

ارزیابی و شناسایی ژرم پلاسما گندم نان متحمل به تنش گرمای انتهای

فصل

Evaluation and identification of bread wheat germplasm tolerant to terminal heat stress

نازنین امیر بختیار^{۱*}، مهدی زهراوی^۱، یوسف ارشد^۱، غلامعباس مشرف قهفرخی^۲، جواد مهدوی مجد^۲،
محمد حسین افزاز^۱

۱- بخش تحقیقات ژنتیک، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج
کشاورزی، کرج، ایران

۲- بخش تحقیقات اصلاح بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان سازمان تحقیقات آموزش و
ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

Amirbakhtiar N^{*1}, Zahravi M¹, Arshad Y¹, Mosharraf Ghahfarrokhi Gh²,
Mahdavamajd J², Afzaz MH¹

1- Genetic Research Department, Seed and Plant Improvement Institute (SPII),
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2- Agricultural and Natural Resources Research Center of Khuzestan, Agricultural
Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nabakhtiar@spii.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۶)

چکیده

به منظور شناسایی منابع ژنتیکی متحمل به تنش گرما در گندم نان، ۲۲۴ نمونه ژنتیکی از کلکسیون بانک ژن گیاهی ملی ایران در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در اهواز در دو شرایط نرمال و تنش گرما (از طریق دیرکاشت) مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح آگمنت با سه رقم شاهد (چمران، چمران ۲ و افلاک) اجرا شد و ده صفت مورفولوژیک و فنولوژیک شامل طول سنبله، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در سنبله، تعداد گلچه در سنبله، روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی کامل، طول دوره پر شدن دانه و وزن دانه پنج سنبله اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد میانگین کلیه صفات در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت و بیشترین کاهش (۳۴/۶۸ درصد) به صفت وزن دانه پنج سنبله مربوط بود. همبستگی مثبت و معنی دار بین وزن دانه پنج سنبله با وزن صد دانه و تعداد دانه در سنبله در هر دو شرایط مشاهده شد. تعداد زیادی از نمونه های ژنتیکی برتر از ارقام شاهد از لحاظ صفات مختلف شناسایی شد. تجزیه به مؤلفه های اصلی، چهار مؤلفه اصلی را در هر شرایط شناسایی کرد که در مجموع بیش از ۷۱ درصد (تنش) و ۷۷ درصد (نرمال) تغییرات را تبیین کردند. بر اساس ویژگی های استخراج شده از تجزیه به مؤلفه های اصلی، نمونه های ژنتیکی KC13318، KC13320، KC13642 و KC13620 در هر دو شرایط نرمال و تنش گرما دارای ویژگی های مطلوب مرتبط با پتانسیل عملکرد، زودرسی و کارایی زایشی بودند. همچنین، نمونه ژنتیکی KC13645 در شرایط نرمال و نمونه KC13643 در شرایط تنش گرما نیز از این ویژگی ها برخوردار بودند. این نمونه ها می توانند به عنوان منابع ارزشمند در برنامه های اصلاحی برای توسعه ارقام گندم نان مقاوم به گرما مورد استفاده قرار گیرند.

واژه های کلیدی

گندم نان
تنش گرما
طرح آگمنت
تجزیه به مؤلفه های اصلی
ژرم پلاسما

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به عنوان یکی از مهم ترین غلات پایه و منابع کالری در جهان شناخته می شود (Ullah et al. 2022) و با سهمی نزدیک به ۳۰ درصد از تولید جهانی غلات و ۵۰ درصد از تجارت جهانی، نقش قابل توجهی در تأمین غذای جمعیت جهانی ایفا می کند (Akter and Rafiqul 2017; Poudel and Poudel 2020). این محصول در بیش از ۴۰ کشور به عنوان غذای اصلی مصرف می شود و به ترتیب ۸۵ درصد کالری و ۸۲ درصد پروتئین مورد نیاز جمعیت جهان را فراهم می آورد (Chaves et al. 2013; Sharma et al. 2019). با توجه به پیش بینی افزایش جمعیت جهان تا ۹/۸ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰، برآورد شده است که نیاز به حدود ۱۹۸ میلیون تن دانه گندم اضافی وجود دارد (Akter and Rafiqul 2017; Yadav et al. 2022). سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) نیز اعلام کرده است که تولید سالانه غلات باید حدود یک میلیارد تن افزایش یابد تا بتوان نیاز غذایی این جمعیت فزاینده را برآورده کرد. از این رو، افزایش تولید و بهره وری محصولات کشاورزی به یکی از الزامات اساسی قرن بیست و یکم تبدیل شده است (Iqbal et al. 2017; Poudel and Poudel 2020).

با توجه به تداوم تغییرات شرایط اقلیمی جهانی، انتظار می رود دما افزایش یابد. پیش بینی های اقلیمی برآورد می کنند که تا پایان قرن بیست و یکم، میانگین دمای محیط بین ۱ تا ۶ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (De Costa 2011; Akter and Rafiqul 2017) که این موضوع می تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشد. گندم که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می شود، با انواع تنش های غیرزیستی مواجه است و تنش های محیطی نامطلوب به طور چشمگیری می تواند تولید آن را کاهش دهند (Rahaie and Xue 2013; Poudel and Poudel 2020). همچنین پیش بینی شده است که این افزایش دما باعث کاهش عملکرد گندم بین ۱/۴ تا ۴/۶ درصد خواهد شد (Lamba et al. 2023).

دمای بالا یکی از مهم ترین عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه، عملکردهای فیزیولوژیکی، تشکیل دانه و در نهایت عملکرد محصول است. این تنش، با تأثیر منفی بر فرآیندهای متابولیکی از

جمله سنتز پروتئین، غیرفعال شدن آنزیم ها و تخریب غشای سلولی، همچنین با اختلال در تقسیم سلولی، رشد گندم را مختل می کند (Lamba et al. 2023). مطالعات متعددی کاهش عملکرد گندم بین ۶/۴ تا ۲۷ درصد را با افزایش هر یک درجه سانتی گراد دما گزارش کرده اند (Liu et al. 2016; Bergkamp et al. 2018). حساسیت گندم به دمای بالا در مرحله زایشی بیشتر از مرحله رویشی است؛ در گندم، بازه دمایی ۲۲ تا ۲۵ درجه سانتی گراد در مرحله گرده افشانی تا رسیدگی دانه به عنوان دمای بهینه شناخته می شود و افزایش دما فراتر از این محدوده منجر به آسیب های برگشتناپذیر می شود. در کشت دیر هنگام، دمای بالای ۲۵ تا ۳۲ درجه سانتی گراد در مراحل گرده افشانی و پر شدن دانه سبب رسیدگی زودرس و کاهش چشمگیر عملکرد دانه می گردد (Lamba et al. 2023).

شناسایی ژنوتیپ های مقاوم به گرما برای برنامه های اصلاحی امری حیاتی به شمار می رود (Lamba et al. 2023). توسعه ارقام گندم مقاوم به گرما روشی کارآمد و عملی برای مقابله با افزایش دما در اکوسیستم های تولید گندم است که گام نخست آن شامل غربالگری در محیط های آزمایشی و انتخاب ارقام نسبتاً مقاوم می باشد (Liu et al. 2018; Yadav et al. 2022). این ارقام منتخب می توانند در برنامه های اصلاحی برای تحمل به گرما مورد استفاده قرار گیرند. ژنوتیپ های مقاوم به تنش را می توان با کشت لاین های پیشرفته گندم در شرایط نرمال و تنش شناسایی کرد (Khan and Kabir 2014; Kamrani et al. 2018). بهره برداری از تنوع ژنتیکی موجود در ژنوتیپ های مختلف گندم، اصلاحگران گیاهی را در ایجاد ژنوتیپ های مقاوم به گرما یاری می کند؛ با این حال، انتخاب رویکرد مناسب برای گزینش ارقام مقاوم به گرما از مهم ترین و چالش برانگیزترین مراحل کار اصلاحگران به شمار می رود (Lamba et al. 2023). اگرچه در گذشته تمرکز اصلاحگران بیشتر بر بهبود عملکرد بود و تلاش کافی برای شناسایی الی های مطلوب در ژرم پلاسما گندم به منظور تحمل گرما انجام نشده بود (Akter and Rafiqul 2017; Ni et al. 2018)، اما با درک پیامدهای تغییرات اقلیمی، پژوهش ها اکنون به توسعه ژنوتیپ های مقاوم به گرما معطوف شده است. رویکردهای اصلاحی متداول شامل غربالگری و انتخاب ژرم پلاسما به علاوه

تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در اهواز در شرایط نرمال و تنش گرما مورد بررسی قرار گرفتند.

بدین منظور کشت در دو تاریخ انجام شد که عبارت بود از اوایل آذر ماه به عنوان تاریخ کاشت مناسب (شرایط نرمال) با دمای متوسط حداکثر ۲۵/۳ در زمان گرده افشانی و دمای متوسط حداکثر ۲۷/۵ در طول دوره پر شدن دانه و نیمه دوم دی ماه (دیرکاشت به منظور ایجاد تنش گرما در مراحل مختلف رشد و نمو، بالاخص مراحل ظهور سنبله، گرده افشانی و طول دوره پر شدن دانه با دمای متوسط حداکثر ۳۲/۴ در مرحله گرده افشانی و دمای متوسط حداکثر ۳۳/۵ در دوره پر شدن دانه).

نمونه‌های ژنتیکی در هر دو شرایط نرمال و تنش در قالب طرح آزمایشی طرح آگمنت کشت شدند. طرح آگمنت در قالب ۸ بلوک پیاده شد و در هر بلوک، ۲۸ نمونه ژنتیکی به همراه سه رقم شاهد چمران، چمران ۲ و افلاک در نظر گرفته شد. هر نمونه ژنتیکی در یک خط ۲/۵ متری (۱۰۰ بوته بر روی یک خط) به فاصله ۵۰ سانتی‌متر نسبت به خط مجاور کشت گردید. آبیاری به روش کرتی انجام شد. صفات طول سنبله، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله‌چ در سنبله، تعداد گلچه در سنبله‌چ، روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی کامل و طول دوره پر شدن دانه و وزن دانه پنج سنبله طبق دستورالعمل مؤسسه بین المللی ذخایر توارثی گیاهی (IBPGR 1978) مورد ارزیابی قرار گرفت. برداشت نمونه‌های ژنتیکی مربوط به شرایط نرمال (تاریخ کاشت مطلوب)، در اواخر دهه دوم فرورین و برداشت نمونه‌های ژنتیکی مربوط به شرایط تنش گرما (تاریخ کاشت دیر هنگام) در اوایل دهه دوم اردیبهشت انجام شد. آماره‌های توصیفی برای صفات مورد ارزیابی محاسبه شد. برای پی بردن به ارتباط صفات، ضرایب همبستگی بین آن‌ها برآورد شد. برای کاهش ابعاد داده‌ها و بررسی الگوی تغییرات میان نمونه‌های ژنتیکی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis; PCA) بر اساس ماتریس همبستگی صفات استاندارد شده انجام شد. پیش از انجام تجزیه، به دلیل تفاوت واحد اندازه‌گیری صفات، داده‌ها استانداردسازی (میانگین صفر و واریانس یک) شدند. تعداد مؤلفه‌های اصلی بر اساس مقدار ویژه (Eigen value) بزرگ‌تر از یک و همچنین درصد واریانس تبیین‌شده توسط مؤلفه‌ها تعیین

اصلاح مولکولی، راهبردهای ژنتیکی امیدبخشی برای توسعه ژنوتیپ‌های مقاوم به گرما به شمار می‌روند (Akter and Rafiqul 2017; Liu et al. 2018). با این حال، غربالگری ژنوتیپ‌های گندم در شرایط طبیعی تنش گرمایی و محیط‌های مکانی مختلف دشوار است و تاکنون معیار انتخاب ثابتی برای ارزیابی مواد ژنتیکی متنوع از نظر تحمل به گرما تدوین نشده است. معیارها و روش‌های انتخاب معمولاً بر اساس ویژگی‌هایی تعیین می‌شوند که همبستگی مثبتی با عملکرد بالاتر دانه در شرایط نامساعد گرمایی دارند (Akter and Rafiqul 2017).

نژادهای بومی (Landraces) به عنوان منبع مهمی از تنوع ژنتیکی شناخته می‌شوند، زیرا دارای سازگاری بالایی با شرایط سخت محیطی هستند و به دلیل مقادیر بالای کلروفیل برگ و هدایت روزنه‌ای بیشتر، تحمل قابل توجهی نسبت به تنش گرمایی دارند. از این رو، انتقال صفات تحمل گرما از این نژادهای بومی به گونه‌های گندم زراعی از طریق برنامه‌های اصلاحی می‌تواند در تولید ژنوتیپ‌های مقاوم به گرما مؤثر باشد (Lopes et al. 2015). تاکنون چندین ژنوتیپ گندم که در سراسر جهان کشت شده و مقاومت نسبی به تنش‌های غیرزیستی دارند، از نژادهای بومی اصلاح و تولید شده‌اند (Ullah et al. 2022). در سال‌های اخیر، تمرکز اصلاح‌گران گندم بر بهره‌گیری از اکوتیپ‌های بومی برای توسعه ارقام مقاوم به تنش گرمایی معطوف شده است (Ortiz-Monasterio et al. 2007). سوابق تحقیقات انجام شده در گذشته نیز نشان‌دهنده ظرفیت بالای ذخایر ژنتیکی گندم بدین منظور بوده است (Arshad et al. 2013; Amirbakhtiar et al. 2023). در این راستا مطالعه حاضر نیز در ادامه تحقیقات گذشته با هدف ارزیابی نمونه‌های ژنتیکی کلکسیون گندم نان و شناسایی منابع متحمل به تنش گرما انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق شامل ۲۲۴ نمونه ژنتیکی گندم نان از کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران بود. نمونه‌های ژنتیکی مذکور در سال زراعی ۹۵-۹۶، در مزرعه پژوهشی مرکز

شد. سپس نمودار دوطرفه (Biplot) با استفاده از دو مؤلفه اصلی اول که بیشترین سهم را در تبیین تغییرات داده‌ها داشتند، ترسیم شد و بر اساس موقعیت نمونه‌های ژنتیکی در چهار ربع نمودار، الگوی پراکنش و روابط میان ژنوتیپ‌ها و صفات مورد بررسی قرار گرفت. از تجزیه خوشه‌ای به روش K means برای گروه‌بندی نمونه‌های ژنتیکی استفاده شد. برای تعیین تعداد گروه‌ها (K)، بیشترین تعداد صفات معنی‌دار بین گروه‌ها به عنوان معیار قرار گرفت. تفکیک و تمایز نمونه‌های ژنتیکی مبتنی بر گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از تجزیه مقیاس بندی چند بعدی و رسم نمودار مورد بررسی قرار گرفت.

محاسبات آماری و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار R، نسخه ۴،۳،۲ تحت محیط R studio، نسخه ۲۰۲۳،۹،۱،۴۹۴ انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد زیادی از نمونه‌های ژنتیکی در هر دو شرایط از لحاظ صفات مورد بررسی نسبت به ارقام شاهد برتری نشان دادند (شکل ۱). این برتری بسته به اینکه نسبت به یک، دو یا سه رقم شاهد باشد در شکل ۲ با طیف رنگی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنوع زیادی بین نمونه‌های ژنتیکی از این لحاظ وجود داشت. در شرایط نرمال تعداد ۳۱ نمونه ژنتیکی وزن دانه پنج سنبله بیشتری نسبت به ارقام شاهد داشتند. همچنین تعداد ۴۹ و ۲۸ نمونه ژنتیکی به ترتیب دارای وزن صد دانه و تعداد دانه سنبله بیشتری نسبت به ارقام شاهد بودند. بیشترین وزن دانه پنج سنبله به نمونه‌های ژنتیکی KC13273، KC13318 و KC13580 (به ترتیب ۱۲/۸۰، ۱۲/۴۴ و ۱۱/۷۸ گرم)، بیشترین وزن صد دانه به نمونه‌های ژنتیکی KC13580، KC13557 و KC13273 (به ترتیب ۵/۴۸، ۵/۴۳ و ۵/۳۸ گرم) و بیشترین تعداد دانه در سنبله به نمونه‌های ژنتیکی KC13408 و KC13318 (به ترتیب ۵۸ و ۵۶ عدد) تعلق داشت (جدول ۲). همچنین نمونه‌های ژنتیکی KC13320 و KC13620 از لحاظ هفت صفت نسبت به ارقام شاهد برتر بودند. نمونه ژنتیکی KC13320، ارتفاع بوته، طول دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیشتر و روز تا ظهور سنبله کامل کمتری نسبت به ارقام شاهد داشت. نمونه ژنتیکی KC13620، دارای ارتفاع بوته، طول دوره پرشدن دانه، طول سنبله، تعداد سنبله در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیشتر و روز تا ظهور سنبله کمتری نسبت به ارقام شاهد بودند.

نتایج تجزیه واریانس طرح آگمنت نشان داد که در شرایط نرمال تفاوت بین بلوک‌ها برای صفات مختلف به جز ارتفاع بوته و در شرایط تنش به جز ارتفاع بوته و وزن دانه پنج سنبله معنی‌دار نبود (نتایج ارائه نشده است) و لذا مقادیر این صفات جهت رفع اثر بلوک تصحیح شد. پیروی داده‌ها از توزیع نرمال توسط آزمون نرمالیتی، قبل و بعد از انجام تصحیحات بررسی شد و نتایج حاکی از انطباق مشاهدات با توزیع نرمال بود. آماره‌های توصیفی صفات ارزیابی شده در دو شرایط نرمال و تنش گرما در جدول ۱ ارائه شده است. در مقایسه بین دو شرایط، میانگین تمام صفات در شرایط تنش گرما نسبت به شرایط نرمال، کاهش نشان داد. بیشترین کاهش میانگین (۳۴/۶۸ درصد) مربوط به صفت وزن دانه پنج سنبله بود و بعد از آن صفت ارتفاع بوته با ۲۳/۶۰ درصد، بیشترین کاهش میانگین را نشان داد. صفات تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی کامل و طول دوره پرشدن دانه حدود ۱۸ کاهش در میانگین نشان دادند و کمترین کاهش میانگین (۰/۶۵ درصد) مربوط به صفت تعداد گلچه در سنبله بود. دامنه تمام صفات به جز تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در سنبله، کاهش نشان داد. بیشترین ضریب تغییرات در شرایط نرمال مربوط به صفت وزن دانه پنج سنبله

در شرایط تنش، تعداد ۱۸ نمونه ژنتیکی دارای وزن دانه پنج سنبله بیشتری نسبت به ارقام شاهد بودند. همچنین تعداد ۷۰ و ۱۵ نمونه ژنتیکی به ترتیب وزن صد دانه و تعداد دانه سنبله بیشتری نسبت به ارقام شاهد داشتند.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی نمونه‌های ژنتیکی گندم نان در ارزیابی برای تحمل به تنش گرمای انتهایی فصل در اهواز

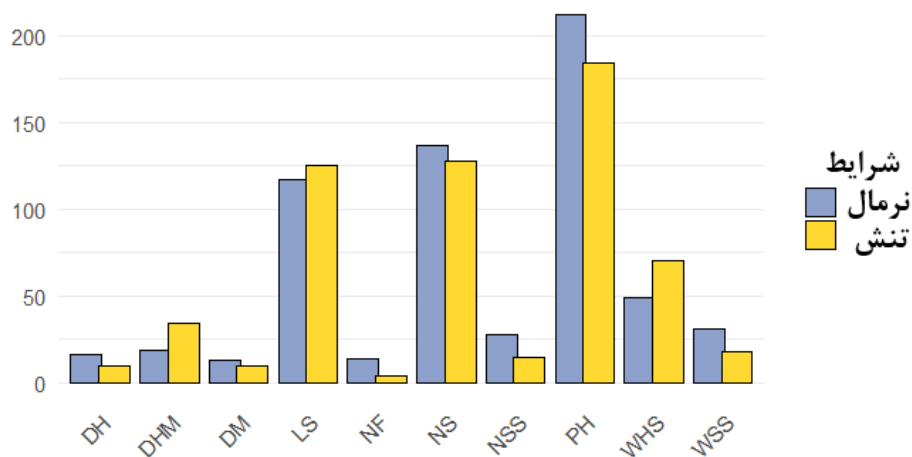
ضریب تغییرات (درصد)	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	دامنه	صفت
شرایط نرمال						
۱۳/۵۲	۱۵/۹۲	۱۱۷/۷۰	۱۴۲/۰	۵۸/۰	۸۴/۰	ارتفاع بوته
۹/۸۰	۱۱/۲۷	۱۱۵/۰	۱۳۴/۰	۸۳/۰	۵۱/۰	روز تا ظهور سنبله
۴/۶۴	۶/۶۴	۱۴۳/۱۰	۱۷۷/۰	۱۲۸/۰	۴۸/۰	روز تا رسیدگی کامل
۲۶/۲۷	۷/۳۸	۲۸/۰۹	۵۷/۰	۱۴/۰	۴۳/۰	طول دوره پرشدن دانه
۱۵/۵۴	۱/۵۴	۹/۸۹	۱۹/۰	۷/۰	۱۲/۰	طول سنبله
۱۳/۵۳	۲/۴۸	۱۸/۳۱	۲۳/۸۰	۸/۷۰	۱۵/۱۰	تعداد سنبلچه در سنبله
۶/۱۴	۰/۱۹	۳/۰۴	۴/۰	۲/۴۰	۱/۶۰	تعداد گلچه در سنبلچه
۲۱/۴۸	۷/۶۸	۳۵/۷۳	۵۸/۰	۱۶/۰	۴۲/۰	تعداد دانه در سنبله
۲۱/۶۰	۰/۷۷	۳/۵۵	۵/۴۸	۱/۹۲	۳/۵۶	وزن صد دانه
۳۱/۹۲	۲/۰۴	۶/۳۹	۱۲/۸۰	۲/۹۴	۹/۸۶	وزن دانه پنج سنبله
شرایط تنش						
۱۴/۶۶	۱۳/۱۸	۸۹/۹۲	۱۱۸/۲۵	۵۲/۲۵	۶۶/۰	ارتفاع بوته
۷/۴۴	۶/۹۸	۹۳/۸۸	۱۱۰/۰	۸۰/۰	۳۰/۰	روز تا ظهور سنبله
۵/۷۸	۶/۷۵	۱۱۶/۹۶	۱۳۵/۰	۱۰۷/۰	۲۸/۰	روز تا رسیدگی کامل
۱۸/۷۷	۴/۳۳	۲۳/۰۸	۵۱/۰	۹/۰	۴۲/۰	طول دوره پرشدن دانه
۱۳/۷۲	۱/۲۸	۹/۳۵	۱۴/۲۰	۶/۰	۸/۲۰	طول سنبله
۱۷/۹۲	۳/۰۱	۱۶/۸۱	۳۵/۸۰	۷/۹۰	۲۷/۹۰	تعداد سنبلچه در سنبله
۴/۲۶	۰/۱۳	۳/۰۳	۴/۰	۲/۶۰	۱/۴۰	تعداد گلچه در سنبلچه
۲۴/۹۸	۷/۲۵	۲۹/۰۴	۵۵/۶۰	۸/۰	۴۷/۶۰	تعداد دانه در سنبله
۱۵/۶۷	۰/۴۵	۲/۸۹	۳/۹۵	۱/۶۰	۲/۳۵	وزن صد دانه
۳۱/۷۶	۱/۳۳	۴/۱۸	۸/۳۷	۱/۲۴	۷/۱۳	وزن دانه پنج سنبله

بیشترین وزن دانه پنج سنبله به نمونه‌های ژنتیکی KC13320، KC13319 و KC13408 (به ترتیب با ۸/۳۷، ۸/۱۵ و ۸/۰ گرم) تعلق داشت (جدول ۲).

همچنین بیشترین وزن صد دانه به نمونه‌های ژنتیکی KC13558، KC13636 و KC13633 (به ترتیب ۳/۹۵، ۳/۸۹ و ۳/۸۰ گرم) و بیشترین تعداد دانه در سنبله به نمونه‌های ژنتیکی KC13642، KC13618 و KC13408 (به ترتیب ۵۵/۶۰، ۴۹/۴۰ و ۴۹/۰ عدد) متعلق بود. نمونه ژنتیکی KC13620 از لحاظ نه صفت نسبت به ارقام شاهد برتر بود. این نمونه ژنتیکی، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیشتر و روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدگی کمتری نسبت به ارقام شاهد داشت. همچنین نمونه‌های ژنتیکی KC13315 و KC13320 از لحاظ هشت صفت نسبت به ارقام شاهد برتری داشتند. نمونه ژنتیکی

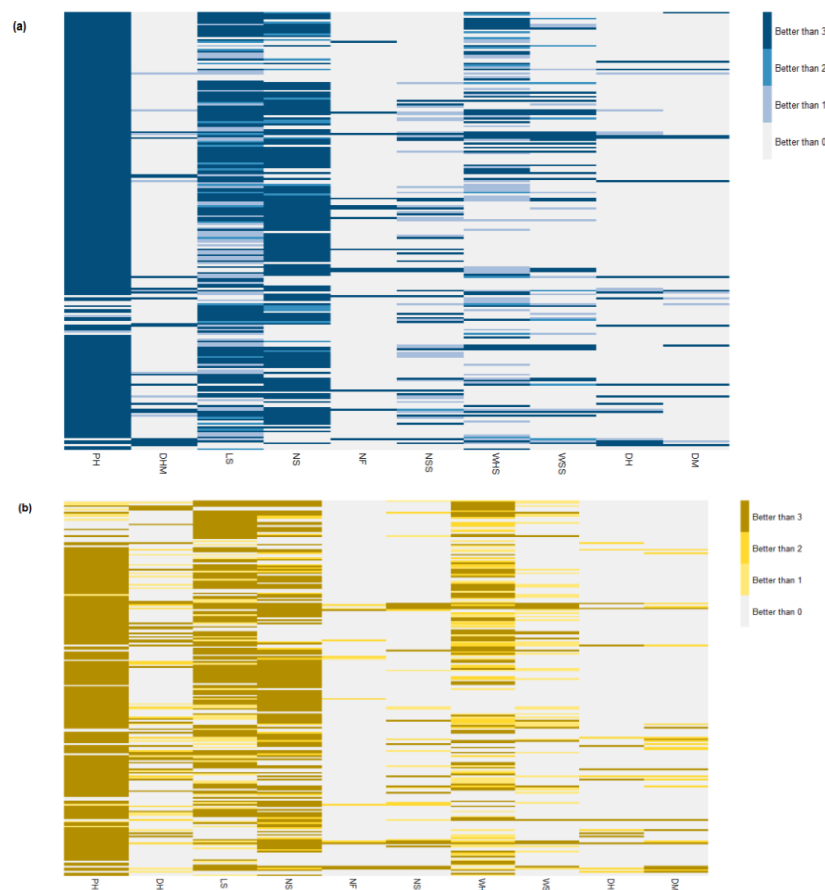
KC13315، دارای ارتفاع بوته، طول دوره پرشدن دانه، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیشتر و روز تا ظهور سنبله کمتری نسبت به ارقام شاهد بود. نمونه ژنتیکی KC13320، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله بیشتر و روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدگی کمتری نسبت به ارقام شاهد داشت.

نتایج تجزیه همبستگی در شرایط نرمال نشان داد که بزرگ‌ترین ضریب همبستگی بین صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل ($r=0.78^{**}$)، وزن دانه پنج سنبله و وزن صد دانه ($r=0.74^{**}$)، و وزن دانه پنج سنبله و تعداد دانه در سنبله ($r=0.72^{**}$) وجود داشت (شکل ۳a). بدین ترتیب صفت وزن دانه پنج سنبله بزرگ‌ترین همبستگی را با صفات وزن صد دانه و تعداد دانه داشت.



شکل ۱- نمودار میله‌ای تعداد نمونه‌های ژنتیکی گندم نان برتر از ارقام شاهد مورد ارزیابی در دو شرایط نرمال و تنش گرمای انتهای فصل در اهواز (نمونه‌های ژنتیکی با مقادیر بیشتر از بهترین رقم شاهد به‌عنوان نمونه‌های برتر در نظر گرفته شدند. در مقابل، برای صفات DH و DM که مقادیر کمتر آن‌ها مطلوب‌تر است، نمونه‌های ژنتیکی دارای مقادیر کمتر از بهترین رقم شاهد به‌عنوان نمونه‌های برتر محسوب شدند)

PH: ارتفاع بوته، DH: روز تا ظهور سنبله، DM: روز تا رسیدگی کامل، DHM: طول دوره پرشدن دانه، LS: طول سنبله، NS: تعداد سنبله‌چ در سنبله، NF: تعداد گلچه در سنبله‌چ، NSS: تعداد دانه در سنبله، WHS: وزن صد دانه، WSS: وزن دانه پنج سنبله



شکل ۲- نقشه دمایی برتری نمونه‌های ژنتیکی نسبت به یک، دو یا هر سه رقم شاهد از لحاظ صفات مورد ارزیابی در نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال (a) و تنش گرمای انتهای فصل (b) در اهواز

جدول ۲- برخی از نمونه‌های ژنتیکی گندم نان برتر از ارقام شاهد از لحاظ تعدادی از صفات مورد ارزیابی برای تحمل به تنش گرمای انتهای فصل در اهواز

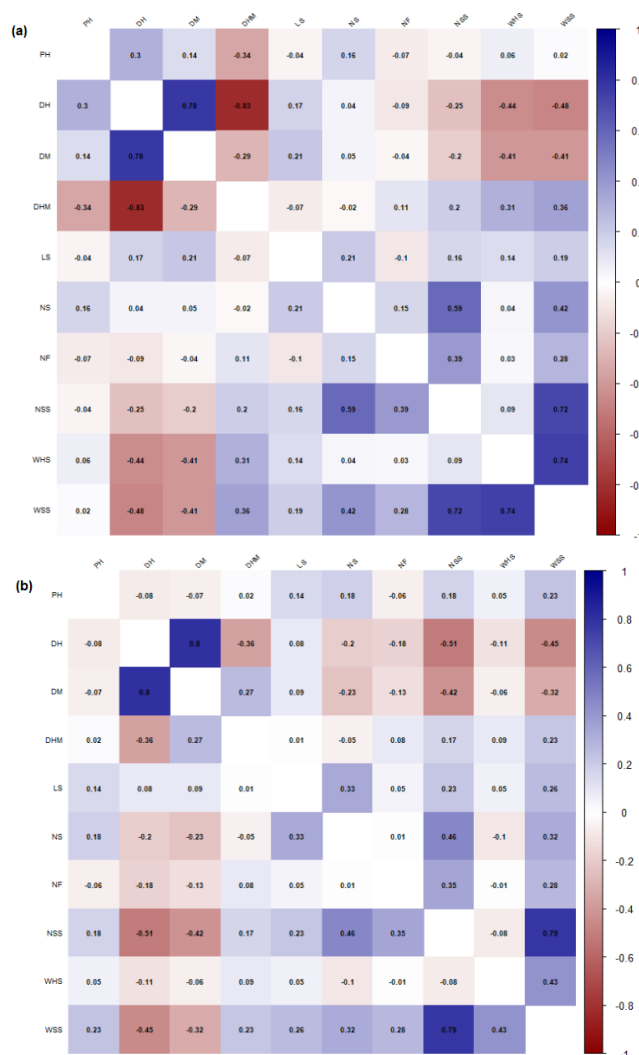
وزن دانه پنج سنبله (گرم)	وزن صد دانه (گرم)	تعداد دانه در سنبله (عدد)	روز تا رسیدگی کامل (روز)	طول سنبله (سانتی‌متر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	صفت
شرایط نرمال						
۱۲/۸۰	۵/۳۸	۴۷/۶۰	۱۳۶/۰	۱۱/۴۰	۱۲۲/۰	KC13273
۱۰/۶۶	۵/۰	۴۲/۶۰	۱۳۶/۰	۱۰/۵۰	۱۱۷/۰	KC13292
۱۲/۴۴	۴/۴۴	۵۶/۰	۱۳۵/۰	۹/۵۰	۹۸/۰	KC13318
۱۰/۱۰	۴/۳۳	۴۶/۶۰	۱۳۰/۰	۹/۰	۹۳/۰	KC13320
۱۰/۸۱	۵/۰۸	۴۲/۶۰	۱۳۹/۰	۱۰/۸۰	۱۳۳/۰	KC13335
۱۱/۰۲	۳/۸۰	۵۸/۰	۱۴۹/۰	۸/۰	۱۳۹/۰	KC13408
۱۱/۶۸	۵/۴۳	۴۳/۰	۱۳۶/۰	۱۱/۰	۱۲۸/۰	KC13557
۱۰/۵۵	۴/۴۰	۴۸/۰	۱۴۴/۰	۱۰/۱۰	۱۳۳/۰	KC13558
۱۱/۷۸	۵/۴۸	۴۳/۰	۱۳۶/۰	۱۱/۷۰	۱۲۶/۰	KC13580
۱۰/۴۳	۴/۷۴	۴۴/۰	۱۴۰/۰	۱۲/۲۰	۱۱۶/۰	KC13620
۱۱/۱۱	۴/۱۹	۵۳/۰	۱۴۲/۰	۱۰/۴۰	۱۲۲/۰	KC13624
۹/۰۳	۳/۷۶	۴۸/۰	۱۳۵/۰	۷/۹۰	۱۱۷/۰	KC13645
۷/۸۳	۳/۵۶	۴۴/۱۰	۱۳۳/۸۸	۹/۹۳	۸۷/۸۸	Aflak
۸/۲۱	۴/۰۶	۴۰/۳۳	۱۳۳/۳۸	۸/۳۶	۹۲/۵۳	Chamran
۸/۷۵	۳/۹۱	۴۴/۸۳	۱۳۴/۱۳	۹/۴۴	۸۹/۲۵	Chamran2
شرایط تنش						
۷/۳۴	۳/۷۳	۳۹/۴۰	۱۱۰/۰	۱۰/۷۰	۹۶/۲۵	KC13225
۷/۴۱	۳/۲۴	۴۱/۶۰	۱۰۸/۰	۹/۲۰	۱۰۴/۹۰	KC13315
۷/۸۴	۳/۰۹	۴۶/۴۰	۱۰۹/۰	۹/۹۰	۱۰۴/۹۰	KC13318
۸/۱۵	۳/۵۶	۴۲/۰	۱۰۸/۰	۱۱/۰	۱۰۵/۹۰	KC13319
۸/۳۷	۳/۴۵	۴۴/۶۰	۱۰۷/۰	۹/۶۰	۸۴/۹۰	KC13320
۶/۸۲	۳/۱۶	۴۳/۴۰	۱۱۷/۰	۱۰/۴۰	۶۶/۵۸	KC13361
۸/۰	۲/۹۷	۴۹/۰	۱۱۰/۰	۸/۴۰	۱۰۳/۹۱	KC13408
۶/۹۰	۳/۰۹	۴۷/۰	۱۰۸/۰	۹/۲۰	۹۶/۵۸	KC13553
۷/۲۷	۳/۰۷	۴۹/۴۰	۱۰۸/۰	۹/۰	۷۸/۲۵	KC13618
۶/۷۶	۳/۳۷	۴۲/۰	۱۰۷/۰	۱۱/۲۰	۱۰۳/۲۵	KC13620
۷/۱۲	۲/۶۸	۵۵/۶۰	۱۰۷/۰	۱۰/۰	۷۳/۲۵	KC13642
۵/۸۹	۲/۸۲	۴۴/۰	۱۰۷/۰	۹/۵۰	۷۸/۲۵	KC13643
۴/۹۸	۲/۷۷	۳۵/۹۵	۱۰۸/۵۰	۹/۱۶	۷۸/۰	Aflak
۵/۹۸	۳/۱۱	۳۸/۴۸	۱۰۸/۳۸	۸/۴۱	۷۷/۳۷	Chamran
۶/۰۵	۲/۹۴	۴۱/۲۸	۱۰۷/۲۵	۹/۱۳	۷۴/۳۷	Chamran2

وزن دانه پنج سنبله همچنین با صفات روز تا رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله (به ترتیب با $I = -0.41^{**}$ و $I = -0.48^{**}$) دارای همبستگی منفی بود. صفت وزن صد دانه بزرگ‌ترین همبستگی مثبت را با وزن دانه پنج سنبله داشت و با صفات روز تا رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله (به ترتیب با $I = -0.41^{**}$ و $I = -0.44^{**}$) دارای همبستگی منفی بود. تعداد دانه در سنبله نیز بزرگ‌ترین همبستگی مثبت را با وزن دانه پنج سنبله داشت و با صفات روز تا رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله (به ترتیب با $I = -0.20^{**}$ و $I = -0.25^{**}$) دارای همبستگی منفی بود.

در شرایط تنش، بزرگ‌ترین ضریب همبستگی بین صفات روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی کامل ($I = 0.80^{**}$) و وزن دانه پنج سنبله و تعداد دانه در سنبله ($I = 0.79^{**}$) مشاهده شد (شکل ۳b). لذا بزرگ‌ترین همبستگی با وزن دانه پنج سنبله برای صفت تعداد دانه در سنبله وجود داشت. وزن دانه پنج سنبله همچنین با صفات روز تا رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله (به ترتیب با $I = -0.32^{**}$ و $I = -0.45^{**}$) دارای همبستگی منفی بود. بزرگ‌ترین همبستگی صفت وزن صد دانه با صفت وزن دانه پنج سنبله ($I = 0.43^{**}$) مشاهده شد. تعداد دانه در سنبله با صفات روز تا

KC13318, KC13320, KC13645, KC13642 و KC13620 دارای بیشترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند. در مؤلفه اصلی دوم صفات تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله دارای بزرگترین ضریب مثبت بودند و صفت طول دوره پرشدن دانه ضریب منفی داشتند. این مؤلفه را می‌توان شاخص پتانسیل باروری سنبله علیرغم طول دوره پرشدن دانه کوتاه‌تر دانست. نمونه‌های ژنتیکی KC13408, KC13376, KC13409, KC13558 و KC13371 دارای بیشترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.

رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله (به‌ترتیب با $r = -0.42^{**}$ و $r = -0.51^{**}$) دارای همبستگی منفی بود. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط نرمال نشان داد که چهار مؤلفه اصلی ۷۷/۹۵ درصد از کل تغییرات را شامل شدند (جدول ۳). در مؤلفه اصلی اول صفات وزن دانه پنج سنبله، طول دوره پرشدن دانه، وزن صد دانه و تعداد دانه در سنبله دارای بزرگترین ضریب مثبت بودند و صفات ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله، ضریب منفی داشتند. بنابراین مؤلفه اصلی اول را می‌توان به‌عنوان شاخص عملکرد بالا همراه با رشد کوتاه‌تر و زودرس‌تر تفسیر کرد. نمونه‌های ژنتیکی



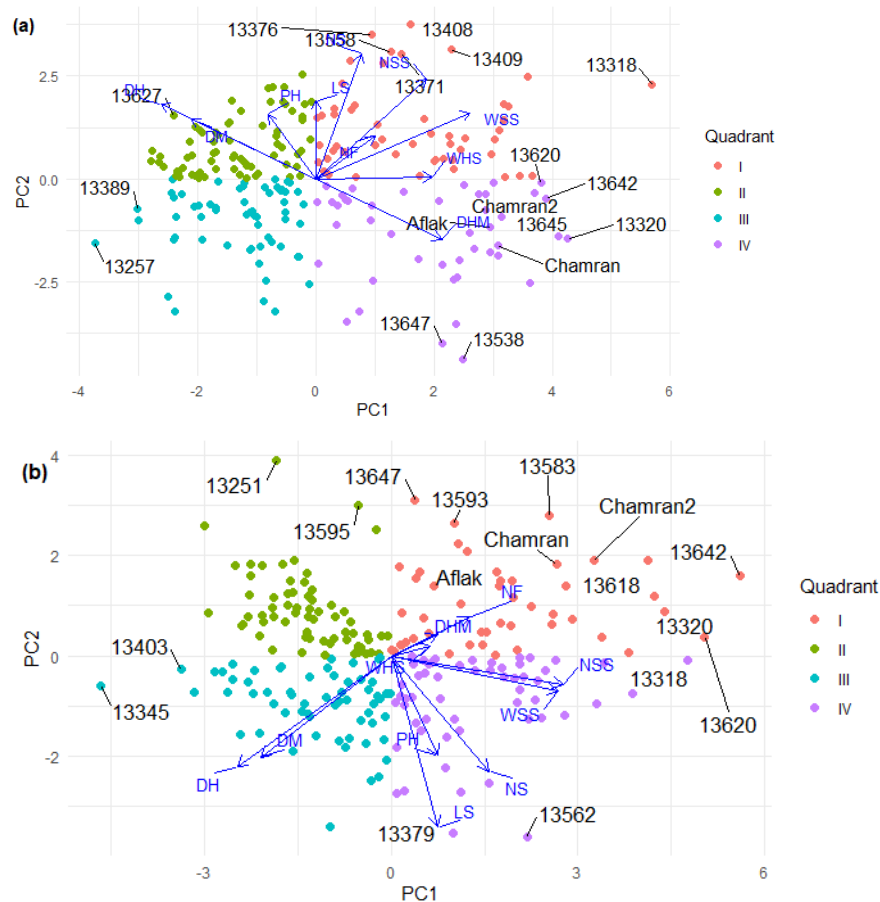
شکل ۳- نقشه دمایی ضرایب همبستگی بین صفات ارزیابی شده در نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال (a) و تنش گرمای انتهای فصل (b) در اهواز
PH: ارتفاع بوته، DH: روز تا ظهور سنبله، DM: روز تا رسیدگی کامل، DHM: طول دوره پرشدن دانه، LS: طول سنبله، NS: تعداد سنبلچه در سنبله، NF: تعداد گلچه در سنبلچه، NSS: تعداد دانه در سنبله، WHS: وزن صد دانه، WSS: وزن دانه پنج سنبله

جدول ۳- بردارهای ویژه در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات ارزیابی شده در نمونه‌های ژنتیکی گندم تحت تنش گرمای انتهایی فصل در اهواز

مؤلفه اصلی				
چهارم	سوم	دوم	اول	صفت
شرایط نرمال				
-۰/۵۷	۰/۴۱	۰/۲۷	-۰/۱۴	ارتفاع بوته
۰/۰	۰/۰۲	۰/۳۲	-۰/۴۶	روز تا ظهور سنبله
۰/۲۶	-۰/۱۲	۰/۲۵	-۰/۳۷	روز تا رسیدگی کامل
۰/۲۴	-۰/۱۴	-۰/۲۶	۰/۳۷	طول دوره پرشدن دانه
۰/۷۰	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۰	طول سنبله
-۰/۰۳	-۰/۰۹	۰/۵۳	۰/۱۴	تعداد سنبلچه در سنبله
-۰/۲۴	-۰/۵۴	۰/۱۸	۰/۱۸	تعداد گلچه در سنبلچه
-۰/۰۱	-۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۳۳	تعداد دانه در سنبله
-۰/۰۳	۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۳۵	وزن صد دانه
-۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۴۶	وزن دانه پنج سنبله
۱/۰۹	۱/۲۶	۲/۰۱	۳/۴۴	مقدار ویژه
۱۰/۸۷	۱۲/۶۱	۲۰/۰۹	۳۴/۳۸	واریانس توجیه شده (درصد)
۷۷/۹۵	۶۷/۰۸	۵۴/۴۷	۳۴/۳۸	واریانس توجیه شده تجمعی (درصد)
شرایط تنش				
۰/۳۶	۰/۰۲	-۰/۳۵	۰/۱۳	ارتفاع بوته
-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۳۹	-۰/۴۴	روز تا ظهور سنبله
-۰/۲۶	-۰/۴۳	-۰/۳۶	-۰/۳۷	روز تا رسیدگی کامل
-۰/۲۹	-۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۱۳	طول دوره پرشدن دانه
-۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۶۱	۰/۱۳	طول سنبله
-۰/۰۶	۰/۳۲	-۰/۴۱	۰/۲۸	تعداد سنبلچه در سنبله
-۰/۴۹	-۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۲۲	تعداد گلچه در سنبلچه
-۰/۲۴	۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۴۹	تعداد دانه در سنبله
۰/۶۳	-۰/۴۹	۰/۰۳	۰/۱۱	وزن صد دانه
۰/۱۱	-۰/۲۶	-۰/۱۳	۰/۴۸	وزن دانه پنج سنبله
۱/۱۴	۱/۳۵	۱/۵۰	۳/۱۳	مقدار ویژه
۱۱/۳۷	۱۳/۴۹	۱۴/۹۵	۳۱/۲۵	واریانس توجیه شده (درصد)
۷۱/۰۶	۵۹/۶۹	۴۶/۲۰	۳۱/۲۵	واریانس توجیه شده تجمعی (درصد)

در مؤلفه اصلی سوم صفات وزن صد دانه و ارتفاع بوته دارای بزرگترین ضریب مثبت بودند و صفات طول دوره پرشدن دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد گلچه در سنبلچه ضریب منفی داشتند. براین اساس مؤلفه اصلی سوم را می‌توان به عنوان شاخص درشتی دانه و ارتفاع گیاه در برابر تراکم بذر تعبیر کرد. نمونه‌های ژنتیکی KC13580، KC13222، KC13557، KC13602 و KC13325 دارای بیشترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.

در مؤلفه اصلی چهارم صفت طول سنبله دارای بزرگترین ضریب مثبت بود و صفت ارتفاع بوته ضریب منفی داشت. بنابراین مؤلفه اصلی چهارم را می‌توان به عنوان شاخص طول سنبله مستقل از ارتفاع بوته معرفی کرد. نمونه‌های ژنتیکی KC13542، KC13536، KC13302، KC13526 و KC13528 دارای بیشترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.



شکل ۴- نمودار دو طرفه مؤلفه‌های اصلی مبتنی بر صفات ارزیابی شده در نمونه‌های ژنتیکی گندم نان تحت شرایط نرمال (a) و تنش گرمای انتهای فصل (b) در اهواز
PH: ارتفاع بوته، DH: روز تا ظهور سنبله، DM: روز تا رسیدگی کامل، DHM: طول دوره پرشدن دانه، LS: طول سنبله، NS: تعداد سنبلچه در سنبله، NF: تعداد گلچه در سنبلچه، NSS: تعداد دانه در سنبله، WHS: وزن صد دانه، WSS: وزن دانه پنج سنبله

در مقابل، گروهی از نمونه‌های ژنتیکی که در هر دو مؤلفه مقادیر منفی داشتند (واقع در ربع سمت چپ پائین یا ناحیه سوم)، هم از نظر شاخص‌های عملکرد و هم از نظر پتانسیل باروری سنبله در سطح پایین‌تری قرار گرفتند. تعداد ۶۰ نمونه ژنتیکی در این ناحیه قرار گرفتند.

برخی نمونه‌ها (واقع در ربع سمت راست پائین یا ناحیه چهارم) علی‌رغم داشتن ظرفیت عملکرد بالا و زودرسی (مقادیر مثبت در مؤلفه اول)، از نظر پتانسیل باروری سنبله پایین‌تر بودند (مقادیر منفی در مؤلفه دوم). تعداد ۴۱ نمونه ژنتیکی به همراه ارقام شاهد در این ناحیه واقع شدند. بردار DHM (طول دور پرشدن دانه)، در ناحیه چهارم واقع شد که نشان‌دهنده همبستگی مثبت و منفی آن به ترتیب با مؤلفه اصلی اول و دوم می‌باشد.

بررسی پراکنش نمونه‌های ژنتیکی بر اساس دو مؤلفه اصلی اول در شرایط نرمال (شکل ۴a) نشان داد که برخی نمونه‌ها با مقادیر مثبت در هر دو مؤلفه (واقع در ربع سمت راست بالا یا ناحیه اول)، از ترکیبی از عملکرد بالای سنبله (به‌واسطه وزن بالای دانه پنج سنبله، طول دوره پرشدن دانه مناسب، وزن صد دانه بیشتر و تعداد دانه در سنبله زیاد) در کنار قامت کوتاه‌تر و زودرسی برخوردار بودند و همزمان پتانسیل باروری بالایی در سطح سنبله داشتند. تعداد ۵۲ نمونه ژنتیکی در این ناحیه واقع شدند. بردار صفات LS (طول سنبله)، NS (تعداد سنبلچه در سنبله)، NF (تعداد گلچه در سنبله)، NSS (تعداد دانه در سنبله)، WHS (وزن صد دانه) و WSS (وزن دانه پنج سنبله) در ناحیه اول واقع شدند که نشان‌دهنده همبستگی مثبت آنها با هر دو مؤلفه اصلی می‌باشد.

KC13246 و KC13592 دارای بزرگترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.

در مؤلفه اصلی چهارم صفات وزن صد دانه و ارتفاع بوته دارای بزرگترین ضریب مثبت بود و صفات تعداد دانه در سنبله، روز تا رسیدگی کامل، طول دوره پر شدن دانه ضریب منفی داشت. بنابراین مؤلفه اصلی چهارم نمایانگر اندازه و وزن دانه همراه با قامت بلندتر گیاه می‌باشد. نمونه‌های ژنتیکی KC13633، KC13342، KC13588، KC13513 و KC13262 دارای بزرگترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.

بر اساس پراکنش نمونه‌های ژنتیکی در بای پلات دو مؤلفه اصلی اول در شرایط تنش (شکل ۴b)، مشخص شد که گروهی از نمونه‌ها در بخش مثبت هر دو مؤلفه قرار گرفته (ربع سمت راست بالا یا ناحیه اول) و ترکیبی از ظرفیت بالای دانه‌دهی سنبله همراه با زودرسی، و نیز پتانسیل زایشی بالا در سطح سنبله همراه با قامت کوتاه‌تر و چرخه رشدی کوتاه‌تر را دارا بودند که می‌تواند آنان را به‌عنوان نمونه‌های برتر از نظر عملکرد و کارایی زایشی معرفی کند. تعداد ۴۴ نمونه ژنتیکی به‌همراه ارقام شاهد در این ناحیه واقع شدند. بردار صفات DHM (طول دوره پر شدن دانه)، NF (تعداد گلچه در سنبله) و WHS (وزن صد دانه) در این ناحیه قرار گرفتند که بیانگر همبستگی مثبت با هر دو مؤلفه اصلی می‌باشد.

در مقابل، گروهی از نمونه‌ها که در بخش منفی هر دو مؤلفه قرار داشتند (ربع سمت چپ پائین یا ناحیه سوم)، از نظر هر دو شاخص یادشده در سطح پایین‌تری قرار گرفتند و کمترین مزیت را نشان دادند. تعداد ۶۰ نمونه ژنتیکی در این ناحیه قرار گرفتند. بردار صفات DH (روز تا ظهور سنبله) و DM (روز تا رسیدگی کامل) در این ناحیه واقع شد که بیانگر همبستگی منفی این صفات با هر دو مؤلفه اصلی می‌باشد.

برخی نمونه‌ها با وجود قرارگیری در بخش مثبت مؤلفه اول و برخوردار از ظرفیت بالای دانه‌دهی و زودرسی، در مؤلفه دوم مقادیر منفی داشتند (ربع سمت راست پائین یا ناحیه چهارم) که بیانگر ضعف نسبی در پتانسیل زایشی در سطح گلچه و برخی صفات ساختاری مرتبط است. تعداد ۵۵ نمونه ژنتیکی در این ناحیه واقع شدند. بردار صفات PH (ارتفاع بوته)، LS (طول

در حالی که گروه دیگری (واقع در ربع چپ بالا یا ناحیه دوم) با وجود عملکرد پایین‌تر و دیررسی نسبی (مقادیر منفی در مؤلفه اول)، در شاخص‌های باروری سنبله برتری داشتند (مقادیر مثبت در مؤلفه دوم). این الگو نشان می‌دهد که ترکیب مطلوب هر دو مؤلفه می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و کارایی زایشی نقش کلیدی ایفا کند. تعداد ۷۱ نمونه ژنتیکی در این ناحیه قرار گرفتند. بردار صفات PH (ارتفاع بوته)، DH (روز تا ظهور سنبله) و DM (روز تا رسیدگی کامل) در ناحیه دوم واقع شدند، که نشان‌دهنده همبستگی منفی و مثبت به ترتیب با مؤلفه اصلی اول دوم می‌باشد.

در شرایط تنش، چهار مؤلفه اصلی ۷۱/۰۶ درصد از کل تغییرات را در بر گرفتند (جدول ۳). در مؤلفه اصلی اول صفات تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله بزرگترین ضریب مثبت را داشتند و صفات روز تا رسیدگی کامل و روز تا ظهور سنبله دارای ضریب منفی بودند. بنابراین مؤلفه اصلی اول شاخصی از ظرفیت دانه‌دهی سنبله همراه با زودرس بودن گیاه می‌باشد. نمونه‌های ژنتیکی KC13642، KC13620، KC13318، KC13320 و KC13618 دارای بزرگترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.

در مؤلفه اصلی دوم صفت تعداد گلچه در سنبله دارای بزرگترین ضریب مثبت بود و صفات ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی کامل، روز تا ظهور سنبله، تعداد سنبله در سنبله و طول سنبله ضریب منفی داشتند. لذا این مؤلفه اصلی نمایانگر پتانسیل زایشی در سطح گلچه در برابر کاهش قامت و کوتاه‌تر بودن چرخه رشدی می‌باشد. نمونه‌های ژنتیکی KC13647، KC13251، KC13595، KC13583 و KC13593 دارای بزرگترین مقدار عددی برای این مؤلفه اصلی بودند.

در مؤلفه اصلی سوم صفت تعداد سنبله در سنبله دارای بزرگترین ضریب مثبت بود و صفات روز تا رسیدگی کامل، وزن صد دانه و طول دوره پر شدن دانه ضریب منفی داشتند. براین اساس مؤلفه اصلی سوم شاخصی از افزایش تعداد سنبله در سنبله در مقابل کاهش اندازه دانه و کوتاه‌تر بودن دوره پر شدن می‌باشد. نمونه‌های ژنتیکی KC13588، KC13515، KC13589،

سنبله)، NS (تعداد سنبلچه در سنبله)، NSS (تعداد دانه در سنبله) و WSS (وزن دانه پنج سنبله) در این ناحیه قرار گرفت که بیانگر همبستگی مثبت و منفی این صفات به ترتیب با مؤلفه اصلی اول و دوم می باشد.

برعکس، نمونه هایی که در مؤلفه اول مقادیر منفی اما در مؤلفه دوم مقادیر مثبت داشتند (ربع سمت چپ بالا یا ناحیه دوم)، علی رغم ظرفیت پایین تر دانه دهی و دیررسی، از نظر ویژگی های زایشی در سطح گلچه و برخی صفات مورفولوژیک مطلوب تر بودند. تعداد ۶۵ نمونه ژنتیکی در این ناحیه قرار گرفتند.

نمونه های ژنتیکی با انجام تجزیه خوشه ای (K means) در ۶ گروه قرار گرفتند (جدول ۴). گروه اول شامل چهار عضو بود و ویژگی آن، دارا بودن بیشترین میانگین روز تا رسیدگی کامل، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد گلچه در سنبلچه و تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال، بیشترین میانگین طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط تنش، کمترین میانگین ارتفاع بوته در شرایط نرمال و کمترین میانگین وزن صد دانه در شرایط تنش بود. گروه دوم، ۳۳ عضو را شامل شد. این گروه دارای بیشترین میانگین وزن صد دانه و وزن دانه پنج سنبله در شرایط نرمال و بیشترین میانگین ارتفاع بوته و وزن صد دانه در شرایط تنش بود. گروه سوم، ۱۵ نمونه ژنتیکی را به همراه سه رقم شاهد در برگرفت. این گروه دارای بیشترین میانگین طول دوره پرشدن دانه در شرایط نرمال، بیشترین میانگین طول دوره پرشدن دانه، تعداد گلچه در سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله در شرایط تنش، کمترین میانگین روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی کامل، طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله در شرایط نرمال، و کمترین میانگین روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدگی

کامل در شرایط تنش بود. گروه چهارم مشتمل بر ۵۰ نمونه ژنتیکی بود. این گروه دارای کمترین میانگین تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال، و کمترین میانگین ارتفاع بوته و طول دوره پرشدن دانه در شرایط تنش بود. تعداد ۴۰ نمونه ژنتیکی در گروه پنجم قرار گرفتند. این گروه با ویژگی کمترین میانگین وزن دانه پنج سنبله در شرایط نرمال، و کمترین میانگین تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه پنج سنبله در شرایط تنش شناخته شد. گروه ششم، با تعداد ۸۲ نمونه ژنتیکی تشکیل شد و دارای بیشترین میانگین ارتفاع بوته و روز تا ظهور سنبله و کمترین میانگین طول دوره پرشدن دانه و وزن صد دانه در شرایط نرمال، و بیشترین میانگین روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدگی کامل در شرایط تنش بود.

نمونه های ژنتیکی براساس تقسیم بندی حاصل از تجزیه خوشه ای در نمودار مقیاس بندی چندبعدی تفکیک شدند (شکل ۵). همانطور که مشاهده می شود گروه ها تمایز مناسبی از یکدیگر نشان دادند که دقت تجزیه خوشه ای را تأیید می نماید.

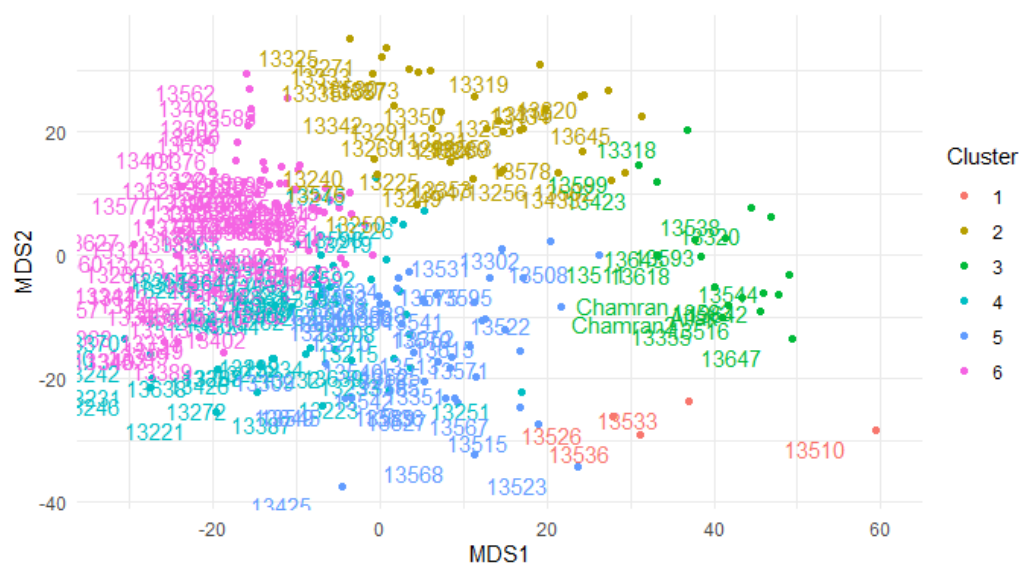
نتایج این پژوهش نشان دهنده ی پتانسیل بسیار بالای ژرم پلاسما گندم در تحمل به تنش گرمای انتهایی فصل بود. براین اساس تعداد قابل توجهی از نمونه های مورد مورد بررسی در چندین صفت مهم عملکردی و فنولوژیک، عملکردی بهتر از ارقام شاهد داشتند. این امر، اهمیت این ذخایر ژنتیکی به عنوان منبعی ارزشمند از ژن های مرتبط با تحمل به گرما را به خوبی نشان می دهد. در پژوهش های پیشین نیز به نقش حیاتی ذخایر ژنتیکی گندم در افزایش تنوع ژنتیکی و به ویژه در مواجهه با تنش های غیرزنده، به ویژه گرما، اشاره شده است (Zahravi et al. 2021; Amirbakhhtiar et al. 2023; Torabi et al. 2023).

جدول ۴- میانگین صفات در گروه های حاصل از تجزیه خوشه ای نمونه های ژنتیکی گندم نان به روش K means در ارزیابی برای تحمل به تنش گرمای انتهایی فصل در

اهواز

صفت	خوشه					
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
شرایط نرمال						
ارتفاع بوته (سانتی متر)	۶۰/۵۰	۱۲۱/۱۴	۹۳/۵۴	۱۲۵/۵۴	۱۰۱/۰۲	۱۲۶/۷۴
روز تا ظهور سنبله (روز)	۱۱۵/۵۰	۱۰۱/۴۲	۹۱/۶۹	۱۱۸/۵۲	۱۱۵/۸۵	۱۲۲/۲۸

روز تا رسیدگی کامل (روز)	۱۵۱/۰	۱۳۵/۸۵	۱۳۳/۰۸	۱۴۴/۱۶	۱۴۳/۹۸	۱۴۶/۴۱
طول دوره پرشدن دانه (روز)	۳۵/۵۰	۳۴/۴۲	۴۱/۳۸	۲۵/۶۴	۲۸/۱۳	۲۴/۱۳
طول سنبله (سانتیمتر)	۱۰/۸۵	۹/۹۴	۸/۹۷	۹/۹۳	۱۰/۴۴	۹/۷۲
تعداد سنبلیچه در سنبله	۱۹/۶۰	۱۹/۲۲	۱۷/۳۰	۱۷/۸۲	۱۷/۴۸	۱۸/۷۶
تعداد گلچه در سنبلیچه	۳/۲۵	۳/۰۱	۳/۲۱	۳/۰۲	۳/۰۱	۳/۰۵
تعداد دانه در سنبله	۴۵/۲۵	۳۹/۸۳	۴۰/۴۴	۳۲/۲۲	۳۳/۱۱	۳۶/۲۸
وزن صد دانه (گرم)	۳/۲۰	۴/۵۱	۳/۸۵	۳/۶۶	۳/۳۲	۳/۱۷
وزن دانه پنج سنبله (گرم)	۷/۱۹	۹/۰۲	۷/۸۴	۵/۸۸	۵/۵۴	۵/۷۸
شرایط تنش						
ارتفاع بوته (سانتیمتر)	۹۰/۷۵	۱۰۳/۱۵	۸۲/۵۱	۷۴/۸۰	۸۵/۴۴	۹۷/۱۱
روز تا ظهور سنبله (روز)	۹۴/۵۰	۸۴/۷۳	۸۲/۰	۹۶/۰۴	۹۴/۶۳	۹۸/۰۵
روز تا رسیدگی کامل (روز)	۱۱۶/۵۰	۱۰۹/۶۷	۱۰۸/۳۴	۱۱۷/۶۲	۱۱۷/۹۸	۱۲۰/۵۹
طول دوره پرشدن دانه (روز)	۲۲/۰	۲۴/۹۴	۲۶/۳۴	۲۱/۵۸	۲۳/۳۵	۲۲/۵۴
طول سنبله (سانتیمتر)	۱۰/۱۰	۹/۷۱	۸/۷۶	۹/۲۸	۹/۰۵	۹/۴۶
تعداد سنبلیچه در سنبله	۱۸/۷۰	۱۷/۹۲	۱۶/۸۲	۱۶/۲۱	۱۵/۸۳	۱۷/۰۹
تعداد گلچه در سنبلیچه	۳/۰	۳/۰۴	۳/۱۹	۳/۰	۳/۰۲	۳/۰
تعداد دانه در سنبله	۳۵/۰	۳۴/۱۵	۳۹/۰۱	۲۶/۳۲	۲۵/۶۶	۲۸/۱۵
وزن صد دانه (گرم)	۲/۷۲	۳/۰۳	۲/۹۰	۲/۹۹	۲/۷۹	۲/۸۳
وزن دانه پنج سنبله (گرم)	۴/۳۱	۵/۲۶	۵/۵۹	۳/۸۶	۳/۳۲	۴/۰۹



شکل ۵- تفکیک نمونه‌های ژنتیکی گندم نان در نمودار دو طرفه مبتنی بر تجزیه مقیاس‌بندی چند بعدی در ارزیابی تحت تنش گرمای انتهای فصل در اهواز

دماهای بحرانی، بخش عمده‌ای از فرایند پر شدن دانه را تکمیل کند.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ترکیب صفات مرتبط با عملکرد (وزن دانه پنج سنبله، وزن صد دانه، تعداد دانه) همراه با زودرسی و قامت کوتاه‌تر، شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط نرمال و تنش است. این موضوع با نتایج گزارش شده توسط زهراوی و همکاران (Zahravi et al. 2021) و امیربختیار و همکاران (Amirbakhtiar et al. 2023) هم‌راستا است که در آن‌ها مؤلفه‌های اصلی به خوبی توانستند تنوع ژنتیکی را بر اساس صفات کلیدی عملکردی و فنولوژیک تفکیک کنند.

تحلیل بای‌پلات در هر دو شرایط نشان داد که ژنوتیپ‌های واقع در ربع اول (مقادیر مثبت در هر دو مؤلفه اصلی) بهترین ترکیب عملکرد بالا و پتانسیل باروری سنبله را داشتند. این الگو تأکید می‌کند که گزینش همزمان بر اساس هر دو مؤلفه می‌تواند منجر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی شود که هم از لحاظ پایداری عملکرد و هم از لحاظ توان تولید بذر در شرایط تنش برتر هستند.

نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز ژنوتیپ‌ها را به گروه‌های متمایزی تقسیم کرد که برخی از آن‌ها ویژگی‌های بارزی مانند بیشترین میانگین وزن دانه پنج سنبله یا بیشترین تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش داشتند. گروه‌بندی حاصل با گزارش رضایی‌زاده و همکاران (Rezaeizadeh et al. 2020) و امیربختیار و همکاران (Amirbakhtiar et al. 2023) مطابقت دارد که نشان دادند تجزیه خوشه‌ای می‌تواند ابزار موثری در شناسایی گروه‌های ژرم پلاسما با الگوهای پاسخ مشابه به تنش باشد.

به‌طور کلی، یافته محوری این پژوهش آن است که ژرم پلاسما گندم، دارای توان بالقوه بالایی برای تحمل گرما و بهبود عملکرد در شرایط تنش است. شناسایی این نمونه‌ها، نه تنها ارزش علمی در شناخت مکانیسم‌های مقاومت به گرما دارد، بلکه از دیدگاه عملی، ذخیره ژنتیکی بسیار ارزشمندی را برای آینده اصلاح گندم در شرایط تغییرات اقلیمی فراهم می‌کند. همچنین نشان داد که صفاتی مانند وزن صد دانه، تعداد دانه در سنبله و زودرسی می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های کلیدی در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرما مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این،

چنین ژنوتیپ‌هایی به دلیل سازگاری طولانی‌مدت با شرایط اقلیمی محلی، اغلب دارای مکانیسم‌های پیچیده و مؤثری برای مقابله با تنش گرما هستند که می‌توانند به‌عنوان منبع ژرم پلاسما در برنامه‌های به‌نژادی استفاده شوند.

در تحقیق حاضر، اعمال تنش گرمایی انتهای فصل منجر به کاهش معنی‌دار میانگین تمام صفات مورد بررسی شد که بیشترین کاهش مربوط به وزن دانه پنج سنبله و ارتفاع بوته بود. این یافته با گزارش امید و همکاران (Omidi et al. 2015) و رضایی‌زاده و همکاران (Rezaeizadeh et al. 2020) همخوانی دارد که بیان کردند عملکرد و اجزای آن به شدت تحت تأثیر تنش گرما قرار می‌گیرند و صفاتی مانند وزن هزار دانه و ارتفاع بوته از جمله صفات حساس به این تنش هستند. کاهش شدید وزن دانه پنج سنبله در تحقیق حاضر می‌تواند ناشی از اختلال در فرایند پر شدن دانه تحت اثر دمای بالا باشد که منجر به کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه و کاهش تجمع مواد فتوسنتزی در بذر می‌شود (Asadalazadeh et al. 2019).

کاهش دامنه تغییرات صفات در شرایط تنش (به جز در موارد معدود مانند تعداد دانه در سنبله) بیانگر اثر محدودکننده تنش گرما بر بروز تنوع ژنتیکی قابل مشاهده است. با این حال، وجود تعداد قابل توجهی نمونه برتر نسبت به ارقام شاهد، به‌ویژه در صفاتی چون وزن صد دانه و تعداد دانه در سنبله، نشان می‌دهد که می‌توان با انتخاب ژرم پلاسما دارای این ویژگی‌ها، تحمل به گرما را در برنامه‌های به‌نژادی افزایش داد (Arshad et al. 2013; Torabi et al. 2023).

تحلیل همبستگی نشان داد که وزن دانه پنج سنبله در هر دو شرایط نرمال و تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن صد دانه و تعداد دانه در سنبله داشت و با صفات فنولوژیک دیررسی (روز تا ظهور سنبله و روز تا رسیدگی کامل) همبستگی منفی نشان داد. این یافته مشابه گزارش امیربختیار و همکاران (Amirbakhtiar et al. 2023) است که نشان دادند زودرسی می‌تواند یکی از مکانیزم‌های فرار از تنش گرما باشد و ژنوتیپ‌های زودرس اغلب عملکرد بالاتری در شرایط تنش دارند. همبستگی منفی بین وزن دانه و صفات دیررسی بیانگر این است که کوتاه‌تر بودن چرخه رشدی به گیاه اجازه می‌دهد قبل از وقوع

ارزشمندی برای برنامه‌های به‌نژادی گندم در مناطق گرم و خشک فراهم می‌سازد.

استفاده همزمان از تحلیل‌های همبستگی، مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌ای، قدرت تفکیک بالایی در شناسایی ژرم پلاسما برتر ایجاد می‌کند. نتایج حاضر ضمن تأیید یافته‌های پیشین، اطلاعات

منابع

- Aasadalazadeh R, Hatami A, Naderi A (2019) Effect of drought and heat stress on grain yield and components yield of wheat genotypes. *Crop Physiology Journal* 11:119-138. (In Farsi).
- Akter N, Rafiqul Islam M (2017) Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37:37.
- Amirbakhtiar N, Zahravi M, Arshad Y, Mahdavi Majd J, Afraz MH (2023) Identification of bread wheat accessions tolerant to terminal heat stress. *Cereal Research* 13:231-247 (In Farsi).
- Arshad Y., Zahravi M., Abadouz Gh. (2013) Identification of heat stress-tolerant sources in wheat relatives. *Journal of Crop Production Research* 4:97-108. (In Farsi).
- Bergkamp B, Impa SM, Asebedo AR, Fritz AK, Jagadish SK (2018) Prominent winter wheat varieties response to post-flowering heat stress under controlled chambers and field based heat tents. *Field Crops Research* 222:143-152.
- Chaves MS, Martinelli JA, Wesp-Guterres C, Graichen FAS, Brammer SP, Scagliusi SM, da Silva PR, Wiethölter P, Torres GAM, Lau EY, Consoli L (2013) The importance for food security of maintaining rust resistance in wheat. *Food Security* 5:157-176.
- De Costa WAJM (2011) A review of the possible impacts of climate change on forests in the humid tropics. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 39:281-302.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) (1978). Descriptors for wheat and Aegilops. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy.
- Iqbal M, Raja NI, Yasmeen F, Hussain M, Ejaz M, Shah MA (2017) Impacts of heat stress on wheat: A critical review. *Advances in Crop Science and Technology* 5:1-9.
- Kamrani M, Hoseini Y, Ebadollahi A (2018) Evaluation for heat stress tolerance in durum wheat genotypes using stress tolerance indices. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64:38-45.
- Khan AA, Kabir MR (2014) Evaluation of spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) for heat stress tolerance using different stress tolerance indices. *Cercetări Agronomice în Moldova* 47:49-63.
- Lamba K, Kumar M, Singh V, Chaudhary L, Sharma R, Yashveer S, Dalal MS (2023) Heat stress tolerance indices for identification of the heat tolerant wheat genotypes. *Scientific Reports* 13:10842.
- Liu B, Asseng S, Liu L, Tang L, Cao W, Zhu Y (2016) Testing the responses of four wheat crop models to heat stress at anthesis and grain filling. *Global Change Biology* 22:1890-1903.
- Liu Z, Qin J, Tian X, Xu S, Wang Y, Li H, Wang X, Peng H, Yao Y, Hu Z, Ni Z (2018) Global profiling of alternative splicing landscape responsive to drought, heat and their combination in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biotechnology Journal* 16:714-726.
- Lopes MS, El-Basyoni I, Baenziger PS, Singh S, Royo C, Ozbek K, Aktas H, Ozer E, Ozdemir F, Manickavelu A, Ban T (2015) Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of Experimental Botany* 66:3477-3486.
- Ni Z, Li H, Zhao Y, Peng H, Hu Z, Xin M, Sun Q (2018) Genetic improvement of heat tolerance in wheat: Recent progress in understanding the underlying molecular mechanisms. *Crop Journal* 6:32-41.
- Omidi M, Siahpoosh MR, Mamghani R, Modarresi M (2015) Heat tolerance evaluating of wheat cultivars using physiological characteristics and stress tolerance indices in Ahvaz climatic conditions. *Plant Production* 38:103-113. (In Farsi).
- Ortiz-Monasterio JI, Palacios-Rojas N, Meng E, Pixley K, Trethowan R, Peña RJ (2007) Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science* 46:293-307. (In Farsi).
- Poudel PB, Poudel MR (2020) Heat stress effects and tolerance in wheat: A review. *Journal of Biology Today's World* 9:1-6. (In Farsi).
- Rahaie M, Xue GP, Schenk PM (2013) The role of transcription factors in wheat under different abiotic stresses. In: Vahdati K, Leslie C (eds) *Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture*. IntechOpen, pp 367-385. (In Farsi).
- Rezaeizadeh A, Mohammadi V, siahpoosh M, Ahmadi A (2020) The response of Iranian spring wheat cultivars to heat stress at anthesis and grain filling stages. *Journal of Crop Breeding*. 12:102-109. (In Farsi).
- Sharma D, Singh R, Tiwari R, Kumar R, Gupta V (2019) Wheat responses and tolerance to terminal heat stress: A review. In: Hasanuzzaman M, Nahar K, Hossain MA (eds) *Wheat Production in Changing Environments: Responses, Adaptation and Tolerance*, pp 149-173. (In Farsi).
- Torabi M, Navabpour S, Yarahmadi S (2023) Evaluation of wheat genotype tolerance to late-season heat stress. *Journal of Plant Production Research* 29:25-43. (In Farsi).
- Ullah A, Nadeem F, Nawaz A, Siddique KH, Farooq M (2022) Heat stress effects on the reproductive physiology

and yield of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 208:1-17.

Yadav MR, Choudhary M, Singh J, Lal MK, Jha PK, Udawat P, Gupta NK, Rajput VD, Garg NK, Maheshwari C, Hasan M (2022) Impacts, tolerance, adaptation, and mitigation of heat stress on wheat under changing

climates. *International Journal of Molecular Sciences* 23:2838.

Zahravi M, Amirbakhtiar N, Arshad Y, Mosharraf Ghahfarrokhi G, Ahmadi M. (2021) Identification of heat tolerant genetic sources in bread wheat germplasm. *Journal of Crop Breeding*. 13:228-238. (In Farsi).