌مانی	0.327	-0.066	-0.180
Total variance	واریانس کل	2.618	2.614	1.474
Percentage of variance	درصد واریانس	23.796	23.767	13.397
Cumulative variance	واریانس تجمعی	23.796	47.563	60.96

جدول ۵. ماتریس ضرایب عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس در شرایط تنش ۸- درجه سانتی‌گراد

Table 5. Matrix of factor coefficients after varimax rotation in -8 stress

		عامل اول Component 1	عامل دوم Component 2	عامل سوم Component 3	عامل چهارم Component 4
Fresh weight of leaves	وزن تر برگ	0.974	0.110	0.003	0.014
Saturation weight of leaves	وزن اشباع برگ	0.950	0.067	-0.088	0.111
Dry weight of leaves	وزن خشک برگ	0.758	-0.255	-0.141	0.058
RWC	محتوای نسبی آب برگ	0.707	0.384	0.272	-0.111
survival rate	درصد زنده‌مانی	-0.027	0.842	-0.172	0.120
Height	ارتفاع	0.140	0.700	0.532	-0.074
EC	هدایت الکتریکی	-0.017	-0.068	0.555	0.767
LT ₅₀		0.014	-0.353	0.097	-0.739
number of leaves	تعداد برگ	0.244	-0.368	-0.279	0.623
Total variance	واریانس کل	3.031	1.786	1.69	1.624
Percentage of variance	درصد واریانس	27.556	16.24	15.362	14.762
Cumulative variance	واریانس تجمعی	27.556	43.796	59.158	73.92

جدول ۶. ماتریس ضرایب عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس در شرایط تنش ۱۰- درجه سانتی‌گراد

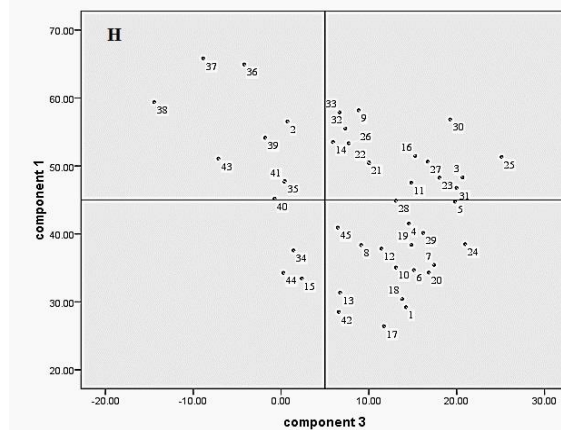
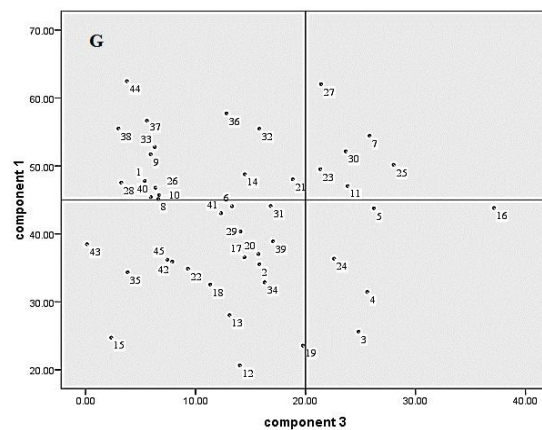
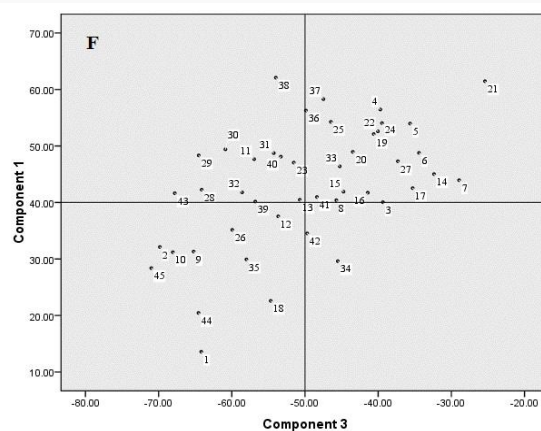
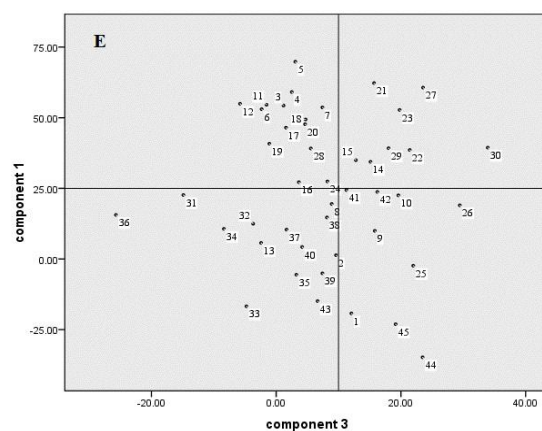
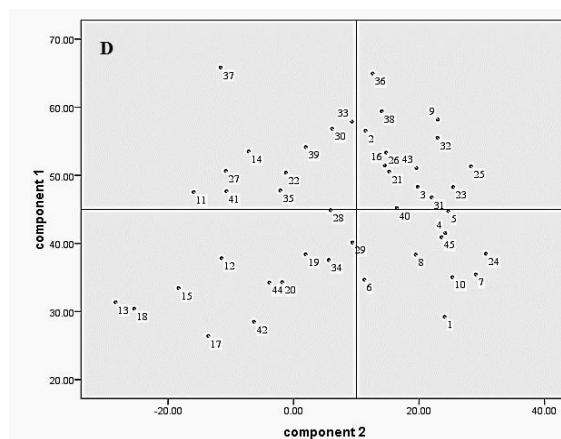
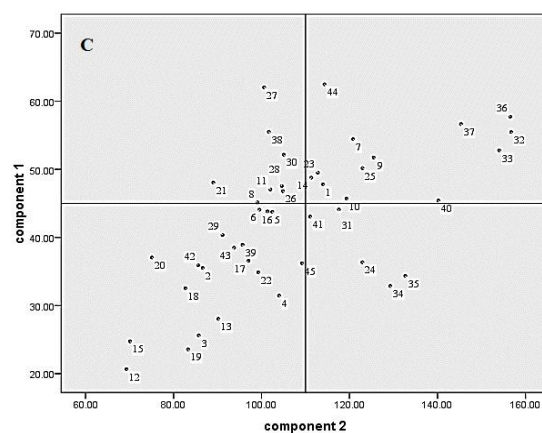
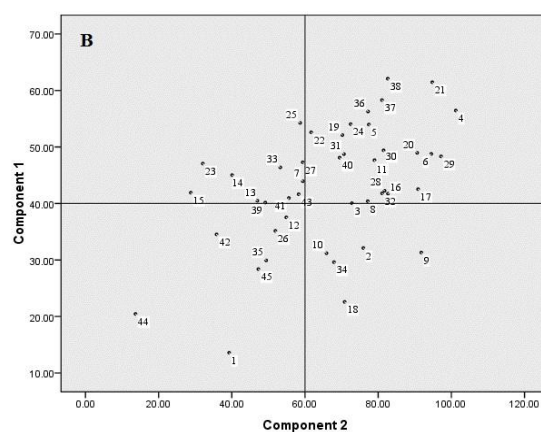
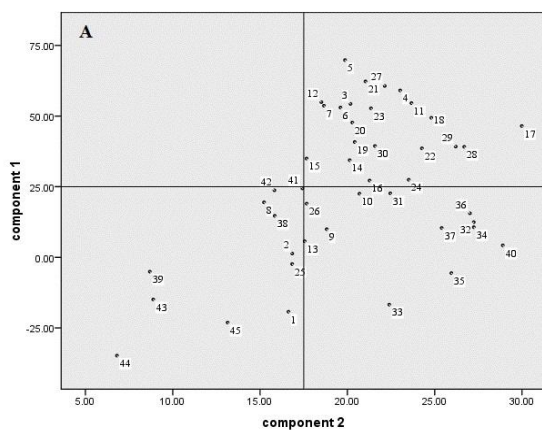
Table 6. Matrix of coefficients of factors after varimax rotation in stress conditions of -10 stress

		عامل اول Component 1	عامل دوم Component 2	عامل سوم Component 3
Fresh weight of leaves	وزن تر برگ	0.983	0.063	-0.035
Saturation weight of leaves	وزن اشباع برگ	0.934	0.060	-0.041
Dry weight of leaves	وزن خشک برگ	0.889	0.048	-0.038
survival rate	درصد زنده‌مانی	-0.015	0.859	-0.109
LT ₅₀		-0.019	-0.824	0.111
Height	ارتفاع	-0.026	0.123	0.845
number of leaves	تعداد برگ	0.113	0.197	-0.798
RWC	محتوای نسبی آب برگ	0.674	0.067	-0.049
EC	هدایت الکتریکی	-0.017	-0.068	0.255
Total variance	واریانس کل	3.139	1.714	1.432
Percentage of variance	درصد واریانس	34.881	19.043	15.915
Cumulative variance	واریانس تجمعی	34.881	53.924	69.839

جدول ۷. ماتریس ضرایب عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس در شرایط تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد

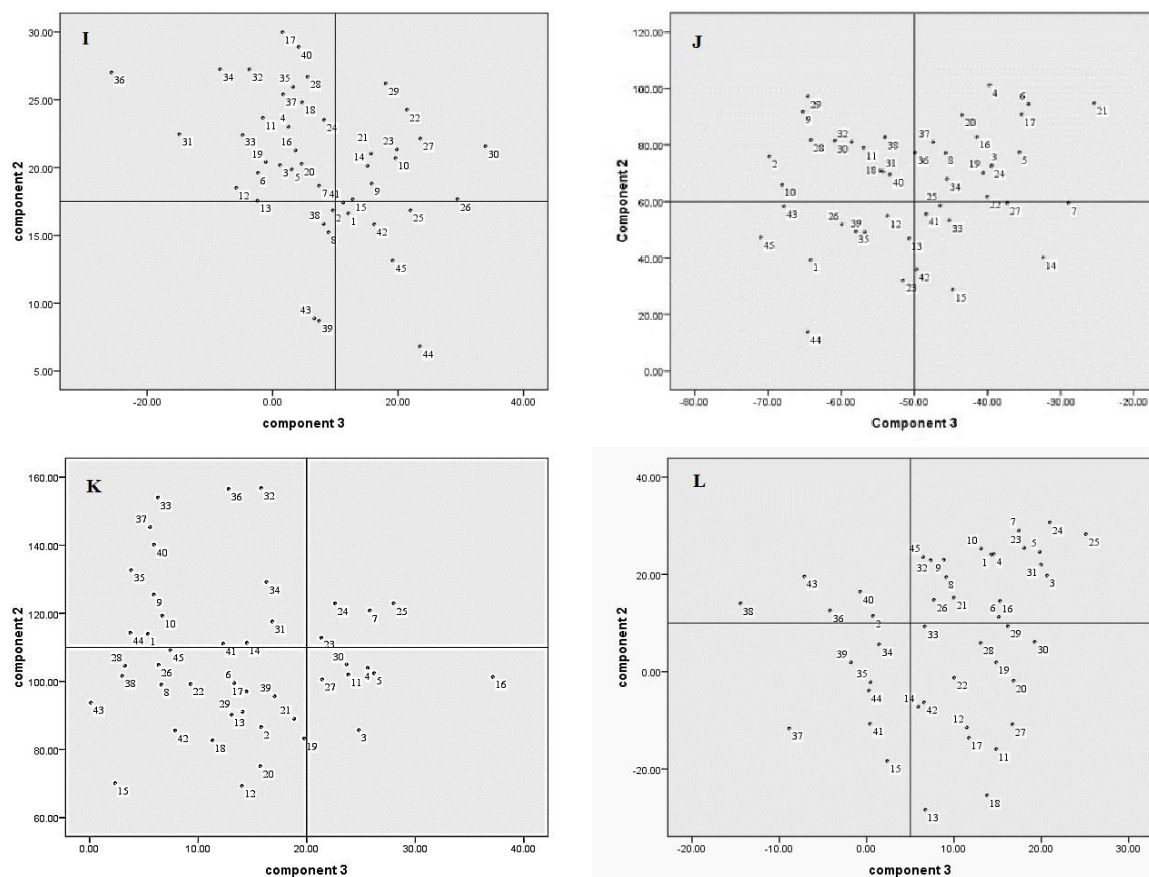
Table 7. Matrix of coefficients of factors after varimax rotation in stress conditions of -12 stress

		عامل اول Component 1	عامل دوم Component 2	عامل سوم Component 3
Fresh weight of leaves	وزن تر برگ	0.978	0.021	0.102
Saturation weight of leaves	وزن اشباع برگ	0.951	-0.101	0.109
Dry weight of leaves	وزن خشک برگ	0.938	-0.035	0.009
Height	ارتفاع	0.088	-0.805	-0.056
number of leaves	تعداد برگ	0.109	0.748	0.045
LT ₅₀		-0.089	0.165	-0.823
survival rate	درصد زنده‌مانی	-0.149	0.343	0.714
EC	هدایت الکتریکی	0.352	0.095	0.529
RWC	محتوای نسبی آب برگ	0.577	0.386	0.056
Total variance	واریانس کل	3.246	1.523	1.498
Percentage of variance	درصد واریانس	36.069	16.923	16.648
Cumulative variance	واریانس تجمعی	36.069	52.992	69.64



Continued on the next page

ادامه در صفحه بعد



شکل ۳. پراکنش لاین‌های گندم دوروم بر اساس سه عامل اول. a, b و c سطح شاهد، d, e و f سطح تنش ۸-، g, h و i سطح تنش ۱۰-، j, k و l سطح تنش ۱۲- درجه سانتی‌گراد.

Fig. 3. Distribution of durum wheat lines based on the first three factors. a, b and c control, d, e and f stress -8, g, h and i stress -10, j, k and l stress -12

داشتند. با توجه به نتایج نهایی مطالعه، لاین‌های ۱۷، ۲۴، ۲۷، ۳۵، ۳۸ و ۴۰ لاین‌های مقاوم شناخته شدند. لاین‌های ۳، ۱۲، ۱۸، ۲۰ و ۴۴ حساس شناخته شدند. در نهایت لاین-های مقاوم شناخته‌شده در این مطالعه را می‌توان برای کشت در مناطق سردسیر مورد مطالعه قرار داد، اما پیشنهاد می‌شود که برای ارزیابی جامع‌تر لاین‌ها از نظر تحمل به تنش یخ‌زدگی تأثیر تنش یخ‌زدگی در سایر مراحل حساس رشد گیاه از جمله مرحله جوانه‌زنی، گلدهی و پر شدن دانه مورد بررسی قرار گیرد.

قدردانی

از پژوهشکده کشاورزی گچساران و پژوهشکده کشاورزی دیم مراغه برای تهیه بذر لاین‌های مورد مطالعه صمیمانه تشکر می‌کنیم.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به وجود تنش سرما در مناطق سردسیر کشور لزوم گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا و سایر ویژگی-های مناسب زراعی بیش‌ازپیش آشکار است. نتایج این گروه-بندی نشان داد که می‌توان از لاین‌های مقاوم شناسایی‌شده در پروژه‌های تحمل به سرمای اول فصل سود جست. تمامی لاین‌های مورد بررسی قادر به تحمل تنش بودند اما میزان مقاومت در برخی لاین‌ها مشهودتر بود. در مجموع لاین‌های ۳۴، ۳۶ و ۳۷ بیشترین درصد زنده‌مانی و لاین‌های ۱، ۲۳ و ۲۵ کمترین میزان زنده‌مانی را نشان دادند. بیشترین میزان LT50 در لاین شماره ۴۴ و کمترین میزان در لاین شماره ۳۶ مشاهده شد. نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که در تمام سطوح صفت LT50 با تعداد برگ همبستگی بالا و مثبت داشت. صفات وزن تر برگ، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ و هدایت الکتریکی نقش مهمی در میانگین گروه‌ها

منابع

- Abbaszadeh, F., 2012. Investigating osmotic stress tolerance in lentils and its relationship with molecular markers, master's thesis in plant breeding, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University. [In Persian].
- Ahmed, H.G.M.D., Zeng, Y., Yang, X., Anwaar, H. A., Mansha, M. Z., Hanif, C.M.S., Ikram, K., Ullah, A., Alghanem, S.M.S., 2020. Conferring drought-tolerant wheat genotypes through morpho physiological and chlorophyll indices at seedling stage. Saudi Journal of Biological Sciences. 27, 116–2123. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.019>
- Ali, M., Jensen, C., Mogensen, V., Andersen, M., Henson, I., 1999. Root signalling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. Field Crops Research. 62, 35–52. <https://doi.org/10.1023/A:1004535819197>
- Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2012. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. Journal of Experimental Botany. 63, 43–57. <https://doi.org/10.1093/jxb/err266>
- Augsburger, C.K., 2013. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. Ecology. 94, 41–50. <https://doi.org/10.1890/12-0200.1>
- Auld, D.L., Ditterline, R.L., Murrayand, G.A., Swensen, J.B., 1983. Screening peas for winter hardiness under field and laboratory conditions. Crop Science. 23, 85–88. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300010024x>
- Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M., Khazaei, H.R., 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 6, 109–120. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/GSC.V6I2.2441>
- Bagheri, A., Nezami, A., Soltani, M., 2000. Improvement of cold-loving legumes to tolerate droughts. Translation of the organization of research, Education and Promotion of Agriculture. 445p. [In Persian].
- Bohn, M., L  thje, S., Sperling, P., Heinz, E., D  rffling, K., 2007. Plasma membrane lipid alterations induced by cold acclimation and abscisic acid treatment of winter wheat seedlings differing in frost resistance. Journal of Plant Physiology. 164, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.12.008>
- Bonjean, A.P., Angus, W.J., van Ginkel, M., 2016. The world wheat book: A history of wheat breeding Vol. 3. Lavoisier, Paris.
- Bridger, G.M., Falk, D.E., Mckersie, B.D., Smith, D.L., 1996. Crown freezing tolerance and field winter survival of winter cereals in eastern Canada. Crop Science. 36, 150–157. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600010027x>
- Campos, P.S., Quartin, V., Ramalho, J.C., Nunes, M.A., 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of Coffea sp. Plants. Journal of Plant Physiology, 160, 283–292. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00833>
- Crimp, S.J., Zheng, B., Khimashia, N., Gobbett, D.L., Chapman, S., Howden, M., 2016. Recent changes in southern Australian frost occurrence: implications for wheat production risk. Crop Pasture Science. 67, 801–811. <https://doi.org/10.1071/CP16056>
- Dolferus, R., Ji, X., Richards, R.A., 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals. Plant Science. 181, 331–341. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.015>
- Dubcovsky, J., Dvorak, J., 2007. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. Science. 316, 1862–1866. <https://doi.org/10.1126/science.1143986>
- Duvnjak J., Lon  cari  c, A., Brklja  ci  c, L.,   amec, D.,   ar  cevi  c, H., Salopek-Sondi B.,   pani  c, V., 2023. Morpho-Physiological and Hormonal Response of Winter Wheat Varieties to Drought Stress at Stem Elongation and Anthesis Stages. Plants. 12, 418. <https://doi.org/10.3390/plants12030418>
- Eugenia, M., Nunes, S., Ray Smith, G., 2003. Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. Crop Science. 43, 1349–1357. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1349>
- Farahani, H.A., Moaveni, P., Maroufi, K., 2011. Effect of seed size on seedling production in wheat (*Triticum aestivum* L.). Advances in Environmental Biology. 5, 1711–1716. Corpus ID: 33567938

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). 2023. Data of Crop Production. Available online: <https://www.statista.com/statistics>
- Fuller, M.P., Fuller, A., Kaniouras, M., Christophers, S.J., Fredericks, T., 2007. The freezing characteristics of wheat at ear emergence. *European Journal of Agronomy*. 26, 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.01.001>
- Hassan, M.A., Xiang, C., Farooq, M., Muhammad, N., Yan, Z., Hui, X., Jincai, L., 2021. Cold stress in wheat: Plant acclimation responses and management strategies. *Frontiers in Plant Science*. 12, 676884. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.676884>
- Hanna, B., Bischofa, J.C., 2004. Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing. *Cryobio*. 48: 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2003.11.002>
- Henry, R.J., Rangan, P., Furtado, A., 2016. Functional cereals for production in new and variable climates. *Current Opinion in Plant Biology*. 30, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.12.008>
- Izadi Darbandi, E., Nezami, A., Hasan Beigi R., Janalizadeh Qazvini, M., 2016. The effect of freezing stress on the percentage of electrolyte leakage and the survival of *Descurainia sophia* L. seedlings. *Iranian Agricultural Research Journal*. 14, 369–379. [In persian].
- Janowiak, F., Maas, B., Dörffling K., 2002. Importance of abscisic acid for chilling tolerance of maize seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 159, 635–643. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0638>
- Karabina, K., Leonardi, E., 2016. Turkey grain and feed annual report. TR6015. USDA Foreign Agric. Serv., Washington, DC.
- Kodra, E., Steinhäuser, K., Ganguly, A.R., 2011. Persisting cold extremes under 21st-century warming scenarios. *Geophysical Research Letters*. 38, 47–103. <https://doi.org/10.1029/2011GL047103>
- Kratsch, H.A., Wise, R.R., 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant, Cell Environ*. 23, 337–350. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00560.x>
- Lin, M., Huybers, P., 2012. Reckoning wheat yield trends. *Environmental Research Letters*. 7, 024016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024016>
- Liu, B., Wang, X.Y., Cao, Y., Arora, R., Zhou, H., Xia, Y.P., 2020. Factors affecting freezing tolerance: A comparative transcriptomics study between field and artificial cold acclimations in overwintering evergreens. *Plant Journal*. 103, 2279–2300. <https://doi.org/10.1111/tpj.14899>
- Los, D.A., Mironov, K.S., Allakhverdiev, S.I., 2013. Regulatory role of membrane fluidity in gene expression and physiological functions. *Photosynth. Research*. 116, 489–509. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9823-4>
- Lugoian, C., Ciulca, S., 2011. Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*. 15, 173–177. Corpus ID: 83378835
- Mahfoozi, S., Limin, A.E., Fowler, D.B., 2001. Influence of vernalization and photoperiod responses on cold hardiness in winter cereals. *Crop Science*. 41, 1006–1011. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.4141006x>
- Martínez-Moreno, F., Solís, I., Noguero, D., Blanco, A., Ozberk, I., Nsarellah, N., Elias, E., Mylonas, I., Soriano, J.M., 2020. Durum wheat in the Mediterranean Rim: historical evolution and genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67, 1415–1436. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00913-8>
- McKersie, B.D., Leshem, Y.Y., 1994. Stress and stress cropping in cultivated plants. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Mireshghi, A., Khalilzadeh, G.R., 2002. Evaluation of some physiological traits related to cold resistance in 22 bread wheat genotypes. Summary of the articles of the third conference on reducing losses caused by cold and freezing of agricultural and garden plants in the country. P. 61. Vice President of Agriculture, Plant Protection Organization [In persian].
- Mirmohammadi Meibodi, A.M., 2000. Physiological and genetic aspects of cold stress and frost of agricultural plants. Golban Publications, Isfahan. [In persian].
- Mohammadi, R., Haghparast, R., 2022. Durum wheat: production, nutritional value and economic importance. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*. 1, 414–45. [In persian]. <https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8385.1021>
- Muhammad, A.H., Chen, X., Muhammad, F., Noor, M., Zhang, Y., Xu, H., Ke, Y., Attiogbe, K. B., Zhang, L., Li, J., 2021. Cold stress in

- wheat: Plant acclimation responses and management strategies. *Frontiers in Plant Science*.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.676884>
- Murray, L.E., Rowley, N., Dawes, I.W., Johnston, G.C., Singer, R.A., 1998. A yeast glutamine tRNA signals nitrogen status for regulation of dimorphic growth and sporulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 95, 8619-24.
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.15.8619>
- Nemati, M., 2011. Investigation of drought resistance in rapeseed and its relationship with molecular markers, master's thesis in plant breeding, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University [In persian].
- Nezami, A., Borzoi, A., Jahani kondari, M., Azizi, M., Sharif, A., 2016. Electrolyte leakage as an indicator of freezing injury in colza (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Agricultural Research*. 5(1), 175-167 [In persian].
<https://doi.org/10.22067/gsc.v5i1.907>
- Nezami, A., Nabati, J., Borzoei, A., Kamandi, A., Masomi, A., Salehi, M., 2010. Evaluation of freezing tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars at seedling stage under controlled conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3, 9-22. [In Persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2010.79>
- Prasil, I.T., Prasilov, P., Marik, P., 2007. Comparative study of direct and indirect evaluations of frost tolerance in barley. *Field Crops Research*, 102, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.12.012>
- Rashed Mohassel, M.H., Nezami, A., Bagheri, A., Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Bannayan Aval, M., 2009. Evaluation of freezing tolerance of two fennel (*Foeniculum vulgare* L.) ecotypes under controlled conditions. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*. 15, 131-140.
<https://doi.org/10.1080/10496470903139249>
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Ruelland, E., Zachowski, A., 2010. How plants sense temperature. *Environmental Experience of Botany*. 69, 225-232.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.011>
- Saeedi, M., Abdoli, M., Eliyasi, P., 2019. Investigation of cold tolerance in some bread wheat genotypes at the seedling stage under laboratory conditions. *Second Term Wheat Research Journal*. 1, 36-52. [In persian].
- Seiler, G.J., Stafford, R.E., 1985. Factor analysis of component of yield in guar. *Crop Science*. 25, 905-908.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1985.0011183X002500060003x>
- Seo, P.J., Kim, M.J., Park, J.Y., Kim, S.Y., Jeon, J., Lee, Y.H., 2010. Cold activation of a plasma membrane-tethered NAC transcription factor induces a pathogen resistance response in Arabidopsis. *Plant Journal*. 61, 661-671.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2009.04091.x>
- Sio-Se Mardeh, A., Mohammadi, K., Rouhi, E., Agha Alikhani, M., Mokhtasi Bidgoli, A., 2010. Physiological response of different wheat genotypes to cold stress. *Electronic Journal of Crop Production*. 2, 93-112. [In persian].
<https://dori.net/dor/20.1001.1.2008739.1388.2.4.6.0>
- Skendžić, S., Zovko, M., Lešić, V., Pajač Živković, I., Lemić, D., 2023. Detection and Evaluation of Environmental Stress in Winter Wheat Using Remote and Proximal Sensing Methods and Vegetation Indices—A Review. *Diversity*. 15, 481.
<https://doi.org/10.3390/d15040481>
- Tahmasab-Ali, M., 2013. The study of osmotic stress tolerance in wheat cultivars and its relationship with protein markers, master's thesis in plant breeding, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University. [In persian].
- Teutonica, R.A., Palta, J.P., Osborn, T.C., 1993. In vitro freezing tolerance in relation to winter survival of rapeseed cultivars. *Crop Sci*. 33, 103-107.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300010019x>
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J.A., Berger, J.D., Nayyar, H., 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental Experience Botany*. 67, 429-443.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.09.004>
- Theocharis, A., Clément, C., Barka, E.A., 2012. Physiological and molecular changes in plants

- grown at low temperatures. *Planta*. 235, 1091–1105. <https://doi.org/10.1007/s00425-012-1641-y>
- Uemura, M., Tominaga, Y., Nakagawara, C., Shigematsu, S., Minami, A., Kawamura, Y., 2006. Responses of plasma membrane to low temperature. *Physiologia Planta*. 126, 81-89. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00594.x>
- Whaley, J.M., Kirby, E.J.M. Spink, J.H., Foulkes, M.J., Sparkes, D.L., 2004. Frost damage to winter wheat in the UK: the effect of plant population density. *European Journal of Agronomy*. 21, 105–115. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00090-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00090-X)
- Wheeler, T., 2013. Von Braun, J. Climate change impacts on global food security. *Science*. 341, 508–513. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>
- Zheng, B., Chapman, S.C., Christopher, J.T., Frederiks, T.M., Chenu, K., 2015. Frost trends and their estimated impact on yield in the Australian wheatbelt. *Journal of Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv163>