

## بررسی مقاومت به خشکی لاین‌های مختلف گندم نان با استفاده از صفات آگروفیزیولوژیک و شاخص انتخاب جامع

عزت‌اله فرشادفر<sup>۱\*</sup>، رضا امیری<sup>۲</sup>

۱. استاد دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۰۴

### چکیده

به منظور مطالعه و شناسایی معیارهای آگروفیزیولوژیک مؤثر در تحمل تنش خشکی (عملکرد دانه، پارامترهای تبادلات گازی، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید)، آزمایشی روی ۱۹ نژاد بومی گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و تحت دو شرایط آبی و دیم در فصل زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه به میزان ۲۲/۸۶ گردید اما در عوض موجب افزایش پرولین به میزان بیش از ۲۵۳ درصد نسبت به شرایط آبی شد. تمامی صفات مطالعه شده مرتبط با تبادلات گازی در شرایط دیم نسبت به شرایط آبی با کاهش مواجه شدند، به طوری که هدایت روزنه‌ای با حدود ۴۵ درصد بیشترین کاهش را داشت. بر اساس نتایج، شاخص انتخاب جامع (ISI) ژنوتیپ‌های شماره ۴ (WC-4530)، ۹ (WC-47381)، ۱۸ (WC-47636) و ۱۱ (WC-4566) را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مبتنی بر تمام صفات مورد مطالعه معرفی کرد. همچنین نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که شاخص انتخاب جامع دارای ارتباط نزدیکی با صفات محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئید، دمای سطح برگ، میزان پرولین، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه در هر دو شرایط بود. بنابراین، به کمک بای‌پلات، این صفات به‌عنوان صفات برتر در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تبادلات گازی، عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای.

### مقدمه

طی دوره گرده‌افشانی تا مرحله خمیری نرم می‌باشند (Yang and Zhang, 2006). گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2001) ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد دو ژنوتیپ گندم را تحت شرایط تنش در مراحل آبستنی و گرده‌افشانی مطالعه و گزارش کردند که تعداد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از جمله صفاتی هستند که تحت شرایط تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی، بیشتر کاهش پیدا می‌کنند.

در ایران و به‌خصوص در کرمانشاه که جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌گردد، تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و در اواخر فصل رشد سبب نقصان چشم‌گیر

گندم نان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات راهبردی و تأمین‌کننده غذای اصلی حدود یک‌سوم جمعیت جهان به‌ویژه ایران، نقش مهمی در امنیت غذایی و کاهش فقر و در نهایت بر اقتصاد جوامع بشری دارد، اما متأسفانه میزان تولید آن به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه تنش خشکی قرار می‌گیرد که در نهایت منجر به بروز مشکلات اقتصادی و اجتماعی نیز می‌گردد (Ilker et al., 2011). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی و محدودکننده تولید محصولات زراعی از جمله گندم است که گاهی سبب کاهش محصول به میزان قابل‌توجهی می‌گردد. گرچه خشکی می‌تواند در هر زمانی رخ دهد، اما گندم اغلب حساس به محدودیت آب در

فتوسنتز گردد (Behra et al., 2002). تجمع پرولین در برگ‌های تحت تنش قرارگرفته یکی دیگر از پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی بوده که در تنظیم اسمزی نقش دارد (Sanchez et al., 2003)؛ بنابراین، ارزیابی خصوصیات بیوشیمیایی از جمله محتوای اسیدآمینو پرولین و پایداری کلروفیل می‌تواند به‌عنوان یک معیار تحمل خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Siosemardeh et al., 2003; Aghae-Sarbarzeh et al., 2008). به‌طور کلی در مطالعات مختلفی اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک مطالعه و ابراز شده است که تنش خشکی اثر بارز و اغلب کاهنده بر بیشتر صفات فیزیولوژیک دارد (Aghae-Sarbarzeh et al., 2008; Amiri et al., 2013; Abdoli et al., 2013).

محققان همواره به دنبال معیارهایی هستند که بتوانند از طریق آن‌ها یک انتخاب جامع از نظر صفاتی که مطالعه می‌کنند را داشته باشند و در نهایت باعث بهبود عملکرد دانه و سایر صفات زراعی گردند (Khakwani et al., 2011). شاخص انتخاب جامع<sup>۱</sup> یا ISI و روش رتبه‌بندی از معیارهایی هستند که می‌تواند با واسطه صفات فیزیولوژیکی، زراعی و یا مورفولوژیکی در دستیابی به این هدف کمک کند (Farshadfar et al., 2012).

از طرف دیگر، امروزه اهمیت وارپته‌های بومی به‌واسطه دارا بودن ژن‌ها و صفات مفید، بیش‌ازپیش بر متخصصان آشکار است؛ چراکه به اعتقاد چکارلی و همکاران (Ceccarelli et al., 1998)، استفاده از ژرم‌پلاسم محلی و سازگار با هر منطقه و در نهایت گزینش در محیط‌های مورد هدف، مؤثرترین روش بهبود تولید گیاهان زراعی است که در شرایط نامطلوب محیطی رشد می‌یابند. اگر ثبات عملکرد این‌چنین وارپته‌هایی در طی آزمایش‌های مختلف به اثبات برسد، می‌توان از ظرفیت آن‌ها به‌عنوان منبع ژن‌های متحمل به خشکی بهره گرفت (Haddadin, 2015). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در خصوص به دست آوردن ژنوتیپ‌های سازگار گندم در شرایط دیم از طریق وارپته‌های بومی و خویشاوندان وحشی به‌عنوان منابع اصلی تحمل به خشکی انجام شده است (Mohammadi, 2008). هدف از این مطالعه بررسی تنوع در پاسخ ۱۹ ژنوتیپ و نژاد بومی گندم نان به تنش خشکی بر اساس برخی از صفات آگروفیزیولوژیک

عملکرد می‌گردد؛ بنابراین، مطالعه و بررسی جنبه‌های مختلف مرتبط با خشکی در گندم که یکی از راه‌کارهای مقابله با عوارض این تنش است، بیش‌ازپیش احساس می‌شود؛ چراکه می‌توان با بررسی این جنبه‌ها که با پایداری عملکرد در شرایط تنش مرتبط هستند، صفات مناسب را انتخاب و از طریق آن‌ها اقدام به گزینش ژنوتیپ‌ها و در نهایت توسعه ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش خشکی نمود (Amiri et al., 2013). به‌عبارت‌دیگر، می‌توان کارایی گزینش برای تحمل خشکی را از طریق صفات ثانویه‌ای بهبود بخشید که اندازه‌گیری آن‌ها ساده باشد و نیز دارای وراثت‌پذیری و همبستگی ژنتیکی بالایی با عملکرد در شرایط تنش خشکی باشند (Robin et al., 2003).

صفات فیزیولوژیک دارای نقش ویژه‌ای در افزایش عملکرد دانه در طی برنامه‌های اصلاحی می‌باشند و یکی از جذاب‌ترین روش‌ها در توسعه وارپته‌های متحمل به خشکی معرفی شده است (Araus et al., 2008) به‌طوری‌که شناسایی و استفاده از صفات خاص فیزیولوژیک در برنامه‌های به‌نژادی و تولید ارقام دارای ویژگی‌های سازگار با شرایط تنش خشکی، یکی از مراحل مهم در مطالعات تنش خشکی است. از شاخص‌های فیزیولوژیک مهم مرتبط با تنش خشکی می‌توان به‌سرعت فتوسنتز، غلظت کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء سلولی، میزان پرولین، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، دمای برگ و... اشاره کرد. در این میان، توانایی حفظ سطح بهینه فتوسنتز در شرایط تنش‌های محیطی، به‌عنوان عامل تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان زراعی (Lawlor, 1995)، بسیار کلیدی است چراکه با افزایش تنش خشکی و به دنبال بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز کاهش یافته و در نتیجه منجر به اثرگذاری بر عملکرد می‌گردد (Atteya, 2003).

کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II که به‌صورت نسبت  $F_v/F_m$  (نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس ماکزیمم) بیان می‌شود، یک شاخص مفید است که برای ارزیابی وضعیت سیستم فتوسنتزی گیاه استفاده می‌گردد. البته میزان کلروفیل نیز یکی از عامل‌های مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان است. گزارش‌ها حاکی از آن است که کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای، منجر به کاهش

برگ‌ها ثبت گردید. همچنین هدایت روزنه‌ای، دمای سطح برگ، سرعت فتوسنتز و غلظت دی‌اکسید کربن اتاکنک زیر روزنه توسط دستگاه پرومتر (Li-1600; LI-COR Inc., Lincoln, NE) بین ساعات ۹-۱۲ مورد سنجش قرار گرفت.

### شاخص انتخاب جامع یا ISI

این شاخص بر اساس تجزیه عاملی صفات مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی و با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Hao et al., 2011):

$$S_{ij} = (X_{ij} - \mu_j) / \sigma_j \quad [1]$$

$$MP_{ij} = (S_{ij}d + S_{ij}w) / 2 \quad [2]$$

$$ISI_i = b_1MP_{i1} + b_2MP_{i2} + \dots + b_jMP_{ij} \quad [3]$$

که در آن،  $S_{ij}$  برابر است با مقدار فیزیولوژیکی استاندارد صفت  $Z$  ( $j=1$  تا  $12$ )؛ یعنی  $12$  صفت مورد مطالعه) در ژنوتیپ  $i$  تحت شرایط بدون تنش ( $w$ ) و دیم ( $d$ )؛  $X_{ij}$  برابر است با مقدار فیزیولوژیکی ژنوتیپ  $i$  از نظر صفت  $Z$ ؛  $\mu_j$  برابر است با میانگین مقدار صفت  $Z$  در همه رقم‌ها؛  $\sigma_j$  برابر است با انحراف معیار صفت  $Z$ ؛  $MP_{ij}$  برابر است با میانگین تولید صفت  $Z$  در ژنوتیپ  $i$ ؛  $b_j$  عبارت است از مقدار ارزش صفت  $Z$ ؛  $b_j$  از مجموع میانگین سهم فاکتور ۱ و شاخص انتخاب جامع یا ISI به دست آمده است. فرمول (۱) مقدار صفات مختلف را از نظر واحدهای آن‌ها یکسان می‌کند، فرمول (۲) نمود هر ژنوتیپ از نظر هر صفت را بررسی می‌کند و فرمول (۳) نمود ژنوتیپ‌ها از نظر همه صفات را ادغام می‌کند.

درصد تغییرات در صفات به دلیل تنش خشکی، از طریق تقسیم مقدار کاهش هر صفت در اثر شرایط دیم، بر همان صفت در محیط آبی و ضرب عدد حاصل در ۱۰۰ محاسبه گردید. شدت تنش (Stress intensity) بر طبق معادله ۴ محاسبه گردید:

$$\text{Stress intensity} = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p) \quad [4]$$

که در آن  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب عبارت‌اند از میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط آبی و محیط دیم (Fischer and Maurer, 1978).

تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با روش LSD و تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی رتبه به ترتیب با نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد. انحراف معیار رتبه‌ها (SDR) از طریق معادله ۵ زیر محاسبه شد:

و نیز بررسی امکان گزینش صفات آگروفیزیولوژیک برتر با استفاده از شاخص انتخاب جامع در شناسایی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه روی ۱۹ ژنوتیپ شامل یک رقم و ۱۸ نژاد بومی گندم نان (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو شرایط شامل شرایط دیم و شرایط بدون تنش رطوبتی انجام شد. عملیات کاشت در اواخر آبان ۱۳۹۰ به صورت دستی در واحدهای آزمایشی با پنج خط کاشت به طول دو متر و فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۴۰۰ بذر در مترمربع صورت گرفت. در طول دوره اجرای طرح از هیچ نوع کودی استفاده نشد. کنترل علف‌های هرز به‌طور تلفیقی دستی و استفاده از علف‌کش توفوردی قبل از مرحله ساقه‌دهی گندم انجام شد. در شرایط بدون تنش، پس از قطع بارندگی‌های بهاره، آبیاری بر اساس نیاز منطقه در مراحل ظهور سنبله، گلدهی و پرشدن دانه صورت گرفت. میزان بارش در این سال زراعی حدود ۳۰۹ میلی‌متر بود. در مرحله رسیدن فیزیولوژیک، دو ردیف میانی از هر واحد آزمایشی در هر دو شرایط آبی و دیم برداشت و بعد از کوبیدن با خوشه‌کوب تحقیقاتی، وزن کل بذرهای آن به‌عنوان عملکرد دانه در سطح در نظر گرفته و واحد آن به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد.

مطالعه صفات فیزیولوژیک دو هفته پس از آخرین بارندگی و ادامه آبیاری‌های محیط فاقد تنش انجام شد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) از روش اگرت و توینی (Egert and Tevini, 2002)، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچتن تالر و ولبرن (Lichtenthaler and Wellburn, 1983)، مقدار پرولین از روش مبتنی بر واکنش با معرف ناین هیدرین و اسپکتروفتومتری (Bates et al., 1973) و پایداری غشاء سلولی از روش بلوم و ابرکان (Blum and Ebercon, 1981) استفاده شد. اندازه‌گیری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II توسط دستگاه فلورومتر (استرس سنچ) قابل حمل (PSM; Hansanthech, UK) و در ساعات ۱۰ الی ۱۲ بدین صورت انجام شد که بعد از قرار دادن گیره مخصوص به مدت ۲۰ دقیقه روی قسمت میانی برگ پرچم سه بوته تصادفی، مقدار فلورسانس کلروفیل

ژنوتیپ و  $(S_i^2)^{0.5}$  SDR= مجموع رتبه (RS) برابر است با میانگین رتبه  $(\bar{R} i)$  + انحراف معیار رتبه (SDR) (Farshadfar and Elyasi, 2012).

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (R_{ij} - \bar{R}_i.)^2}{1 - 1} \quad [5]$$

که در آن  $R_{ij}$  عبارت است از رتبه تحمل خشکی و  $\bar{R}_i$  عبارت است از میانگین رتبه همه معیارهای تحمل خشکی برای هر

جدول ۱. شماره و نام ژنوتیپ‌های مطالعه شده

Table 1. Code and name of the studied genotypes

شماره Code	نام Name	شماره Code	نام Name
1	WC-4823	11	WC-4566
2	WC-4780	12	WC-4584
3	WC-5047	13	WC-47456
4	WC-4530	14	WC-47628
5	WC-5053	15	WC-47360
6	WC-47341	16	Pishtaz
7	WC-47619	17	WC-47367
8	WC-4640	18	WC-47636
9	WC-47381	19	WC-46697-II
10	WC-4931		

## نتایج و بحث

می‌شود. علاوه بر این، پرولین می‌تواند با ایفای نقش در به دام انداختن رادیکال‌های هیدروکسیل، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدانت نیز عمل کند ( Szabados and Savouré, 2010).

بر اساس نتایج، میانگین عملکرد دانه همه ژنوتیپ‌ها در شرایط آبی و دیم به ترتیب برابر ۱۶۵۱ و ۱۲۷۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، بدین معنی است که عملکرد دانه در اثر تنش خشکی ۲۲/۸۶ درصد کاهش یافت و بنابراین شدت تنش محاسبه شده معادل حدود ۲۳ درصد بود که در دامنه شدت ملایم (۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش) قرار می‌گیرد ( Blum, 2011). این نتایج با مطالعات سایر محققان مبنی بر کاهش عملکرد دانه گندم در اثر تنش خشکی با شدت ملایم مطابقت دارد ( Amiri et al., 2013; Abdoli et al., 2013; Roohi and Siosemardeh, 2008). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط آبی متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۴ و ۱ با میانگین ۲۵۰۴ و ۷۶۴ کیلوگرم در هکتار و در شرایط دیم متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۱۹ و ۸ با میانگین ۲۱۲۸ و ۴۵۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). در این آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۱۴، ۸، ۹ و ۱۳ با بیش از ۴۰ درصد کاهش در شرایط دیم، به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با بیشترین درصد کاهش عملکرد شناخته شدند.

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، در شرایط آبی، بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌دار و از لحاظ محتوای نسبی آب برگ، محتوای پرولین و هدایت روزنه‌ای تفاوت بسیار معنی‌دار مشاهده شد. در شرایط دیم، ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تفاوت معنی‌دار و از نظر محتوای پرولین، محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئید تفاوت بسیار معنی‌داری داشتند. درصد تغییر میانگین صفات در اثر تنش خشکی در جدول ۳ نشان داده شده است. مثبت بودن درصد تغییر صفت بی‌معنی آفت مقدار آن صفت و منفی بودن آن به‌منزله افزایش مقدار آن صفت در اثر مواجهه با تنش خشکی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنش خشکی سبب کاهش قابل‌ملاحظه صفات مرتبط با تبادلات گازی و عملکرد دانه شده است اما در عوض موجب افزایش چشمگیر پرولین به میزان بیش از ۲۵۳ درصد نسبت به شرایط آبی شده است. تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیک به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی است که به نقل از صادق‌زاده و همکاران (Sadegzadeh et al., 2014)، افزایش غلظت آن ممکن است نشان‌دهنده نقش احتمالی این اسیدآمینو در تنظیم اسمزی باشد چراکه پرولین یکی از اسموتیکوم‌های سازگار با متابولیسم بوده که تحت تنش خشکی تولید و انباشته

جدول ۲. تجزیه واریانس برخی صفات آگروفیزیولوژیک تحت شرایط آبی و دیم

Table 2. Analysis of variance for some agro-physiological traits under normal irrigated and rainfed conditions

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Squares)					
			عملکرد دانه		محتوای نسبی آب برگ		محتوای پرولین	
			Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed
تکرار	Replication	2	510764	97357	0.046**	0.015*	423.6	76.56
ژنوتیپ	Genotype	18	599733*	538715*	0.005**	0.003	5333**	18915**
خطای آزمایشی	Error	36	264674	233280	0.001	0.004	170.8	482.07
ضریب تغییرات	C.V%	-	31.16	37.92	5.19	10.08	19.66	9.34

ادامه جدول ۲.

Table 2. Continued

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Squares)							
			کلروفیل a		کلروفیل b		کاروتنوئید		هدایت روزنه‌ای	
			Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed
تکرار	Replication	2	2.94	1.36	0.245	0.057	0.172	0.013	0.003	0.001
ژنوتیپ	Genotype	18	2.31	6.08**	0.233	0.548**	0.124	0.338**	0.008**	0.000
خطای آزمایشی	Error	36	2.24	1.11	0.198	0.201	0.105	0.068	0.002	0.0005
ضریب تغییرات	C.V%	-	14.88	8.39	14.08	11.25	14.68	9.88	29.70	25.77

ادامه جدول ۲.

Table 2. Continued

S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Squares)							
			کارایی فتوشیمیایی		غلظت دی‌اکسید کربن		سرعت فتوسنتز		دمای سطح برگ	
			Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated	Rainfed
تکرار	Replication	2	0.002	0.019*	4348.67	9300.01**	183.34**	89.48**	69.19	74.69**
ژنوتیپ	Genotype	18	0.003	0.010	1567.69	1128.26	22.33	9.10	30.44	3.26
خطای آزمایشی	Error	36	0.004	0.006	2454.65	1375.30	18.11	7.2	32.19	4.24
ضریب تغییرات	C.V%	-	8.75	11.29	24.45	24.84	32.28	26.94	16.95	5.50

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

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

دوروم گردید، اما اغلب گزارش‌ها حاکی از کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در اثر تنش خشکی است (Gregersen and Holm, 2007; Aghaee-Sarbarzeh et al., 2008; Amiri et al., 2013)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد با توجه به نتایج این بررسی، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در این آزمایش نمی‌تواند به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی مقاومت به خشکی باشد.

در اثر تنش خشکی، به‌طور میانگین محتوای کلروفیل a به میزان ۲۵ درصد و محتوای کلروفیل b به میزان ۲۶ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در شرایط دیم نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل a و b به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۱۴ بود (جدول ۴). اگرچه در برخی مطالعات از جمله مطالعه صادقی‌زاده و همکاران (Sadegzadeh et al., 2014) نیز تیمار خشکی سبب افزایش غلظت کلروفیل a و b در گندم

جدول ۳. میانگین و درصد تغییرات صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط آبی و دیم

Table 3. Means and the variations percentage of studied traits in wheat genotypes normal irrigated and rainfed conditions

Trait	صفت	تغییرات (%)		
		آبی irrigated	دیم rainfed	Variations (%)
Kernel Yield (Kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه	1651.1	1273.6	22.86
Relative Water Content (%)	محتوای نسبی آب برگ	74.0	67.5	8.84
Proline Concentration (mg g <sup>-1</sup> fw)	پروлін	66.46	235.05	-253.69
Chlorophyll a (mg g <sup>-1</sup> fw)	کلروفیل a	10.06	12.61	-25.34
Chlorophyll b (mg g <sup>-1</sup> fw)	کلروفیل b	3.16	3.99	-26.10
Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> fw)	کاروتنوئید	2.21	2.64	-19.88
Stomatal Conductance (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	هدایت روزنه‌ای	0.165	0.091	44.96
Chlorophyll Fluorescence (Fv/Fm)	کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II	0.718	0.703	2.04
Sub-stomatal CO <sub>2</sub> (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیرروزنه	202.63	149.31	26.31
Photosynthetic Rate (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	سرعت فتوسنتز	13.18	10.0	24.48
Leaf Surface Temperature (°C)	دمای سطح برگ	33.48	37.44	-11.83

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به‌طور میانگین به میزان ۸/۳ درصد کاهش یافت. معمولاً ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش محتوای نسبی آب بالاتری داشته باشند و بتوانند میزان هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن فتوسنتز خود را در سطح بالایی نگه‌دارند، خواهند توانست عملکرد بالایی نیز در این شرایط تولید کنند (Alavi Sini et al., 2013).

از نظر تبادلات گازی به‌جز هدایت روزنه‌ای، تنوع قابل‌ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط مشاهده نشد (جدول ۲). در این مطالعه، تمامی صفات مطالعه شده مرتبط

میانگین کاهش محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌ها در اثر تنش خشکی معادل ۸/۸۴ درصد بود (جدول ۳). بیشترین میزان کاهش این صفت از ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱۶، ۱۳ و ۱۵ به ترتیب با ۲۱/۸، ۱۶/۰، ۱۴/۳ و ۱۴/۰ درصد، مشاهده شد (داده‌ها گزارش نشده‌اند). ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۱۳ به ترتیب بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب برگ را در شرایط دیم به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در مطالعه عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2013) نیز با اعمال تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، محتوای نسبی آب برگ

(Koc et al., 2003) تطابق دارد. روند کاهش برای سرعت فتوسنتز در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Roohi and Siosemardeh, 2008; Alavi Sini et al., 2013). کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتافک زیر روزنه‌ای در تنش‌های ملایم خشکی دلیل اصلی کاهش سرعت فتوسنتز است (Mafakheri et al., 2010).

با تبدلات گازی در شرایط دیم نسبت به شرایط آبی با کاهش مواجه شدند، به طوری که هدایت روزنه‌ای با حدود ۴۵ درصد بیشترین کاهش را داشت (جدول ۳). از این رو، می‌توان گفت که بروز تنش خشکی از یک طرف و افزایش دما از طرف دیگر، موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتافک زیر روزنه و کاهش سرعت فتوسنتز برگ شده است که با نتایج روشنفکر دزفولی و همکاران (Roshanfekar dezfuli et al., 2012) و کوک و همکاران

جدول ۴. مقایسه میانگین، رتبه (R)، میانگین رتبه ( $\bar{R}$ )، انحراف معیار رتبه (SDR) و مجموع رتبه (RS) برخی صفات آگروفیزیولوژیک تحمل خشکی

Table 4. Mean comparison, ranks (R), ranks mean ( $\bar{R}$ ), standard deviation of ranks (SDR) and rank sum (RS) of some agro-physiological indicators of drought tolerance

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه در شرایط آبی Yp (Kg.ha <sup>-1</sup> )		عملکرد دانه در شرایط دیم Ys (Kg.ha <sup>-1</sup> )		محتوای نسبی آب برگ Relative Water Content (%)		پرولین Proline (mg g <sup>-1</sup> fw)		پایداری غشاء سلولی Cell Membrane Stability (%)	
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
1	764.7	19	740.2	18	66.9	10	183.10	13	64.99	17
2	2044.4	4	1368.2	8	65.6	11	313.49	5	140.07	9
3	1472.0	13	1054.7	14	65.3	13	195.61	11	191.53	5
4	2504.5	1	1590.0	4	63.2	17	176.65	14	69.62	16
5	2120.6	2	1351.8	9	65.2	14	325.57	4	125.67	10
6	1435.2	15	1153.9	12	64.1	16	188.65	12	230.64	3
7	1599.4	12	1193.0	10	70.1	5	242.74	8	80.40	14
8	770.6	18	453.7	19	71.6	4	211.32	10	70.14	15
9	1905.9	7	1139.4	13	69.9	6	252.95	7	54.07	18
10	1442.2	14	766.8	17	65.5	12	380.70	1	167.49	6
11	1111.4	17	884.1	16	72.9	2	326.28	3	156.04	8
12	1970.3	6	1498.2	6	68.5	8	153.74	18	156.62	7
13	1671.6	10	1000.5	15	62.5	19	290.78	6	252.50	2
14	2055.8	3	1185.7	11	73.0	1	235.82	9	199.53	4
15	1774.4	8	1555.4	5	64.9	15	171.36	15	113.63	11
16	1695.8	9	1667.1	3	63.1	18	162.82	16	45.85	19
17	1970.6	5	2001.5	2	67.9	9	155.95	17	85.97	13
18	1392.3	16	1466.1	7	69.1	7	378.03	2	106.96	12
19	1669.5	11	2128.7	1	72.6	3	120.32	19	265.45	1
میانگین Mean	1651.1		1273.6		67.5		235.05		135.64	
حداکثر Max.	2504.5		2128.7		73.0		380.70		265.45	
حداقل Min.	764.7		453.7		62.5		120.32		45.85	
LSD 1%	1142.3		1072.5		1.51		48.75		103.34	
LSD 5%	851.92		799.8		1.13		36.36		77.07	

Table 4. Continued

ادامه جدول ۴.

ژنوتیپ Genotype	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g <sup>-1</sup> fw)		کلروفیل b Chlorophyll b (mg g <sup>-1</sup> fw)		کاروتنوئید Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> fw)		هدایت روزنه‌ای Stomatal Conductance (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II Chlorophyll Fluorescence (Fv/Fm)		غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه Sub-stomatal CO <sub>2</sub> (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
1	11.95	13	3.59	15	2.44	14	0.107	4	0.778	1	152.5	8
2	14.15	3	4.28	5	3.20	1	0.097	6	0.658	16	115.0	19
3	10.43	18	3.47	17	2.14	19	0.128	1	0.684	12	119.5	18
4	14.05	4	4.39	3	3.05	3	0.070	18	0.675	13	126.8	16
5	14.21	2	4.48	2	3.00	4	0.118	2	0.546	19	145.0	13
6	12.10	12	3.74	13	2.61	10	0.077	16	0.725	9	149.7	10
7	11.75	14	3.97	10	2.46	13	0.085	11	0.778	2	183.8	1
8	12.39	10	3.89	11	2.52	11	0.088	10	0.716	10	149.3	11
9	13.84	5	4.28	6	2.92	6	0.062	19	0.674	15	123.8	17
10	11.67	15	3.72	14	2.52	12	0.080	14	0.646	17	174.0	2
11	15.25	1	4.88	1	3.13	2	0.083	13	0.640	18	173.3	3
12	10.74	17	3.87	12	2.19	17	0.090	8	0.741	7	148.5	12
13	11.26	16	3.53	16	2.34	16	0.080	15	0.711	11	162.3	6
14	10.16	19	3.26	19	2.15	18	0.117	3	0.731	8	151.3	9
15	13.80	6	4.28	7	2.76	8	0.084	12	0.750	4	134.3	15
16	12.80	9	4.19	9	2.72	9	0.105	5	0.675	14	153.5	7
17	13.00	8	4.20	8	2.77	7	0.073	17	0.748	5	140.0	14
18	13.56	7	4.34	4	2.95	5	0.89	9	0.767	3	169.0	4
19	12.30	11	3.44	18	2.37	15	0.097	7	0.743	6	165.2	5
میانگین Mean	12.61		3.99		2.64		0.091		0.703		149.3	
حداکثر Max.	15.25		4.88		3.20		0.128		0.778		183.8	
حداقل Min.	10.16		3.26		2.14		0.062		0.546		115.0	
LSD 1%	2.35		1.00		.058		0.052		0.176		82.4	
LSD 5%	1.75		.074		0.43		0.039		0.132		61.4	

خشکی سبب کاهش آب برگ می‌گردد، اما با ورود CO<sub>2</sub> و حفظ فتوسنتز و تولید بیشتر همراه است (Roohi and Siosemardeh, 2008).

در این مطالعه، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II چندان متأثر از تنش خشکی نبود و فقط به میزان حدود ۲ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش نشان داد (جدول ۳). عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2013) نیز کاهش ۲/۹ درصدی کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را در گندم در اثر تنش خشکی گزارش کردند. همچنین، شانگوان و همکاران (Shangguan et al., 2000) نیز اعلام نمودند که تنش خشکی تغییر محسوسی در کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در گندم ایجاد نمی‌کند.

همچنین در مطالعه حاضر، وجود تشعشع تحت این شرایط منجر به افزایش دمای برگ به‌طور متوسط به میزان حدود ۱۲ درصد در شرایط دیم گردیده است (جدول ۳). گزارش شده است که کاهش تبادلات گازی ناشی از تنش خشکی، منجر به بالا رفتن دمای برگ و کاهش میزان CO<sub>2</sub> در برگ می‌شود. چراکه بسته شدن روزنه‌ها موجب توقف تعرق و جلوگیری از خنک شدن گیاه و در نتیجه افزایش دمای برگ می‌گردد (Reynolds et al., 2005)؛ بنابراین همان‌طور که بلوم و همکاران (Blum et al., 1981) ابراز داشتند، می‌توان نتیجه گرفت که اجتناب از تنش خشکی از طریق بستن و یا تنگ کردن شدید روزنه‌ها، به دلیل افزایش دمای برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، نامطلوب است؛ به‌عبارت‌دیگر، اگرچه باز نگه‌داشتن روزنه‌ها در طی تنش



ادامه جدول ۴.

Table 4. Continued

ژنوتیپ Genotype	سرعت فتوسنتز Photosynthetic Rate ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		دمای سطح برگ Leaf Surface Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )		شاخص ISI ISI Index		میانگین رتبه ranks mean ( $\bar{R}$ )	انحراف معیار رتبه standard deviation of ranks (SDR)	پارامتر RS (rank sum)
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank			
1	10.45	7	36.38	3	-1.90	14	11.14	5.75	16.89
2	11.77	4	37.48	10	1.82	7	7.71	5.01	12.73
3	12.82	2	35.20	1	-7.64	19	11.64	6.74	18.39
4	8.85	13	38.67	17	6.74	1	10.00	6.79	16.76
5	10.66	6	36.83	7	2.09	6	7.14	5.27	12.42
6	12.39	3	36.75	6	-2.40	16	10.93	4.45	15.37
7	8.59	14	36.93	8	-1.91	15	9.79	4.51	14.30
8	10.27	8	38.23	14	-0.65	11	11.57	3.88	15.45
9	8.26	18	38.75	18	4.50	2	11.21	6.14	17.36
10	8.41	17	38.22	13	-0.02	9	11.64	5.27	16.91
11	8.55	15	36.70	5	3.44	4	7.71	6.58	14.29
12	10.88	5	37.00	9	-3.95	17	10.64	4.78	15.42
13	9.29	10	38.47	16	-1.47	13	12.21	4.90	17.12
14	10.23	9	39.05	19	-1.15	12	10.29	6.40	16.69
15	9.00	12	36.43	4	1.02	8	9.29	4.03	13.31
16	13.77	1	38.12	12	-0.13	10	10.07	5.33	15.40
17	8.42	16	37.52	11	2.76	5	9.79	4.93	14.72
18	7.50	19	38.28	15	4.18	3	8.07	5.41	13.48
19	9.07	11	36.30	2	-5.33	18	9.14	6.51	15.66
میانگین Mean	9.96		37.44						
حداکثر Max.	13.77		39.05						
حداقل Min.	7.50		35.20						
LSD 1%	5.96		4.57						
LSD 5%	4.44		3.41						

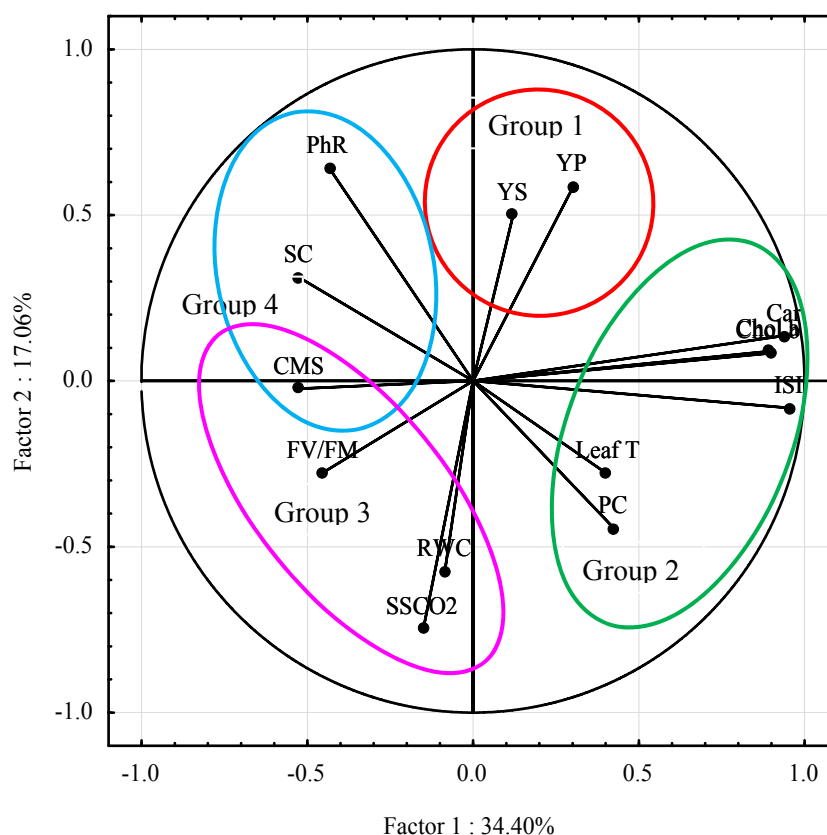
انحراف معیار رتبه و مجموع رتبه (RS) محاسبه و بر اساس این پارامترها ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند. با در نظر گرفتن رتبه هر ژنوتیپ از نظر مقدار عملکرد دانه تحت هر دو شرایط، مقدار صفات مورد مطالعه و نیز شاخص انتخاب جامع (ISI)، ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۲، ۱۵ و ۱۸ با کمترین مقدار RS به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۳، ۹، ۱۳ و ۱۰ با بیشترین مقدار RS به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۴). از این رو، این ژنوتیپ‌ها برای تلاقی و تجزیه ژنتیکی برای مقاومت به خشکی از طریق دی‌آلل یا تجزیه میانگین نسل‌ها و همچنین تجزیه QTL و نقشه‌یابی و نیز انتخاب به کمک نشانگر (MAS) توصیه می‌شوند. از این رو، برای غربال شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی در گندم (Mohammadi et al., 2011)، یولاف

تخمین شاخص‌های آگروفیزیولوژیکی تحمل خشکی در این مطالعه نشان داد که شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی تنها بر اساس یک معیار، اغلب سبب ایجاد نتایج ضدونقیضی می‌شود، چنانکه نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی برای صفات مختلف بسیار متنوع بود (جدول ۴)؛ بنابراین قضاوت کردن بر اساس یک یا چند صفت منطقی به نظر نمی‌رسد. از این رو، می‌توان از شاخص انتخاب جامع و یا روش رتبه‌بندی بهره گرفت. بر اساس شاخص انتخاب جامع، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۹، ۱۸ و ۱۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل مبتنی بر تمام صفات مورد مطالعه شناخته شدند (جدول ۴). در روش رتبه‌بندی، برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس همه صفات مطالعه شده در شرایط دیم، پارامترهای میانگین رتبه،

قرار گرفتند. در گروه سه (Group 3)، پایداری غشاء سلولی (CMS)، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) و غلظت دی‌اکسید کربن اتافک زیر روزنه (SSCO<sub>2</sub>) و نیز ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۱۴، ۱، ۱۳، ۷، ۸ و ۱۰ قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۱۲ و ۱۹ و نیز سرعت فتوسنتز (PhR)، هدایت روزنه‌ای (SC)، پایداری غشاء سلولی (CMS) و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) در گروه چهار (Group 4) قرار گرفتند. به‌طور کلی با توجه به زاویه خطوط صفات ملاحظه می‌شود که شاخص انتخاب جامع (ISI) دارای ارتباط نزدیک‌تری با صفات محتوای کلروفیل a (Chol a)، b (Chol b)، و کاروتنوئید (Car)، دمای سطح برگ (Leaf T)، میزان پرولین (PC)، سرعت فتوسنتز (PhR)، هدایت روزنه‌ای (SC) و عملکرد دانه در هر دو شرایط است؛ بنابراین، به کمک نمودار بای‌پلات، این صفات به‌عنوان صفات برتر در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند.

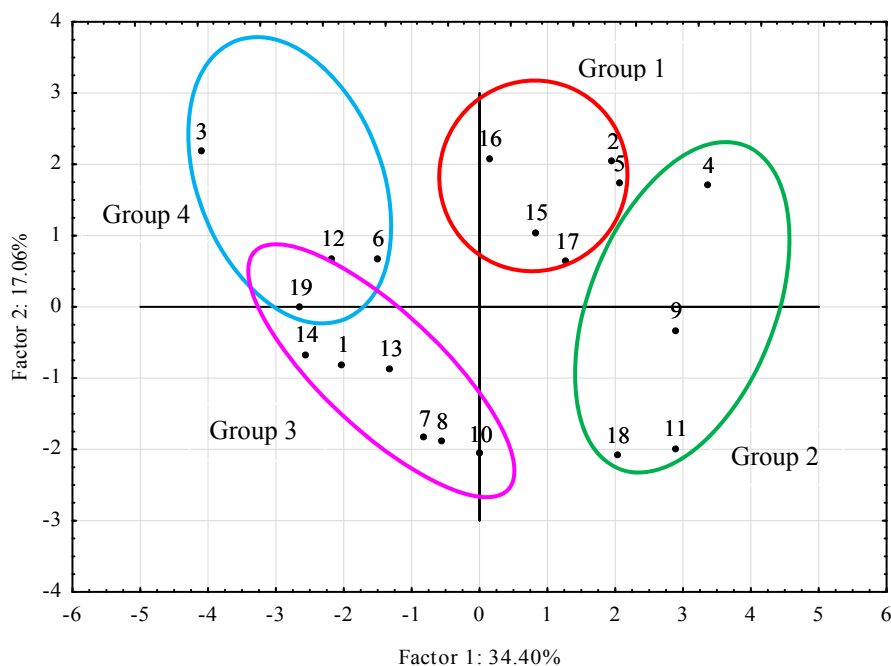
(Khalili et al., 2015) (Bahraminejad et al., 2015)، جو (Farshadfar et al., 2003) استفاده شده (2013) و چاودار (2013) است.

در این مطالعه با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ارتباط میان شاخص‌های مختلف فیزیولوژیکی تحمل خشکی، عملکرد دانه تحت هر دو شرایط و شاخص انتخاب جامع (ISI)، به‌صورت گرافیکی و در قالب بای‌پلات حاصل از مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نشان داده شده است (شکل ۱). دو مؤلفه اصلی اول جمعاً ۵۱/۴۶ درصد از کل تغییرات موجود را توجیه نمودند ولی سهم مؤلفه اول در تبیین این تغییرات برابر با ۳۴/۴۰ درصد بود. محور مؤلفه‌ها سبب قرار گرفتن عملکرد دانه در شرایط آبی (Yp) و شرایط دیم (Ys) (شکل ۱) و نیز ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۴، ۵، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ (شکل ۲) در گروه یک (Group 1) گردید. میزان پرولین (PC)، دمای سطح برگ (Leaf T)، محتوای کلروفیل a (Chol a)، b (Chol b)، و کاروتنوئید (Car)، شاخص انتخاب جامع (ISI) و ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۹، ۱۸ و ۱۱ در گروه دو (Group 2)



شکل ۱. بای‌پلات شاخص‌های آگروفیزیولوژیکی تحمل خشکی

Fig. 1. Biplot analysis of some agro-physiological indicators of drought tolerance



شکل ۲. بای پلات زئوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های آگروفیزیولوژیکی تحمل خشکی

Fig. 2. Biplot analysis of studied traits based on agro-physiological indicators of drought tolerance.

### نتیجه‌گیری

بای پلات، این صفات به‌عنوان صفات برتر در گزینش زئوتیپ‌های متحمل به خشکی شناسایی شدند.

بر اساس شاخص انتخاب جامع (ISI) زئوتیپ‌های شماره ۴ (WC-4530)، ۹ (WC-47381)، ۱۸ (WC-47636) و ۱۱ (WC-4566) به‌عنوان زئوتیپ‌های متحمل به خشکی مبتنی بر تمام صفات مورد مطالعه شناخته شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که شاخص انتخاب جامع دارای ارتباط نزدیکی با صفات محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئید، دمای سطح برگ، میزان پرولین، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه در هر دو شرایط بود؛ بنابراین، به کمک

### قدردانی

از دانشگاه رازی کرمانشاه که منابع مالی این پژوهش را تأمین نموده‌اند، قدردانی می‌گردد. همچنین از آقای دکتر مختار قبادی و آقای مهندس محمدحسین رومنا به جهت راهنمایی‌های ارزنده، سپاسگزاری می‌شود.

### منابع

- Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S., Ghobadi, M.E., 2013. Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationships with yield and its components in some improved wheat cultivars under post-anthesis water deficit. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 6(1), 47-63. [In Persian with English summary].
- Aghaee-Sarbarzeh, M., Rajabi, R., Haghparast, R., Mohammadi, R., 2008. Evaluation and Selection of bread wheat genotypes using physiological traits and drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 24(3), 579-599. [In Persian with English summary].
- Alavi Sini, S.M., Saba, J., Nasiri, J., 2013. Evaluation of some physiological traits in drought tolerant lines of bread wheat in rainfed conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 29-1(4), 637-657. [In Persian with English summary].

- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S., 2013. Evaluation of genetic diversity of bread wheat genotypes based on physiological traits in non-stress and terminal drought stress conditions. *Cereal Research*. 2(4), 289-305. [In Persian with English Summary].
- Araus, J.L., Salfer, M.P., Royo, C., Serett, M.D., 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 27, 377-412.
- Atteya, A.M., 2003. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 29(1-2), 63-76.
- Bahraminejad, S., Keshvari, R., Amiri, R., 2015. Evaluation of oat (*Avena sativa* L.) genotypes using drought tolerance indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 8(2), 259-272. [In Persian with English summary].
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress standies. *Plant and Soil*. 39, 205-107.
- Behra, R.K., Mishra, P.C., Choudhury, N.K., 2002. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of Plant Physiology*. 159, 967-973.
- Blum, A., Ebercon, A., 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*. 21, 43-47.
- Blum, A., Gozlan, G., Mayer, I., 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. *Crop Science*. 21, 495-499.
- Blum, A., 2011. *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer Verlag.
- Ceccarelli, S., Grando, S., Impiglia, A., 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica*. 103, 307-318.
- Farshadfar, E., Mohammadi, R., Aghae, M., Sutka, J., 2003. Identification of QTLs involved in physiological and agronomic indicators of drought tolerance in rye using a multiple selection index. *Acta Agronomica Hungarica*. 51(4), 419-428.
- Farshadfar, E., Elyasi, P., 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. *European Journal of Experimental Biology*. 2(3), 577-584.
- Farshadfar, E., Jalali, S., Saeidi, M., 2012. Introduction of a new selection index for improvement of drought tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *European Journal of Experimental Biology*. 2(4), 1181-1187.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912.
- Egert, M., Tevini, M., 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium choenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*. 48, 43-49.
- Gregersen, P.L., Holm, P.B., 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. *Plant Biotechnology Journal*. 5, 192-206.
- Gupta, N.K., Gupta, S., Kumar, A., 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationships with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 186, 55-62.
- Haddadin, M.F., 2015. Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 5(2), 131-137.
- Hao, Z., Li, X.H., Su, Z.J., Xie, C.X., Li, M.S., Liang, X.L., Weng, J.F., Zhang, D.G., Li, L., Zhang, S.H., 2011. A proposed selection criterion for drought resistance across multiple environments in maize. *Breeding Science*. 61, 101-108.
- Ilker, E., Tatar, Ö., Aykut Tonk, F., Tosun, M., 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. *Turkish Journal of Field Crops*. 16(1), 59-63.
- Khakwani, A.A., Dennett, M.D., Munir, M., 2011. Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 33(2), 135-142.
- Khalili, M., Pour-Aboughadareh, A., Naghavi, M.R., 2013. Screening of drought tolerant cultivars in barley using morpho-physiological traits and Integrated Selection Index under water deficit stress condition. *Advanced Crop Science*. 3(7), 462-471.
- Koc, N., Barutcular, C., Genc, I., 2003. Photosynthesis and productivity of old and

- modern durum wheat in a Mediterranean environment. *Crop Science*. 43, 2089-2098.
- Lawlor, D.W., 1995. The Effect of Water Deficit on Photosynthesis. pp. 129-160. In: Smirnof, N. (ed.) *Environment and Plant Metabolism, Flexibility and Acclimation*. BIOS Scientific Publisher. London.
- Lichtenthaler, H., Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and chlorophyll b leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 603, 591-592.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., Sohrabi, E., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*. 4(8), 580-585.
- Mohammadi, M., 2008. Study of the possibility of using synthetic wheat derivatives under warm and dry conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 24(3), 487-500. [In Persian with English summary].
- Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Abdipour, M., 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*. 5(4), 487- 493.
- Reynolds, M.P., Mujeeb-Kazi, A., Sawkins, M., 2005. Prospects for utilizing plant- adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought – and salinity- prone environments. *Annals of Applied Biology*. 146, 239-259.
- Robin, S., Pathan, M.S., Courtois, B., Lafitte, R., Carandang, S., Lanceras, S., Amante, M., Nguyen, H.T., Li, Z., 2003. Mapping osmotic adjustment in an advanced back-cross inbred population of rice. *Theoretical and Applied Genetics*. 107, 1288-1296.
- Roohi, E., Siosemardeh, A., 2008. Study on gas exchange in different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under moisture stress conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 24(1), 45-62. [In Persian].
- Roshanfekar dezfuli, H., Nabipour, M., Moradi, F., Meskarbashee, M., 2012. Effect of temperature change on stomatal conductance and chlorophyll content of wheat. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 34(2-A), 39-52. [In Persian with English summary].
- Sadegzadeh, N., Hajiboland, R., Sadegzadeh, B., 2014. Different physiological response to drought in bread and durum wheat genotypes. *Iranian Dryland Agronomy Journal*. 2(1), 21-32. [In Persian with English Summary].
- Sanchez, F.J., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerbe, L., 2003. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. *Field Crops Research*. 86, 81-90.
- Shangguan, Z., Shao, M., Dyckmans, J., 2000. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Plant Physiology*. 156, 45-51.
- Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Ebrahimzadeh, H., 2003. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 34(4), 93-106. [In Persian with English Summary].
- Szabados, L., Saviouré, A., 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Sciences*. 15(2), 89-97.
- Yang, J., Zhang, J., 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*. 169(2), 223-236.