دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره ششم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۵ (۳۰۵-۲۹۳)

شناسایی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش خشکی در گندم نان بر اساس برخی صفات فیزیولوژیک و فنولوژیک

زینب سلیمانی[۱]، حسینعلی رامشینی[۲*]، سید محمد مهدی مرتضویان[۲] و بهروز فوقی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

چکیده

اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌تواند از کاهش شدید عملکرد در شرایط خشکی جلوگیری کند. انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های فیزیولوژیک منجر به تولید ژنوتیپ‌هایی خواهد شد که سازگاری خوبی به شرایط تنش دارند. در این آزمایش، ۳۰ ژنوتیپ گندم نان برای تحمل به خشکی بر اساس شاخص‌های فیزیولوژیک و فنولوژیک در شرایط مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین تنظیم اسمزی این ژنوتیپ‌ها در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط تنش خشکی ارزیابی شد. تنش رطوبتی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد. پتانسیل اسمزی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به حالت بدون تنش منفی‌تر شد و دوره رسیدگی تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت، اما زودرسی در ژنوتیپ‌های وری‌ناک، فونگ، فرونتانا، تجن، شیرودی و WS-82-9 بیشتر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود. همبستگی معنی‌داری بین تنظیم اسمزی در مرحله گیاهچه‌ای و عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی به دست آمد. درصد کاهش محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ سرداری ۴/۵ برابر بیشتر از ژنوتیپ وری‌ناک بود. ژنوتیپ‌های وری‌ناک، WS-82-9 و فرونتانا تحت تنش خشکی به خوبی از ساز و کار فرار و اجتناب بهره بردند. در مقابل، بیشترین عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی مربوط به توده بومی سرداری و ارقام روشن و طوس به ترتیب با ۶، ۵/۴۶ و ۵/۳۷ تن در هکتار بود. در نتیجه، این ژنوتیپ‌ها تحمل بیشتری به تنش خشکی داشتند و جهت کشت در شرایط تنش کمبود آب پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تنظیم اسمزی، زودرسی، لوله‌ای شدن برگ، محتوای نسبی آب برگ

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- مربی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران
* نویسنده مسئول: ramshini_h@ut.ac.ir

مقدمه

تنش خشکی به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌ها و عامل اصلی کاهش عملکرد در نظر گرفته می‌شود و کاهش عملکرد به خاطر تنش خشکی از مجموع کاهش عملکرد به خاطر همه تنش‌های دیگر بیشتر است (Babu *et al*., 2004). تغییر در الگوی اقلیمی و کاهش منابع آب در دسترس در سراسر دنیا با احتمال زیاد منجر به این خواهد شد که مزارع آبی نیز با آب کمتری آبیاری شوند که این امر منجر به تجربه تنش خشکی در این مزارع نیز خواهد شد (Rebetzke *et al*., 2006). اهمیت اقتصادی گندم ایجاب می‌کند تا هرگونه راهکاری برای بهینه کردن سامانه تولید این محصول مورد ارزیابی و کاربرد قرار گیرد. به نظر می‌رسد تولید و معرفی ارقام پرمحصول و مقاوم به خشکی آخر فصل و نیز ارقام زودرس در گیاهان زراعی یکی از راهکارهای موثری باشد که همراه با سایر روش‌های مدیریت کم آبی می‌تواند تأثیر این پدیده را به حداقل برساند (Trethowan and Reynolds, 2007).

اصلاح گیاهان برای پتانسیل عملکرد بالا که به طور هم‌زمان سازگاری خوبی با تنش داشته باشند بهترین راه برای مقابله با تنش خشکی در گندم است. بهترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی که دارای این سازگاری باشند استفاده از صفات فیزیولوژیک است. برای این منظور اولین مراحل شروع برنامه اصلاحی شناسایی منابع ژنتیکی است که این صفات در آنها به صورت مطلوبی بروز کند. حساس‌ترین مرحله نمو گندم به تنش خشکی مرحله زایشی است (Blum, 2009).

تنظیم اسمزی به عنوان راهبرد اصلی گیاهان در مقاومت به تنش خشکی، قدرت تحمل گیاه را در شرایط تنش بالا می برد. در این سازوکار گیاهان مواد محلول را در شیره سلولی خود تجمع می دهند که موجب کاهش پتانسیل اسمزی می‌گردد (Blum, 2011). مواد محلول یاد شده مولکول‌های آلی کوچک مانند اسیدهای آمینه، بتائین‌ها و قندها هستند. اگرچه برخی مواد محلول معدنی نیز در تنظیم اسمزی نقش دارند، اما توانایی گیاهان برای تجمع مواد محلول (اسمولیت‌ها) را می‌توان به طور غیر مستقیم با ارزیابی تنظیم اسمزی پیش‌بینی کرد. هم اکنون تنظیم اسمزی به عنوان یک ساز و کار اصلی در تحمل به خشکی توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Zhang *et al*., 1999). تنظیم اسمزی به عنوان بخشی از ساز و کار مقاومت به خشکی می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی جهت بهبود تحمل به تنش خشکی استفاده شود (Bajji *et al*., 2001). میان واریته‌ها در مراحل مختلف رشد از نظر محتوای نسبی آب برگ (RWC) تفاوت معنی‌داری وجود دارد و محتوای نسبی آب برگ در واریته‌های حساس در شرایط تنش خشکی بیشتر کاهش می‌یابد (Almeselmani *et al*., 2011). تفاوت در میزان RWC ممکن است به تفاوت توانایی واریته‌ها در جذب بیشتر آب از خاک و یا توانایی کنترل تلفات آب از طریق روزنه‌ها نسبت داده شود. همچنین این تفاوت ممکن است ناشی از تفاوت توانایی واریته‌ها در تنظیم اسمزی جهت حفظ فشار تورمی بافت‌ها و به دنبال آن فعالیت‌های فیزیولوژیک باشد. لوله‌ای شدن برگ بهترین نشانه ظاهری شناخته شده تنش آبی در غلات است (Blum, 1989) که منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در تعرق می‌شود. در مطالعه‌ای که جهت بررسی تاثیر تنش شوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک لاین‌های تریتیکاله انجام شد، همبستگی مثبت و معنی‌دار (r = ۰/۵۵*) لوله‌ای شدن برگ با عملکرد دانه مشاهده شد (Salehi and Arzani, 2011). لوله‌ای شدن برگ موجب کاهش بار انرژی و تعرق می‌شود (Blum, 1989) و بنابراین حفظ عملکرد گیاه در شرایط تنش را به همراه خواهد داشت. لوله‌ای شدن به عنوان یک ساز و کار دوری از خشکی مطرح است. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی که لوله‌ای شدن برگ در آن‌ها تحت شرایط تنش بیشتر باشد، تحمل بیشتری به تنش دارند. در ژنوتیپ‌های گندم دوروم تحت تنش خشکی، همبستگی مثبت و معنی‌داری میان لوله‌ای شدن برگ با عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گزارش شده و ژنوتیپ‌هایی که لوله‌ای شدن برگ در آن‌ها زیاد است، عملکرد دانه، تعداد دانه در خوشه، سرعت پر شدن دانه و کارایی مصرف آب بالاتری نیز دارند (Bogale *et al*., 2011).

شناسایی صفات فیزیولوژیک به عنوان واکنش‌های تطابقی و استفاده از آن‌ها در به‌نژادی و تولید ارقام با ویژگی‌های سازگار به شرایط کمبود آب یکی از مراحل مهم در مطالعات تنش خشکی است. در صورتی‌که ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های فیزیولوژیک و فنولوژیک مطلوب شناسایی شوند، می‌توان صفات مطلوب آنها را به ژنوتیپ‌های پرمحصول منتقل کرد. در مطالعه حاضر برخی از صفات فیزیولوژیک و فنولوژیک تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط تنش و عدم تنش خشکی جهت تعیین ژنوتیپ‌های متحمل و حساس مورد مطالعه قرار

گرفت. سپس ارتباط بین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با صفات مطالعه شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۳۰ ژنوتیپ گندم نان تهیه شده از بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر از نظر محتوای نسبی آب برگ (RWC)، زمان رسیدگی فیزیولوژیک، پتانسیل اسمزی، تنظیم اسمزی، نقره‌ای شدن و لوله‌ای شدن برگ ارزیابی شدند. مشخصات این ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارایه شده است (Najafian *et al.*, 2008).

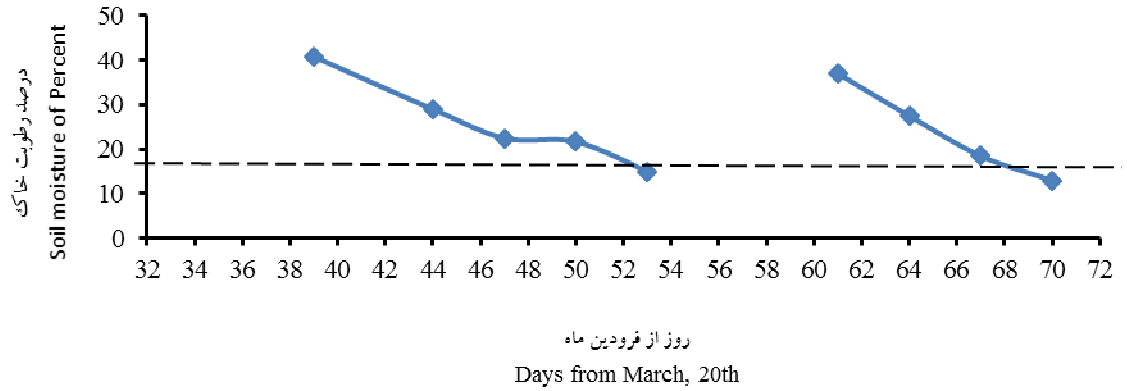
جدول ۱- ژنوتیپ‌های گندم نان مطالعه شده در این تحقیق

Table 1. Bread wheat genotypes studied in this research

ژنوتیپ Genotype	خاستگاه Origin	عادت رشد Habitat	ژنوتیپ Genotype	خاستگاه Origin	عادت رشد Habitat
اروند موتانت	ایران	بهاره	زرین	سیمیت	بینابین
Mutant Arvand	Iran	Spring	Zarrin	CIMMYT	Intermediate
الوند	ایران	بینابین	سایسون	فرانسه	زمستانه
Alvand	Iran	Intermediate	Saison	France	Winter
امید	ایران	زمستانه	سرداری	ایران	زمستانه
Omid	Iran	Winter	Sardari	Iran	Winter
آذر۱	ایران	زمستانه	سرداری ۱۰۱	ایران	زمستانه
Azar-1	Iran	Winter	Sardari101	Iran	Winter
آرتا	سیمیت	بهاره	شاه‌پسند	ایران	زمستانه
Arta	CIMMYT	Spring	Shahpasand	Iran	Winter
آزادی	ایران	بهاره	شیرودی	سیمیت	بهاره
Azadi	Iran	Spring	Shiroodi	CIMMYT	Spring
روشن بهاره	ایران	بهاره	توس	ایالات متحده امریکا	زمستانه
Spring Roshan	Iran	Spring	Tous	USA	Winter
روشن زمستانه	ایران	زمستانه	فرونتانا	برزیل	بهاره
Winter Roshan	Iran	Winter	Frontana	Brazil	Spring
تجن	سیمیت	بینابین	فونگ	-	-
Tajan	CIMMYT	Intermediate	Fong		
رصد	ایران	بهاره	قدس	ایران	بهاره
Rasad	Iran	Spring	Qods	Iran	Spring
روشن	ایران	بینابین	کرج۲	ایران	بینابین
Roshan	Iran	Intermediate	Karaj-2	Iran	Intermediate
کرج۳	ایران	بینابین	نوید	ایران	بینابین
Karaj-3	Iran	Intermediate	Navid	Iran	Intermediate
کرخه	ایکاردا	بهاره	هامون	ایران	بهاره
Karkhe	ICARDA	Spring	Hamoon	Iran	Spring
مارون	ایران	بهاره	وری‌ناک	سیمیت	بهاره
Maroon	Iran	Spring	Vierynak	CIMMYT	Spring
ناز	سیمیت	-	WS-82-9	ایران	بهاره
Naz	CIMMYT			Iran	Spring

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی اجرا شد. عملیات کاشت، داشت و برداشت طبق روش مرسوم در منطقه انجام شد. کاشت بذرها در تاریخ ۱۰ آذرماه انجام گرفت. ژنوتیپ‌ها در دو شرایط جداگانه شامل بدون تنش و تنش خشکی مقایسه شدند. در هر شرایط طرح آزمایشی به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. هر ژنوتیپ روی دو پشته که هر پشته شامل دو خط و هر خط به طول دو متر بود، به صورت دستی کاشت

شد. فاصله بین پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر، بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر و روی خطوط ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با آزمایش خاک مشخص شد که خاک مزرعه لوم سیلتی است. آزمایش خاک محل آزمایش با دستگاه صفحات فشاری نشان داد که نقطه پژمردگی معادل میزان رطوبت ۱۴ درصد در خاک بود. با آزمایش خاک و تعیین درصد رطوبت با نمونه‌گیری‌های منظم روزانه، دور آبیاری برای شرایط نرمال و تنش انتخاب شد. زمان اعمال تنش خشکی در شرایط تنش، زمان آغاز گلدهی حدود ۵۰ درصد همه ژنوتیپ‌ها بود. پس از شروع تنش بر اساس آزمون اولیه خاک (شکل ۱) زمانی که درصد رطوبت در بخش تنش به حدی رسید که معادل پتانسیل اسمزی ۱/۵- مگاپاسگال (۱۴ درصد رطوبت وزنی) بود (نقطه پژمردگی)، آبیاری مجدد به روش جوی و پشته انجام گرفت (Beltrano and Ronco, 2008). بر این اساس، ژنوتیپ‌های گندم نان پس از گلدهی تا زمان رسیدگی دو بار در مزرعه تحت شرایط تنش خشکی قرار گرفتند.



شکل ۱- رطوبت خاک طی دو بار اعمال تنش پس از مرحله گلدهی ژنوتیپ‌های گندم برای تعیین دور آبیاری در شرایط تنش خشکی
Figure 1. Soil moisture in two water stress applied after flowering stage of the wheat genotypes to determine irrigation interval in drought stress conditions

محتوای آب نسبی برگ در شرایط مزرعه و در سه زمان مختلف انجام شد. با توجه به اینکه در مجموع تا پایان آزمایش دو بار تنش اعمال شد، نمونه‌برداری اول برای اندازه‌گیری RWC، ۱۷ روز پس از تنش اول و نمونه‌برداری دوم و سوم به ترتیب ۹ و ۱۲ روز پس از تنش دوم انجام شد. همان‌گونه که انتظار داشتیم در تنش دوم با توجه به گرم‌تر شدن هوا گیاهان زودتر تنش خشکی را تجربه کردند. RWC به این ترتیب انجام شد: یک تا دو برگ پرچم از هر ژنوتیپ جدا و پس از انتقال در نایلون و روی یخ به آزمایشگاه، بلافاصله وزن تر آن (FW) تعیین شد. سپس این نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در دمای معمولی اتاق در آب قرار داده شدند. در این حالت وزن آن‌ها در حالت تورژسانس (TW) تعیین شد. سپس نمونه‌ها در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه خشک شده و وزن خشک آن‌ها (DW) نیز تعیین شد (Barr and Weatherley, 1962). در نهایت با استفاده از رابطه (۱) محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد:

$$RWC(\%)=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100 \qquad (۱)$$

لوله‌ای شدن برگ به صورت مشاهده‌ای و بر اساس رتبه از صفر تا ۳ در مرحله گلدهی در بخش تنش امتیازدهی شد، به این ترتیب که صفر= فاقد لوله‌ای شدن، ۱= لوله‌ای شدن کم، ۲= لوله‌ای شدن متوسط و ۳= لوله‌ای شدن زیاد در نظر گرفته شد (Salehi and Arzani, 2011; Bogale *et al*., 2011). نقره‌ای شدن برگ نیز به همین ترتیب به صورت مشاهده‌ای و بر اساس رتبه از صفر تا ۳ در مرحله گل‌دهی در بخش اعمال تنش امتیازدهی شد. جهت برآورد تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک، زمانی که در ۵۰ درصد از بوته‌های هر ژنوتیپ در هر واحد آزمایشی، دم گل‌آذین زرد شد به عنوان زمان رسیدن فیزیولوژیک ثبت شد (Dastfal *et al*., 2009). همچنین برای صفات محتوای نسبی آب برگ، تعداد روز تا رسیدن و پتانسیل اسمزی وراثت‌پذیری عمومی بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات حاصل از جدول تجزیه واریانس به دست آمد (Schwartz *et al*., 2009). در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی محصول، در هر واحد آزمایشی دو ردیف میانی برداشت و عملکرد بر اساس تن در هکتار محاسبه شد.

به منظور ارزیابی تنظیم اسمزی ژنوتیپ‌ها در مرحله گیاهچه‌ای، آزمایشی جداگانه انجام شد، به این ترتیب که ۳۰ ژنوتیپ یاد شده (جدول ۱) در شرایط نرمال آبیاری و تنش خشکی در گلدان‌های کوچک (قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر) کشت شدند. در هر شرایط برای هر ژنوتیپ سه تکرار در نظر گرفته شد. در هر گلدان ۵ بذر کشت شد. قالب طرح آزمایشی برای هر شرایط به صورت طرح کاملا تصادفی بود. گیاهان شرایط نرمال روزانه آبیاری شدند، اما در شرایط تنش، گیاهان تا زمان ظهور آثار پژمردگی برگ آبیاری نشدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه (۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. یکی از روش‌های اندازه‌گیری تنظیم اسمزی، محاسبه تفاوت میان پتانسیل اسمزی در شرایط نرمال و شرایط تنش است (Blum, 2011). در این روش، گیاهان ۲۰ روزه در شرایط نرمال و تنش (در RWC حدود ۶۰ درصد) در عصر آبیاری شده و صبح روز بعد از برگ‌های آن‌ها برای اندازه‌گیری تنظیم اسمزی نمونه‌گیری شد. انتظار نمی‌رود آب رسانی به مدت یک شب، تغییرات قابل توجهی را میان ژنوتیپ‌ها در تنظیم اسمزی آن‌ها بعد از دوره کم‌آبی ایجاد کند (Steponkus *et al*.,. 1982). برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی برگ، نمونه‌گیری از برگ سوم (با ابعاد ۱ سانتی متر در ۵ سانتی متر) انجام شده و برگ‌ها داخل تیوب ml ۱/۵ قرار گرفت. تیوپ‌ها بلافاصله در ازت مایع قرار داده شد و تا مرحله استخراج عصاره، در فریزر ۸۰- نگهداری شد. در مرحله استخراج، دو ساچمه ریز روی نمونه‌های برگ داخل تیوپ قرار داده و ته تیوپ نیز با سوزن بسیار ریز سوراخ شد و این تیوب داخل تیوپ ml ۲ قرار گرفت تا عصاره سلولی پس از جدا شدن از برگ وارد این تیوب شود. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دور rpm ۱۰۰۰۰ سانتریفوژ انجام شد. عصاره به دست آمده را به مدت ۵ دقیقه با دور rpm ۵۰۰۰ دوباره سانتریفوژ کرده تا ناخالصی‌های موجود در عصاره ته نشین شود. سپس عصاره به دست آمده برای قرائت پتانسیل اسمزی در داخل دستگاه اسمومتر (مدل Osmomat 0330 ساخت Gonotec آلمان) قرار داده شد (Callister *et al*., 2008). تنظیم اسمزی از تفاوت پتانسیل اسمزی هر ژنوتیپ در شرایط نرمال و شرایط تنش به دست آمد.

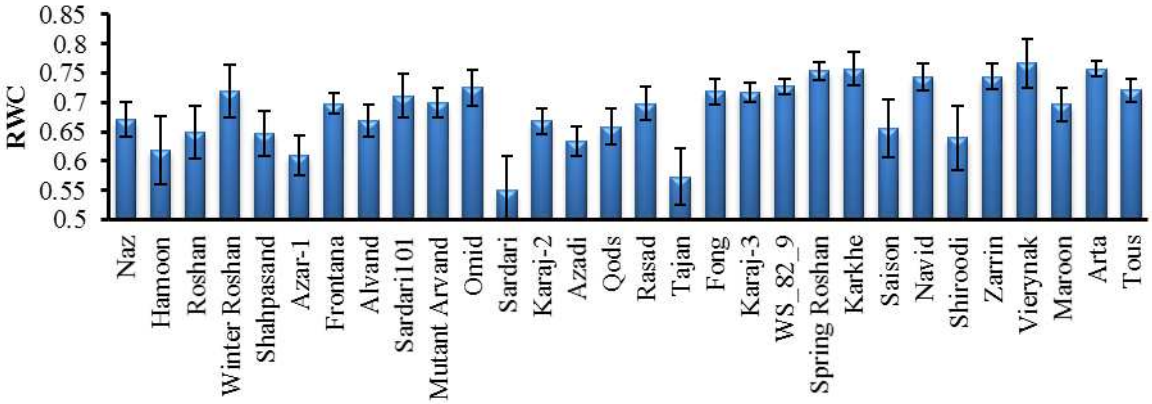
تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با روش LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را میان ژنوتیپ‌ها از لحاظ محتوای نسبی آب برگ نشان داد (شکل ۲). به طور کلی تنش رطوبتی باعث می‌شود میزان آب نسبی برگ در ژنوتیپ‌ها کاهش یابد و ژنوتیپ‌هایی که نسبت به بقیه تحمل بیشتری به شرایط تنش دارند، دارای محتوای آب نسبی برگ بیشتری نیز خواهند بود. بر این اساس ژنوتیپ‌های وری ناک، آرتا، کرخه، بک کراس روشن بهاره، زرین و نوید با داشتن محتوای نسبی آب برگ بالاتر، تحمل بیشتری در برابر تنش خشکی از خود نشان دادند و قادر بودند آب بیشتری را تحت تنش در برگ‌های خود حفظ کنند و به عنوان برترین ژنوتیپ‌ها در این بررسی شناخته شدند. اما ژنوتیپ‌های سرداری، تجن، آذر۱ و هامون در شرایط تنش به عنوان بدترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند و نتوانستند در شرایط تنش خشکی، آب بیشتری را نسبت به سایر ارقام در برگ‌های خود حفظ کنند (شکل ۲). بر اساس اندازه‌گیری‌های روزانه رطوبت خاک، تا زمان رسیدگی سه بار تنش خشکی اعمال شد و در پایان هر تنش محتوای آب نسبی برگ اندازه‌گیری شد. زمان اول، دوم و سوم نمونه‌گیری برای محتوای نسبی آب برگ به ترتیب برابر ۱۷ روز پس از آبیاری نخست و ۹ و ۱۲ روز پس از آبیاری دوم در مرحله شروع اعمال تنش بود. نتایج نشان داد که در ۹ روز پس از آغاز تنش دوم ژنوتیپ‌های گندم نان قادر هستند نزدیک به ۷۳ درصد از محتوای آب نسبی برگ خود را همچنان حفظ کنند، اما در ۱۷ روز پس از آغاز تنش اول و ۱۲ روز پس از آغاز تنش دوم، محتوای آب نسبی برگ تقریباً به یک اندازه کاهش یافت و به حدود ۶۶ درصد رسید (شکل ۳). در مطالعات مختلف، همبستگی بالا و معنی‌داری بین RWC و عملکرد دانه (Rohi and Siosemarde, 2008; Shamsi, 2010) و RWC و عملکرد ساقه اصلی (Bijanzadeh and Emam, 2010) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است. ژنوتیپ‌هایی که RWC بالاتری دارند، تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی داشته و بنابراین می‌توان از RWC به عنوان یک صفت فیزیولوژیک مناسب جهت

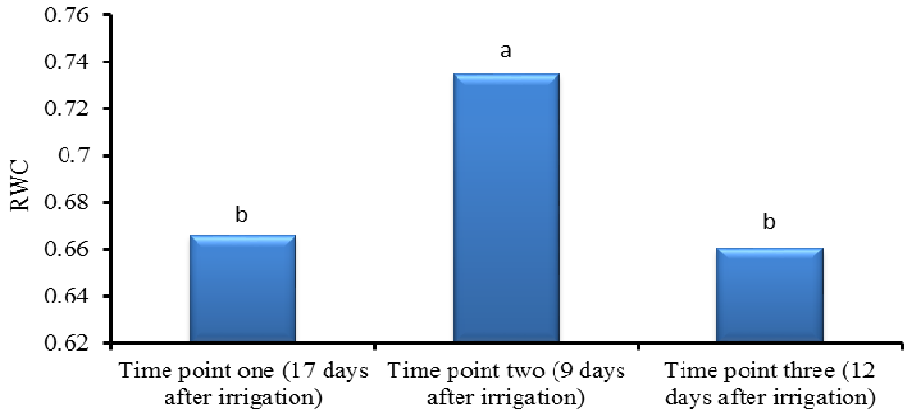
غربال بهترین ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایطی که ممکن است تنش خشکی رخ دهد، استفاده کرد (Nouri *et al.*, 2011). میزان وراثت‌پذیری عمومی برای این صفت برابر ۰/۵۶ به دست آمد.

نتایج آزمایش ارزیابی تنظیم اسمزی در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌های فونگ، تجن، قدس، روشن بهاره، سرداری ۱۰۱، مارون و آرتا قبل از شروع تنش و در شرایط نرمال دارای پتانسیل اسمزی منفی‌تری در برگ‌های خود در مرحله گیاهچه‌ای بودند اما بعد از اعمال تنش خشکی ژنوتیپ‌های وری‌ناک، آذر۱، فونگ و کرج۲ پتاسیل اسمزی منفی‌تری از سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (شکل ۴). نتایج محاسبه وراثت‌پذیری عمومی نشان داد که میزان وراثت‌پذیری عمومی پتانسیل اسمزی در شرایط نرمال برابر ۰/۶۲۵ و در شرایط تنش خشکی ۰/۲۷بود. نتایج حاصل از تفاوت میان پتانسیل اسمزی در شرایط تنش و نرمال نشان داد که ژنوتیپ‌های وری‌ناک و آذر۱ (به ترتیب با ۰/۵۶- و ۰/۴۷- مگا پاسگال) دارای بیشترین تنظیم اسمزی بودند اما ژنوتیپ‌های تجن، روشن بهاره، روشن زمستانه، سرداری ۱۰۱، قدس، فونگ، هامون و شیرودی کمترین تنظیم اسمزی را داشتند (شکل۵).



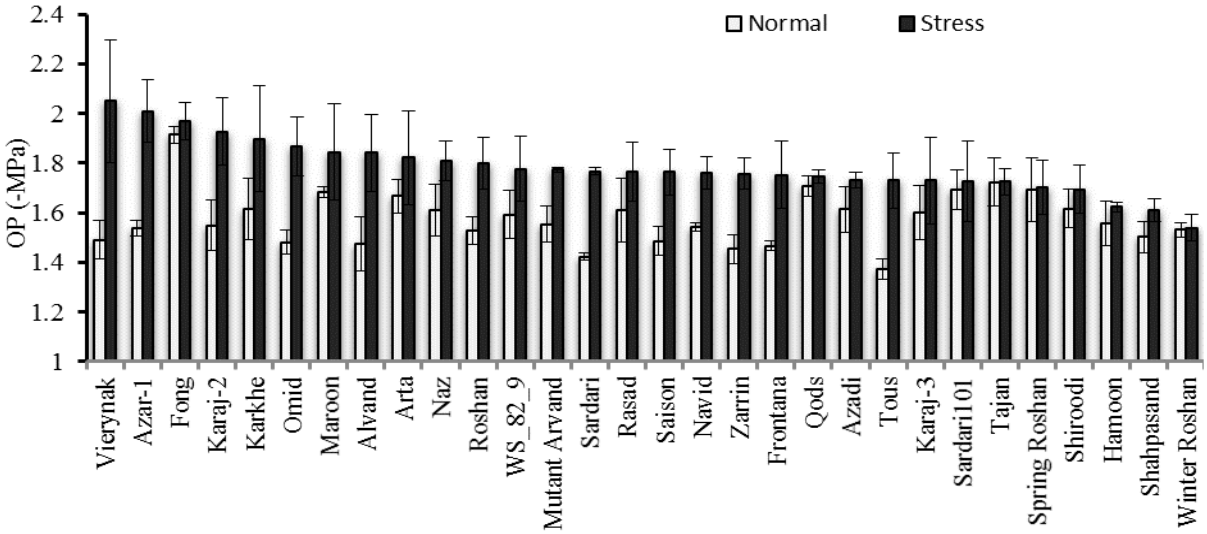
شکل ۲- میانگین محتوای نسبی آب برگ در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان تحت تنش خشکی ($LSD_{\%5}$= ۰/۰۸۱۵).

Figure 2. Average leaf relative water content (RWC) in 30 genotypes of bread wheat under drought stress ($LSD_{\%5}$= 0.0815)



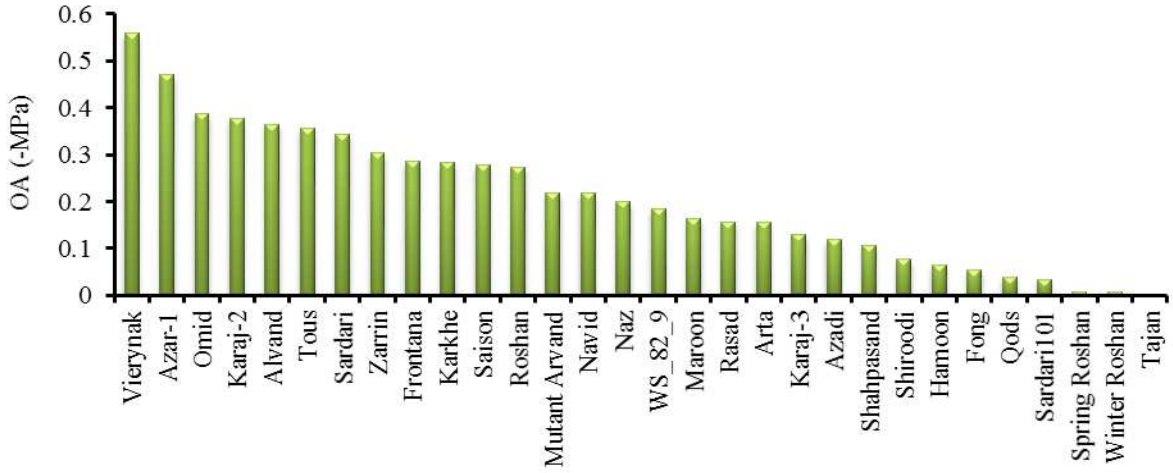
شکل ۳- میانگین محتوای نسبی آب برگ (RWC) در سه زمان مختلف اعمال تحت تنش خشکی ($LSD_{\%5}$= ۰/۰۲۵۷). زمان اول مربوط به مرحله اول اعمال تنش و زمان دوم و سوم مربوط به مرحله دوم اعمال تنش است.

Fig. 3. Average leaf relative water content (RWC) at three different times under drought stress ($LSD_{\%5}$= 0.0257). First measurement was carried out in first application of stress and the second and third measurements were carried out in second application of stress.



شکل ۴- میانگین پتانسیل اسمزی در ۳۰ ژنوتیپ گندم تحت شرایط تنش خشکی و نرمال ($LSD_{\%5}$=۰/۲۸۸)

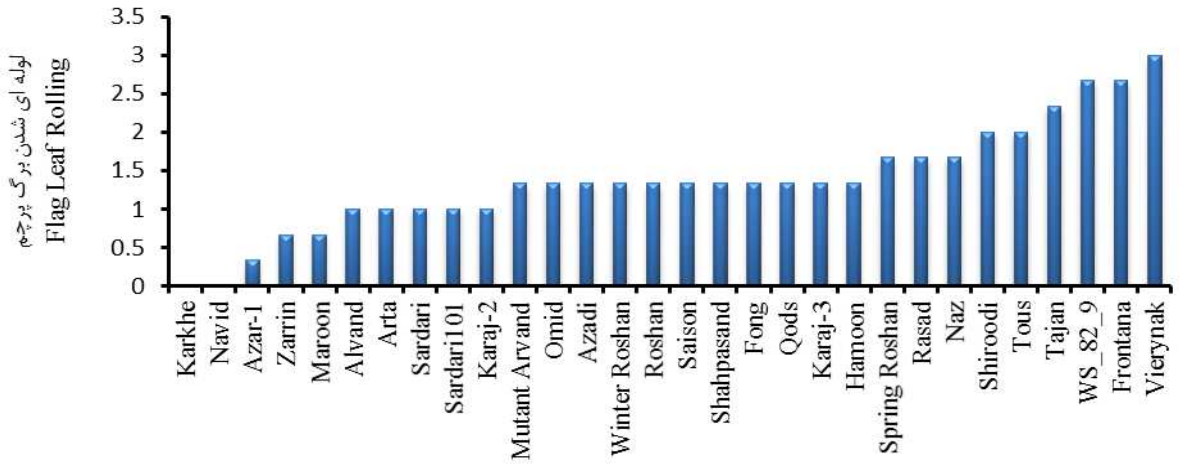
Figure 4. Average osmotic potential in 30 wheat genotypes under normal and stress conditions ($LSD_{\%5}$=0.288)



شکل ۵- میانگین تنظیم اسمزی در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان پس از اعمال تنش خشکی

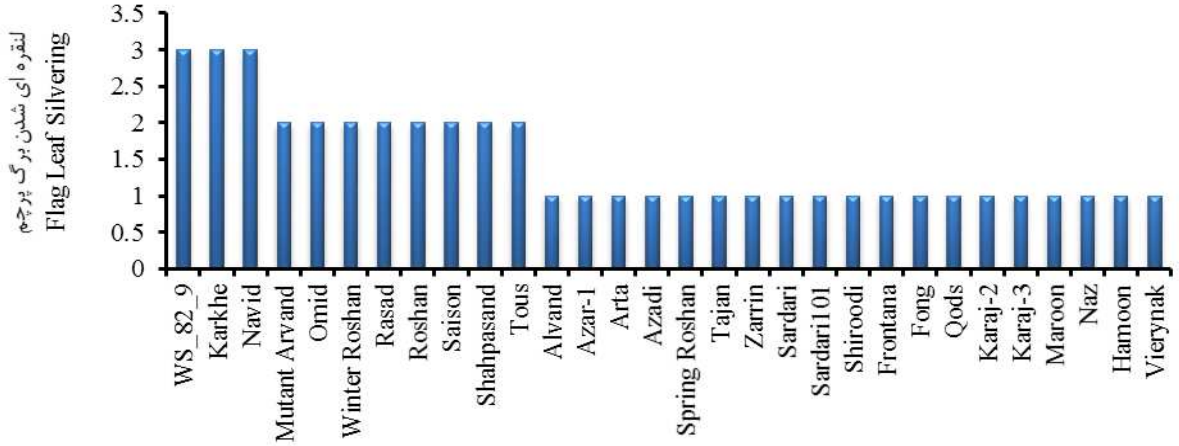
Figure 5. Average osmotic adjustment in 30 bread wheat genotypes after drought stress

در ژنوتیپ‌های وری‌ناک، فرونتانا، WS-82-9 و تجن میزان لوله‌ای شدن برگ بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. همچنین در ژنوتیپ‌های نوید و کرخه میزان لوله‌ای شدن برگ برابر صفر بود و ژنوتیپ‌های آذر۱، زرین و مارون نیز به میزان کمی توانستند برگ‌های خود را در پاسخ به تنش خشکی لوله‌ای شکل نمایند (شکل۶). میزان نقره‌ای شدن برگ در ژنوتیپ‌های WS-82-9، کرخه و نوید بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها و در وری‌ناک، هامون، ناز، مارون، کرج ۳، کرج۲، قدس، فونگ، فرونتانا، شیرودی، سرداری ۱۰۱، سرداری، زرین، تجن، روشن بهاره، آزادی، آرتا، آذر۱، الوند میزان نقره‌ای شدن برگ کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (شکل ۷). در شرایط نرمال، ژنوتیپ‌های سرداری ۱۰۱، شاه‌پسند، امید، کرج۳ و مارون دیررس‌تر و ژنوتیپ‌های فرونتانا، فونگ و WS-82-9 زودرس‌تر از بقیه ژنوتیپ‌ها بودند. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های رصد، امید، شاه‌پسند، سرداری ۱۰۱ و نوید دیررس‌تر و ژنوتیپ‌های وری‌ناک، فرونتانا، تجن، شیرودی و WS-82-9 زودرس‌تر از همه ژنوتیپ‌ها بودند. صفت زودرسی یکی از ساز و کارهای فرار است و بنابراین این ژنوتیپ‌ها از این نظر بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها عمل کردند (شکل ۸). نتایج به‌دست آمده از وراثت‌پذیری عمومی نیز نشان داد که وراثت‌پذیری عمومی زمان رسیدن فیزیولوژیک بسیار بالا و در شرایط نرمال ۰/۹ و در شرایط تنش خشکی برابر ۰/۹۵ بود.



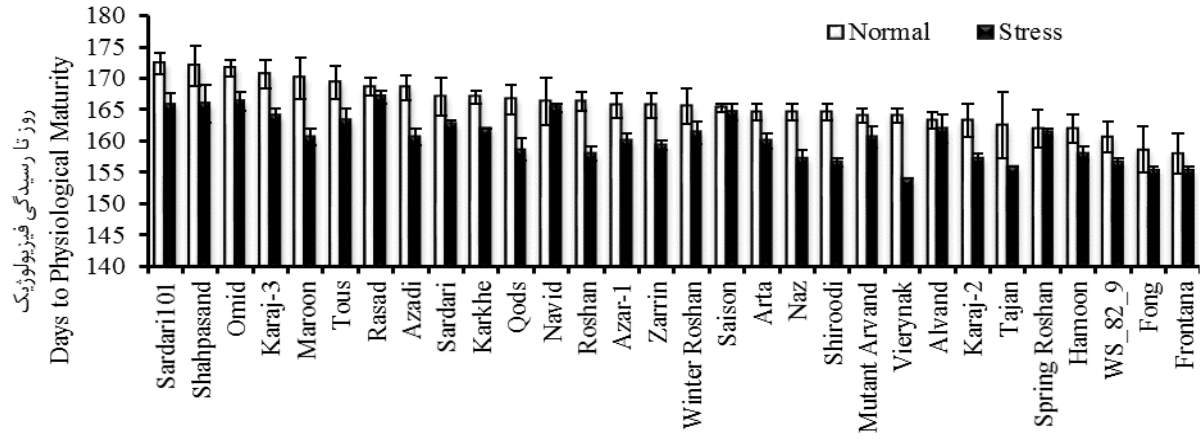
شکل ۶- میانگین لوله‌ای شدن برگ در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان تحت تنش خشکی

Figure 6. Average leaf rolling in 30 genotypes of bread wheat under drought stress



شکل ۷- میانگین نقره‌ای شدن برگ در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان تحت تنش خشکی

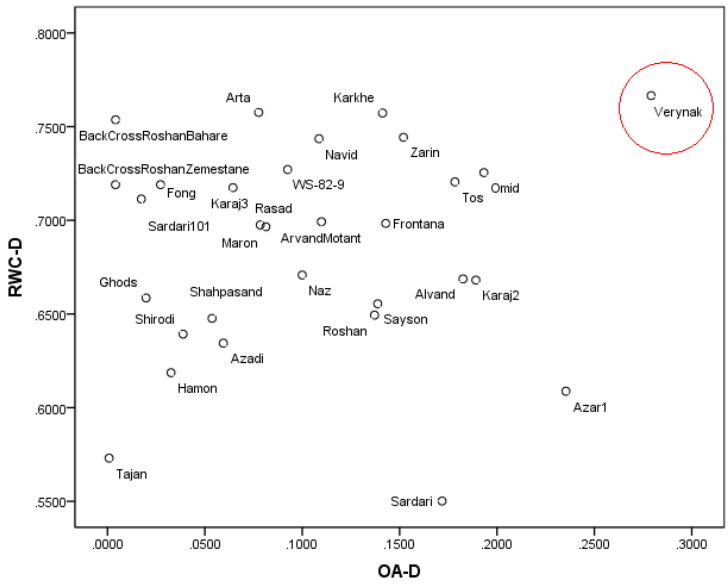
Figure 7. Average leaf silvering in 30 genotypes of bread wheat under drought stress



شکل ۸- میانگین روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان ($LSD_{\%5}$=۵/۴۰۹۷)

Figure 8. Average days to physiological maturity in 30 genotypes of bread wheat ($LSD_{\%5}$= 5.4097)

نتایج بای‌پلات برای محتوای آب نسبی برگ و تنظیم اسمزی نشان داد که ژنوتیپ وری‌ناک همزمان تنظیم اسمزی و محتوای نسبی آب برگ بالا و ژنوتیپ تجن همزمان تنظیم اسمزی و محتوای آب نسبی برگ پایینی داشت (شکل ۹). همچنین نتایج بای‌پلات برای محتوای آب نسبی برگ و لوله‌ای شدن برگ نشان داد که در ژنوتیپ‌های وری‌ناک، WS-82-9 و فرونتانا به طور همزمان محتوای آب نسبی برگ و میزان لوله‌ای شدن برگ بالاست، اما ژنوتیپ‌های آذر۱ و سرداری به طور همزمان محتوای آب نسبی برگ و میزان لوله‌ای شدن برگ پایین‌تری داشتند (شکل ۱۰). نتایج بررسی روند تغییر محتوای آب نسبی برگ نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان محتوای آب نسبی برگ در مطلوب‌ترین و نامطلوب‌ترین ژنوتیپ کاهش می‌یابد که این کاهش در ژنوتیپ برتر بسیار کمتر است، به‌طوری که بیشترین میزان محتوای آب نسبی برگ در تنش شدید (۱۷ روز پس از آغاز تنش اول) در ژنوتیپ برتر حدود ۰/۷۵۷ و در ژنوتیپ نامطلوب به ۰/۳۸۶ رسید. در ژنوتیپ برتر وری‌ناک تفاوت محتوای آب نسبی برگ در ۹روز پس از آغاز تنش دوم (۰/۷۹۱) و ۱۲ روز پس از آغاز تنش دوم (۰/۷۵۰) بسیار کم و برابر ۰/۰۴۱ است، اما در ژنوتیپ سرداری این تفاوت بالا و برابر ۰/۱۵۷ بود (شکل ۱۱). از جنبه صفت عملکرد دانه ژنوتیپ سرداری، روشن و طوس با عملکرد به‌ترتیب ۶، ۵/۴۶ و ۵/۳۷ تن در هکتار بهترین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۱۲). بررسی رابطه میان عملکرد در شرایط تنش خشکی با صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که تنها همبستگی میان تنظیم اسمزی و عملکرد معنی‌دار بود (r=۰/۴۵ ،P=۰/۰۱۲). بنابراین این صفت برای گزینش گیاهان متحمل به تنش خشکی مفید است. برای دیگر صفات همبستگی معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش خشکی مشاهده نشد.

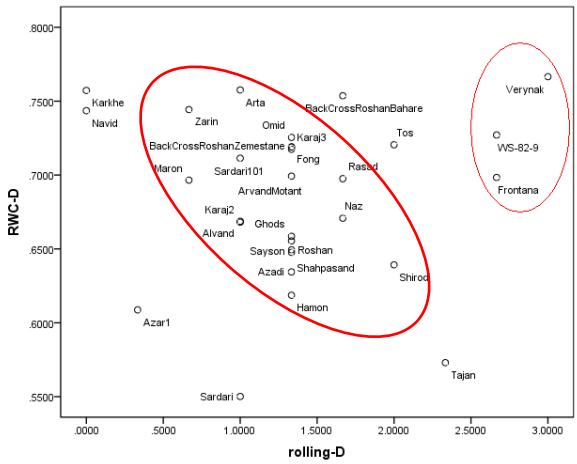


شکل ۹- بای‌پلات محتوای آب نسبی برگ و تنظیم اسمزی در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی (دور ژنوتیپ برتر دایره کشیده شده است).

Figure 9. Bi-plot of leaf relative water content and osmotic adjustment in 30 bread wheat genotypes under drought stress (circle have drawn around the best genotype).

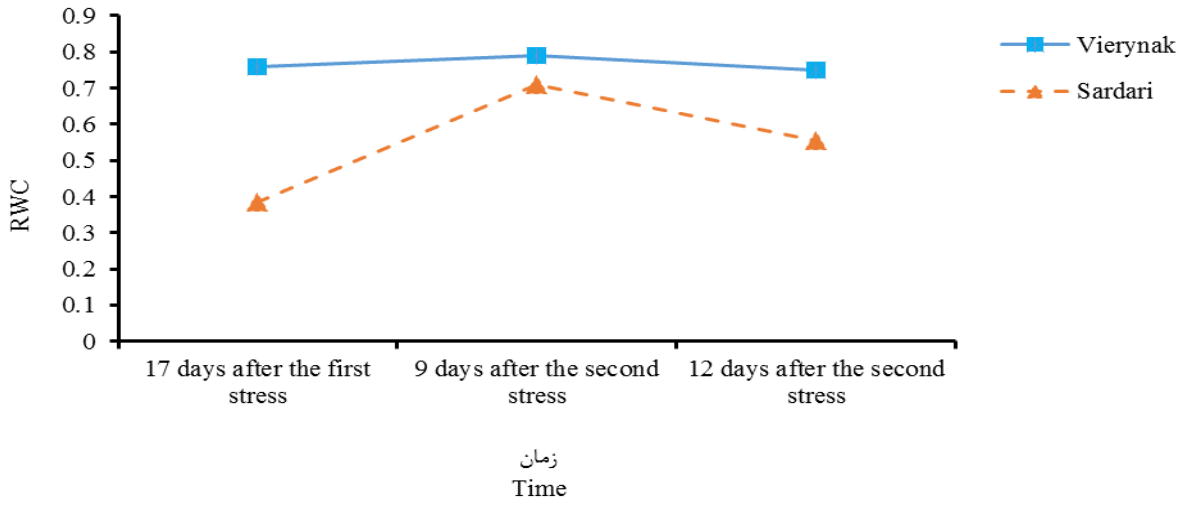
به طور کلی نتایج نشان داد که ژنوتیپ وری‌ناک به طور همزمان از محتوای آب نسبی برگ بالا و تنظیم اسمزی بالایی برخوردار بود و لوله‌ای شدن برگ نیز در آن بالا بود. در واقع به علت تنظیم اسمزی بالا و لوله‌ای شدن برگ قادر است آب بیشتری را در برگ‌های خود تحت تنش خشکی حفظ کند. بنابراین ژنوتیپ فوق در مجموع تحت تنش خشکی به خوبی از ساز و کارها تحمل تنش خشکی بهره برده و آب بیشتری را در برگ‌های خود حفظ می‌کند و به‌عنوان برترین ژنوتیپ در این بررسی شناخته شد. البته خاطر نشان می‌شود که این برتری تنها برای صفات فیزیولوژیک و نه میزان عملکرد در شرایط تنش در نظر گرفته می‌شود. از این ژنوتیپ می‌توان به عنوان منبع

ژنتیکی برای اصلاح صفات فیزیولوژیک یاد شده استفاده کرد. همچنین ژنوتیپ WS-82-9 زودرس بوده و میزان لوله‌ای شدن و نقره‌ای بودن برگ نیز در آن بالا بود و محتوای آب نسبی برگ نسبتاً بالایی نیز داشت. ژنوتیپ فرونتانا نیز زودرس، محتوای نسبی آب برگ نسبتاً بالا و میزان لوله‌ای شدن برگ بالایی داشت. بنابراین، در مجموع ژنوتیپ‌های وری‌ناک، WS-82-9 و فرونتانا از ساز و کار بهتری برای مقابله با تنش خشکی بهره جستند. در مقابل، ژنوتیپ تجن محتوای آب نسبی برگ و تنظیم اسمزی پایینی داشت و میزان نقره‌ای بودن برگ آن نیز کم بود. در ژنوتیپ آذر ۱ محتوای آب نسبی برگ پایین و میزان لوله‌ای شدن و نقره‌ای بودن برگ نیز کم بود. ژنوتیپ سرداری نیز نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها لوله‌ای شدن برگ در آن پایین بود، محتوای آب نسبی برگ پایین‌تر و تنظیم اسمزی متوسطی داشت. بنابراین ژنوتیپ‌های تجن، آذر۱ و سرداری قادر به استفاده از ساز و کارهای مقابله با تنش خشکی نبودند و به عنوان نامناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این بررسی شناخته می‌شوند.



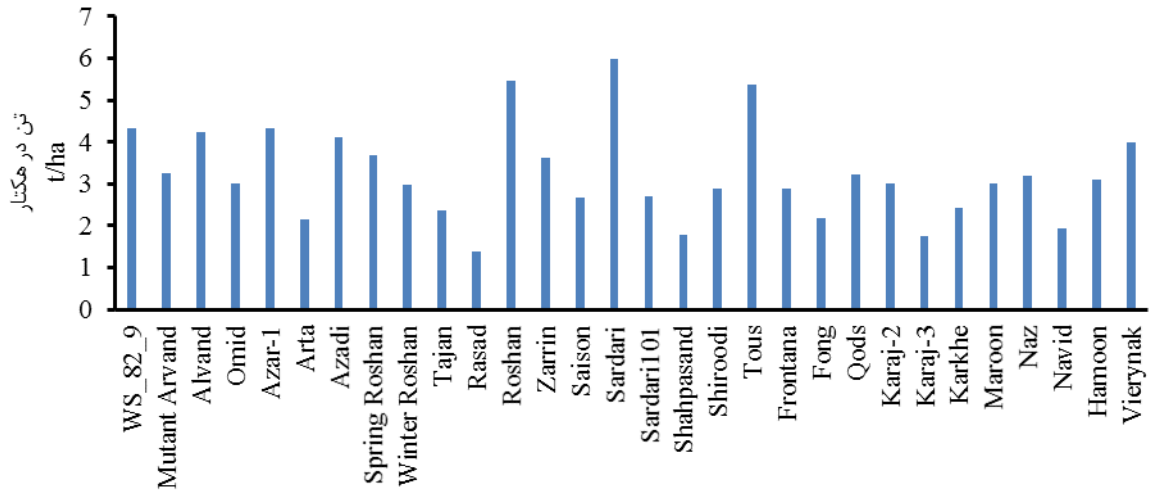
شکل ۱۰- بای‌پلات محتوای آب نسبی و لوله‌ای شدن برگ ۳۰ ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی (دور ژنوتیپ‌های برتر و نامطلوب دایره کشیده شده است).

Figure 10. Bi-plot of leaf relative water content and leaf rolling in 30 bread wheat genotypes under drought stress (circle have drawn around the best and worst genotypes).



شکل ۱۱- محتوای آب نسبی برگ در نامطلوب‌ترین (سرداری) و بهترین (وری‌ناک) ژنوتیپ‌های گندم نان در زمان‌های مختلف پس از اعمال تنش خشکی

Figure 11. Leaf relative water content in the worst (Sardari) and best (Verynak) bread wheat genotypes at different times after drought stress



شکل ۱۲- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط تنش خشکی ($LSD_{1\%}$= ۱/۱۶)

Figure 12. Average grain yield of the bread wheat genotypes under drought stress conditions ($LSD_{1\%}$ = 1.16)

همچنین نتایج نشان داد که تحت تنش خشکی، درصد کاهش محتوای آب نسبی برگ در ژنوتیپ برتر در طی سه روز تداوم تنش خشکی تقریباً برابر ۵ درصد و در ژنوتیپ نامطلوب این مقدار تقریباً برابر ۲۲ درصد بود و بنابراین درصد کاهش محتوای آب نسبی برگ در ژنوتیپ نامطلوب تقریباً ۴/۵ برابر بیشتر از ژنوتیپ برتر بوده است. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف از ساز و کارهای گوناگونی برای مقابله با تنش خشکی بهره جستند. برای صفات مورد بررسی در این تحقیق، وراثت‌پذیری‌های کم تا زیاد به‌دست آمد. کمترین وراثت‌پذیری برای پتانسیل اسمزی مشاهده شد (۰/۲۷ تحت شرایط تنش) و بنابراین به نظر می‌رسد که گزینش در جمعیت مورد مطالعه برای بهبود این صفت موثر نخواهد بود. برای دیگر صفات مطالعه شده، وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی (از ۰/۵۶ برای محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش تا ۰/۹۵ برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت شرایط تنش) به‌دست آمد. بنابراین احتمالاً در مورد این صفات روش گزینش بتواند بازده مناسبی داشته باشد. از آنجایی که رابطه مثبت و معنی‌داری بین تنظیم اسمزی در مرحله گیاهچه‌ای با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در مزرعه دیده شد، بنابراین می‌توان با بهبود ژنتیکی این صفت به افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی کمک کرد. از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌های اصلاحی آینده برای طراحی تلاقی‌های مناسب جهت انتقال ساز و کارهای تحمل به ژنوتیپ‌های حساس پر عملکرد استفاده کرد.

References

Almeselmani, M., Abdullah, F., Hareri, F., Naaesan, M., Ammar, M. A. and Zuher-Kanbar, O. 2011. Effect of drought on different physiological characters and yield component in different varieties of Syrian durum wheat. **Journal of Agricultural Science** 3: 127-133.

Babu, R. C., Zhang, J., Blum, A., Ho, T. H. D., Wu, R. and Nguyen, H. T. 2004. HVA1, a LEA gene from barleyconfers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection. **Plant Science** 166: 855-862.

Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J. M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science** 160: 669-681.

Barr, H. D. and Weatherley, P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences** 15: 413-428.

Beltrano, J. and Ronco, M. G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticumaestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomusclaroideum: Effect on growth and cell membrane stability. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 20: 29-30.

Bijanzadeh, E. and Emam, Y. 2010. Effect of defoliation and drought stress on yield components and chlorophyll content of wheat. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 13 (14): 699-705.

Blum, A. 1989. Osmotic adjustment and growth of barley cultivars under drought stress. **Crop Science** 29: 230-233.

Blum, A, 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research** 112: 119-123.

Blum, A. 2011. Plant breeding for water-limited environments. Springer Verlag.

Bogale, S., Tesfaye, K. and Geleto, T. 2011. Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)** 1 (2): 22-36.

Callister, A. N., Arndt, S. K., Ades, P. K., Merchant, A., Rowell, D. and Adams, M. A. 2008. Leaf osmotic potential of Eucalyptus hybrids responds differently to freezing and drought, with little clonal variation. **Tree Physiology** 28: 1297-1304.

Dastfal, M., Barati, V. and Haghighatnia, H. 2009. Effect of terminal drought stress on grain yield and its components in bread wheat (*Triticum aestivum l.*) genotypes in dry and warm conditions in south of fars province. **Seed and Plant Production Journal** 25 (3): 329-344. (In Persian with English Abstract).

Najafian, G., Jalal-Kamali, M. R. and Azimian, J. 2008. Description of Iranian grown wheat cultivars and promising lines. Seed and Plant Improvement institute. (In Persian).

Nouri, A., Etminan, A., Silva, J. A. T. and Mohammadi, R. 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* var. durum Desf.). **Australian Journal of Crop Science** 5 (1): 8-16.

Rebetzke, G. J., Richards, R. A., Condon, A. G. and Farquhar, G. D. 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica** 150: 97-106.

Rohi, A. and Siosemarde, A. 2008. Study of gas exchange in different wheat genotypes (*Triticum aestivum L.*) under stress condition. **Seed and Plant Improvement Journal** 24: 45-62. (In Persian with English Abstract).

Salehi, M. and Arzani, A. 2011. Effect of salinity stress on morpho-physiological traits of triticale lines. **Iranian Journal of Crop Sciences** 3 (4): 697-711. (In Persian with English Abstract).

Schwartz, B. M., Kenworthy, K. E., Engelke, M. C., Genovesi, A. D. and Quesenberry, K. H. 2009. Heritability estimates for turfgrass performance and stress response in *Zoysia spp.* **Crop Science** 49: 2113-2118.

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.

Steponkus, P. L., Shahan, K. W. and Cutler, J. M. 1982. Osmotic adjustment in rice. Drought resistance in crops with emphasis on rice. IRRI, Los Banos, Philippines. pp: 181-194.

Trethowan, R. M. and Reynolds, M. 2007. Drought resistance: Genetic approaches for improving productivity under stress. In: Buck, H. T., Nisi, J. E. and Salomon, N. (Eds.). Wheat production in stressed environments. Springer. The Netherlands. pp: 289-299.

Zhang, J., Nguien, H. T. and Blum, A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. **Journal of Experimental Botany** 50 (332): 291-302.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 6, No. 3, Automn 2016 (293-305)

Identification of sensitive and tolerant wheat genotypes to drought stress based on some physiological and phenological traits

Zinab Soleymani[1], Hossein Ali Ramshini[2*], Seyed Mohammad Mahdi Mortazavian[2] and Behroz Foughi[3]

Received: November 16, 2014 Accepted: October 7, 2015

Abstract

Breeding for drought tolerance can prevent from loss of production under drought conditions. Physiological parameters can be utilized as tool for selection of genotypes with high adaption to drought stress. In this experiment, 30 bread wheat genotypes were compared in field in a randomized complete block design by measuring physiological and phenological parameters. Also, osmotic adjustment was evaluated at seedling stage for the same genotypes. According to results, water stress led to reduced leaf relative water content of the wheat genotypes. Also osmotic potential was more negative under stress condition compared with normal condition. During water stress, prematurity was observed for all genotypes. In Vierynak, Fong, Frontana, Tajan, Shiroodi and WS-82-9 the maturity date was sooner than other genotypes. Reduction in leaf relative water content in Sardari was 4.5 fold more than tolerant genotype (Vierynak). Vierynak, WS-82-9 and Frontana employed the mechanisms of escape and avoidance under drought stress. Highest yield under stress condition was belonged to Sardari, Roshan and Tous with 6, 5.46 and 5.37 t/ha, respectively. Therefore, these genotypes had more tolerance to drought stress and can be suggested to cultivate under water deficit conditions.

Keywords: Early maturity, Leaf rolling, Osmotic adjustment, Relative water content (RWC)

1. Former M. Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran Abureyhan Campus, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran Aburaihan Campus, Tehran, Iran
3. Lecturer, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran Aburaihan Campus, Tehran, Iran
* Corresponding author: ramshini_h@ut.ac.ir