

ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان برای تحمل خشکی با استفاده از صفات آگرو-فیزیولوژیک

عزت اله فرشادفر^۱، فرزاد مرادی^۲ و رضا محمدی^{۳*}

۱- استاد دانشگاه رازی کرمانشاه ۲- دانشجوی سابق دانشگاه رازی کرمانشاه

۳- استادیار معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم-کرمانشاه

چکیده

به منظور بررسی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک موثر در تحمل خشکی در ۲۰ ژنوتیپ گندم نان، آزمایشی در دو شرایط تنش (دیم) و بدون تنش (آبیاری) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه و در شرایط آزمایشگاه در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود کرمانشاه اجرا شد. ژنوتیپ‌ها بر اساس برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک در مزرعه و آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف آماری معنی دار وجود دارد. ژنوتیپ شماره ۱۷ (مرودشت) با بالاترین میزان عملکرد در شرایط بدون تنش از بالاترین میزان شاخص تحمل خشکی (STI) و شاخص تحمل (TOL) برخوردار بود و ژنوتیپ شماره ۲۰ (سرداری) با بیشترین پتانسیل عملکرد در شرایط تنش کمترین میزان شاخص TOL را داشته و از STI متوسطی برخوردار بود. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون، میزان پرولین، محتوای کلروفیل a، روز تا ظهور سنبله، طول پدانکل، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه در مجموع ۶۰/۲٪ از تغییرات عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را توجیه نمودند. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای پلات، ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۱ با داشتن عملکرد نسبتاً بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای میزان پرولین و وزن هزار دانه بالا و میزان شاخص تنش جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بالا بودند. ژنوتیپ شماره ۱۷ با بیشترین عملکرد در شرایط نرمال دارای بیشترین میزان شاخص تحمل خشکی (STI) و بیشترین میزان کلروفیل فلورسنس، پایداری غشاء سلولی و بیشترین میزان کلروفیل های a و b بود. با توجه به همبستگی بالای شاخص STI با عملکرد دانه در دو شرایط دیم و آبیاری، می‌توان از این شاخص به عنوان معیار مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: گندم نان، صفات زراعی و فیزیولوژیک، شاخص تحمل خشکی، تجزیه رگرسیون، بای پلات

مقدمه

پرانرژی به دست آمده از فتوسنتز می دانند که سبب تحریک سنتز پرولین می شوند (علی محمدی و میرمحمدی میبدی، ۱۳۹۰).

کاهش محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می کند (کاستریلو و کلکارگو، ۱۹۸۹). بی شاپ و باگی (۱۹۹۸) نشان دادند که ارقام پاکوتاه گندم سطح برگ پرچم کوچکتر و غلظت کلروفیل بیشتر و ظرفیت تبادل خالص CO_2 بیشتری در مقایسه با ارقام پابلند دارند. پسرکلی (۱۹۹۹) گزارش نمود که دوام فتوسنتز و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش از جمله شاخص های فیزیولوژیکی تحمل خشکی است. سی و سه مرده (۱۳۸۲) در بررسی ارقام گندم، تفاوت غیر معنی داری در بین ارقام از نظر میزان کلروفیل گزارش نمود. استیل و همکاران (۱۹۹۱) بیان داشتند که افزایش نسبت کلروفیل a به b در شرایط تنش خشکی بواسطه تغییر در سیستم های فتوسنتزی در جهت نسبت کمتر فتوسیستم II به فتوسیستم I می باشد و گزارش نمودند که تنش خشکی مجموع غلظت این دو کلروفیل را در ارقام حساس ۴۷٪ و در ارقام متحمل ۳۲٪ کاهش داد. اشرف و همکاران (۱۹۹۴) این کاهش را در ارقام حساس ۴۷٪ و در ارقام متحمل ۲۵/۵٪ گزارش نمودند. فرشادفر و جوادی نیا (۱۳۹۰) گزارش نمودند که بین ژنوتیپ های نخود در شرایط تنش خشکی از نظر کلروفیل a تفاوت معنی دار و از نظر کلروفیل b تفاوت غیر معنی دار وجود دارد.

تحمل خشکی حاصل ترکیبی از صفات آگرو-فیزیولوژیک است که با محتوای آب نسبی برگ (RWC)، میزان آب نسبی از دست رفته (RWL)، کلروفیل فلورسانس^۱ (CHF)، تجمع پرولین (Pro)، اندازه ریشه و پارامترهای دیگر نظیر تبادل روزنه ای^۲ و کارآیی مصرف آب^۳ (WUE) در ارتباط می باشد (محمدی و فرشادفر، ۱۳۸۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ بلوم، ۱۹۹۲). تنظیم اسمزی یکی از مهمترین راهکارهای فیزیولوژیک گیاه جهت تحمل خشکی است (لوس و صدیق، ۱۹۹۴؛ الدخیل، ۱۹۹۱) که ارتباط زیادی با میزان بیشتر آب نسبی برگ و کاهش کمتر میزان آب نسبی از دست رفته دارد (هالی و همکاران، ۱۹۹۳؛ شانفلد، ۱۹۸۸؛ وانگ و کلارک، ۱۹۹۳؛ یانگ و همکاران، ۱۹۹۱).

گیاهان در هنگام تنش خشکی با تغییراتی که در برخی از خصوصیات فیزیولوژیک خود ایجاد می کنند به تنش های محیطی پاسخ می دهند و یکی از این پاسخ ها تجمع پرولین است (علی محمدی و میرمحمدی میبدی، ۱۳۹۰). تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیکی بسیار رایج در بسیاری از گیاهان به دامنه وسیعی از تنش های زیستی و غیر زیستی است (گراوندی و همکاران، ۲۰۱۱). برای تجمع پرولین در هنگام تنش خشکی دلایل مختلفی ارائه شده است. برخی آنرا به علت اثر تنظیمی اسید آبسزیک بر فرآیندهای نوری در متابولیسم پرولین (صفرنژاد، ۱۳۸۲) و برخی آن را به دلیل وجود ترکیبات

1- Chlorophyll fluorescence

2- Co2 exchange

3- Water use efficiency

تنش (STI) و میانگین هندسی بهره وری (GMP) را معرفی نمود. ژنوتیپ های پایدار و مقاوم به خشکی دارای مقادیر بالاتر این شاخص ها هستند. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی میزان تحمل خشکی ۲۰ ژنوتیپ گندم نان از نظر خصوصیات آگرو-فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش ها

در این بررسی ۱۷ ژنوتیپ پیشرفته گندم نان به همراه دو رقم آذر-۲ و سرداری بعنوان شاهد دیم و رقم مرودشت بعنوان شاهد آبی در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود در دو شرایط دیم (بدون آبیاری) و آبیاری (سه بار آبیاری از اوایل گلدهی تا رسیدن) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. هر ژنوتیپ در ۵ خط یک متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی متر و بر اساس وزن هزار دانه و تعداد ۴۰۰ بوته در متر مربع کشت شد ژنوتیپ های مورد بررسی براساس پارامترهای زیر ارزیابی شدند.

۱) محتوای آب نسبی برگ (RWC)

به منظور اندازه گیری محتوای آب نسبی برگ، پنج برگ پرچم از هر ژنوتیپ در هر کرت بطور تصادفی انتخاب و پنج قطعه پنج سانتی متری از نمونه های برگ جدا شده و وزن تر^۳ (FW) آنها توسط ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه گیری شد. وزن نمونه ها در حالت تورژسانس^۴ (TW) با قرار دادن نمونه ها به مدت ۴ ساعت در آب مقطر و دمای اتاق

محمدی و فرشادفر (۱۳۸۲) همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد در شرایط دیم با میزان آب نسبی برگ^۱ (RWC) و همبستگی منفی و معنی داری بین عملکرد در شرایط دیم با میزان آب نسبی از دست رفته^۲ (RWL) گزارش نمودند و میزان آب نسبی از دست رفته را بعنوان مهمترین صفت فیزیولوژیک موثر در عملکرد دانه در شرایط دیم گزارش نمودند. کاستریلو و ترجیلو (۱۹۹۴) نیز همبستگی مثبتی را بین محتوای آب نسبی برگ و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت آنزیم رویسکو مشاهده کردند.

با توجه به اینکه اصلاح عملکرد در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال به دلیل موانع مختلف با سرعت کمتری در جریان است. لذا شناسایی صفات آگرو-فیزیولوژیک موثر و مرتبط با تنش خشکی در گیاهان زراعی از جمله گندم می تواند نقش مهمی در بهبود ژنتیکی تولید عملکرد در شرایط تنش خشکی داشته باشد. تاکنون روش های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش ها ارائه شده است. شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره وری متوسط (MP) توسط روزیل و هامبلین (۱۹۸۱) برای ارزیابی توانایی تحمل ژنوتیپ ها بر اساس مقادیر کم TOL و مقادیر بالای MP مورد استفاده قرار گرفته اند. فیشر و مورر (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد نمودند. مقدار کمتر این شاخص نشان دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. فرناندز (۱۹۹۲) شاخص های تحمل به

3- Fresh weight
4- Turgor weight

1 -Relative water content
2- Relative water loss

۳) حداکثر کارایی فتوسیستم II

بعد از خروج سنبله‌ها از غلاف برگ پرچم در مرحله گرده افشانی، ۵ برگ پرچم از هر ژنوتیپ در هر تکرار بطور تصادفی انتخاب و حداکثر کارایی فتوسیستم II بعد از قرار گیری در تاریکی به مدت ۱۰ دقیقه برای هر برگ پرچم توسط دستگاه تجزیه گر عملکرد فتوسنتز (MINI-PAM photosynthesis yield analyzer; Walz, Germany) اندازه گیری شد.

$$\text{II} = \frac{Fv}{Fm}$$

که در آن Fv و Fm به ترتیب نشان دهنده فلئورسانس حداکثر و متغیر کلروفیل a می‌باشد (جتی و همکاران، ۱۹۸۹).

۴) میزان کلروفیل a و b

بر اساس روش آرنون ابتدا ۰/۵ گرم برگ پرچم ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به همراه ۰/۵ گرم سولفات منیزیم و ۱۰ میلی لیتر استن ۸۰ درصد در داخل هاون های چینی خوب ساییده می شود و سپس عصاره بدست آمده بوسیله کاغذ صافی واتمن صاف شده و در داخل لوله های آزمایش ریخته و نمونه ها به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور سانتریفیوژ شدند و سپس عصاره یکنواخت فاز بالایی داخل لوله های آزمایش برداشت و با استفاده از اسپکتروفتومتر (Shimadzu uv 100) در طول موج های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر میزان جذب نور توسط عصاره استخراج شده تعیین گردید. غلظت کلروفیل های a و b بر حسب میلی گرم کلروفیل در هر گرم وزن تر با استفاده از روابط زیر که در آن V حجم نمونه استخراج شده، W وزن تر نمونه و ABS میزان جذب نور بر حسب نانومتر در طول موج مورد نظر را

تعیین گردید. سپس نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به منظور بدست آوردن وزن خشک^۱ (DW) در آون قرار داده شدند و با استفاده از رابطه زیر (صدیق و همکاران، ۲۰۰۰) محتوای آب نسبی برگ برای هر ژنوتیپ محاسبه گردید.

$$RWC\% = \left[\frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \right] \times 100$$

۲) میزان نسبی آب از دست رفته (RWL)

از هر ژنوتیپ در هر تکرار قبل از مرحله گلدهی پنج برگ پرچم بطور تصادفی انتخاب و در فلاکس یخ تا زمان وزن کردن در آزمایشگاه قرار داده شدند. نمونه‌های وزن شده سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا وزن پژمردگی آنها بدست آید. نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت در آون برای بدست آوردن وزن خشک قرار گرفتند. میزان آب از دست رفته بر حسب گرم آب از دست رفته از وزن خشک برگ در ۲ ساعت از رابطه زیر که توسط یانگ و همکاران (۱۹۹۱) ارائه شده است، محاسبه گردید. در این رابطه T_1 و T_2 زمانهای لازم بر حسب ساعت به ترتیب برای وزن پژمردگی و وزن خشک و W_1 ، W_2 و W_3 به ترتیب وزنهای تر، پژمرده و خشک می‌باشد.

$$RWL = \left[\frac{W1 - W2}{\frac{W3}{T2 - T1}} \right] \times 60$$

1- Dry weight

$$\text{CMS}\% = \left[\frac{1 - \frac{t_1}{t_2}}{1 - \frac{c_1}{c_2}} \right] \times 100$$

$$\%RI = 1 - \text{CMS}$$

در رابطه فوق c_1 و c_2 به ترتیب نشان دهنده هدایت الکتریکی ژنوتیپ‌ها در محیط شاهد در قرائت های اول و دوم بوده و t_1 و t_2 نیز به ترتیب بیانگر هدایت الکتریکی ژنوتیپ‌ها در محیط تنش در قرائت های اول و دوم و RI آسیب نسبی می باشد.

۶) پرولین^۲ (Pro)

محتوای پرولین ۰/۱ گرم برگ پرچم تر بر اساس روش بیتس (۱۹۷۳) استخراج شد و غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر به کمک غلظتهای مشخص پرولین خالص بعنوان شاهد در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین گردید.

۷) شاخص تحمل خشکی^۳ (STI)

به منظور مطالعه میزان حساسیت به خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، شاخص تحمل خشکی برای هر ژنوتیپ بصورت زیر محاسبه شد (فرناندز،

$$\text{STI} = (Y_s)(Y_p) / (\bar{Y}_p)^2 \quad (۱۹۹۲).$$

که در این رابطه Y_s ، Y_p و \bar{Y}_p به ترتیب عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم، آبیاری و میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری می‌باشد. همچنین شاخص تحمل (TOL) نیز برای هر ژنوتیپ بر اساس عملکرد در دو شرایط محاسبه گردید (روزیل و هامبلین، ۱۹۸۱).

$$\text{TOL} = Y_p - Y_s$$

نشان می دهد محاسبه شدند (اشرف و همکاران، ۱۹۹۴).

کلروفیل a:

$$\text{Chl-a} = \frac{[12.7(\text{ABS663}) - 2.69(\text{ABS645})] \times V}{1000 \times W}$$

کلروفیل b:

$$\text{Chl-b} = \frac{[22.9(\text{ABS645}) - 4.69(\text{ABS663})] \times V}{1000 \times W}$$

۵) پایداری غشاء سلولی (CMS)

در این روش با تعیین درصد خسارت به غشاء سلول، میزان پایداری غشاء سلولی مشخص می گردد، بنابراین از هر ژنوتیپ دو نمونه ۰/۱ گرمی از برگ پرچم انتخاب و سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. به یکی از دو نمونه ۱۰ سی سی آب مقطر (شاهد) و به نمونه دیگر ۱۰ سی سی از محلول پلی اتیلن گلايکول ۴۰٪ (تنش) اضافه شد. مقداری از محلول هر نمونه جدا و با دستگاه EC متر میزان هدایت الکتریکی برای هر نمونه بر حسب میکرو موس بر سانتیمتر در مرحله اول اندازه گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش محتوی نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در بنماری (حمام آبی) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از سرد شدن نمونه‌ها میزان هدایت الکتریکی برای هر نمونه با EC متر اندازه گیری و با استفاده از فرمول زیر درصد پایداری غشاء سلولی از طریق تعیین درصد خسارت ناشی از پسابیدگی^۱ (بلوم و ابرکان، ۱۹۸۱) برای هر ژنوتیپ محاسبه شد (اوزالپ و همکاران، ۲۰۰۰).

2 - Proline

3-Stress tolerance index

1- Relative Injury

۸- آزمایش جوانه زنی

مقادیر GSI بیشتری دارند، تحمل خشکی بالاتری نیز خواهند داشت.

$$GSI = \left[\frac{PI, \text{ under stress condition}}{PI, \text{ under normal condition}} \right] \times 100$$

سپس در روز دهم طول کلئوپتیل، طول ریشه بذری و تعداد ریشه های بذری برای هر لاین اندازه گیری شد.

جهت تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزارهای آماری MSTAT-C و SPSS استفاده شد و مقایسه میانگین ژنوتیپها برای صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه نشان داد که بین ژنوتیپهای مورد بررسی اختلاف آماری معنی دار وجود دارد و این دلالت بر تنوع ژنتیکی موجود در بین ژنوتیپها دارد (جدول ۱)، نتایج تجزیه واریانس ارائه نشده است). در شرایط دیم بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپهای شماره ۲۰ (سرداری، شاهد دیم)، ۱۹ (آذر ۲)، ۹ (قدس)، ۱۱ و ۱۰ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۳ بود (جدول ۱). بالا بودن عملکرد دانه در این شرایط بیانگر پتانسیل عملکرد دانه بالا و توان بیشتر این ژنوتیپها در بهره برداری از شرایط محیطی، به ویژه رطوبت خاک می باشد. ارزیابی ژنوتیپها بر اساس عملکرد دانه در شرایط آبیاری نشان داد که ژنوتیپ های شماره ۱۷ (مرو دشت، شاهد آبی)، ۳ و

در شرایط آزمایشگاه ژنوتیپهای مورد بررسی در قالب دو آزمایش با طرح کاملاً تصادفی در دو محیط تنش اسمزی (پتانسیل -0.8 MPa - پلی اتیلن گلیکول) و بدون تنش (آب مقطر) با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقدار پلی اتیلن گلیکول لازم برای رسیدن به پتانسیل اسمزی -0.8 MPa - با استفاده از معادله ارائه شده توسط میچل و کافمن (۱۹۷۳) بدست آمد. در هر پتری دیش و در هر تکرار ۲۵ بذر کشت گردید. برای هر پتری ۱۰ میلی لیتر محلول در نظر گرفته شد، بطوریکه ۶ میلی لیتر آن در ابتدای آزمایش و ۴ میلی لیتر باقیمانده در روز ششم به پتری دیشها اضافه شد (سایرا و همکاران، ۱۹۹۱) و در داخل اتاقک رشد (ژرمیناتور) در دمای $20/15$ (شب/روز) درجه سانتیگراد و رطوبت ۷۵٪ قرار داده شدند (میچل و کافمن، ۱۹۷۳). بر این اساس تعداد بذور جوانه زده در طی ۱۰ روز یادداشت شد و شاخص سرعت جوانه زنی^۱ (PI) برای هر ژنوتیپ در هر دو آزمایش طبق رابطه زیر محاسبه شد.

$$PI = nd2 (1.0) + nd4 (0.8) + nd6 (0.6) + nd8 (0.4) + nd10 (0.2)$$

در این فرمول $nd2$ ، $nd4$ ، $nd6$ ، $nd8$ و $nd10$ به ترتیب در صد بذور جوانه زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم می باشد. مقدار شاخص تنش جوانه زنی^۲ (GSI) برای هر لاین و رقم بر اساس روش بوسلاما و شاپوگ (۱۹۸۴) طبق رابطه زیر محاسبه شد. بر اساس این شاخص لاینهایی که

1 - Promtness index

2 - Germination stress index

از طرفی ژنوتیپ شماره ۲۰ (سرداری) که بیشترین پتانسیل عملکرد در شرایط دیم را داشت با کمترین میزان شاخص TOL دارای STI متوسطی بود (جدول ۱ و ۲). عملکرد دانه در شرایط دیم با شرایط نرمال همبستگی معنی داری نشان نداد (جدول ۴)، بنابراین بر اساس نتایج این آزمایش ژنوتیپ‌ها در دو شرایط دیم و نرمال مستقل از هم عمل نموده اند. شاخص STI همبستگی معنی داری با عملکرد دانه در دو شرایط دیم و نرمال داشت. لذا بنا به اظهار نظر فرناندز (۱۹۹۲) در چنین شرایطی می توان از مقادیر بالای "شاخص تحمل خشکی" جهت گزینش در هر دو شرایط استفاده نمود. شاخص TOL نیز با عملکرد در شرایط آبی همبستگی مثبت و معنی داری داشت در صورتیکه همبستگی آن با عملکرد در شرایط دیم منفی بود (جدول ۴)، بنابراین ارقام با TOL بالا (مانند ارقام مرودشت، مراغه، سبلان، اوگستا و ژنوتیپ شماره ۸) پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش می توانند داشته باشند. بر اساس نتایج این آزمایش، تنش رطوبتی سبب شد که میزان آب نسبی برگ (RWC) در ژنوتیپ‌ها کاهش یابد و ژنوتیپ‌هایی مانند ۱۷ و ۲ با بیشترین کاهش نسبت به شرایط آبی کمترین میزان آب نسبی برگ را در شرایط دیم داشته باشند که این خود دلالت بر حساسیت این ارقام به تنش رطوبتی می باشد. ژنوتیپ‌های ۴، ۹، ۱۰، ۱۸ و ۱۹ با میزان آب نسبی از دست رفته کمتر و دارای RWC و شاخص STI بیشتر از میانگین کل بودند که نشان دهنده میزان نسبی تحمل خشکی آنهاست.

۱۳ بالاترین عملکرد و ژنوتیپ شماره ۵ کمترین عملکرد را داشته است.

با توجه به اهمیت مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و نرمال، برآورد میزان حساسیت و مقاومت ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش اهمیت خواهد داشت (فرناندز، ۱۹۹۲). بیشترین میزان شاخص تحمل خشکی مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۱۱ و ۹ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۵ بود (جدول ۲). مقدار بیشتر STI جهت غربال نمودن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد شده است (فرناندز، ۱۹۹۲). با این حال همواره بالا بودن این شاخص به تنهایی یک شاخص مناسب نمی باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵) بلکه ترکیب مناسب این شاخص با شاخص TOL جهت انتخاب مناسبترین ژنوتیپ‌ها بایستی مورد توجه قرار گیرد. بنابراین بسته به هدف اصلاحی می توان ترکیب مناسب این دو شاخص را جهت گزینش بکار برد. بهترین ترکیب برای انتخاب ژنوتیپ‌ها می تواند ترکیب STI بالا و TOL پایین باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). در این بررسی ژنوتیپ شماره ۱۷ (مرودشت) که از بالاترین میزان شاخص STI برخوردار بود بیشترین میزان شاخص TOL را نیز داشت. بالا بودن میزان شاخص TOL برای رقم مرودشت نشان می دهد این رقم واکنش متفاوتی نسبت به دو شرایط دیم و آبیاری داشته است. این رقم واکنش مناسبی به شرایط آبی و واکنش متوسطی نسبت به شرایط دیم نشان داد. بر اساس شاخص STI این رقم متحمل ترین رقم نسبت به شرایط تنش بوده است.

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی و ضریب تغییرات (CV) هر صفت در شرایط مزرعه

کد ژنوتیپ Gen. No.	عملکرد دیم Ys (gr/plot)	عملکرد آبی Yp (gr/plot)	آب نسبی برگ RWC (%)	آب نسبی از دست رفته RWL (gr/gh.hr)	کلروفیل فلورسینس CHF (μmol/m ² s)	پایداری ششاه سلولی CMS (%)	وزن هزار دانه TKW (gr)	پروتئین Pro (μmol/gr)	کلروفیل Chl-a (mg/gr/gr)	کلروفیل Chl-b (mg/gr/gr)	ارتفاع بوته PH (cm)	طول پدانکل Ped.L (cm)	طول سنبله SL (cm)	تعداد روز تا خوش دمی* DH (day)	تعداد روز تا رسیدن (day) DM*	شاخص تحمل خشکی STI*
1	216ef	734bd	72.2ef	68. hj	0.83b	16.6f	24.8ef	2.6ac	6.4bf	4.2bc	78.3de	10.7eg	9.7ac	234d	264de	0.32
2	229df	569ef	70.1ce	71gi	0.82de	22.4bc	22.5fg	2.1c	5.9dg	4bd	83.9ad	13.3be	10.3ab	235de	266e	0.26
3	274af	825b	75.6ce	68.7gj	0.82de	24ab	28.3ae	3.5ac	6.5be	3.9be	80.2cd	11.7cf	10.3ab	232cd	262cd	0.46
4	306ae	657cf	78.9bc	87.1ab	0.81e	14.3g	27.6ae	4.1ab	6cf	3.5ch	78.4ab	14.5ac	9.4ad	230bc	263ce	0.41
5	240bf	548f	71.7ef	57.7k	0.82de	18.6ef	28.0ae	3.1ac	7ac	3.7bg	66.3fg	9.2fh	8.9ce	228ab	262cd	0.27
6	253bf	633df	75.7ce	72.4fi	0.83b	18.8ef	29.5ac	1.9c	6.6ad	4.7ab	59.9h	8.7h	7.9e	228ab	262cd	0.32
7	273cf	552f	85.9a	78.3ce	0.82ce	22.1bc	26.6be	2.6bc	7ad	3.9bf	65.5gh	7.4h	10.1ac	230bc	263cd	0.30
8	257bf	781bc	77.2c	67.6ij	0.83bc	21.3cd	29.8ab	2.4bc	6.9ad	3.7bg	78.4de	8.7gh	10.5a	227a	258ac	0.41
9	328ac	706be	75.6ce	86.8ab	0.83bc	4.3k	28.3ad	3.1ac	5.4eh	2.9eh	72.4ef	9.4fh	9.1be	227a	258ac	0.47
10	324ad	672cf	75.7ce	86.2ab	0.83bd	5.6ik	31.2a	3.2ac	5fh	2.9fh	80.7bd	12.5ce	9.4ad	232cd	262cd	0.44
11	325ab	726bd	72.8ef	58.8ac	0.83be	5jk	30.7a	4.1ab	4.5h	2.6h	88.8a	16.2ab	9.7ac	231c	254a	0.48
12	238cf	781bc	72.9ef	77.6df	0.83be	7.6hi	28.7ad	2.6ac	6.1ce	3.9bf	83.1ad	10.9dg	10.2ac	231c	264de	0.38
13	203f	827b	79.9b	74 eg	0.84a	25.3a	28.0ae	2.6ac	6.7ad	4be	85.8ac	13.9ad	9.8ac	230bc	263ce	0.34
14	273af	681cf	78.2bc	63.3j	0.83bd	19.3de	24.9ef	3.3ac	7.6ab	4.7ab	83.6ad	13.8ad	9.8ac	227a	261c	0.38
15	292af	727bd	79.7b	73.5eh	0.82ce	22bc	25.3df	3.9ab	7.1ad	4.3bc	82.5ad	12.9ce	9.4ad	228ab	260bc	0.43
16	270af	733bd	73.6e	71.5gi	0.83bc	20.5ce	25.8cf	3.9ab	6.6ad	4.1bc	79.5cd	11.9cf	9.7ac	227a	260bc	0.40
17	307ae	977a	66.7e	67.8hj	0.85a	25.1a	21.2g	1.95c	7.8a	5.4a	67fg	7.2h	9.4de	229b	266e	0.61
18	302ae	668cf	75.7ce	88 a	0.83bd	8.6h	29.4ac	2.6ac	4.9gh	3 dh	84.9ad	13.5ae	10.6a	228ab	260bc	0.41
19	328ac	642cf	76.7cd	81.9bd	0.82be	7.4hj	28.2ae	4.3a	4.9fh	2.7gh	88a	16.3a	9.9ac	227a	257ab	0.43
20	363a	622df	74.3de	82.8ad	0.8f	6ik	28.8ac	4.1ab	4.7h	2.5h	87.5ab	13.8ad	10.1ac	227a	262cd	0.46
Mean	280	703	75.5	74.15	0.83	15.8	27.4	3.1	6.2	3.8	78.7	11.8	9.71	229	261	0.40
CV%	17.44	10.19	4.86	5.4	2.14	8.39	6.93	28.25	12.67	14.9	4.49	6.24	6.94	-	-	-

توجه: برای نشان دادن حروف مقایسه میانگین جهت اختصار از حروف اول و آخر استفاده شده است. برای مثال ژنوتیپی که در مقایسه میانگین حروف آن بصورت abcd بوده بصورت ad در نظر گرفته شده است.

کم بودن غلظت کلروفیل به معنی کاهش پتانسیل تولید و کاهش ذخیره سازی می باشد که در مورد گیاهی مثل گندم این ذخیره سازی نقش مهمی در کاهش اثرات تنش خشکی بر پرشدن دانه دارد. سی و سه مرده (۱۳۸۲) در بررسی ارقام گندم اختلاف معنی داری در بین ارقام گندم از نظر میزان کلروفیل گزارش داد. در این بررسی عملکرد با کلروفیل a و b همبستگی منفی و معنی داری نشان داد که با نتایج آقائی سربرزه و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد.

در این بررسی ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بیشتری در شرایط تنش داشتند از میزان پرولین بیشتری نسبت به شرایط بدون تنش برخوردار بودند و همبستگی بین میزان پرولین و عملکرد دانه در شرایط تنش این موضوع را تأیید و با نتایج آقائی سربرزه و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس میزان پایداری غشاء سلولی (بر حسب درصد خسارت به غشاء سلولی) نشان داد ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۱۶ و ۱۷ دارای بالاترین میزان و ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ کمترین درصد خسارت به غشاء سلولی یا به عبارت دیگر دارای پایداری غشاء سلولی بیشتر می باشند (جدول ۱). با توجه به همبستگی منفی و معنی دار بین عملکرد در شرایط تنش و درصد خسارت به غشاء سلولی بنظر می رسد که با افزایش شدت تنش، درصد خسارت به غشاء سلول بیشتر شده و عملکرد کمتر می شود ولی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش پایداری عملکرد بیشتری دارند. نتایج بدست آمده با نتایج چقامیرزا و فرشادفر (۱۳۸۵) بر روی نخود مطابقت دارد. کوچوا و گنورگیف (۲۰۰۳) در ارزیابی مقاومت به خشکی

این نتایج با گزارش سایر محققین مطابقت دارد که ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی عموماً دارای میزان آب نسبی برگ بیشتر و میزان آب نسبی از دست رفته کمتر می باشند (ددایو، ۱۹۷۵؛ هالی و همکاران، ۱۹۹۳؛ شانفلد و همکاران، ۱۹۸۸؛ مانیت و همکاران، ۱۹۸۸؛ وانگ و کلارک، ۱۹۹۳؛ یانک و همکاران، ۹۹۳؛ محمدی و همکاران ۱۳۸۵؛ فرشادفر و محمدی، ۱۳۸۴؛ محمدی و فرشادفر، ۱۳۸۲). در این بررسی بین میزان نسبی آب از دست رفته با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی مثبت مشاهده شد که با نتایج بررسی ویسی مال امیری و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. همبستگی این صفت با عملکرد نمی تواند برای هر مطالعه ای مورد انتظار باشد، چون در شرایط تنش خشکی، صفات و عوامل بسیاری بر عملکرد دخالت دارند، ولی با وجود این، صفت مذکور به عنوان یکی از شاخص‌های مقاومت به خشکی مورد قبول است. نگهداری بیشتر آب در برگ واکنش مثبتی به تنش خشکی است (بلوم، ۱۹۸۸).

بیشترین میزان کلروفیل a و b در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۷ (به دلیل ارتفاع کم و کوچک بودن سطح برگ پرچم و در نتیجه بالا رفتن غلظت کلروفیل (بی شاپ و باگبی، ۱۹۹۸) و کمترین آنها مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ (سرداری) بود، با این وجود عملکرد ژنوتیپ ۱۷ از ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۹ و ۲۰ کمتر می باشد و از دلایل کاهش عملکرد آن می توان به کم بودن اسید آمینه پرولین، درصد خسارت غشاء سلولی بیشتر، آب نسبی از دست رفته بیشتر (RWL) و میزان RWC کمتر آن در شرایط تنش اشاره کرد.

در ارقام جو، در ارقام متحمل به خشکی تخریب کمتری در غشاء های سلولی مشاهده کردند.

ژنوتیپ های مورد بررسی برای طول سنبله نیز تفاوت آماری معنی داری نشان دادند بطوریکه بیشترین طول سنبله مربوط به ژنوتیپ های شماره ۸ و ۱۸ و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ شماره ۶ بود.

وزن هزار دانه نیز بعنوان یکی از اجزاء مهم عملکرد دانه می باشد و با توجه به همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه مشخص می شود که با افزایش وزن هزار دانه، عملکرد افزایش می یابد که ژنوتیپ های شماره ۱۰ و ۱۱ بیشترین وزن هزار دانه و نیز عملکردی بیشتر از میانگین کل می باشند و کمترین آن برای ژنوتیپ های ۱۷ و ۲ گزارش شد.

ارزیابی ژنوتیپ های مورد بررسی در مرحله جوانه زنی نشان داد بین ژنوتیپ ها از لحاظ صفات طول ریشه چه، طول کلئوپتیل، تعداد ریشه های جینی و شاخص سرعت جوانه زنی در شرایط تنش و نرمال اختلاف آماری معنی دار وجود دارد (جدول ۳). از لحاظ طول ریشه چه بیشترین طول ریشه چه برای ژنوتیپ شماره ۴ و کمترین آن برای ژنوتیپ شماره ۱۶ گزارش شد. از لحاظ طول کلئوپتیل نیز بیشترین میزان آن برای ژنوتیپ های ۱۰ و ۱۱ و کمترین آن برای ژنوتیپ های شماره ۱ و ۸ مشاهده گردید. ژنوتیپ های شماره ۴، ۹، ۱۰ و ۱۱ بیشترین و ژنوتیپ های شماره ۱۷، ۱۴، ۷، ۱۵ و ۳ کمترین تعداد ریشه جینی را داشتند. شاخص سرعت جوانه زنی در شرایط تنش برای ژنوتیپ شماره ۱۱ بیشترین و در شرایط نرمال برای ژنوتیپ های شماره ۱، ۲، ۳ و ۱۷ بیشترین بود. در شرایط نرمال بین ژنوتیپ شماره ۱۷

با ژنوتیپ های شماره ۲، ۴، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۹ تفاوت آماری معنی داری مشاهده نشد.

بر اساس شاخص استرس جوانه زنی نیز که مقادیر بالای آن برای گزینش ژنوتیپ های مقاوم پیشنهاد شده است (ساپرا و همکاران، ۱۹۹۱)، ژنوتیپ های شماره ۱۱، ۹ و ۱۰ بیشترین شاخص استرس جوانه زنی را داشتند در صورتیکه میزان این شاخص برای ژنوتیپ های شماره ۲، ۳ و ۱۷ کمترین بود (جدول ۲).

عملکرد در شرایط دیم با صفات طول کلئوپتیل، طول ریشه چه، تعداد ریشه های بذری، سرعت جوانه زنی در شرایط تنش و شاخص استرس جوانه زنی همبستگی مثبت و معنی داری نشان داد و می توان از این شاخص بعنوان معیار انتخاب غیر مستقیم جهت شناسایی ژنوتیپ های متحمل به خشکی استفاده کرد. نتایج این تحقیق با نتایج گراوندی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد، در صورتیکه چنین همبستگی هایی بین این صفات آزمایشگاهی با عملکرد در شرایط نرمال وجود نداشت (جدول ۴).

به منظور بررسی و تاثیر معنی دار صفات مورد مطالعه در شرایط مزرعه بر روی عملکرد دانه در شرایط تنش با استفاده از تجزیه رگرسیون معادله عملکرد دانه در شرایط تنش مورد بررسی قرار گرفت. معادله رگرسیون مذکور شامل پرولین (Pro)، محتوای کلروفیل a (Chl-a)، روز تا ظهور سنبله (DH)، طول پدانکل (Ped. L)، ارتفاع بوته (PH) و وزن هزار دانه (TKW) بود، بطوریکه پرولین اثر مثبت معنی دار و بقیه صفات وارد شده در مدل اثر

این صفات وارد شده در مدل رگرسیون ۶۰٪ از تغییرات کل مربوط به عملکرد دانه در شرایط تنش را توجیه نمودند. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه های اصلی نشان داد که شش مؤلفه اول به ترتیب ۴۳٪، ۱۴٪، ۱۱٪، ۷٪، ۷٪ و ۵٪ از تنوع موجود در ماتریس داده ها را توجیه می نمایند (جدول ۷). این در حالی است که نقش دو مؤلفه اول بیشتر از سایر مؤلفه هاست (جمعاً ۵۷٪ از تغییرات کل). با توجه به اهمیت دو مؤلفه اول و تاثیر اکثر صفات و شاخص های مورد بررسی در تشکیل آنها، بای پلات بر اساس دو مؤلفه اول تشکیل شد.

منفی معنی دار بر عملکرد دانه در شرایط تنش داشتند.

با توجه به پایین بودن ضریب تبیین (R^2) در شرایط تنش (۶۰ درصد)، تغییرات متغیر تابع (عملکرد) توسط متغیرهای مستقل بخوبی توجیه نمی شود. صادقی (۲۰۰۶) بیان کردند چنانچه میزان ضریب تشخیص بدست آمده کمتر از ۰/۷ باشد نشان دهنده ناکافی بودن تعداد متغیرهای مستقل است. بنابراین با توجه به رگرسیون انجام شده می توان استنباط کرد که تعداد متغیرهای مستقل وارد شده در مدل جهت پیش بینی متغیر عملکرد ناکافی است.

جدول ۲- ارزیابی ژنوتیپهای مورد بررسی بر اساس شاخص های STI و TOL در مزرعه و شاخص GSI در آزمایشگاه

کد ژنوتیپ Code	شاخص تحمل (gr) TOL	شاخص تحمل خشکی STI	شاخص استرس جوانه زنی GSI
1	518	0.32	10.9
2	340	0.26	3.3
3	551	0.46	4
4	351	0.41	46.6
5	308	0.27	14.9
6	380	0.32	27.9
7	279	0.30	22.3
8	524	0.41	23.2
9	378	0.47	55.7
10	348	0.44	47.5
11	401	0.48	70.7
12	543	0.38	10.6
13	624	0.34	11.1
14	408	0.38	11.3
15	435	0.43	12.1
16	463	0.40	12.7
17	670	0.61	4.8
18	366	0.41	43.6
19	314	0.43	43.5
20	259	0.46	41.5

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی و ضریب تغییرات در شرایط آزمایشگاه

کد ژنوتیپ Code	نام / پدبگری Pedigree/Name	طول ریشه چه Root L(mm)	طول کلنوتیل Cole. L(mm)	تعداد ریشه های بذری Root No	سرعت جوانه زنی در شرایط تنش PIS	سرعت جوانه زنی در شرایط نرمال PIN	
1	Sabalan/6/Shahi/KVz/5/Shah/4/	7.5gh	1g	1.4cd	2.2eg	20.2e	
2	72YRRGP	6.8gh	1.4fg	1.1ce	1.7fg	50.5ab	
3	Ogosta/Sefid	8.6gh	1.5fg	0.7de	1.4g	35.7cd	
4	Bow"s"/GEN//SHAHI	37a	10ab	5.1a	19.8bc	42.5ac	
5	87Zhong 291	7.9gh	2.2eg	1.6cd	6.2de	41.6bc	
6	TEU2/3URES/FAN/KAUZ	6.5gh	1g	1.5cd	7.1d	25.5de	
7	IRENA/BABAX/PASTOR	8.3gh	1.2fg	0.6de	5.9de	26.5ef	
8	ww336/vee"s'//Mrn/4/HD21	6.2h	2.2eg	1.5cd	5.1dg	21.9e	
9	Ghods*3/Kavvko//Ghods	23.7bd	9.5ab	4.8a	22.9b	41.1bc	
10	914 Gene Bank Material	25bc	10.2a	4.8a	18.7c	39.5c	
11	4848 Mashad/Tui "s"	30.3b	10ab	4.9a	31.3a	44.3ac	
12	Roshan/3/F12.71/Coc//Gn079	12.5fh	1.5eg	2.1c	4.3dg	40.8bc	
13	MARAGHEH(1379-80)	13.9eh	2.7ef	1.1ce	4.6dg	41.5bc	
14	MARAGHEH(1379-80)	10.2gh	1.9eg	0.8de	5.2dg	46.1ac	
15	MARAGHEH(1379-80)	6.8gh	1.5eg	0.7de	6.1de	50.6ab	
16	MARAGHEH(1379-80)	6h	1.2g	0.9de	5.5df	42.9ac	
17	Marvdasht	6.3h	3e	0.1e	2.5eg	52.3a	
18	Cross/Alborz	18df	2.8d	3.6b	17.9c	41.1bc	
19	Azar-2	18.9cf	8.7bc	3.5b	18.6c	42.8ac	
20	Sardari	20.7ce	7.7cd	3.6b	16.7c	40.3bc	
Mean	میانگین	14.05	4.06	2.22	10.19	39.4	25.9
CV	ضریب تغییرات	24.3	18.8	26.7	20.3	13.7	

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده صفات و شاخص‌های مورد بررسی در شرایط تنش در مزرعه و آزمایشگاه

	Ys	Yp	RWC	RWL	CHF	CMS	Pro	Chla	Chlb	DH	DM	SL	PedL	PH	TKW	STI	TOL	Cole	Root	Root	PIS	PIN	
Yp	-0.07																						
RWC	0.01	-0.32																					
RWL	0.45*	-0.17	0.33																				
CHF	-0.34	0.66**	-0.21	-0.20																			
CMS	-0.62**	0.26	0.10	-0.49*	0.35																		
Pro	0.57*	-0.17	0.21	0.15	-0.56*	-0.40																	
Chla	-0.56*	0.30	0.07	-0.51*	0.42	0.85**	-0.43																
Chlb	-0.57*	0.40	-0.14	-0.45*	0.55*	0.80**	-0.55*	0.90**															
DH	-0.40	0.02	-0.24	-0.12	-0.02	0.12	-0.27	-0.11	0.10														
DM	-0.28	-0.30	-0.31	-0.08	-0.18	0.21	-0.29	-0.06	0.10	0.54*													
SL	-0.01	0.12	0.09	0.12	-0.21	-0.01	0.08	-0.22	-0.26	0.20	0.22												
Ped. L	0.29	-0.16	0.07	0.16	-0.35	-0.40	0.69**	-0.60**	-0.52*	0.07	0.12	0.28											
PH	0.20	0.08	0.00	0.15	-0.28	-0.36	0.54*	-0.55*	-0.50*	0.13	0.14	0.63**	0.86**										
TKW	0.27	-0.21	0.31	0.27	-0.27	-0.59**	0.27	-0.58**	-0.69**	-0.20	-0.45*	-0.04	0.22	0.17									
STI	0.70**	0.66**	-0.27	0.16	0.22	-0.25	0.28	-0.17	-0.10	-0.28	-0.40	0.06	0.07	0.17	0.01								
TOL	-0.43	0.93**	-0.29	-0.32	0.72**	0.47*	-0.37	0.48*	0.57**	0.17	-0.17	0.11	-0.25	0.00	-0.29	0.34							
Cole .L	0.75**	-0.12	0.02	0.45*	-0.27	-0.74**	0.56*	-0.71**	-0.73**	-0.10	-0.18	-0.11	0.47*	0.31	0.46*	0.45	-0.39						
Root L	0.61**	-0.15	0.13	0.50*	-0.33	-0.71**	0.54*	-0.70**	-0.70**	0.00	-0.19	-0.03	0.56**	0.37	0.50*	0.32	-0.36	0.91**					
Root No	0.63**	-0.27	0.03	0.54*	-0.36	-0.87**	0.46*	-0.83**	-0.82**	-0.04	-0.16	-0.06	0.46*	0.31	0.62**	0.26	-0.48*	0.91**	0.93**				
PIS	0.74**	-0.23	0.08	0.40	-0.28	-0.82**	0.54*	-0.80**	-0.80**	-0.21	-0.24	-0.10	0.50*	0.31	0.58**	0.37	-0.49*	0.89**	0.88**	0.93**			
PIN	0.31	0.14	-0.31	0.02	-0.06	-0.06	0.32	-0.07	0.01	-0.08	0.29	0.03	0.43	0.35	-0.36	0.36	0.01	0.23	0.21	0.07	0.17		
GSI	0.71**	-0.28	0.14	0.43	-0.26	-0.81**	0.45*	-0.78**	-0.80**	-0.23	-0.28	-0.13	0.39	0.21	0.65**	0.31	-0.51*	0.86**	0.84**	0.92**	0.98**	-0.01	

*, ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

Ys= yield under stress; Yp= yield under irrigation (potential); RWC; relative water content; RWL: relative water loss; CHF= chlorophyll fluorescence; CMS= cellular membrane stability; Pro= proline; Chla= chlorophyll 'a' ; Chlb= chlorophyll 'b' ; DH= days to heading; DM= days to maturity; SL= spike length; PedL= peduncle length; PH= plant height; TKW= thousand kernel weight; STI= stress tolerance index; TOL= tolerance index; ColeL.= coleoptile's length ; RootL.= rootlet length; RootNo= root number; PIS= promptness index under stress; PIN= promptness index under normal condition; GSI= germination stress index

جدول ۵- متغیرهایی که در معادله رگرسیون برای عملکرد دانه در شرایط تنش وارد مدل شده اند

متغیر	ضریب رگرسیون	مقدار t	سطح احتمال
Trait	bi	t-value	Sig.
مقدار ثابت	2220.87	3.02**	0.01
پرولین	28.97	2.33*	0.04
کلروفیل a	-36.95	3.80**	0.00
روز تا ظهور سنبله	-6.79	2.30*	0.04
طول پدانکل	-7.58	2.01+	0.06
وزن هزار دانه	-5.63	1.78+	0.10

۶۰٪=ضریب تبیین تصحیح شده

، + * و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪

$$Y_s = 2220.87 + 28.97 (\text{Pro}) - 36.95 (\text{Chl-a}) - 6.97 (\text{DH}) - 7.58 (\text{Ped.L}) - 5.63 (\text{TKW})$$

جدول ۶- تجزیه واریانس رگرسیون عملکرد دانه بر اساس صفات وارد شده در مدل رگرسیون

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F-value
Source	Df	SS	MS	
رگرسیون	5	24733.18	4946.636	6.76**
اشتباه	14	10239.77	731.4122	
کل	19	34972.95		

**معنی دار در سطح احتمال ۱٪

می باشد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که بر اساس مقادیر مثبت این مولفه انتخاب می شوند از عملکرد بالا در شرایط نرمال و عملکرد متوسط در شرایط تنش برخوردار خواهند بود.

بر اساس دو مولفه اول، بای پلات قادر به ایجاد تنوع لازم در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بوده و ژنوتیپ‌ها در چهار ناحیه گروه بندی شدند. ناحیه A که از مقادیر بالا و مثبت دو مولفه اول تشکیل شده است ژنوتیپ‌های با میزان متوسط شاخص های STI و TOL را جدا نمود. در این ناحیه ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹ و ۱۰ از چنین خصوصیتی برخوردار بودند. این ژنوتیپ‌ها بعلاوه دارای عملکرد

بیشترین بار عاملی صفات و شاخص های مورد بررسی در مؤلفه اول مشاهده شد بطوریکه بر اساس ضرایب بار عاملی صفات و شاخص ها بر روی مؤلفه ها می توان مؤلفه اول را مؤلفه با قدرت بالا در جدا نمودن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط دیم و با شاخص TOL پایین و STI متوسط نامگذاری نمود. ژنوتیپ‌هایی که بر اساس مقادیر بیشتر این مولفه گزینش می شوند علاوه بر پایداری عملکرد در دو شرایط از میزان شاخص استرس جوانه زنی و طول ریشه چه و کلئوپتیل بالا نیز برخوردار خواهند بود. از طرفی مؤلفه دوم قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با شاخص STI و TOL بالا

عملکرد دانه در شرایط دیم نشان داد صفات پرولین، محتوای کلروفیل a، روز تا ظهور سنبله، طول پدانکل، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه حدود ۶۰٪ تغییرات مربوط به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم را تعیین نمودند. اگرچه نتایج یک سال نمی‌تواند یک معیار نهایی انتخاب باشد اما بر اساس مطالعه حاضر در ۶۰٪ موارد ژنوتیپ‌های با میزان پرولین بالا، محتوای کلروفیل a پایین، روز تا سنبله‌دهی کمتر، طول پدانکل و وزن هزار دانه کمتر از عملکرد بیشتری در این تحقیق برخوردار بودند. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای پلات، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۹ و ۱۰ با داشتن عملکرد نسبتاً بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و داشتن شاخص تنش جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بالا (گروه A) از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک نموده و قابل معرفی برای کشت در شرایط تنش رطوبتی می‌باشند.

بر اساس نتایج حاصل بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات مورد بررسی تنوع قابل توجهی وجود داشت. ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۱ با داشتن عملکرد نسبتاً بالا در هر دو شرایط تنش و نرمال دارای میزان پرولین و وزن هزار دانه بالا و میزان شاخص تنش جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بالا بودند. ژنوتیپ شماره ۱۷ با بیشترین عملکرد در شرایط نرمال دارای بیشترین میزان شاخص STI و بیشترین میزان کلروفیل فلورسنس، پایداری غشاء سلولی و بیشترین میزان کلروفیل‌های a و b بود. با توجه به همبستگی بالای بین شاخص STI و عملکرد در دو شرایط دیم و آبیاری، می‌توان از این شاخص به عنوان بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های

نسبتاً بالایی در هر دو شرایط بودند و از لحاظ شاخص استرس جوانه زنی و سرعت جوانه زنی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند.

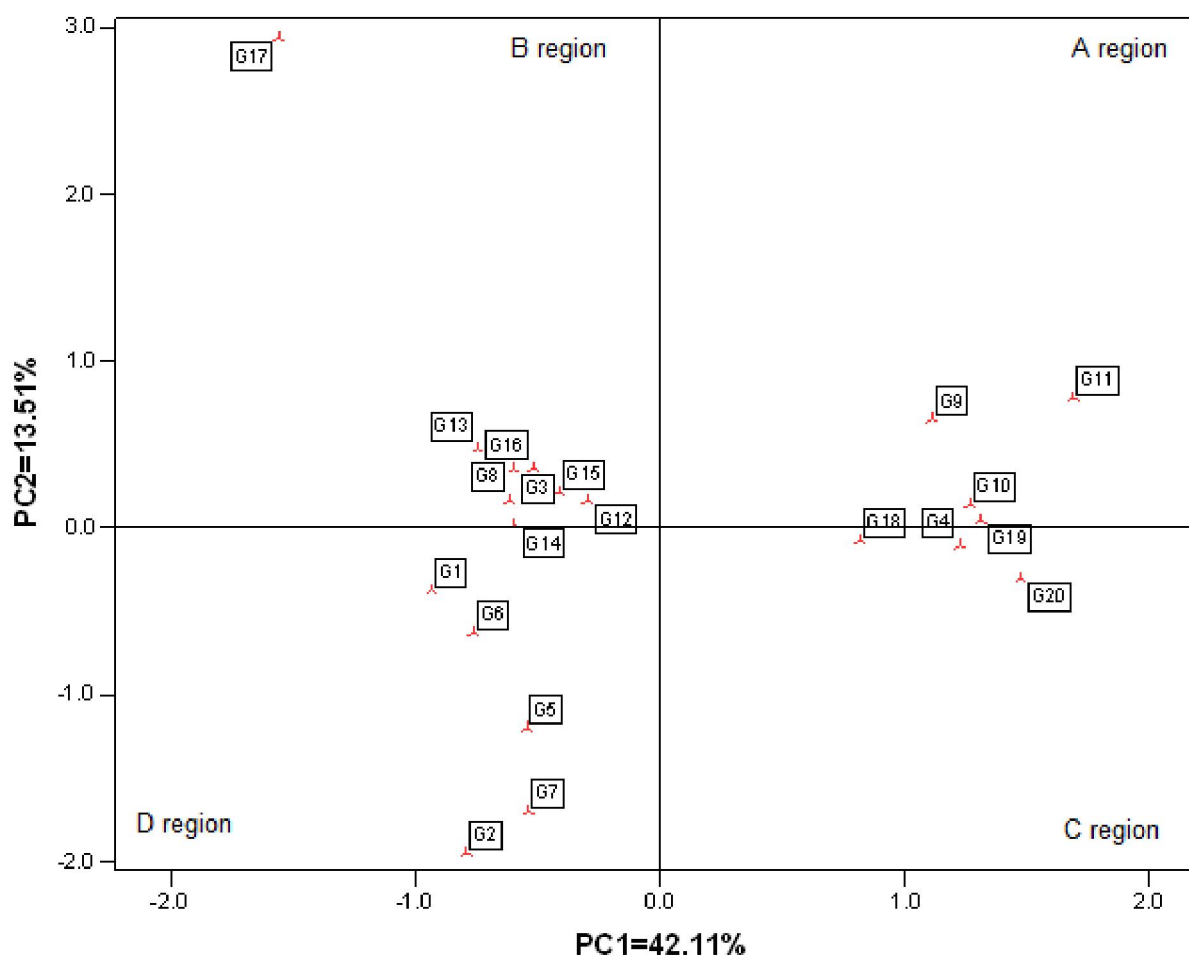
ناحیه B که از مقادیر مثبت مولفه دوم و مقادیر منفی مولفه اول تشکیل شده است بنا به تعریف ناحیه است که ژنوتیپ‌های با شاخص تحمل خشکی بالا و پتانسیل عملکرد بالا در شرایط نرمال را گزینش می‌نماید. بر این اساس ژنوتیپ شماره ۱۷ (مروذشت) خصوصیات غالب این ناحیه را دارد. ناحیه C قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد متوسط در شرایط نرمال می‌باشد. بعلاوه این ناحیه قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد بالا در دو محیط نیز می‌باشد. در این ناحیه ژنوتیپ شماره ۲۰ (سرداری) خصوصیات غالب تعریف ناحیه C را داشت. ناحیه D نیز بطور واضح ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۷، ۵، ۶ و ۱ را بعنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین و حساس به خشکی را از سایر ژنوتیپ‌ها جدا نمود.

نتایج این بررسی نشان داد روشهای آماری تک متغیره و چندمتغیره قادر به نشان دادن تنوع موجود بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشند. انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در شرایط دیم بر اساس عملکرد همواره یکی از اهداف به‌نژادی در شرایط دیم می‌باشد. اگرچه عملکرد یک صفت پلی ژنیک بوده و تصمیم‌گیری در مورد آن تا حدودی مشکل می‌باشد اما به نژادگران با کمک عوامل و صفات موثر در عملکرد جهت بهبود آن همواره تلاش نموده‌اند. یکی از روشهای آماری که نقش مهمی در تعیین صفات موثر در عملکرد دارد تجزیه رگرسیون عملکرد دانه می‌باشد. نتایج تجزیه رگرسیون

متحمل به خشکی استفاده نمود. روشهای چند متغیره
 آماری (رگرسیون چند گانه و تجزیه به مولفه های
 اصلی و بای پلات) ابزار مناسبی برای شناسایی
 صفات موثر بر عملکرد و شناسایی خصوصیات
 ژنوتیپها و گروه بندی ژنوتیپهای مورد نظر بر اساس
 روابط بین صفات مطالعه شده بودند.

جدول ۷- ضرایب بار عاملی صفات و شاخصهای مورد بررسی بر روی شش مولفه اصلی در روش تجزیه به مولفه های اصلی
 و سهم هر مولفه در توجیه واریانس کل داده ها

صفات Traits	مؤلفه ها					
	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	مؤلفه پنجم	مؤلفه ششم
Root No	0.94	0.04	-0.09	-0.25	0.09	-0.02
PIS	0.94	0.14	-0.12	-0.14	-0.04	-0.10
GSI	0.91	0.08	-0.25	-0.16	0.04	-0.07
Chl-b	-0.91	0.18	-0.05	-0.03	-0.20	-0.01
ColeL	0.89	0.23	-0.04	-0.18	-0.09	-0.03
Root L	0.88	0.14	0.01	-0.13	0.04	-0.07
Chla	-0.88	0.09	-0.20	0.21	-0.23	-0.05
CMS	-0.87	-0.04	0.06	0.22	-0.11	-0.02
Ys	0.76	0.34	-0.10	0.07	-0.35	0.28
Pro	0.66	0.07	0.20	0.50	-0.28	-0.26
TKW	0.63	-0.10	-0.39	0.11	0.46	-0.24
PedL	0.61	-0.03	0.60	0.24	-0.01	-0.30
STI	0.29	0.88	0.03	0.04	-0.12	0.21
Yp	-0.33	0.87	0.14	0.04	0.28	0.01
TOL	-0.58	0.66	0.16	0.01	0.38	-0.09
CHF	-0.50	0.58	-0.18	-0.23	0.24	-0.05
PLH	0.46	0.08	0.74	0.32	0.25	-0.09
DM	-0.19	-0.46	0.62	-0.45	-0.17	0.18
SL	0.06	-0.07	0.61	0.35	0.44	0.39
RWC	0.15	-0.35	-0.35	0.63	0.16	0.16
DH	-0.17	-0.25	0.48	-0.51	0.36	-0.06
PIN	0.16	0.33	0.56	-0.02	-0.61	0.03
RWL	0.54	-0.04	-0.12	0.00	0.12	0.67
واریانس توجیه شده %	42.10	13.51	11.96	7.47	7.22	4.58



نمودار ۱- بررسی پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس دو مولفه اول در روش تجزیه به مولفه های اصلی

منابع مورد استفاده:

آقای سربوزه م، رجبی ر، حق پرست ر، محمدی ر. ۱۳۸۷. بررسی و انتخاب ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از صفات فیزیولوژیک و شاخص های تحمل به خشکی. نهال و بذر. ۲۴(۳): ۵۷۹-۵۹۹.

فرشادفر ع، جوادی نیا ج. ۱۳۹۰. ارزیابی ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) از نظر تحمل تنش خشکی. مجله به نژادی نهال و بذر. جلد ۲۷ شماره ۴ صص ۵۳۷-۵۱۷.

فرشادفر ع، محمدی ر. ۱۳۸۴. تجزیه کنترل ژنتیکی تحمل به خشکی در گندم رقم شایان با استفاده از لاینهای جایگزین. مجله نهال و بذر. جلد ۲۱ شماره ۱. صص ۱۰۸-۹۳.

شهبازی ح، بی همتا م ر، تائب م، درویش ف. ۱۳۸۸. وراثت پذیری پارامترهای فلورانس کلروفیل و همبستگی آنها با تحمل به تنش خشکی انتهای فصل در گندم. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، سال سوم، شماره ۱۰: ۵۳-۶۵.

محمدی ر، فرشادفر ع. ۱۳۸۲. تعیین کروموزوم‌های کنترل‌کننده صفات فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی در چاودار. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۵ شماره ۲، صص ۱۳۲-۱۱۷.

محمدی ر، حق پرست ر، آقایی سربرزه م، عبدالمی ع. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان تحمل خشکی ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم دوروم بر اساس معیارهای فیزیولوژیک و سایر شاخصهای وابسته. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳ شماره ۳، صص ۵۷۶-۵۶۳.

ویسی مال امیری ا، حق پرست ر، آقایی سربرزه م، فرشادفر ع، رجبی ر. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare L.*) با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیک و شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله به نژادی بذر و نهال ۲۶(۱): ۴۳-۶۰.

Al-Dakheel RJ. 1991. Osmotic adjustment: A selection criterion for drought tolerance. In: Acevedo, E. Conesa, A. P. Monneveux, P. Srivastava, J. P. A. (eds), Physiology-Breeding Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. Montpellier. France. pp: 337-368

Alimohammadi M, Mirmohammady Maibody SAM. 2011. Factor analysis of agronomic and physiological traits of ten Bread Wheat cultivars under tow irrigation conditions. Journal of Plant Production 18(2):61-76

Ashraf MY, Azmi AR, Khan H, Ala SA. 1994. Effect of water stress and total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiology Plantarum. 16 (3): 185-191.

Bates IS, Waldern RP, Teare, ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39, 205-207

Bishop DL, Bugbee BG. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. J. Plant Phys. 153: 558-565

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. 1988. Plant breeding for stress invironment. CRC Press Boca Raton, Florida. 223pp

Blum A. 1992. Breeding methods for drought resistance. In: G. Hamlyn, T. J. Flower and B. Jones (eds), Plant Under Stress. Cambridge University Press. pp: 197-215

Bousslama M, Schapaugh WT. 1984. Stress tolerance in soybeans. Evaluation of three screening technique for heat and drought tolerance. Crop Sci. 24: 933-937

Castrillo M, Calcargo AM. 1989. Effects of water stress and re-watering on ribulose-1,5, biphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. J. orti. Sci. 64: 717-724

- Castrillo M, Trujillo I.** 1994. Ribulose-1-5, biphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. *Photosynthetic*. 30: 175-181
- Chaghamirza K, Farshadfar E.** 2005. Study of relationships between yield and yield components in chickpea. Abstracts of the 19th Iranian congress of crop science and plant breeding, college of agriculture, university of Tehran, Karaj, Iran
- Dedio W.** 1975. Water relations in wheat leaves as screening tests for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* 55: 369-378
- Estill K, Delany RH, Smith WK, Ditterline RL.** 1991. Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. *Crop Sci.* 25: 345-348
- Fernandez GCJ.** 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Publication, Tainan, Taiwan, 13-18 Aug. Chapter 25. pp: 257-270
- Fischer RA, Maurer R.** 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912
- Genty B, Briantais JM, Baker NR.** 1989. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta*, 990: 87-92
- Gravandi M, Farshadfar E, Kahrizi D.** 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian journal of plant physiology* 58(1):69-75
- Haley SD, Quick JS, Morgan JA.** 1993. Excised-leaf water status evaluation and associations in field-grown winter wheat. *Can. J. Plant Sci.* 73: 55-63
- Jiang J, Friebe B, Gill BS.** 1994. Recent advances in alien gene transfer in wheat. *Euphytica* 73: 199-212
- Kocheva K, Gorgiev G.** 2003. Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000. *Bulgarian journal of plant physiology, special issue*: 290-294
- Leilah A, AL-Khateeb A.** 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought condition. *Journal arid environment* 14:483-496
- Loss SP, Siddique KHM.** 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv. In Agron.* 52: 229-276
- Manette AS, Richard CJ, Carre B, Morhinweg W.** 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.* 28: 526-531
- Michel BE, Kaufman MR.** 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 5, 914-916
- Moaveni P.** 2001. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum*). *Agricultural Science Research Journal* 1(1): 64-68
- Ozalp VC, Oktem HA, Naqvi SMS, Yucel M.** 2000. Photosystem II and cellular membrane stability evaluation in hexaploid wheat seedlings under salt stress conditions. *J. of Plant Nutr.* 23: 275-283

- Pessarkli M.** 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker INC
- Rosielle AA, Hamblin J.** 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sci. 2: 943-946.
- Sadeghi A.** 2006. Introduction to statistical analysis software SPSS14. Jihad-e-Daneshgahi Publication, Tehran, Iran
- Safarnejad A.** 2004. Characterization of somaclones of alfalfa (*Medicago sativa* L.) for drought tolerance. Journal of Agricultural Science and technology 6:121-127
- Sapra VT, Sarage E, Anaele AO, Beyl CA.** 1991. Varieties differences of wheat and triticale to water stress. J. Agron. Crop Sci. 167: 23-28
- Schonfeld MA, Johnson RC, Carver BF, Mornhinweg DW.** 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Sci. 28: 526-531
- Siddique A, Hamid A, Islam MS.** 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin. 41: 35-39
- Siosemardeh A.** 2003. Effect of drought stress on the some agronomic and physiological aspects of wheat. Ph. D. Thesis, College of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran
- Wang H, Clarke JM.** 1993. Relationship between excised-leaf water loss and stomatal frequency in wheat. Can. J. Plant Sci. 73, 93-99
- Yang RC, Jana S, Clarke JM.** 1991. Phenotypic diversity and associations of some potentially drought responsive characters in durum wheat. Crop Sci. 31:1484-1491

Evaluation of Bread Wheat Genotypes for Drought Tolerance using Agro-Physiological Traits

Ezatollah Farshadfar¹, Farzad Moradi² and Reza Mohammadi³

1-Prof. of Razi University 2-Former MSc student of Razi University

3-Assis. Prof. of Deputy Dryland Agricultural Research institute - Kermanshah

Abstract

This research was investigated to study the agronomic and physiological characteristics of 20 bread wheat genotypes under both rainfed (stress) and irrigated (non-stress) conditions in the field (RCBD) and laboratory (CRD) with three replications in Sararood Dryland Agricultural Research Station, Kermanshah, Iran, in 2004-05 cropping season. Genotypes were evaluated for physiological and agronomic traits in the both field and laboratory conditions. The genotypes differed significantly for the measured traits. Genotype No. 17 (Marvdasht) with the highest yield under normal condition had the highest stress tolerance index (STI) and tolerance index (TOL), whereas genotype No. 20 (Sardari) with the highest yield under rainfed had the lowest TOL and moderate STI. The results of regression analysis indicated that traits of Pro, Chl-a, DH, PedL, PH and TKW were accounted for 60% of total variation of grain yield under rainfed condition. Based on results of correlation analysis, the laboratory traits were as a good alternative for most of field traits. Therefore, use of them for some selections in field can be suggested. According to principal component analysis (PCA) and biplot analysis, the genotypes No. 11, 9 and 10 with relatively high yield in the both conditions had high proline content and high TKW and the highest germination stress index (GSI) and promptness index (PI). Genotype No. 17 with the highest yielding production under normal condition was characterized as genotype with the highest values for STI, chlorophyll fluorescence, cellular membrane stability and Chl-a and Chl-b. STI was positively ($P < 0.01$) associated with yields under both stress and non-stress conditions, thus can be regarded as suitable index for screening drought tolerant genotypes.

Key words: Bread wheat, agro-physiologic traits, STI, regression analysis, biplot