

تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ پرچم گندم نان در واکنش به تنش خشکی

مریم گل‌آبادی^{۱*}، زهرا عباسی^۲، احمدرضا گل‌پرور^۳

۱. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)؛
۲. محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد؛
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان).

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۱۸

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان مهمترین تنش غیرزیستی نقش مهمی در کاهش تولید محصول گیاهان زراعی در نواحی خشک و نیمه خشک جهان دارد. در این رابطه صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی بر تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی برگ پرچم گندم نان آزمایشی در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی را سه رژیم مختلف آبیاری شامل، شرایط آبیاری نرمال، تنش رطوبتی با قطع آبیاری از ۵۰ درصد ظهور سنبله تا زمان برداشت و تنش رطوبتی با قطع آبیاری از ۵۰ درصد ظهور سنبله تا زمان برداشت همراه با ۳۰ درصد افزایش کود نیتروژن و عامل فرعی را ۷ ژنوتیپ گندم نان تشکیل دادند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفات فیزیولوژیکی محتوای نسبی آب برگ، محتوای آب برگ، ظرفیت حفظ رطوبت، آب حفظ شده برگ‌های بریده شده، نسبت آب از دست رفته و صفت عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری را در شرایط محیطی مختلف داشتند. صفات فیزیولوژیکی در شرایط تنش رطوبتی همراه با ۳۰ درصد افزایش کود نیتروژن مقادیر معنی‌دار بالاتری نسبت به شرایط تنش رطوبتی بدون مصرف کود اضافی نشان دادند. به نظر می‌رسد کود نیتروژن با افزایش رشد رویشی و محتوای آب برگ، باعث افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط تنش رطوبتی شده است. نتایج نشان داد که ارقام سپاهان، پیشستاز و لاین ۱۱ با داشتن بیشترین مقدار عملکرد دانه و دارا بودن بیشترین مقادیر صفات فیزیولوژیکی و کمترین مقدار صفت نسبت آب از دست رفته در محیط‌های مختلف به‌عنوان ارقام برتر معرفی گردیدند.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، صفات فیزیولوژیکی، عملکرد دانه، غلات، محتوای نسبی آب برگ.

مقدمه

عوامل مهم تاثیرگذار در تحمل گیاه می‌باشند (Acosta-Gallegos and White, 1995).

پتانسیل آب برگ به عنوان یک معیار قابل قبول در ارزیابی پتانسیل مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی مدنظر است (Siddique et al., 2000). در پژوهشی با مطالعه ارقام مختلف گندم در شرایط تنش رطوبتی و ارزیابی صفات مختلف فیزیولوژیکی مشخص شد که همبستگی منفی بالایی بین عملکرد دانه و پتانسیل آب برگ وجود دارد و این ارتباط در ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی برگ‌های سبز خود را بهتر حفظ می‌نمایند، مشهودتر است (Winter et al., 1988). درجه حرارت

اگرچه ارزیابی و مقایسه عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش و تنش به عنوان مهمترین معیار گزینش برای تحمل به خشکی در برنامه‌های اصلاحی گندم است (Siddique et al., 2000)، اما این صفت به تنهایی شاخص مناسبی برای تحمل به خشکی نمی‌باشد. بنابراین گزینش در برنامه‌های به نژادی می‌تواند براساس صفات فیزیولوژیکی که با تحمل به خشکی همبستگی بالایی دارند، انجام گیرد. در سال‌های اخیر از معیارهای فیزیولوژیکی زیادی به عنوان نشانگرهای تحمل به خشکی استفاده شده است (Siddique et al., 2000). از طرف دیگر شدت تنش، مرحله رشدی گیاه، زمان اعمال تنش و محیط رشد گیاه از

میزان آب از دست رفته برگ‌های جدا شده آنها کمتر بود، دارای عملکرد بیشتری بودند (Clarke and Townley, 1986). محتوای آب برگ (LWC^3)، نسبت آب از دست رفته (RWL^4) و ظرفیت حفظ رطوبت (MRC^5) از دیگر صفات فیزیولوژیک می‌باشند که ارتباط نزدیکی را با میزان تحمل تنش رطوبتی نشان داده‌اند (Ramirez, 1998). در لوبیای معمولی ارتباط مثبتی بین MRC ، عملکرد دانه و اجزای آن تحت شرایط تنش خشکی حاصل گردید (Acosta-Gallegos and White, 1995).

در بسیاری از مطالعات، اعمال کود اضافی نیتروژن نقش تعدیل‌کننده‌ای در کاهش اثرات تنش رطوبتی داشته است. در گندم اندکی پس از گلدهی، جذب نیتروژن بسیار کاهش می‌یابد و بخش عمده‌ای از نیتروژنی که در داخل گیاه در دوره رویشی تجمع یافته‌است، مورد استفاده قرار گیرد و بر حسب رقم ۵۰ تا ۹۰ درصد از نیتروژنی که بعداً در دوره زایشی در سنبله ذخیره می‌شود از این بخش تامین می‌گردد (Robert and Waker, 1994). انتقال این مقدار نیتروژن از بافت‌های رویشی به دانه، منبع اصلی نیتروژن برای نمو دانه می‌باشد. از طرفی، انتقال ماده خشک تولید شده در عملکرد نهایی آنها سهم قابل توجهی دارد، بویژه هنگامی که فتوسنتز جاری پس از گلدهی در اثر تنش خشکی کاهش یابد (Mainard and Jeuffroy, 2001). بنابراین جذب نیتروژن در شرایط مزرعه‌ای، باعث افزایش تولید ماده خشک شده و بر روی بافت‌های رویشی اثر قابل توجهی دارد. همین اثر امکان تغییرات را در صفات مختلف فیزیولوژیک به دنبال خواهد داشت.

شناسایی صفات خاص فیزیولوژیک به عنوان واکنش-های تطابقی و استفاده از آنها در به نژادی و تولید ارقام با ویژگی‌های سازگار با شرایط کمبود رطوبتی یکی از مراحل مهم در مطالعات تنش خشکی است. در این راستا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه صفات فیزیولوژیک RWC ، LWC ، $ELWR$ ، MRC و RWL در شرایط محیطی مختلف شامل تنش رطوبتی و تنش رطوبتی همراه با کود نیتروژن اضافی بر روی تعدادی ژنوتیپ گندم نان انجام گرفت.

سایه‌انداز نیز از دیگر خصوصیات مرتبط با تنش آب است. این صفت معیار مناسبی در جهت نشان دادن پتانسیل آب برگ گندم در شرایط تنش است (Siddique et al., 2000). سیدیک و همکاران (Siddique et al., 2000) عنوان نمودند که تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی در گندم، درجه حرارت کنوبی بیشتری را نسبت به شرایط نرمال نشان داد. از دیگر صفات فیزیولوژیک می‌توان به صفات محتوای نسبی آب برگ (RWC^1) و آب حفظ شده برگ‌های جدا شده ($ELWR^7$) اشاره کرد. RWC به عنوان معیار انتخاب برای تحمل به خشکی پیشنهاد شده است. در حقیقت آنچه که به کاربرد روز افزون این معیار اعتبار بخشیده است، ارتباط مستقیم آن با پتانسیل آب برگ است (Matin et al., 1989). این صفت تحت تاثیر تنظیم اسمزی، جذب آب و میزان تعرق قرار داشته و وراثت پذیری بالایی را در شرایط تنش خشکی نشان داده است (Alidib et al., 1990). سیدیک و همکاران (Siddique et al., 2000) با مطالعه ارقام مختلف گندم در دو شرایط محیطی مختلف یک کاهش ۴۴ درصدی را در RWC ارقام تحت شرایط تنش رطوبتی گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر مشخص گردید که ارقام متحمل به خشکی، RWC بیشتری را در شرایط تنش و عدم تنش داشته و همبستگی بالایی بین این صفت با عملکرد دانه مشاهده شده است (NarouiRad et al., 2013). بنابراین برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مواجه با خشکی، محتوای نسبی آب برگ موفق عمل می‌کند.

آب حفظ شده برگ‌های جدا شده ($ELWR$) نیز به عنوان یک صفت فیزیولوژیک مهم در گندم‌های نان و دوروم معرفی گردیده است. برگ‌های جدا شده از طریق روزنه‌ها آب خود را از دست داده و میزان از دست دادن آب با گذشت زمان و پژمرده شدن برگ‌ها و بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد. ضمن اینکه آب در نمونه برگ‌های گرفته شده از گیاهانی که در معرض تنش واقع نشده‌اند خیلی سریع‌تر از گیاهانی که دچار تنش شده‌اند، از دست می‌رود (Clarke and Townley-Smith, 1986). در مطالعه‌ای این صفت به عنوان یک ابزار قوی جهت غربال کردن ژنوتیپ‌های F_2 و F_3 گندم دوروم در محیط‌های واجد تنش خشکی به‌کار گرفته شده است، به طوری که لاین‌هایی که

3. Leaf water content
4. Relative water lose
5. Moisture retention capacity

1. Relative water content
2. Excised leaf water retention

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر روی ۷ ژنوتیپ مختلف گندم نان شامل کوپر، پیشتاز، سپاهان، قدس، روشن و دو لاین اصلاحی پیشرفته به شماره ۹ (با شجره [www33G/Vee"S"//Mrn/4/Hd2172/Bloudan//Azd/3/S](http://www33G/Vee) (an/AL و شماره ۱۱ (با شجره Attila*2/PBW65) اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این مطالعه کرت‌های اصلی شامل سه رژیم مختلف رطوبتی و کرت‌های فرعی شامل هفت ژنوتیپ مختلف گندم بودند. سه رژیم مختلف رطوبتی شامل شرایط آبیاری معمول مطابق با عرف منطقه، شرایط تنش رطوبتی انتهایی فصل رشد با قطع آبیاری در زمان ۵۰ درصد ظهور سنبله تا انتهای فصل رشد و شرایط تنش رطوبتی انتهایی فصل رشد با قطع آبیاری در زمان ۵۰ درصد ظهور سنبله تا انتهای فصل رشد به همراه اعمال ۳۰ درصد افزایش در کود اوره نسبت به نیاز اولیه گیاه بودند. در دو تیمار تنش رطوبتی، آبیاری تا مرحله ظهور سنبله مشابه با شرایط نرمال اجرا شد. محل اجرای آزمایش مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) بود که این مزرعه در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۵۵۵ متر و اقلیم منطقه بر اساس تقسیم بندی کوپن خشک، بسیار گرم با تابستان‌های خشک می‌باشد. میانگین درازمدت بارندگی و درجه حرارت سالیانه منطقه به ترتیب ۱۲۰ میلی متر و ۱۶ درجه سانتی گراد می‌باشد. خاک محل آزمایش سیلتی لومی با قابلیت هدایت الکتریکی ۳/۵ میلی موس بر سانتیمتر، اسیدیته ۷/۸ بود. نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک محل آزمایش دارای ۰/۵ درصد مواد آلی، ۰/۴ درصد نیتروژن، ۱۴ میلی-گرم بر کیلوگرم فسفر و ۲۵۰ میلی-گرم بر کیلوگرم پتاس می‌باشد.

عناصر غذایی مورد نیاز بر اساس آزمایش خاک به صورت کودهای شیمیایی مصرف شد. میزان کودهای مصرفی به صورت ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل)، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (از منبع کلرور پتاسیم) و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره برای هر سه کرت اصلی بود که کودهای فسفر و پتاس و نیمی از کود نیتروژن قبل از کاشت به زمین اضافه شدند و

بقیه کود نیتروژن در دو نوبت پنجه‌دهی و پیش از گلدهی مصرف شدند. در رژیم رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی، ۳۰ درصد کود اضافی پس از محاسبه، همراه با کودهای معمول به زمین اضافه شد. کنترل علف‌های هرز بصورت دستی و آفت شته با سم متاسیستوک و با غلظت دو در هزار کنترل شد.

هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و فاصله ردیف‌های ۲۵ سانتی متر و تراکم کاشت در حدود ۴۵۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت در آبان ماه و برداشت در تیرماه سال زراعی انجام شد. به منظور جلوگیری از نشت آب آبیاری از تیمارهای معمول به تیمارهای تنش، فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر ۳ متر در نظر گرفته شد. در مرحله تنش رطوبتی و زمانی که برگ‌ها لوله شده بودند، نمونه‌گیری از ۱۰ برگ پرچم هر کرت در هر یک از شرایط محیطی انجام شده و پنج صفت فیزیولوژیک RWC، LWC، ELWR، MRC و RWL به روش زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۱. محتوای نسبی آب برگ (RWC):

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad [1]$$

که در آن FW، DW و TW به ترتیب معادل وزن برگ تازه، وزن برگ خشک شده در آون و وزن برگ اشباع می‌باشند. برای اندازه‌گیری RWC در زمان اعمال تنش خشکی و در مرحله لوله‌ای شدن برگ‌ها، تعداد ۱۰ نمونه برگ پرچم از هر ژنوتیپ در ساعت ۱۱-۱۲ صبح بطور تصادفی انتخاب و نمونه‌های برگ سریعاً در پاکت نایلونی و روی یخ خشک به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه وزن تر برگ‌ها ثبت گردید و سپس برگ‌ها به قطعات ۲ سانتی متری بریده شده و در آب مقطر به مدت ۶-۸ ساعت و در دمای آزمایشگاه (۲۵-۲۳°C) نگهداری شدند. پس از آن وزن برگ اشباع اندازه‌گیری و نمونه‌های برگ در آون ۷۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت نگهداری و در نهایت وزن خشک آنها محاسبه شد (Matin et al., 1989).

۲. محتوای آب برگ (LWC):

طبق فرمول زیر و به همان روش محتوای نسبی آب برگ اندازه‌گیری شد (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998).

$$LWC = \frac{(FW - DW)}{DW} \times 100 \quad [2]$$

۳. آب حفظ شده برگ‌های جدا شده (ELWR):

$$ELWR = \frac{1 - (FW - ADW/FW)}{1} \times 100 \quad [3]$$

برای اندازه‌گیری ELWR تعداد ۱۰ نمونه برگ پرچم مطابق روش محاسبه RWC به آزمایشگاه منتقل شده و سریعاً وزن برگ تازه اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت ۴ ساعت در دمای آزمایشگاه نگهداری و بعد از آن وزن برگ پژمرده (ADW) محاسبه شد (Clarke, 1982).

۴- نسبت آب ازدست رفته (RWL):

$$RWL = [(FW - ADW) / DW] / t \quad [4]$$

محاسبه این صفت نیز مشابه سایر صفات فیزیولوژیک بوده و t نشان دهنده مدت زمان پژمرده شدن نمونه‌ها بر اساس ساعت در نظر گرفته شد (Yang et al., 1991).

۵. ظرفیت حفظ رطوبت (MRC) (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998):

$$MRC = [(ADW - DW) / (FW - DW)] \times 100$$

۶. عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع با برداشت ردیف‌های میانی و با حذف حاشیه و تبدیل به واحد سطح اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD و در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شرایط محیطی و ژنوتیپ‌های مختلف در صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه (جدول ۱) نشان داد که هر پنج صفت فیزیولوژیک در شرایط محیطی مختلف تفاوت معنی‌داری را با یکدیگر دارند و در بین ژنوتیپ‌ها نیز تفاوت معنی‌دار برای صفات ELWR، RWL و MRC مشاهده گردید. کومار و شارما (Kumar and Sharma, 2007) نیز تفاوت معنی‌داری را در بین نسل‌های در حال تفرق گندم از نظر صفات ELWR و RWC گزارش کردند. نتایج مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون LSD (جدول ۲) نشان داد که برای صفات RWL، RWC و LWC مقدار صفت از شرایط محیطی نرمال به سمت تنش رطوبتی کاهش یافت، به طوری که به ترتیب شرایط محیطی نرمال، تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی و تنش رطوبتی قرار داشت. اما برای صفات EIWR و MRC وضعیت متفاوتی مشاهده شد و تفاوت این صفات در شرایط محیطی تنش رطوبتی و تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی معنی‌دار نبود و بیشترین مقدار آنها در شرایط تنش رطوبتی دیده شد. مونجال و دهاندا (Munjal and Dhanda, 2005) به مقادیر بالای

به نظر می‌رسد قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی توانسته است از طریق کاهش دوره پرشدن دانه‌ها، وزن دانه‌ها، وزن هزار دانه و حتی تعداد دانه‌ها، عملکرد دانه را در شرایط محیطی تنش رطوبتی نسبت به شرایط محیطی نرمال کاهش دهد. از زمان پس از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک مواد پرورده از فتوسنتز جاری یا از مواد ذخیره‌ای در طول پر شدن دانه‌ها، تعیین کننده وزن دانه‌ها می‌باشد. همچنین ممکن است قطع آبیاری از طریق اختلال در میزان فتوسنتز برگ، باعث کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه شده و در نتیجه کاهش عملکرد دانه را

است که در شرایط تنش، برگ‌ها سریع‌تر روزه‌های خود را بسته و لذا درصد کاهش رطوبت پایین آمده و آب بیشتری در برگ‌ها حفظ می‌شود. شرایط محیطی تنش رطوبتی در مقایسه با تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی، MRC و ELWR کمتری را در همه ژنوتیپ‌ها نشان داد که نشانه توانایی کمتر ژنوتیپ‌ها جهت بستن روزه‌های برگ و کاهش از دست رفتگی آب است.

نتایج مقایسه میانگین صفات مختلف بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۲) نشان داد که ارقام سیاهان و پیشتاز و لاین ۱۱ دارای بیشترین مقادیر RWC، LWC، ELWR و MRC در شرایط محیطی مختلف بودند، به طوری که در شرایط محیطی عدم تنش بیشترین مقدار LWC، RWC و MRC و در شرایط محیطی تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی بیشترین مقدار ELWR و MRC را نشان دادند. در مقابل کمترین مقدار نسبت آب از دست رفته (RWL) نیز در آنها مشاهده شد (شکل ۱).

موجب شده باشد (Mainard and Jeuffroy, 2001; Niu et al., 1998). به نظر می‌رسد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی انتهای فصل رشد، عمدتاً به علت کاهش دوره پرشدن دانه، کاهش فتوسنتز و انتقال کمتر مواد فتوسنتزی حاصل از آن به دانه‌ها باشد. در مطالعه گولر (Guler, 2002) بر روی ۳ ژنوتیپ گندم دوروم و در ۴ رژیم رطوبتی مختلف در طی مراحل رشدی گیاه، با افزایش شدت تنش رطوبتی، عملکرد دانه کاهش بیشتری نشان داد.

صفات RWC، LWC و RWL بیشترین مقدار را در شرایط محیطی نرمال و سپس در تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی نشان دادند (جدول ۲). محیط حاوی کود نیتروژن اضافی اثر تعدیل‌کنندگی بر روی صفات فیزیولوژیک RWC، LWC و RWL از طریق رشد رویشی بیشتر و محتوای آب برگ بیشتر داشته است. صفات ELWR و MRC بیشترین مقدار را در شرایط تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی و کمترین مقدار را در محیط عدم تنش نشان دادند. این نتیجه حاکی از این مطلب

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تیمارهای رطوبتی و ژنوتیپ‌های مختلف بر صفات فیزیولوژیک گندم نان

Table 1. Analysis of variance of stress treatments and different genotypes on physiological traits in bread wheat

S.O.V	منابع تنوع	درجه آزادی	میانگین مربعات					عملکرد
			محتوای نسبی آب برگ	محتوای آب برگ	آب حفظ شده برگ‌های بریده شده	محتوای آب از دست رفته	ظرفیت حفظ شده آب برگ	
		df	RWC	LWC	ELWR	RWL	MRC	Yield
Replication	تکرار	2	0.37	80.1**	16.6	0.01*	25.2	24.7*
Environment	شرایط محیطی	2	5.2**	118.6**	243.9**	0.05**	243.1**	964.5**
Error a	خطای a	4	2.6	15.7	30.3	0.01	90.4	12.1
Genotype	ژنوتیپ	6	0.25	6.4	48.8**	0.02**	123.3**	18.5*
Env.×Genotype	ژنوتیپ × شرایط محیطی	12	0.19*	20.49*	5.9	0.04*	17.7*	18.6*
Error b	خطای b	36	0.56	11.7	11.2	0.01	30.5	6.9
	ضریب تغییرات C.V		10.4	5.2	4.6	14.1	10.4	15.5
	ضریب تبیین R ²		0.59	0.65	0.72	0.79	0.64	0.91

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** significant at P < 0.05 and P < 0.01, respectively.

RWC: محتوای نسبی آب برگ، LWC: محتوای آب برگ، ELWR: آب حفظ شده برگ‌های بریده شده، RWL: محتوای آب از دست رفته، MRC: ظرفیت حفظ شده آب برگ.

RWC: Relative water content, LWC: Leaf water content, ELWR: Excised leaf water retention, RWL: Relative water lose, MRC: Moisture retention capacity.

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در تیمارهای رطوبتی و ژنوتیپ‌های مختلف در گندم نان

Table 2. The mean comparison of physiological traits and yield of wheat in different stresses and genotypes

Treatment	تیمار	عملکرد Yield (g/m ²)	ظرفیت حفظ شده آب برگ MRC (%)	محتوای آب از دست رفته RWL (%)	آب حفظ شده برگ - های بریده شده ELWR (%)	محتوای آب برگ LWC (%)	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)
Stress condition	شرایط تنش ...						
Normal	عدم تنش	638.1a	49.2b	0.21a	68.2b	65.8a	60.1a
Stress-N	تنش. نیتروژن	182.9b	55.9a	0.16b	74.3a	62.4b	51.1b
Stress	تنش	162.5b	53.7a	0.15b	73.9a	63.4ab	46.1b
Genotype	ژنوتیپ						
Kavir	کویر	329.2abc	50.1b	0.18ab	70.4c	65.3a	49.5a
Ghods	قدس	293bc	48.2b	0.19ab	69.2c	66.9a	48.7a
Pishtaz	پیش‌تاز	386.9a	56.5a	0.15dc	74.7a	65.9a	53.9a
Roshan	روشن	231.9c	52.7ab	0.2a	70.8bc	66.9a	51.4a
Line 9	لاین ۹	382.2a	49.8b	0.18abc	70.8bc	66.5a	54.2a
Sepahan	سپاهان	372.7ab	57.2a	0.17bcd	73.9ab	68.5a	55.1a
Line 11	لاین ۱۱	298.9abc	56.3a	0.15d	74.9a	66.8a	54.1a

برای هر صفت، میانگین‌های هر ستون با حداقل دارای یک حرف مشترک از نظر آماری با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

RWC: محتوای نسبی آب برگ، LWC: محتوای آب برگ، ELWR: آب حفظ شده برگ‌های بریده شده، RWL: محتوای آب از دست رفته، MRC: ظرفیت حفظ شده آب برگ

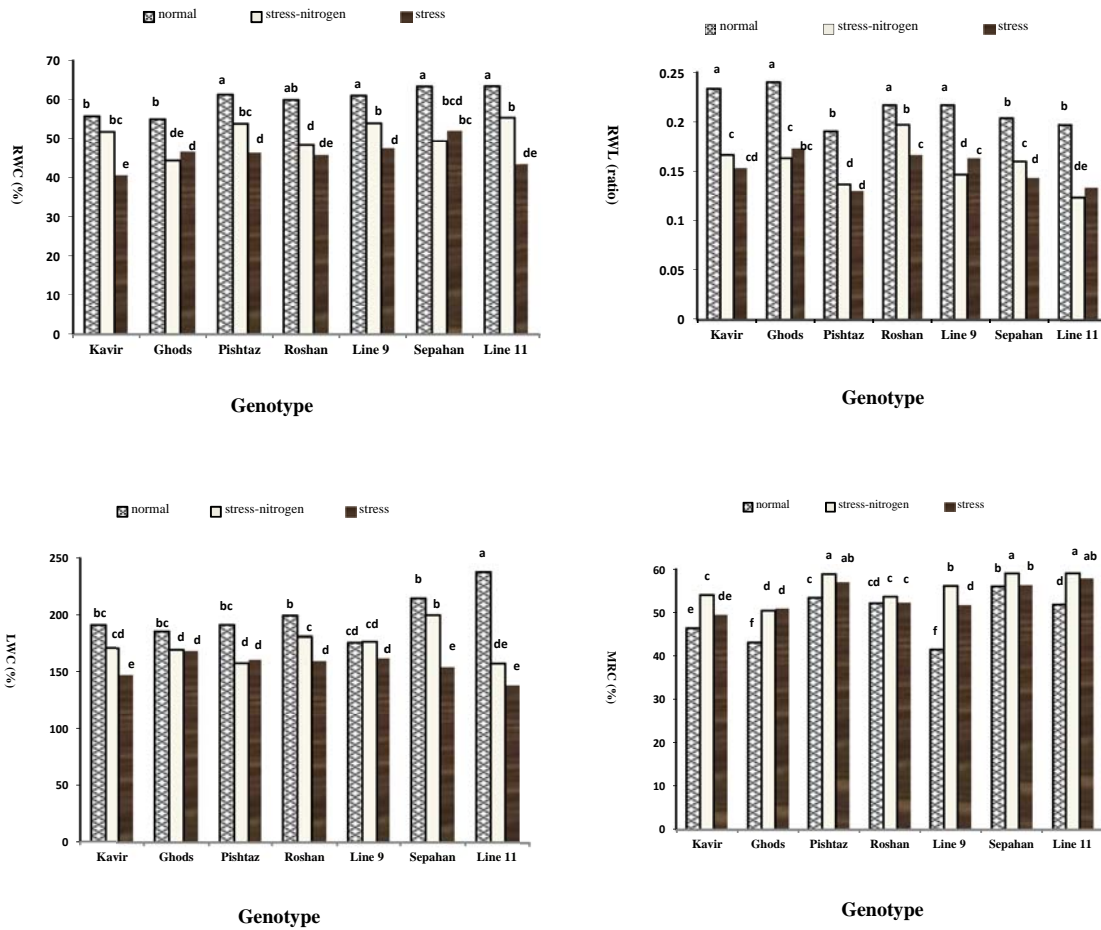
For each trait, means within the same column followed by same letter are not significantly different at 0.05 probability level by LSD.

RWC: Relative water content, LWC: Leaf water content, ELWR: Excised leaf water retention, RWL: Relative water lose, MRC: Moisture retention capacity.

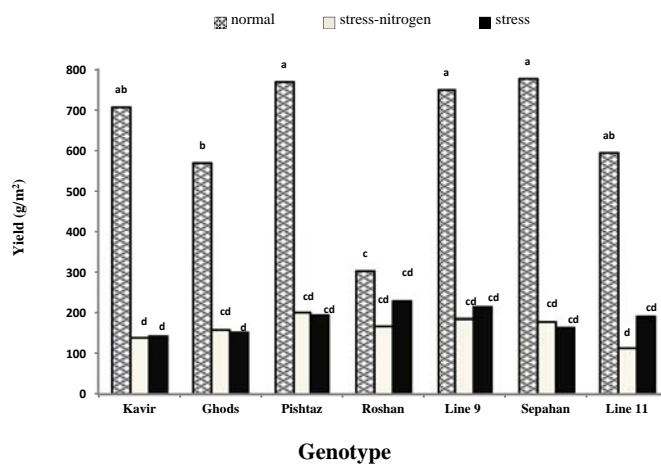
حساس به خشکی گندم نان دریافتند که در ارقام متحمل ELWR بیشتر از ارقام حساس بوده است که با نتایج مطالعه حاضر هماهنگی دارد. از طرف دیگر میزان آب حفظ شده برگ‌های بریده (ELWR) در شرایط تنش بیش از شرایط بدون تنش بود (جدول ۲)، زیرا در شرایط تنش با بسته شدن روزنه‌ها میزان از دست رفتن آب کاهش می‌یابد (Liang et al., 2002).

در نقطه مقابل، ارقام قدس و کویر کمترین مقدار RWC، EIWR و MRC و بیشترین مقدار RWL را نشان دادند که همگی در ارتباط با حساسیت به تنش خشکی و افت میزان آب درون بافتی و افزایش از دست دادگی آب برگ است. اثرات متقابل ژنوتیپ و شرایط محیطی مختلف برای کلیه صفات فیزیولوژیک به جز صفت ELWR و عملکرد دانه معنی‌دار بود که نتایج آن در اشکال ۱ و ۲ قابل مشاهده است.

رقم پیش‌تاز وضعیت مناسبی را از نظر صفات فیزیولوژیک نشان داد، بطوری‌که مقادیر بالایی را برای صفات RWC، ELWR و MRC داشت. بالا بودن مقادیر این صفات معرف تحمل بیشتر گیاه به شرایط تنش رطوبتی است. رامیرز-والجو و کلی (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998) به بالا بودن میزان LWC و RWC در ارقام متحمل به خشکی لوییا اشاره داشته‌اند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. مطابق همین نتیجه در مطالعه دیگری بر روی گندم مشاهده شد که ارقام متحمل به خشکی RWC بیشتری را در شرایط تنش و عدم تنش نشان دادند و با توجه به همبستگی بالای این صفت با عملکرد، چنین نتیجه‌گیری شد که صفت RWC می‌تواند به عنوان شاخص مناسب برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی دارای عملکرد زیاد در برنامه‌های اصلاحی بکار رود (Naroui Rad et al., 2013). وینتر و همکاران (Winter et al., 1988) با اندازه‌گیری ELWR در ارقام متحمل و



شکل ۱. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف گندم در صفات فیزیولوژیک تحت شرایط محیطی مختلف
 Fig. 1. The mean comparison of different wheat genotypes in physiological traits under different stresses



شکل ۲. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف گندم در عملکرد دانه تحت شرایط محیطی مختلف
 Fig. 2. The mean comparison of different wheat genotypes in yield under different stresses.

ELWR و عملکرد دانه در گندم‌های نان، دوروم و تریتیکاله را گزارش نمودند. البته گزارش‌هایی نیز مبنی بر همبستگی مثبت (Ghobadi et al., 2011) و عدم همبستگی (Malik et al., 2006; Rana and Sharma, 2001) این صفت و عملکرد دانه وجود دارد. بالاترین مقادیر همبستگی بین صفت ELWR با صفات MRC و RWL به ترتیب به میزان ۰/۹۵- و ۰/۹۲ بدست آمد که با ماهیت صفات مطابقت دارد، به طوری که ELWR و MRC هر دو در ارتباط با حفظ رطوبت در برگ‌ها از طریق بسته شدن روزنه‌ها می‌باشند.

نتایج ضرایب همبستگی صفات (جدول ۳) نشان داد که بین عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک همبستگی معنی‌داری وجود داشت. این همبستگی برای صفات LWC، RWC و RWL مثبت و برای صفات ELWR و MRC منفی بدست آمد. احتمالاً عدم خروج آب از برگ‌ها و افزایش مقدار ELWR و MRC، به دلیل محدود شدن هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش زیست توده و تولید دانه بوده است. این نتایج در توافق با نتایج رامیرز-والجو و کلی (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998) بود. لنبانی و ارزانی (Lonbani and Arzani, 2011) و دهاندا و ستی (Dhanda and Sethi, 2002) همبستگی منفی بین

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم

Table 3. The correlation coefficients between physiological traits and grain yield in wheat

Traits	صفات	Yield	RWC	LWC	ELWR	RWL	MRC
Yield	عملکرد دانه	1					
RWC	محتوای نسبی آب برگ	0.75**	1				
LWC	محتوای آب برگ	0.51*	0.66**	1			
ELWR	آب حفظ شده برگ‌های بریده شده	-0.68**	-0.41 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	1		
RWL	محتوای آب از دست رفته	0.75**	0.54*	0.47*	-0.95**	1	
MRC	ظرفیت حفظ شده آب برگ	-0.51*	-0.15 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.92**	-0.75**	1

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

RWC: محتوای نسبی آب برگ، LWC: محتوای آب برگ، ELWR: آب حفظ شده برگ‌های بریده شده، RWL: محتوای آب از دست رفته، MRC: ظرفیت حفظ شده آب برگ

*، ** and ^{ns} significant at $P < 0.01$, $P < 0.05$ and non-significant, respectively

RWC: Relative water content, LWC: Leaf water content, ELWR: Excised leaf water retention, RWL: Relative water lose, MRC: Moisture retention capacity.

نیتروژن اضافی است. میزان کاهش آب حفظ شده برگ‌های بریده (ELWR) در بین دو محیط تنش رطوبتی نسبت به سایر صفات از اختلاف کمتری برخوردار بود که این نتیجه نیز موید موقعیت بهتر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی در جهت حفظ آب برگ می‌باشد. مقایسه میانگین عملکرد دانه در بین ۷ ژنوتیپ مورد بررسی (جدول ۲) نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه به ترتیب در رقم پیش‌تاز، لاین ۹ و رقم سپاهان به میزان ۳۸۶/۹، ۳۸۲/۲، ۳۷۲/۷ گرم در مترمربع بدست آمد و کمترین میزان عملکرد را رقم روشن به خود اختصاص داد. نتیجه بدست آمده حاکی از این مطلب است که ارقام مذکور

درصد کاهش کلیه صفات فیزیولوژیک از محیط عدم تنش به هر یک از دو محیط تنش رطوبتی مقایسه شد (جدول ۴) که این کاهش برای اکثر ژنوتیپ‌ها در محیط تنش رطوبتی بیش از تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی بود و نشان دهنده شدت بیشتر تنش در محیط مذکور است. در حالی که در محیط تنش همراه با نیتروژن اضافی مقدار کمتری از آب برگ از دست رفته است، به طوری که بیشترین درصد کاهش RWC، RWL و LWC و کمترین درصد کاهش MRC در شرایط تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی تخمین زده شد. کمترین درصد کاهش MRC نشانه حفظ بیشتر آب در شرایط تنش همراه با

همراه با نیتروژن اضافی نشان ندادند که نشانه عدم تاثیر کود نیتروژن اضافی بر عملکرد این ارقام است. از طرف دیگر بر اساس عملکرد رقم کویر مشخص است که این رقم دارای عملکرد قابل قبولی بوده (عدم تفاوت معنی‌دار با بالاترین عملکرد) و توانسته است با استفاده از سایر مکانیسم‌های تحمل تنش مانند پرشدن بهتر دانه‌ها و داشتن اجزای عملکرد بالاتر مانند وزن دانه، انتقال بهتر ذخایر ساقه به دانه و فتوسنتز جاری بالاتر عملکرد خوبی داشته باشد (Golabadi and Golkar, 2013). لذا باید سایر جوانب از جمله به کار بردن سطوح بالاتر نیتروژن، به کاربردن سایر ژنوتیپ‌ها و ارقامی که توانایی استفاده از خواص فیزیولوژیکی را داشته باشند، عدم تأثیر کود نیتروژن اضافی بیش از یک حد مشخص، خروج نیتروژن اضافی از خاک قابل دسترس و شستشوی آن و خطاهای رخ داده در طی مراحل اندازه‌گیری صفات مختلف مد نظر قرار گیرد. از طرف دیگر توجه یک جانبه به یک سری از صفات بدون در نظر گرفتن سایر صفات مهم مؤثر بر عملکرد دانه، انتخاب را دچار مشکل می‌نماید و لازم است تا کلیه صفات مهم مؤثر بر عملکرد دانه بویژه در شرایط تنش رطوبتی مانند نقش ذخایر ساقه در افزایش پرشدن دانه، صفات فنولوژیکی و اجزای عملکرد مورد توجه قرار گیرند.

بویژه سپاهان و پیشتاز علاوه بر دارا بودن پتانسیل ژنتیکی بالا، توانسته‌اند از مکانیسم‌های مختلف تحمل به تنش خشکی استفاده نموده و از افت عملکرد جلوگیری نمایند. در تحقیق صورت گرفته توسط گراوندی و همکاران (Geravandi et al., 2011) روی ۲۰ ژنوتیپ گندم مشخص شد که رقم پیشتاز از نظر صفات فیزیولوژیکی ELWR, RWC و عملکرد دانه در حد بالایی قرار داشت. با توجه به شکل ۲ مشخص گردید که اگرچه بیشترین عملکرد ارقام مختلف در شرایط نرمال بوده است، اما بین شرایط محیطی تنش و تنش همراه با ازت اضافی از نظر عملکرد دانه برای ارقام و لاین‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

از طرف دیگر توجه به عملکرد دانه و میزان افت آن در شرایط تنش رطوبتی و تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی (جدول ۴) نشان داد که رقم روشن و لاین‌های ۱۱ و ۹ افت عملکرد بیشتری را در شرایط تنش رطوبتی همراه با نیتروژن نسبت به تنش رطوبتی نشان داده‌اند که بیشترین مقدار آن مربوط به لاین ۱۱ بود. لاین شماره ۱۱ با وجود داشتن مقادیر بالای صفات فیزیولوژیکی در شرایط تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی، نتوانست از افت عملکرد در این شرایط جلوگیری نماید. در مقابل ارقام کویر، قدس و پیشتاز تفاوت قابل توجهی را در بین دو شرایط تنش و تنش

جدول ۴. ضریب کاهش صفات مختلف فیزیولوژیکی و عملکرد دانه گندم در دو شرایط تنش رطوبتی و تنش رطوبتی همراه با نیتروژن اضافی

Table 4. The reduction coefficient of physiological different traits and yield of wheat in stress and stress associated with excess nitrogen.

Genotype	ژنوتیپ	محتوای نسبی آب برگ		محتوای آب برگ		محتوای آب از دست رفته		ظرفیت حفظ شده آب برگ		عملکرد	
		RWC	Yi-Ysn	LWC	Yi-Ys	RWL	Yi-Ysn	MRC	Yi-Ysn	Yi-Ys	Yield
Kavir	کویر	0.07	0.27	0.05	0.1	0.29	0.34	-0.16	-0.07	0.8	0.8
Ghods	قدس	0.19	0.15	0.04	0.04	0.32	0.28	-0.17	-0.18	0.72	0.73
Pishtaz	پیشتاز	0.12	0.24	0.08	0.07	0.28	0.32	-0.1	-0.07	0.74	0.75
Roshan	روشن	0.19	0.24	0.03	0.08	0.09	0.23	-0.03	0.01	0.46	0.49
Line 9	لاین ۹	0.12	0.22	0.01	0.03	0.32	0.25	-0.35	-0.25	0.75	0.72
Sepahan	سپاهان	0.22	0.18	0.04	0.11	0.21	0.30	-0.05	-0.01	0.77	0.79
Line 11	لاین ۱۱	0.13	0.32	0.11	0.15	0.37	0.32	-0.14	-0.12	0.81	0.68

RWC: محتوای نسبی آب برگ، LWC: محتوای آب برگ، RWL: محتوای آب از دست رفته، MRC: ظرفیت حفظ شده آب برگ.

Yi: مقدار صفت در شرایط نرمال، Ysn: مقدار صفت در شرایط تنش همراه با نیتروژن اضافی، Ys: مقدار صفت در شرایط تنش رطوبتی

RWC: Relative water content, LWC: Leaf water content, RWL: Relative water loss, MRC: Moisture retention capacity

Yi: The trait value in nonstress, Ysn: The trait value in stress along with extra N, Ys: The trait value in stress.

منابع

- Acosta-Gallegos, J.A., White, J.W., 1995. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. *Crop Science*. 35, 199-204.
- Alidib, T., Monneveux, P.H., Araus, J.L., 1990. Breeding durum wheat for drought tolerance. Analytical, synthetical approaches and their connection. pp. 224-240. In: *Wheat Breeding, Prospects and Future Approaches*. Bulgarian Agricultural Academy, Bulgaria.
- Clarke, G., 1982. Excised leaf water retention capacity as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 62, 571-576.
- Clarke, J.M., Townley-Smith, T.F., 1986. Heritability and relationship to yield of excised leaf water retention in durum Wheat. *Crop Science*. 26, 289-292.
- Dhanda, S.S., Sethi, G.S., 1996. Genetics and interrelationships of grain yield and its related traits in bread wheat under irrigated and rainfed conditions. *Wheat Information Service*. 83,19-27.
- Dhanda, S.S., Sethi, G.S., 2002. Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*. 139, 319-326.
- Geravandi, M., Farshadfar, E., Kahrizi, D., 2011. Evaluation of some hysiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology*. 58 (1), 69-75.
- Ghobadi, M., Khosravi, S., Kahrizi, D., Shirvani, F., 2011. Study of water relations, chlorophyll and their correlations with grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 78, 582-585.
- Golabadi, M., Arzani, A., Mirmohammadi Maibody, S.A.M., 2008. Evaluation of Influence of late-season moisture stress on yield and morpho-physiological characteristics of F3 families of durum wheat. *Iranian Agriculture Research*. 6, 405-418. [In Persian with English summary].
- Golabadi, M., Golkar, P., 2013. Compensation of grain yield reduction under drought stress by extra N fertilizer in bread wheat. *International Journal of Agriculture: Research and Review*. 3 (3), 629-634. Available online at <http://www.ecisi.com>
- Golestani Araghi, S., Asad, M.T., 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. *Euphytica*. 103, 293-299.
- Guler, M., 2002. Irrigation effects on quality characteristics of durum wheat. *Canadian Journal of Plant Breeding*. 327-331.
- Kumar, A., Sharma, S.C., 2007. Genetics of excised-leaf water loss and relative water content in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*. 35(1), 43-52.
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M., Zhang, J., 2002. The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum*). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 43, 187-192.
- Lonbani, M., Arzani, A., 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy Research*. 9 (1-2), 315-329.
- Mainard, S.D., Jeuffroy, M.H., 2001. Partitioning of dry matter and N to the spike throughout the spike growth period in wheat crop subjected to N deficiency. *Field Crops Research*. 70, 153-165.
- Malik, T.A., Ullah, S., Malik, S., 2006. Genetic linkage studies of drought tolerant and agronomic traits in cotton. *Pakistan Journal of Botany*. 35, 1613-1619.
- Matin, M.A., Brown, J.H., Ferguson, H., 1989. Leaf water potential relative water content and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy Journal*. 81, 100-105.
- Merah, O., 2001. Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural Science*. 137, 139-145.
- Munjal, R., Dhanda, S.S., 2005. Physiological evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought resistance. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 65, 307-308.
- Naroui Rad, M.R., Abdul Kadir, M., Rafii, M.Y., Jaafa, H.Z.E., Danaee, M., 2013. Gene action for physiological parameters and use of relative water content (RWC) for selection of tolerant and high yield genotypes in F2

- population of wheat. Australian Journal of Crop Science. 7(3), 407-413.
- Niu, J.Y., Gan, Y.T., Zhang, J.W., Yang, Q.F., 1998. Post anthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. Crop Science, 38, 1562-1568.
- Ramirez-Vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99, 127-136.
- Rana, V., Sharma, S.C., 2001. Association of yield and some drought tolerance traits in wheat (*Triticum aestivum* L). Crop Improvement. 28(2), 231-235.
- Robert, K.M., Waker, J., 1994. Physiological of field crops. Published by Shiraz University. 572p.
- Shamsi, K., 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant Sciences. 8 (3), 1051- 1060.
- Siddique, M.R.B., Hamid, A., Islam, M.S., 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Botany of Bulletin Science. 41, 35-39.
- Tas, S., Tas, B., 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkey. World Journal of Agricultural Sciences. 3(2), 178-183.
- Winter, S.R., Musick, J.T., Porter, K.B., 1988. Evaluation of screening techniques for breeding drought- resistant winter wheat. Crop Science. 28, 512- 516.
- Yang, R.C., Jana, S., Clark, J.M., 1991. Phenotypic diversity and associations of some potentially drought response characters in durum wheat. Crop Science. 31, 1484-1491.